



universität  
wien

## MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Post-COVID-Syndrom und körperliche Aktivität –  
Effekte unterschiedlicher Trainingsarten auf die  
Ausdauerfähigkeit, Kraftfähigkeit, Lebensqualität und Fatigue“

verfasst von / submitted by

Florian König, Bakk.rer.nat.

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien, 2023 / Vienna, 2023

Studienkennzahl lt. Studienblatt / degree programme code as it appears on the student record sheet:	UA066826
Studienrichtung lt. Studienblatt / degree programme as it appears on the student record sheet:	Masterstudium Sportwissenschaft
Betreut von / Supervisor	Univ.- Prof. Dr. Daniel König

## **Kurzfassung**

Diese Arbeit untersucht, in welchem Ausmaß Variablen in Bezug auf die Physiologie und Lebensqualität von Personen mit dem Post-COVID-Syndrom, die keine Hospitalisierung im Rahmen ihrer COVID-19-Erkrankung erfuhrten, durch körperliche Aktivität beeinflusst werden und welchen Effekt die Trainingsart (Ausdauertraining, Concurrent Training) auf die Anpassungen hat.

Um eventuelle Zusammenhänge zwischen sportlicher Betätigung und der Verbesserung des Gesundheitszustands von Post-COVID-Syndrom-Betroffenen zu untersuchen, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Untersuchung durchgeführt.

Die Teilnehmenden ( $N=30$ ) wurden in zwei Trainingsgruppen (Ausdauertraining, Concurrent Training) und eine Kontrollgruppe, die keine Intervention erhielt, aufgeteilt. Auf Grundlage von Therapieansätzen, die den Nutzen von körperlicher Aktivität bei ähnlichen Pathologien aufzeigen, wurden die zwölfwöchigen Interventionen der beiden Trainingsgruppen erstellt.

Die Untersuchung zeigte, dass sowohl Ausdauertraining als auch Concurrent Training positive Effekte erzielen. Anhand beider Trainingsformen profitierten Post-COVID-Syndrom-Betroffene von einer effektiven Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme, der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und der Fatigue. Concurrent Training bewirkte des Weiteren mittels der zusätzlichen Kraftkomponente eine deutliche Kraftsteigerung.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung lassen darauf schließen, dass ein angepasstes, strukturiertes und betreutes Programm eine effektive und sichere Vorgehensweise darstellen kann, nicht hospitalisierte Post-COVID-Syndrom-Betroffene bei der Rehabilitation zu unterstützen.

## **Abstract**

The aim of this empirical master's thesis is to examine the effect of physical activity on variables related to physiology and quality of life of non-hospitalized people with post-COVID-syndrome. Furthermore, the influence of the type of training (endurance training, concurrent training) will be examined.

In order to investigate possible connections between physical activity and the improvement of health status of those affected by post-COVID-syndrome, a study was carried out as part of the present work.

The participants ( $n=30$ ) were divided into two training groups (endurance training, concurrent training) and one control group (no intervention received). The 12-week programs of the two intervention groups were planned on the basis of therapeutic approaches that already showed positive effects in similar pathologies.

After a follow-up, positive effects could be identified in both training groups. With both types of training, non-hospitalized people with post-COVID-syndrome benefited from an effective improvement in  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , health-related quality of life and fatigue. Furthermore, concurrent training caused a high increase in strength due to its additional strength component.

The results suggest that an adapted, structured and supervised program can be an effective and safe way to support non-hospitalized people with post-COVID-syndrome in their rehabilitation.

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Einleitung	1
2	Aktueller Forschungsstand	2
2.1	Post-COVID-Syndrom und die gesundheitlichen Folgen	2
2.2	Risikofaktoren für initial schwere COVID-19-Erkrankung	4
2.3	Risikofaktoren für Erkrankung an PCS	4
2.4	Myalgische Enzephalomyelitis/ Chronisches Fatigue-Syndrom	5
2.5	Therapieansätze	6
3	Forschungsfragen	9
4	Methodik	10
4.1	Studiendesign	10
4.2	Kriterien für Studieneinschluss	11
4.3	Messungen	12
4.4	Erhobene Variablen	14
4.4.1	Maximale Sauerstoffaufnahme	14
4.4.2	Muskelkraft	15
4.4.3	Gesundheitsbezogene Lebensqualität	16
4.4.4	Fatigue	16
4.5	Trainingsinterventionen	17
4.6	Statistische Auswertung	19
5	Ergebnisse	21
5.1	Merkmale der Stichprobe an Baseline	21
5.2	Ergebnisse der erhobenen Variablen	22
5.2.1	Gruppenvergleich an Baseline	23
5.2.2	Intragruppeneffekte	25
5.2.2.1	Intragruppeneffekte – Extremwert (Ausreißer)	25

5.2.3	Intergruppeneffekte	28
5.2.3.1	Intergruppeneffekte – Extremwert (Ausreißer)	28
5.2.4	Deskriptive Statistik der Variablen	28
6	Diskussion	33
6.1	Stichprobenmerkmale	34
6.2	Diskussion der erhobenen Variablen	34
6.2.1	Gruppenvergleich an Baseline	34
6.2.2	Maximale Sauerstoffaufnahme	34
6.2.3	Beinkraft	35
6.2.4	Handgriffkraft	36
6.2.5	Gesundheitsbezogene Lebensqualität	36
6.2.6	Fatigue	36
6.3	Ausdauertraining vs. Concurrent Training	37
7	Sicherheitsaspekte und Dropouts	39
8	Limitationen	40
9	Resümee	41
10	Literaturverzeichnis	42
11	Tabellenverzeichnis	50
12	Abbildungsverzeichnis	50

## **Vorwort**

Mein Dank richtet sich in erster Linie an Johanna Sick, MSc, Univ.- Prof. Dr. Daniel König und die Institution NuTraLab. Frau Sick und Herr König sind die Verantwortlichen der Studie, bei der ich mitarbeiten und im Rahmen meiner Masterarbeit eine Untersuchung durchführen konnte. Das Forschungslabor NuTraLab, mit ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, stellte die erforderlichen Geräte und umfangreiches Know-how zur Verfügung.

Durch die Mitarbeit an dieser Studie konnte ich umfangreiche Erfahrungen sammeln. Dazu gehörten das Durchführen von Eingangs- und Ausgangstestungen, das Erstellen von Trainingsplänen, die individuelle Betreuung von Probandinnen und Probanden während der Trainingsintervention, das Erledigen von alltäglich anfallenden Aufgaben im Bereich einer Studie und das abschließende statistische Auswerten der erhobenen Daten, um ein paar spannende, interessante und lehrreiche Ausschnitte des Mitwirkens an dieser Studie zu nennen.

Ich bedanke mich vielmals für die Werkzeuge, die mir durch die Mitarbeit an dieser Studie für meine zukünftige Laufbahn mitgegeben wurden.



## **1 Einleitung**

Mit Stand Anfang Juni 2023 erkrankten weltweit mehr als 767 Millionen Menschen an COVID-19 und es gab mehr als 6,9 Millionen Todesfälle, die mit der Erkrankung zusammenhängen (WHO, 2023).

Eine COVID-19-Erkrankung kann langfristige Folgen nach sich ziehen, die die Betroffenen bei der Ausführung ihrer täglichen Aktivitäten und in ihrer Arbeitsfähigkeit beeinträchtigen. Zu Beginn der Pandemie konzentrierte man sich noch auf die unmittelbaren Beschwerden einer COVID-19-Erkrankung (The Lancet Diabetes & Endocrinology, 2022). Da die Bevölkerung nun aber mit dem Virus ungehindert in Kontakt kommt, können langfristige Folgen einer Erkrankung mit dem Virus nicht mehr ignoriert werden (The Lancet Diabetes & Endocrinology, 2022). COVID-19 wird uns weiter begleiten und es werden sich immer wieder Personen mit dem Virus anstecken. Betroffene können anhaltende Symptome entwickeln (O'Connor, 2020).

Post-COVID-Symptome können unterschiedliche Systeme betreffen. Dazu zählen etwa das respiratorische System, das muskuläre System und das autonome System sowie psychisch bedingte Erkrankungen (Fernández-de-las-Peñas et al., 2021). Jimeno-Almazán et al. (2021) betonen den positiven Nutzen von körperlicher Aktivität auf Pathologien, die mit Post-COVID-Symptomen in Verbindung stehen.

Laut Hellwig und Domschke (2022) können nicht nur anfangs schwer Erkrankte das Post-COVID-Syndrom erfahren, auch Personen mit unkompliziertem Verlauf leiden darunter. Jimeno-Almazán et al. (2022) berichten, dass der Großteil der COVID-19-Betroffenen keine Krankenhouseinweisung verlangt. Untersuchungen im Hinblick auf die Verbesserung von bestehenden Symptomen, körperlicher Leistungsfähigkeit und Lebensqualität von nicht hospitalisierten Post-COVID-Syndrom-Betroffenen sind dementsprechend von Bedeutung.

Im Fokus dieser Arbeit stehen zunächst die Aufarbeitung des Forschungsstandes bezüglich des Post-COVID-Syndroms und die Erörterung möglicher positiver Effekte von körperlicher Aktivität auf dieses Krankheitsbild. Anschließend wird die Methodik der im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten Untersuchung dargestellt. Die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse der Untersuchung geben Aufschluss über den Nutzen von körperlicher Aktivität auf die Leistungsfähigkeit und die Lebensqualität von Personen mit dem Post-COVID-Syndrom.

## 2 Aktueller Forschungsstand

Bei fortwährenden Symptomen, die über zwölf Wochen nach der Infektion mit dem SARS-CoV-2-Virus hinaus bestehen und bei denen keine alternative Diagnose gestellt werden kann, spricht das National Institute for Health and Care Excellence (NICE) vom Begriff Post-COVID-Syndrom (Hellwig & Domschke, 2022).

Im Rahmen dieser Untersuchung wird der vom NICE vorgeschlagene Terminus Post-COVID-Syndrom (PCS) verwendet.

Folgend wird ein Überblick über den Wissensstand und Therapieansätze bezüglich des PCS gegeben.

### 2.1 Post-COVID-Syndrom und die gesundheitlichen Folgen

Es wird davon ausgegangen, dass etwa zehn bis zwanzig Prozent der an COVID-19 erkrankten Personen Auswirkungen der Krankheit über zwölf Wochen nach der Diagnose hinaus erfahren (Jimeno-Almazán et al., 2021). Dabei kommt es nicht nur zu Einschränkungen von Personen mit schwerem Verlauf, auch Betroffene mit mildem Verlauf müssen mit Folgen rechnen (Schilling, Meyer-Lindenberg & Schweiger, 2022).

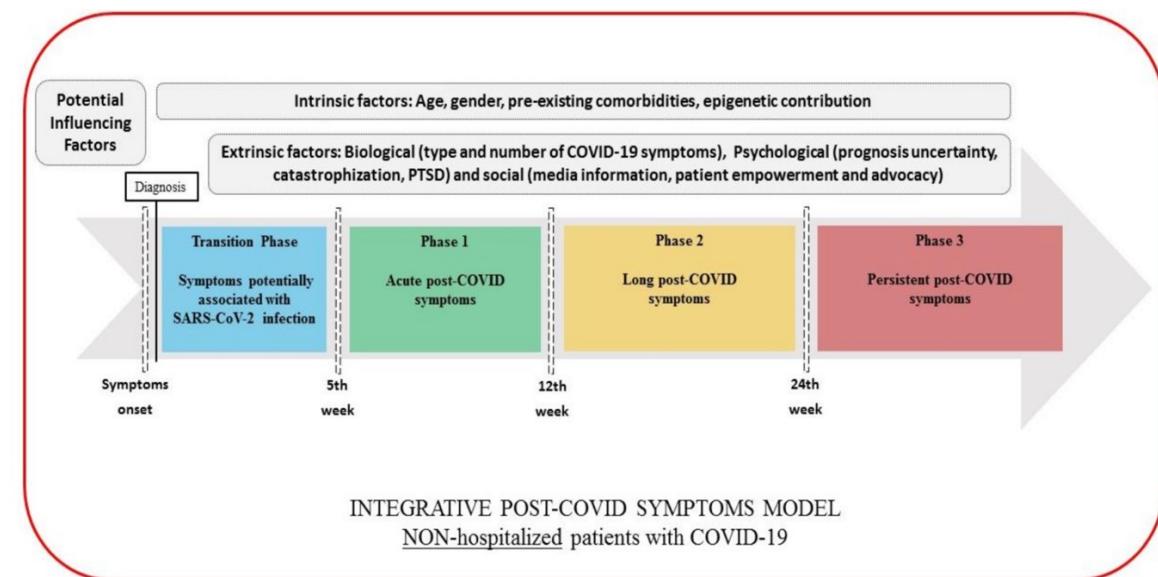


Abb. 1: Post-COVID-Modell (Fernández-de-las-Peñas et al., 2021, S. 5)

Das in Abbildung 1 präsentierte Post-COVID-Modell von Fernández-de-las-Peñas et al. (2021) zeigt ein Modell zur Kategorisierung unterschiedlicher Phasen einer COVID-19-Erkrankung bei nicht hospitalisierten COVID-19-Betroffenen. Nach der Infektion kommt es zur Transition Phase, in der mit dem SARS-CoV-2-Virus in Verbindung gebrachte Symptome auftreten. Demnach befindet man sich bei bestehenden Symptomen zwölf

Wochen nach Symptombeginn in Phase 2. Die Long post-COVID Symptome können unterschiedliche Systeme betreffen. Bezogen auf das respiratorische System werden Einschränkungen wie Atemnot, Fatigue, Husten und Halsschmerzen genannt. Magen und Darm können durch Durchfall, Bauchschmerzen und Erbrechen beteiligt sein. Aus neurokognitiver Sicht kann es zu Verwirrtheit, Schwindel und Aufmerksamkeitsverlust kommen. In Hinsicht auf das autonome System sind Herzklopfen und Tachykardie möglich. Im Bereich des Bewegungsapparats kann es zu Myalgien und Arthralgien kommen. Des Weiteren können sich psychisch bedingte Einschränkungen aufgrund von Depression, Angst, posttraumatischer Belastungsstörung und Schlafstörung entwickeln. Nach Phase 2 folgt Phase 3, in der die Wahrscheinlichkeit einer spontanen Verbesserung der persistierenden Symptome abnimmt (Fernández-de-las-Peñas et al., 2021).

O'Connor (2020) spricht die vielfältigen Folgeerkrankungen von COVID-19 an und sieht Einschränkungen durch Post-COVID als Problem in der Zukunft. Organe wie Herz, Gehirn, Leber, Niere und Lunge können betroffen sein. Lungenbeschwerden wie Lungenfibrose, Atembeschwerden bei Anstrengung, reduzierte Lungenkapazität und Fatigue können auftreten. Das Chronische Fatigue-Syndrom, Depression, Angstzustände und eine posttraumatische Belastungsstörung können länger anhalten und sind potenzielle Langzeitfolgen von COVID-19. Pink und Welte (2022) erwähnen das erhöhte Risiko von kardiovaskulären Ereignissen noch ein Jahr nach COVID-19, unabhängig von Beschwerden in der Post-COVID-Phase.

Kessel et al. (2022) identifizierten in ihrem Review die Fatigue als das am häufigsten beobachtete Symptom drei Monate nach der Erkrankung an COVID-19. Haller et al. (2022) stellten bei Beschäftigten im Gesundheitswesen eine Verbindung zwischen der Post-COVID-Fatigue und einer niedrigeren gesundheitsbezogenen Lebensqualität, höheren psychischen Belastung und der Beeinträchtigung der Arbeitsfähigkeit fest. Goertz et al. (2020) stellten fest, dass vor allem Fatigue und Atembeschwerden persistierende Symptome darstellten. Die Autorinnen und Autoren kommen zur Annahme, dass schon für Betroffene mit mildem Verlauf ein ungedeckter Versorgungsbedarf besteht.

Almandoz et al. (2020) sprechen von einer Abnahme der Dauer und Intensität von körperlicher Aktivität bei COVID-19-Betroffenen. Fortwährende Inaktivität führt zum Verlust von Kraft und Muskelmasse (Paddon-Jones et al., 2006). Körperliche Gebrechlichkeit steht in Verbindung mit Stürzen, Mobilitätseinschränkungen, Verlust der

Unabhängigkeit und Tod (Martone et al., 2022). Muskelschwund und Funktionsstörungen des muskulären Systems können die Lebensqualität verschlechtern (Yamamoto et al., 2022).

## **2.2 Risikofaktoren für initial schwere COVID-19-Erkrankung**

Unterschiedliche Faktoren werden mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit eines schweren Krankheitsverlaufs und einer höheren Mortalität aufgrund einer COVID-19-Erkrankung in Verbindung gebracht. Dazu gehören ein erhöhtes Alter ab 65 Jahren und gewisse Komorbiditäten, hierzu zählen unter anderem Bluthochdruck, Diabetes und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Diese und weitere Vorerkrankungen können zu einer schlechten Prognose führen und intensivmedizinische Pflege nach sich ziehen (Ahmed, 2020). Zu sehr ähnlichen Ergebnissen kamen auch Brawner et al. (2021). In ihrer Studie hatten positiv auf das SARS-CoV-2-Virus getestete hospitalisierte Personen ein höheres Alter und ein höheres Vorkommen an Erkrankungen wie Diabetes, Bluthochdruck und koronare Herzerkrankungen im Vergleich zu nicht hospitalisierten positiv getesteten Personen.

Laut Sallis et al. (2021) besteht eine Verbindung zwischen einem höheren Level an körperlicher Aktivität und einem reduzierten Risiko eines schweren COVID-19-Verlaufs. Ahmed (2020) sieht Grund zur Annahme, dass bereits durch eine geringfügige Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme die Möglichkeit besteht, Hochrisikopatientinnen und Hochrisikopatienten in eine niedrigere Risikokategorie verschieben zu können.

## **2.3 Risikofaktoren für Erkrankung an PCS**

Der Pathomechanismus von langfristigen Folgen einer COVID-19-Erkrankung kann noch nicht zur Gänze erklärt werden (Pink & Welte, 2022). Sowohl Personen mit einer leichten als auch schweren akuten Erkrankung mit COVID-19 können langfristige Folgen erfahren (Crook et al., 2021). Es konnte noch nicht abschließend festgestellt werden, ob bestimmte Altersgruppen eine höhere Prävalenz haben, Post-COVID zu entwickeln, im Vergleich zu anderen (Pink & Welte, 2022).

Eine erhöhte Anzahl an Symptomen ( $>5$ ) während der initialen Erkrankung mit COVID-19 und das weibliche Geschlecht stehen mit einer erhöhten Post-COVID-Wahrscheinlichkeit in Verbindung (Pink & Welte, 2022; Yong, 2021). Das Vorliegen von Adipositas kann das Auftreten von Post-COVID begünstigen. Ein hoher Schweregrad in der akuten Phase der Erkrankung birgt mögliche negative Langzeitfolgen (Pink & Welte 2022). Eine bereits zuvor bestehende psychische Störung stellt einen möglichen Risikofaktor für die Entstehung von Post-COVID dar. Dyspnoe zu Beginn der COVID-19-Erkrankung kann auf langfristige

Einschränkungen hinweisen (Yong, 2021). Martone et al. (2022) identifizierten die Sarkopenie als möglichen Risikofaktor für die Entstehung des PCS. Die Autorinnen und Autoren stellten in ihrer Untersuchung fest, dass Personen mit Sarkopenie einen längeren Krankenhausaufenthalt während der akuten Erkrankung und eine größere Anzahl an persistierenden Symptomen hatten. Persistierende Symptome, vor allem Fatigue, Dyspnoe und Gelenkschmerzen, wurden in der Gruppe von Personen mit Sarkopenie öfter festgestellt als in der Gruppe von Personen ohne Sarkopenie. Die Autorinnen und Autoren sprechen des Weiteren die Wirkung der Skelettmuskulatur als Regulator des Immunsystems an, im Hinblick auf mögliche Entzündungsprozesse und einen sogenannten Zytokininsturm während der akuten Erkrankung mit COVID-19. Körperliche Aktivität und ausreichende Ernährung scheinen demnach ein wichtiger Schutzfaktor vor PCS zu sein, da Sarkopenie so vorgebeugt werden kann.

Beeinträchtigungen nach der initialen COVID-19-Erkrankung können durch pathologische Entzündungen, zum Beispiel in Folge von Viruspersistenz, Immundysregulation und Autoimmunität, und entstandene Gewebsschäden, etwa an Lunge, Herz und Gehirn, verursacht werden. Spezifische Biomarker, zum Beispiel niedrige Lymphozytenzahlen und erhöhte Werte des C-reaktiven Proteins (CRP), können Vorboten von Post-COVID sein (Yong, 2021). Erhöhtes CRP wird mit stärkeren Beeinträchtigungen assoziiert. Die Vermutung, dass das zentrale Nervensystem durch Entzündungsprozesse während der COVID-19-Erkrankung ebenfalls beeinträchtigt wird und Post-COVID-Erscheinungen hervorrufen kann, besteht. Neuroinflammatorische Vorgänge, die zu neurologischen Beschwerden führen, werden in Betracht gezogen (Pink & Welte, 2022).

## **2.4 Myalgische Enzephalomyelitis/ Chronisches Fatigue-Syndrom**

Laut Hartlieb (2021) sind Erschöpfung, Atembeschwerden, Schmerzen sowie Gedächtnis- und Konzentrationsprobleme mögliche Folgen einer COVID-19-Erkrankung. Dieses Symptombild des PCS kommt dem des Chronischen Fatigue-Syndroms nahe, auch Myalgische Enzephalomyelitis genannt. Durch das Coronavirus erlangt dieses nach wie vor vorwiegend unbekannte Krankheitsbild an Bedeutung. Im ICD-10 ist die Myalgische Enzephalomyelitis/ das Chronische Fatigue-Syndrom (ME/CFS) offiziell codiert.

Dietzel (2022) berichtet, dass die Symptomatologie des PCS der von ME/CFS stark ähnelt. Diesem Syndrom geht ebenfalls häufig ein Infekt voraus. Beobachtungen legen nahe, dass die Hälfte der COVID-19-Betroffenen, bei denen zwölf Wochen nach der Infektion

Symptome bestehen, auch nach sechs Monaten nicht symptomfrei ist. Bei diesen Personen treffen ausreichend Kriterien zu, um ME/CFS diagnostizieren zu können. Bei Betroffenen von Post-COVID können deshalb sowohl sportliche Aktivitäten als auch alltägliche Aktivitäten zu Myalgien, körperlicher und geistiger Fatigue und der sogenannten Post-Exertional Malaise führen. Laut Ghali et al. (2020) kommt es bei der Post-Exertional Malaise, die sowohl durch körperliche als auch geistige Belastung ausgelöst werden kann, zu einer Verschlechterung der Symptome.

Haller et al. (2022) sprechen von teilweise hohen Erschöpfungslevels bei COVID-19-Erkrankten, die mit Werten von ME/CFS-Betroffenen vergleichbar sind.

## **2.5 Therapieansätze**

Körperliche Aktivität hat positive Effekte auf Pathologien, die mit Symptomen des PCS in Verbindung stehen (Jimeno-Almazán et al., 2021).

Tab. 1: Potenzielle Effekte von körperlicher Aktivität auf PCS-Symptome

Mögliche klinische Manifestationen des PCS	Mögliche positive Effekte von körperlicher Aktivität
<b>Psychologisch:</b> Posttraumatischer Stress Depression und Angststörungen	<b>Psychologisch:</b> Verminderter Stress Verbesserung von Wohlbefinden und Stimmung
<b>Neurologisch:</b> Kognitive Beeinträchtigungen Delirium Schlafstörungen	<b>Neurologisch:</b> Verbesserte kognitive Leistungsfähigkeit Stimulierte Gehirnplastizität Verbesserte Schlafqualität
<b>Kardiovaskulär:</b> Engegefühl in der Brust Dysautonomie Kreislaufkollaps Herzklopfen	<b>Kardiovaskulär:</b> Verbesserte kardiovaskuläre Funktion Normalisierte/ Regulierte Dysautonomien Blutdrucksenkend Wiederherstellung und Verbesserung des Gefäßsystems Mitochondriale Biogenese
<b>Respiratorisch:</b> Atembeschwerden Husten	<b>Respiratorisch:</b> Verbesserung von Atembeschwerden Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme Verbesserte Lungenfunktion
<b>Muskuloskelettal:</b> Fatigue/ Erschöpfung Muskelschwäche Muskelschmerzen Osteoartikuläre Schmerzen	<b>Muskuloskelettal:</b> Belastungstoleranz Muskelkraft Muskelmasse Intermuskuläre Koordination

Quelle: mod. n. Jimeno-Almazán et al. (2021, S. 8)

In Tabelle 1 nach Jimeno-Almazán et al. (2021) wird veranschaulicht, wie körperliche Aktivität potenziell positiv auf PCS-Symptome wirken kann. Pedersen und Saltin (2015) beschreiben den positiven Effekt körperlicher Aktivität auf zahlreiche chronische Symptome, die auch bei PCS auftreten können. Dazu gehören positive Auswirkungen auf Erkrankungen sowohl aus dem psychologischen Bereich, wie Depression und Angststörung, als auch physiologischen Bereich, wie Bluthochdruck und Atembeschwerden.

Positiven Einfluss von Bewegungstherapie und körperlicher Aktivität auf die Fatigue in unterschiedlichen Populationen stellten Garssen et al. (2004), Saidi et al. (2021) und Estevez-Lopez et al. (2021) fest. Hanada et al. (2020) berichten von vielfältigen positiven Effekten von körperlicher Aktivität auf Personen mit idiopathischer Lungenfibrose. Dazu

zählen die Verbesserung von Atembeschwerden, der maximalen Sauerstoffaufnahme, der Ausdauerfähigkeit und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität.

Hartescu, Morgan und Stevinson (2015) stellten in ihrer Untersuchung fest, dass eine Intervention mit körperlicher Aktivität bei Personen mit chronischer Schlafstörung positive Effekte auf Schlafbeschwerden, Depression und Angstzustände erzielt. Dauwan et al. (2021) weisen auf eine positive Wirkung von physischer Aktivität auf depressive Symptome hin.

Als überaus wichtig ersehen Décaire et al. (2021), dass Sport und körperliche Aktivität bei Personen mit langfristigen Folgen einer COVID-19-Erkrankung gut dosiert werden. Die Symptomatologie von Personen, die Einschränkungen in Folge von COVID-19 erfahren, kann der des Krankheitsbildes ME/CFS stark ähneln. Bei ME/CFS kann es durch unangebrachte und oft schon geringe physische Belastungen zu endlosen Zyklen von Belastung, anschließender Überanstrengung und Rückfall kommen. Deshalb sollte in diesen Fällen nicht ohne Plan Sport betrieben werden, die körperliche Aktivität sollte gut dosiert und an die Betroffenen angepasst sein. Dietzel (2022) schreibt von individuellen Belastungsgrenzen von Post-COVID-Betroffenen und erwähnt in diesem Zusammenhang das Pacing, also die Rücksichtnahme auf individuelle Belastungsgrenzen bei körperlicher Aktivität, und die anschließende Schonung.

### **3      Forschungsfragen**

Diese Arbeit untersucht, in welchem Ausmaß Variablen in Bezug auf die Physiologie und Lebensqualität von nicht hospitalisierten PCS-Betroffenen durch körperliche Aktivität beeinflusst werden und welchen Effekt die Trainingsart (Ausdauertraining, Concurrent Training) auf die Anpassung der Variablen hat.

Das alltägliche Funktionsniveau kann durch neuropsychiatrische Folgen und PCS-Symptome wie Fatigue und Atemnot eingeschränkt werden (Hellwig & Domschke, 2022). PCS beeinträchtigt Erkrankte bei der Ausführung ihrer täglichen Aktivitäten und in ihrer Arbeitsfähigkeit (The Lancet Diabetes & Endocrinology, 2022).

Die maximale Sauerstoffaufnahme wird als wichtigste Komponente der Ausdauerleistung betrachtet (McMillan et al., 2005). Muskelschwäche und Muskelschmerzen stehen in Verbindung mit PCS (Jimeno-Almazán et al., 2021). Haller et al. (2022) erwähnen die postvirale Fatigue als häufigste Krankheitsfolge von COVID-19.

Die hier erwähnten Erkenntnisse in Verbindung mit dem aktuellen Forschungsstand führten zu folgenden Forschungsfragen:

- Kann durch eine zwölfwöchige Trainingsintervention bei PCS-Betroffenen eine Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) erzielt werden?
- Kann durch eine zwölfwöchige Trainingsintervention bei PCS-Betroffenen eine Verbesserung von Kraftwerten erzielt werden?
- Kann durch eine zwölfwöchige Trainingsintervention bei PCS-Betroffenen eine Verbesserung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität erzielt werden?
- Kann durch eine zwölfwöchige Trainingsintervention bei PCS-Betroffenen eine Verbesserung der Fatigue erzielt werden?
- Wie beeinflusst die Trainingsart (Auszauertraining, Concurrent Training) die Ergebnisse?

## 4 Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik der Untersuchung beschrieben.

Diese Masterarbeit wurde im Zuge der Studie „Körperliche Aktivität und Post-COVID/Long-COVID: Effekte unterschiedlicher Trainingsarten auf die körperliche Leistungsfähigkeit, die Herzratenvariabilität, Entzündungsmarker im Blut, die Lebensqualität, die Konzentrationsleistung und Post-COVID/Long-COVID Symptome“ der Universität Wien realisiert. Diese Studie wird an der Abteilung für Ernährung, Bewegung und Gesundheit vom Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport durchgeführt.

### 4.1 Studiendesign

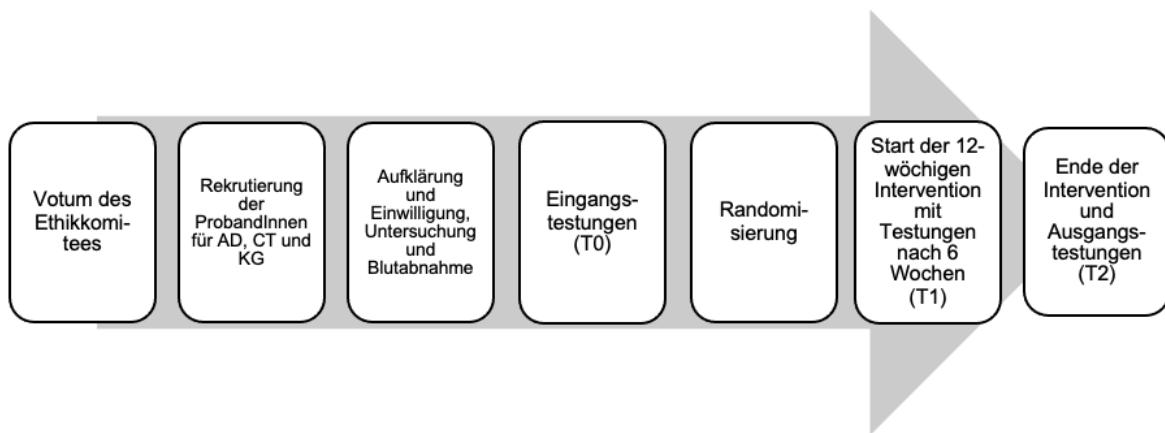


Abb. 2: Zeitachse der Interventionsstudie

In Abbildung 2 wird der Ablauf der randomisierten kontrollierten Interventionsstudie dargestellt. Die Punkte Votum des Ethikkomitees, Rekrutierung der ProbandInnen für AD (Ausdauertraining), CT (Concurrent Training) und KG (Kontrollgruppe), Aufklärung und Einwilligung, Untersuchung und Blutabnahme und Randomisierung führten die Versuchsleitung, der Prüfarzt und das weitere Studienteam durch. Im Rahmen dieser Arbeit standen die Punkte Eingangstestungen (T0), Start der 12-wöchigen Intervention mit Testungen nach 6 Wochen (T1) und Ende der Intervention und Ausgangstestungen (T2) sowie die anschließende Auswertung der Testungen im Mittelpunkt.

Am Tag der Eingangstestungen (T0) führten die Probandinnen und Probanden einen Computertest zur Messung der Konzentrationsleistung durch, gefolgt von der Beantwortung von Fragebögen. Zum einen wurden auftretende Symptome und zum anderen wurde die gesundheitsbezogene Lebensqualität erhoben. Abschließend kam es zur Testung der

körperlichen Leistungsfähigkeit. Hierbei vollzogen die Teilnehmenden einen Krafttest für sowohl die oberen als auch die unteren Extremitäten sowie eine kardiopulmonale Leistungsdiagnostik am Fahrradergometer. Die Probandinnen und Probanden wurden anschließend anhand ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme stratifiziert randomisiert einer Gruppe zugewiesen (Ausdauertraining, Concurrent Training oder Kontrollgruppe).

Nun wurden die Trainingspläne für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer erstellt und die Trainingsintervention startete. Die Kontrollgruppe erhielt keine Intervention. Alle Probandinnen und Probanden wurden dazu angehalten, während des zwölfwöchigen Studieneinschlusses keine grundlegenden Lebensstiländerungen vorzunehmen in Bezug auf Schlaf, Ernährung und Bewegung, um mögliche Effekte der Interventionen entsprechend nachvollziehen zu können. Nach sechs Wochen (T1) kam es zu einer Zwischentestung mit gegebenenfalls daraus resultierenden Anpassungen der Trainingsmodalitäten. Das Testprozedere der Eingangstestung (T0) wurde nach zwölf Wochen (T2) erneut durchgeführt. Die erhobenen Daten der T0- und T2-Testungen wurden ausgewertet.

## 4.2 Kriterien für Studieneinschluss

Einschlusskriterien:

- Alter zwischen 18 und 80 Jahren, persönliche Einwilligungsfähigkeit
- Eine mindestens zwölf Wochen zurückliegende Infektion mit dem SARS-CoV-2-Virus, PCR-Test bestätigt
- Mindestens ein existierendes und anhaltendes Symptom, das PCS-spezifisch und keiner anderen Krankheitsdiagnose zuzuschreiben war. Folgende Symptome waren im Zuge der Rekrutierung relevant: verminderte körperliche Leistungsfähigkeit, Muskel- und Gelenkschmerzen, Ermüdung, Atembeschwerden, Kopfschmerzen, Schlafstörung, kognitive Einschränkungen, Angstzustände, depressive Verstimmungen
- Keine Kontraindikationen gegen körperliche Belastung

Ausschlusskriterien:

- Hospitalisierung aufgrund einer Infektion mit dem SARS-CoV-2-Virus
- Kontraindikationen gegen körperliche Belastung entsprechend der Richtlinien des American College of Sports Medicine
- Belastungsintoleranz (Post-Exertional Malaise)

- Ein Wert von 3 oder höher des Post-COVID-19 Functional Status (Klok et al., 2020)
- Ausdauer- oder Kraftraining (>1x/ Woche) in den letzten sechs Monaten vor Einschluss

#### **4.3 Messungen**

Die Messungen wurden vor Beginn der Trainingsintervention (T0), nach sechs (T1) und nach zwölf (T2) Wochen im NuTraLab, einem externen Standort vom Institut für Sportwissenschaft und Department für Ernährungswissenschaft der Universität Wien, durchgeführt.

Folgende Messungen wurden im Zuge dieser Masterarbeit durchgeführt:

- Kardiopulmonale Leistungsfähigkeit: Auf einem Fahrradergometer wurde eine Spirometrie (MetaMax 3B-R2, Cortex Medical GmbH) unter standardisierten Bedingungen durchgeführt, um die körperliche Ausdauerleistungsfähigkeit zu ermitteln. Die Probandinnen und Probanden absolvierten ein stufenförmiges Belastungsprotokoll. Angefangen wurde mit einem dreiminütigen Eintreten ohne Belastung. Der Widerstand erhöhte sich anschließend jede Minute durch eine zuvor definierte Wattanzahl (Frauen 15W/min, Männer 20W/min), bis es zu einem Abbruch aufgrund maximaler Ausbelastung kam. Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) wurde über eine Atemgasanalyse gemessen und in Milliliter pro Minute pro Kilogramm Körpergewicht (ml/min/kg) angegeben. Während des Tests wurden des Weiteren die Sauerstoffsättigung, der Blutdruck und die Herzfrequenz gemessen und eine elektrokardiografische Aufzeichnung durchgeführt.
- Isometrische Muskelkraft: Die maximale isometrische Muskelkraft wurde anhand eines Handdynamometers (Saehan SH5001), zur Ermittlung der Handgriffkraft, und einer Beinpresse (Compass 530, Suessmed GmbH) mit integrierter isometrischen Kraftmessung gemessen. Der Test zur Ermittlung der Handgriffkraft wurde im Stehen und mit abgewinkeltem Arm realisiert. Hierbei wurde zuerst ein Probeversuch mit sowohl der linken als auch rechten Hand durchgeführt. Anschließend wurden jeweils drei Versuche mit der rechten und linken Hand im Wechsel durchgeführt. Mit welcher Hand begonnen wurde, hat ein Münzwurf entschieden. Zwischen den Versuchen herrschte eine Pause von 60 Sekunden. Der jeweils höchste Wert beider Seiten wurde notiert und in Kilogramm angegeben, der höchste Wert der dominanten Hand wurde für die Auswertung dieser Untersuchung herangezogen. Der Test zur Ermittlung der Beinkraft startete mit einer Aufwärmphase mit submaximaler Intensität, danach führten die Probandinnen und Probanden drei Versuche mit

maximaler willkürlicher isometrischer Kontraktion durch. Zwischen den Versuchen pausierten die Probandinnen und Probanden drei Minuten, um so eine muskuläre Erholung zu gewährleisten. Der höchste Wert der drei Versuche wurde zur Auswertung herangezogen und in Newton angegeben.

- Gesundheitsbezogene Lebensqualität: Die subjektive Lebensqualität wurde über die deutsche Version des Short Form 36 Gesundheitsfragebogen (SF-36 1.0) erhoben.

Die Lebensqualität wird bei diesem Fragebogen in Bezug auf die physische und psychische Gesundheit gemessen. Der SF-36 Fragebogen enthält 36 Items, die auf acht Dimensionen aufgeteilt sind. Die selbstständige Beantwortung dieser 36 Multiple-Choice-Items dauert etwa fünf Minuten (Brazier et al., 1992). Zu den acht Dimensionen zählen die körperliche Funktionsfähigkeit, die soziale Funktionsfähigkeit, die Rollenfunktionen in körperlicher Hinsicht, die Rollenfunktionen in emotionaler Hinsicht, das psychische Wohlbefinden, die Vitalität, die Schmerzen und die allgemeine Gesundheitswahrnehmung (Bullinger, Kirchberger & Ware, 2008).

Das Ergebnis wurde nach RAND errechnet, hierbei wurde jedem Item ein numerischer Wert von 0-100 zugeordnet. Die Werte wurden in die einzelnen Dimensionen zusammengefasst. Anschließend wurde aus allen Dimensionen ein Mittelwert für eine Person errechnet. Dieser Score wurde für die statistische Auswertung herangezogen. Je höher der Wert, desto besser ist der Zustand der subjektiven Lebensqualität.

Der SF-36 Fragebogen ist validiert (Linde et al, 2008; Finkelstein et al., 2018) und wurde bereits in der Gesundheits- und Sportwissenschaft eingesetzt (Marcos-Delgado et al., 2020).

- Fatigue: Das subjektive Erleben der Fatigue wurde über die Fatigue Severity Scale (FSS) erhoben.

Der Schweregrad einer Fatigue kann durch die FSS bei verschiedenen Krankheitsbildern beurteilt werden. Die FSS hilft dabei, die unspezifischen und subjektiv wahrgenommenen Aspekte zu berücksichtigen. Durch die Bewertung von neun Aussagen auf einer siebenstufigen Skala erhält man ein objektives Bild der Beschwerden der Patientin oder des Patienten. Aus den neun Antworten wird der Mittelwert ermittelt, wobei ein Mittelwert über vier als Zeichen einer erhöhten Fatigue gilt. Die FSS kann zur Verlaufskontrolle herangezogen werden und somit die Wirkung einer Intervention beurteilen. Studien zeigen, dass die FSS eine gute Reliabilität und Validität besitzt (Pfeffer, 2008).

Der errechnete Score, also der Mittelwert der neun bewerteten Aussagen, wurde für die statistische Auswertung herangezogen.

#### 4.4 Erhobene Variablen

Folgend wird ein theoretischer Hintergrund und Einblick für die in dieser Masterarbeit relevanten Variablen gegeben.

##### 4.4.1 Maximale Sauerstoffaufnahme

Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) wird als übliche Messgröße für die aerobe Leistungsfähigkeit gesehen. Über eine Spiroergometrie kann während einer kontinuierlich ansteigenden Belastung das Zusammenspiel von Atmung, Herz, Kreislauf und Stoffwechsel analysiert werden. Bei der Spiroergometrie werden das Volumen der ausgeatmeten Luft und die ausgeatmete Sauerstoff- und Kohlendioxidfraktion gemessen. In Kombination mit der Herzfrequenz und Atemfrequenz können weitere Variablen ermittelt werden (Wonisch et al., 2017). Die Spiroergometrie stellt mit ihrer direkten Messung des Gasaustauschs die beste Methode zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme dar (Dransmann, 2020).

Die maximale Sauerstoffaufnahme fasst die Leistungsfähigkeit der Systeme rund um die Sauerstoffzufuhr, den Sauerstofftransport und die Sauerstoffverwertung im ausbelasteten Zustand des Organismus zusammen. Die  $\text{VO}_{2\text{max}}$  gibt Auskunft über die Menge an Sauerstoff, die vom Organismus maximal verstoffwechselt werden kann. Sie kann je nach Verwendung in Liter pro Minute oder Milliliter pro Minute pro Kilogramm Körpergewicht angegeben werden. Zum individuellen Vergleich ist die auf das Körpergewicht (ml/min/kg) bezogene Angabe geeigneter (Dransmann, 2020). Individuelle  $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Werte können von etwa 10 ml/min/kg bei Patientinnen und Patienten mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen bis zu fast 90 ml/min/kg bei Spitzensportlerinnen und Spitzensportlern reichen (Thompson, 2009).

In einer Vielzahl an Interventionsstudien zur Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit ist die  $\text{VO}_{2\text{max}}$  die zentrale Variable (Dransmann, 2020). Laut Swain (2005) ist die individuell richtig gewählte Trainingsintensität ein Schlüsselfaktor für die Verbesserung der  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . Auch wenn Trainings mit höherer Intensität (bei 60-84% der  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) wirksamer sind, um die  $\text{VO}_{2\text{max}}$  zu verbessern, als Trainings mit moderater Intensität (bei 40-59% der  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ), muss hier mit Vorsicht vorgegangen werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass kardiovaskuläre oder orthopädische Komplikationen auftreten, ist bei hoher Intensität größer. Ohne vorherige Beurteilung sollten Personen mit erhöhtem Risiko einer kardiovaskulären Komplikation kein hochintensives Training durchführen. Personen mit

niedrigem Fitnesslevel sollten anfangs mit moderater Intensität trainieren, bei welcher die VO<sub>2</sub>max ebenfalls effektiv verbessert werden kann, und erst nach einer Anpassungsphase zu höheren Intensitäten übergehen.

Personen mit langfristigen Folgen einer COVID-19-Erkrankung sind bei der Ausführung ihrer täglichen Aktivitäten und in ihrer Arbeitsfähigkeit eingeschränkt (The Lancet Diabetes & Endocrinology, 2022). Die aerobe Leistungsfähigkeit hängt mit der Fähigkeit zusammen, die Anforderungen täglicher Arbeit zu bewältigen. Daher ist insbesondere bei körperlicher Arbeit die aerobe Leistungsfähigkeit ein entscheidender Faktor für die Fähigkeit einer Person, die erforderlichen Aufgaben auszuführen (Ilmarinen, 2000).

Eine geringe aerobe Leistungsfähigkeit ist die Folge von körperlicher Inaktivität. Für viele Expertinnen und Experten ist diese körperliche Inaktivität bevölkerungsweit das größte gesundheitliche Problem des 21. Jahrhunderts (Blair, 2009). Körperliche Inaktivität und geringe körperliche Leistungsfähigkeit werden mit zahlreichen gesundheitlichen Problemen in Verbindung gebracht. Dazu gehören unter anderem Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Stoffwechselerkrankungen, wie zum Beispiel Diabetes, Adipositas und Übergewicht, muskuloskelettale Erkrankungen, Lungenerkrankungen, Krebs und psychische Probleme (Ortega et al., 2008).

#### **4.4.2 Muskelkraft**

Als Folge einer COVID-19-Erkrankung kann es zu einer Abnahme von Dauer und Intensität von körperlicher Aktivität kommen (Almandoz et al., 2020). Anhaltende körperliche Inaktivität führt zur Abnahme von Kraft und Muskelmasse (Paddon-Jones et al., 2006). Muskelschwäche kann sich bei PCS-Betroffenen manifestieren (Jimeno-Almazán et al., 2021). Funktionsstörungen des muskulären Systems und Muskelschwund können negative Auswirkungen auf die Lebensqualität haben (Yamamoto et al., 2022).

Muskuläre Leistungsfähigkeit beinhaltet die Fähigkeit, Arbeit gegen Widerstand auszuführen. Da die maximal aufbringbare Kraft von mehreren Faktoren abhängt, wie zum Beispiel Größe und Anzahl der beteiligten Muskeln, Anteil der beanspruchten Muskelfasern und Koordination der Muskelgruppen, gibt es keinen Einzeltest zur Messung der Muskelkraft. Die wichtigsten gesundheitsbezogenen muskulären Komponenten sind die Maximalkraft, sowohl isometrisch als auch dynamisch, die Schnellkraft, die Kraftausdauer und die isokinetische Kraft (Ortega et al., 2008).

Der Test zur Ermittlung der Handgriffkraft ist einer der am häufigsten eingesetzten Tests zur Beurteilung der muskulären Leistungsfähigkeit in epidemiologischen Studien. Die Handgriffstärke wird als starker Prädikator für Morbidität und Lebenserwartung bei Erwachsenen gesehen (Ortega et al., 2008).

#### **4.4.3 Gesundheitsbezogene Lebensqualität**

PCS kann physische und psychische Einschränkungen nach sich ziehen (Jimeno-Almazán et al., 2021). Beispielsweise durch eine Depression, Angststörung und posttraumatische Belastungsstörung kann die Lebensqualität beeinträchtigt werden (Fernández-de-las-Peñas et al., 2021). Laut O'Connor (2020) sind depressive Symptome potenzielle Langzeitfolgen einer Erkrankung mit COVID-19.

Physische Aktivität kann eine positive Wirkung auf depressive Symptome entfalten (Dauwan et al., 2021). Hanada et al. (2020) berichten von vielfältigen positiven Effekten von körperlicher Aktivität, auch auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität.

Die subjektive Lebensqualität kann über den Short Form 36 Gesundheitsfragebogen (SF-36) erhoben werden. Bei diesem Fragebogen stehen die physische und psychische Gesundheit im Mittelpunkt (Brazier et al., 1992).

#### **4.4.4 Fatigue**

Als Fatigue ist nicht die bloße allgemeine Müdigkeit gemeint, sondern ein chronischer Erschöpfungszustand. Dieser Zustand der Erschöpfung kann sowohl bei Anstrengung als auch in Ruhe auftreten und wird als subjektiver Mangel an physischer und/ oder mentaler Energie definiert. Dies führt zu Beeinträchtigungen bei der Ausführung von täglichen oder angestrebten Aktivitäten (Pfeffer, 2008).

Die postvirale Fatigue zählt zu den prominentesten Folgen einer Erkrankung mit COVID-19 (Haller et al., 2022). Kessel et al. (2022) und Goertz et al. (2020) berichten, dass Fatigue ein bedeutendes Symptom in Folge einer COVID-19-Erkrankung darstellt. Laut Jimeno-Almazán et al. (2021) ist Fatigue eine mögliche Manifestation des PCS.

Körperliche Aktivität und Bewegungstherapie erzielten nach Saidi et al. (2021), Garssen et al. (2004) und Estevez-Lopez et al. (2021) einen positiven Effekt auf die Fatigue in unterschiedlichen Populationen.

Anhand der Fatigue Severity Scale (FSS) kann das subjektive Erleben der Fatigue erhoben werden (Pfeffer, 2008).

#### **4.5 Trainingsinterventionen**

Die Interventionen wurden auf Grundlage von Literatur entworfen, welche die Effektivität von körperlichem Training als Therapiemaßnahme bei ähnlichen Pathologien bereits darstellt.

Wie in Tabelle 1 im Kapitel des aktuellen Forschungsstands präsentiert, hat körperliche Aktivität das Potenzial, eine Verbesserung der PCS-Symptomatik zu erzielen (Jimeno-Almazán et al., 2021).

Nach einem zwölfwöchigen Ausdauertraining am Fahrradergometer mit Betroffenen des Guillain-Barré-Syndroms stellten Garssen et al. (2004) eine Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme, der Fatigue und der Lebensqualität fest. Broadbent und Coutts (2016) ermittelten eine verbesserte körperliche Leistungsfähigkeit durch Trainingstherapie bei Patientinnen und Patienten mit ME/CFS. Dowman et al. (2017) vernahmen durch ein achtwöchiges Concurrent Training bei Personen mit interstitiellen Lungenerkrankungen eine Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Lebensqualität. Beim Concurrent Training kommt es laut Schlegel (2020) zu Trainingseinheiten, die sowohl Kraft- als auch Ausdauerkomponenten enthalten. Santos et al. (2015) beobachteten in ihrer Untersuchung mittels einer achtwöchigen pulmonalen Rehabilitation bei COPD-Betroffenen eine Verbesserung der Symptomkontrolle, der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und der Belastungstoleranz. Des Weiteren stellten sie fest, dass hohe Trainingsintensitäten hier keine zusätzlichen Vorteile brachten. PCS-Betroffene erfuhren in der Untersuchung von Jimeno-Almazán et al. (2022) anhand eines achtwöchigen, beaufsichtigten Concurrent Trainings, welches auf die Probandinnen und Probanden zugeschnitten war, positive Effekte auf sowohl physische Parameter als auch auf die Lebensqualität und die Fatigue.

Décary et al. (2021) weisen auf die Wichtigkeit einer Dosierung der körperlichen Aktivität hin und dass diese an die Trainierenden angepasst werden sollte. Denn bei anhaltenden Folgen einer Erkrankung mit COVID-19 sowie bei ME/CFS kann unangebrachte physische Anstrengung schnell zu Überlastung und anschließendem Rückfall führen. Dietzel (2022) spricht von individuellen Belastungsgrenzen und weist auf den Stellenwert des Pacing, also die Rücksichtnahme individueller Belastungsgrenzen bei körperlicher Aktivität, und die darauffolgende Schonung hin. Beim Pacing sollen laut Buchberger et al. (2022) Betroffene von PCS und ME/CFS durch Führen eines Symptomtagebuchs zur Auseinandersetzung mit den eigenen Warnsignalen sensibilisiert werden. Auf diese Weise könnten während einer

Aktivität individuelle Warnsignale auf körperlicher, kognitiver und emotionaler Ebene besser wahrgenommen werden, um einen Zusammenbruch (PEM) vermeiden zu können. Hierdurch kann es gelingen, dass Betroffene nicht über die Grenze ihrer aktuellen Leistungsfähigkeit hinaus agieren und eine Grundlage schaffen, von der aus die psychische und physische Gesundheit gesteigert werden kann.

Aufgrund dieser Aussagen wurde bei dieser Interventionsstudie ein besonderes Augenmerk auf die Intensität und Dosis bei den Trainings gelegt. Die Trainingseinheiten wurden an drei nicht aufeinanderfolgenden Tagen pro Woche durchgeführt und von eingeschultem Studienpersonal angeleitet und betreut. Die Probandinnen und Probanden führten ein Trainingsprotokoll, auf dem sie zum einen Fragen zu ihrem aktuellen Wohlbefinden (Energielevel, Gemüt, Schlaf) und ihrem aktuellen Gesundheitszustand (Symptome, Schmerzen) auf einer Skala von 1-10 (Visual Analogue Scale) beantworteten und zum anderen ihre Trainingswerte notierten. Die Trainingseinheiten wurden in Fitnessstudios durchgeführt, für die die Kosten übernommen wurden.

Im Zuge dieser Studie wurden zwei Trainingsgruppen und eine Kontrollgruppe, die keine Intervention erhielt, gebildet. Ausdauertraining und Concurrent Training wurden in dieser zwölfwöchigen randomisierten kontrollierten Interventionsstudie betrieben und auf deren Effekte untersucht.

Ausdauertraining wurde in beiden Trainingsgruppen auf wahlweise Fahrradergometer, Laufband oder Crosstrainer durchgeführt. Auf Grundlage der Eingangstestung und Zwischentestung wurde die Trainingsintensität gewählt. Die ventilatorische Schwelle und der respiratorische Kompensationspunkt wurden nach Wasserman (1994) erhoben und die Herzfrequenzbereiche, in denen die Probandinnen und Probanden trainierten, wurden anhand dieser Schwellen bestimmt. Während des Ausdauertrainings wurde die Sauerstoffsättigung mittels Pulsoxymetrie überwacht. Der Gesamtenergieverbrauch der beiden Trainingsgruppen während einer Einheit wurde auf Grundlage von metabolischen Äquivalenten (METs) nach Ainsworth et al. (2011) angeglichen. Aufgrund dessen absolvierte die Concurrent-Training-Gruppe eine kürzere Ausdauereinheit (20-40 Minuten) als die Ausdauertraining-Gruppe (30-60 Minuten). Sowohl Dauer als auch Intensität wurden über die ersten Wochen langsam gesteigert und dann bis zum Ende der Intervention konstant gehalten. Die Intensität des Ausdauertrainings wurde des Weiteren anhand der Borg-Skala (Borg, 1982) gesteuert, bei der die subjektiv wahrgenommene Erschöpfung nach körperlicher Aktivität auf einer Skala angegeben wird.

Die Concurrent-Training-Gruppe absolvierte innerhalb einer Trainingseinheit zusätzlich ein Krafttraining mit vier Übungen, welches vor dem Ausdauertraining durchgeführt worden war. Das Krafttraining bestand aus zwei Oberkörperübungen, dem horizontalen Ruderzug und der horizontalen Brustpresse, und zwei Unterkörperübungen, der Beinpresse und der Beinbeugemaschine. Anfangs kam es zu einer zweiwöchigen Eingewöhnungsphase, in der die Probandinnen und Probanden fünfzehn bis zwanzig Wiederholungen durchführten. Nach der Eingewöhnungsphase wurde das zukünftige Trainingsgewicht über den Test des Fünfwiederholungsmaximums (5RM) bestimmt. Ab diesem Zeitpunkt führten die Teilnehmenden einen Aufwärmsatz und anschließend zwei Sätze mit dem erhobenen Gewicht (80% des 5RMs) und acht bis zwölf Wiederholungen durch.

#### 4.6 Statistische Auswertung

Für die Auswertung der Daten wurde die Software SPSS (IBM, Version 29®) verwendet.

Als Signifikanzniveau wurde 0,05 definiert. Ab einem p-Wert von 0,05 ( $p < 0,05$ ) wurde ein Ergebnis als statistisch signifikant angesehen.

Eine Vielzahl an parametrischen Tests basiert auf der Annahme der Normalverteilung. Wenn die Voraussetzung der Normalverteilung nicht gegeben war, wurde ein nicht-parametrischer Test angewandt.

Die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) diente in einem ersten Schritt dem Gruppenvergleich an der Baseline (Zeitpunkt T0). Hierbei wurden die Eingangstestungen zwischen den Gruppen verglichen, um zu überprüfen, ob statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der Variablen zum Zeitpunkt T0 bestanden.

Anhand des t-Tests (gepaarter t-Test, zweiseitig) wurden die Gruppen (AD, CT, KG) auf Intragruppeneffekte untersucht. Die Eingangs- und Ausgangstestungen wurden miteinander verglichen, um mögliche signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten innerhalb der Gruppen detektieren zu können. Bei statistisch signifikantem Unterschied wurde zusätzlich die Effektstärke ( $\eta^2$ , Hedges  $\eta^2$ ) berechnet, um die Größe des Effekts beurteilen zu können. Die Werte 0,2 (kleiner Effekt), 0,5 (mittlerer Effekt) und 0,8 (großer Effekt) fungierten als Schwellenwerte (Ellis, 2010). Beim nicht parametrischen Wilcoxon-Test diente der Korrelationskoeffizient ( $r$ ) als Maß der Effektstärke (0,1=kleiner Effekt, 0,3=mittlerer Effekt, 0,5=großer Effekt) (Cohen, 1992).

Die Gruppen wurden anhand der Messwertdifferenzen zwischen Eingangs- und Ausgangstestung miteinander verglichen. Mittels der ANOVA wurde überprüft, ob

statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der Messwertdifferenzen der Variablen bestanden. Für den Fall eines signifikanten Ergebnisses bei der ANOVA wurde ein Post-hoc-Test (Bonferroni-Test) durchgeführt. Dieser Test stellt fest, zwischen welchen Gruppen ein statistisch signifikanter Unterschied besteht. Bei statistischer Signifikanz der ANOVA wurde des Weiteren die Effektstärke ( $\eta^2$ , Eta-Quadrat) ermittelt. Die Werte 0,01 (kleiner Effekt), 0,06 (mittlerer Effekt) und 0,14 (großer Effekt) markierten die Schwellenwerte (Ellis, 2010).

Zur weiteren Datenvisualisierung wurden die Messungen mittels deskriptiver Statistik übersichtlich präsentiert. Anhand der Darstellung von Diagrammen mit entsprechenden Mittelwerten mit dazugehörigen Standardabweichungen können abschließende Beobachtungen gemacht werden.

## 5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Untersuchung präsentiert. Neben den Ergebnissen der erhobenen Variablen werden Informationen zu den demografischen Merkmalen der Stichprobe dieser Untersuchung dargestellt.

### 5.1 Merkmale der Stichprobe an Baseline

Die Stichprobe dieser Arbeit wurde in drei Gruppen aufgeteilt. Die Probandinnen und Probanden wurden anhand ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme stratifiziert randomisiert eingeteilt.

Bei den folgenden Daten handelt es sich um Mittelwerte mit dazugehörigen Standardabweichungen zum Zeitpunkt der Eingangstestung (Baseline, T0). Die Werte wurden auf eine Dezimalstelle gerundet.

Tab. 2: Merkmale der Stichprobe an Zeitpunkt T0

	Ausdauertraining (n=8)	Concurrent Training (n=10)	Kontrollgruppe (n=12)	Gesamt (n=30)
Alter	$39,6 \pm 13,3$	$42,5 \pm 14,6$	$41,8 \pm 11,4$	$41,5 \pm 12,6$
Geschlecht (♂/♀)	1/7	3/7	3/9	7/23
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	$24,3 \pm 2,4$	$25,6 \pm 3,1$	$25,2 \pm 3,9$	$25,1 \pm 3,3$
Tage seit Infektion (Infektion bis T0)	$204,8 \pm 106,1$	$238,1 \pm 160,6$	$292,4 \pm 226,4$	$250,9 \pm 177,6$

Anmerkung: Werte dargestellt als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung

Wie in Tabelle 2 ersichtlich, wurden dreißig nicht hospitalisierte PCS-Betroffene untersucht. Das Durchschnittsalter betrug über die Gruppen hinweg 41,5 Jahre. Insgesamt waren dreiundzwanzig Frauen und sieben Männer Teil der Untersuchung (76,7% Frauen, 23,3% Männer). Der Body-Mass-Index (BMI) aller Probandinnen und Probanden lag im Mittel bei 25,1. In der Gesamtheit lagen im Durchschnitt 250,9 Tage zwischen der Infektion und der Eingangstestung.

Die Teilnehmenden wurden in zwei Trainingsgruppen und eine Kontrollgruppe aufgeteilt. Die Gruppe Ausdauertraining umfasste acht Personen, die Gruppe Concurrent Training zehn Personen und die Kontrollgruppe zwölf Personen.

Die Daten in Bezug auf das Alter waren innerhalb der Gruppen (Auszauertraining:  $39,6 \pm 13,3$ , Concurrent Training:  $42,5 \pm 14,6$ , Kontrollgruppe:  $41,8 \pm 11,4$ ) normalverteilt. Infolgedessen wurde eine ANOVA durchgeführt. Diese zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen an T0 ( $F(2, 27) = 0,12, p = 0,891$ ).

Folgende Verteilung ergab sich in Bezug auf das Geschlecht. In der Gruppe Ausdauertraining betrug der Männeranteil 12,5 Prozent und der Frauenanteil 87,5 Prozent, in der Gruppe Concurrent Training befanden sich 30 Prozent Männer und 70 Prozent Frauen und die Kontrollgruppe bestand zu 25 Prozent aus Männern und zu 75 Prozent aus Frauen.

Der Body-Mass-Index (BMI) lag am Tag der Eingangstestung in der Gruppe Ausdauertraining bei  $24,3 \pm 2,4$ , in der Gruppe Concurrent Training bei  $25,6 \pm 3,1$  und in der Kontrollgruppe bei  $25,2 \pm 3,9$ . Die Daten des BMI zum Zeitpunkt T0 waren in den Gruppen normalverteilt. Die anschließende ANOVA zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen an T0 ( $F(2, 27) = 0,35, p = 0,708$ ).

Die Infektion mit dem SARS-CoV-2-Virus lag bei der Gruppe Ausdauertraining  $204,8 \pm 106,1$  Tage, bei der Gruppe Concurrent Training  $238,1 \pm 160,6$  Tage und bei der Kontrollgruppe  $292,4 \pm 226,4$  Tage zurück. Die Daten waren nicht in allen Gruppen normalverteilt. Der Kruskal-Wallis-Test ( $H(2) = 0,54, p = 0,764$ ) zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen an T0.

## 5.2 Ergebnisse der erhobenen Variablen

Nun werden die Ergebnisse der im Mittelpunkt dieser Arbeit stehenden Variablen präsentiert.

In einem ersten Schritt wurde untersucht, ob es an der Baseline (Zeitpunkt T0) statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der erhobenen Variablen gab. Anschließend wurde überprüft, ob es innerhalb der Gruppen (Intragruppeneffekte) statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Pre- und Post-Messungen gab. Darauffolgend wurde ermittelt, ob signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Intergruppeneffekte) nach zwölf Wochen Studieneinschluss bestanden. Hierzu wurden die Messwertdifferenzen zwischen T0 (Eingangstestung) und T2 (Ausgangstestung) zwischen den Gruppen verglichen.

Folgend eine Auflistung der erhobenen Variablen mit dazugehörigen Abkürzungen und Einheiten: Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ / Einheit: ml/min/kg), Kraft Untere Extremitäten/ Beinkraft (Kraft UE/ Einheit: N), Handgriffkraft der dominanten Hand (HGK/ Einheit: kg), Short Form Gesundheitsfragebogen (SF-36/ Einheit: Score), Fatigue Severity Scale (FSS/ Einheit: Score)

Bei den Daten der Variablen handelt es sich um Mittelwerte mit dazugehörigen Standardabweichungen. Die Werte wurden auf eine Dezimalstelle gerundet. Die p-Werte wurden auf drei und die Werte der Effektstärken ( $\eta^2$ ) auf zwei Dezimalstellen gerundet. Die Effektstärke wurde nicht angegeben, wenn der p-Wert über dem Signifikanzniveau lag.

### 5.2.1 Gruppenvergleich an Baseline

*Tab. 3: Werte an Baseline (T0) – Darstellung Pre-Messungen und Gruppenvergleiche (ANOVA)*

Variable	Ausdauertraining	Concurrent Training	Kontrollgruppe	p
	Pre	Pre	Pre	
$\text{VO}_{2\text{max}}$ (ml/min/kg)	$30,1 \pm 6,9$	$29,6 \pm 5,7$	$28,4 \pm 6$	0,815
Kraft UE (N)	$1353,5 \pm 246,1$	$1604,6 \pm 586,3$	$1299,1 \pm 226$	0,368**
HGK (kg)	$32,4 \pm 4,2$	$37,6 \pm 9,9$	$33,6 \pm 7,3$	0,450*
SF-36 (Score)	$61,2 \pm 11,5$	$62,3 \pm 12,7$	$60,3 \pm 13,7$	0,936
FSS (Score)	$5,1 \pm 0,7$	$4,7 \pm 0,8$	$4,7 \pm 1,3$	0,633*

Abkürzungen:  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , Maximale Sauerstoffaufnahme; Kraft UE, Kraft Untere Extremitäten/ Beinkraft; HGK, Handgriffkraft; SF-36, Short Form Gesundheitsfragebogen; FSS, Fatigue Severity Scale

Anmerkungen: Messungen dargestellt als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung; p (Signifikanzwert, ANOVA); \* Kruskal-Wallis-Test (Normalverteilung nicht gegeben); \*\* Welch-ANOVA (Varianzhomogenität nicht gegeben)

In Tabelle 3 werden die T0-Werte der Gruppen und die Signifikanzwerte der Gruppenvergleiche (ANOVA) an T0 zu den erhobenen Variablen präsentiert. Die statistische Analyse zeigte, dass es an der Baseline (T0) bei den Variablen  $\text{VO}_{2\text{max}}$  ( $F(2, 27)=0,21, p=0,815$ ), Kraft UE ( $F(2, 14,29)=1,07, p=0,368$ ), HGK ( $H(2)=1,6, p=0,450$ ), SF-36 ( $F(2, 27)=0,07, p=0,936$ ) und FSS ( $H(2)=0,91, p=0,633$ ) keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen gab.

Tab. 4: Intragruppeneffekte – Darstellung Pre- & Post-Messungen und statistische Auswertung (gepaarter t-Test) der Interventionsgruppen und Kontrollgruppe (keine Intervention) bei Personen mit Post-COVID-Syndrom

Variable	Ausdauertraining			Concurrent Training			Kontrollgruppe		
	Pre	Post	p	Pre	Post	p	Pre	Post	p
		g			g			g	
VO <sub>2max</sub> (ml/min/kg)	30,1 ± 6,9	34,6 ± 8,1	< 0,001 <sup>a</sup>	2,64	29,6 ± 5,7	32,8 ± 5,9	0,005 <sup>a</sup>	1,08	28,4 ± 6
Kraft UE (N)	1353,5 ± 246,1	1518,1 ± 395,6	0,056	***	1604,6 ± 586,3	1904,7 ± 820,4	0,004** <sup>a</sup>	0,89 <sup>r</sup>	1299,1 ± 226
HGK (kg)	32,4 ± 4,2	34,6 ± 5,5	0,039 <sup>a</sup>	0,796 <sup>o</sup>	37,6 ± 9,9	38,3 ± 9,1	0,480	***	33,6 ± 7,3
SF-36 (Score)	61,2 ± 11,5	78,5 ± 8,9	0,006 <sup>a</sup>	1,23	62,3 ± 12,7	76,8 ± 9,5	< 0,001 <sup>a</sup>	1,52	60,3 ± 13,7
FSS (Score)	5,1 ± 0,7	3,8 ± 1,5	0,005 <sup>a</sup>	1,26	4,7 ± 0,8	3,8 ± 1,2	0,007 <sup>a</sup>	0,99	4,7 ± 1,3

Abkürzungen: VO<sub>2max</sub>, Maximale Sauerstoffaufnahme; Kraft UE, Kraft Untere Extremitäten/ Beinkraft; HGK, Handgriffkraft; SF-36, Short Form Gesundheitsfragebogen; FSS, Fatigue Severity Scale

Anmerkungen: Messungen dargestellt als Mittelwerte ± Standardabweichung; p (Signifikanzwert, gepaarter t-Test, zweiseitig); g (Hedges g, Effektstärke);  
<sup>a</sup> r (Korrelationskoeffizient, Effektstärke); <sup>o</sup> statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ); <sup>o</sup> genaues Ergebnis angegeben, da knapp unter Effektschwelle (0,8); <sup>\*\*</sup> Wilcoxon-Test, zweiseitig (Normalverteilung nicht gegeben); <sup>\*\*\*</sup> Effektstärke nicht angegeben, wenn p statistisch nicht signifikant

## **5.2.2 Intragruppeneffekte**

Die unter diesem Punkt präsentierten Ergebnisse beziehen sich auf die Auswertungen aus Tabelle 4. Es wurde anhand des t-Tests (gepaarter t-Test, zweiseitig) überprüft, ob innerhalb der Gruppen (AD, CT, KG) statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Eingangs-(T0) und Ausgangstestungen (T2) bestanden.

Die VO<sub>2max</sub> stieg signifikant von T0 zu T2 in den Interventionsgruppen Ausdauertraining ( $M_{Diff}=4,5$ ,  $t(7)=8,42$ ,  $p<0,001$ ,  $g=2,64$ ) und Concurrent Training ( $M_{Diff}=3,2$ ,  $t(9)=3,75$ ,  $p=0,005$ ,  $g=1,08$ ). Innerhalb der Kontrollgruppe gab es keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der VO<sub>2max</sub> zwischen den Messzeitpunkten ( $t(11)=1,03$ ,  $p=0,324$ ).

Die Kraft UE stieg signifikant nach dem zwölfwöchigen Studieneinschluss in der Gruppe Concurrent Training ( $z=2,67$ ,  $p=0,004$ ,  $r=0,89$ ) und der Kontrollgruppe ( $M_{Diff}=134,2$ ,  $t(11)=2,32$ ,  $p=0,040$ ,  $g=0,62$ ). Die Gruppe Ausdauertraining erfuhr keine signifikante Veränderung der Kraft UE zwischen den Messzeitpunkten ( $t(7)=2,29$ ,  $p=0,056$ ).

Die Gruppe Ausdauertraining vernahm eine signifikante Steigerung der HGK ( $M_{Diff}=2,1$ ,  $t(7)=2,53$ ,  $p=0,039$ ,  $g=0,796$ ). Bei der Gruppe Concurrent Training ( $t(9)=0,74$ ,  $p=0,480$ ) und der Kontrollgruppe ( $t(11)=1,69$ ,  $p=0,120$ ) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten bezüglich der HGK.

Alle drei Gruppen erfuhren eine signifikante Veränderung der SF-36 Scores von T0 zu T2. Die Gruppe Ausdauertraining ( $M_{Diff}=17,3$ ,  $t(7)=3,9$ ,  $p=0,006$ ,  $g=1,23$ ), die Gruppe Concurrent Training ( $M_{Diff}=14,6$ ,  $t(9)=5,26$ ,  $p<0,001$ ,  $g=1,52$ ) und die Kontrollgruppe ( $M_{Diff}=7,4$ ,  $t(11)=2,22$ ,  $p=0,049$ ,  $g=0,6$ ) erzielten eine signifikante Steigerung.

Der FSS Score sank signifikant von T0 zu T2 in den Gruppen Ausdauertraining ( $M_{Diff}=-1,3$ ,  $t(7)=-4,01$ ,  $p=0,005$ ,  $g=1,26$ ) und Concurrent Training ( $M_{Diff}=-0,9$ ,  $t(9)=-3,44$ ,  $p=0,007$ ,  $g=0,99$ ). Die Kontrollgruppe ( $t(11)=-0,89$ ,  $p=0,392$ ) erfuhr keine signifikante Veränderung des Scores von T0 zu T2.

### **5.2.2.1 Intragruppeneffekte – Extremwert (Ausreißer)**

In der Gruppe Concurrent Training wurde ein Wert erzielt, der nach SPSS einen Extremwert darstellt. Der Wert wurde in den Berechnungen belassen, da es ein echter Wert ist und kein Messfehler. In einer größeren Stichprobe stellt dieser Wert möglicherweise keinen Ausreißer dar. Aufgrund des Ausreißers war die Normalverteilung nicht gegeben und ein nicht parametrischer Test wurde durchgeführt. Durch Entfernen dieses Werts waren die Daten

normalverteilt und der gepaarte t-Test konnte durchgeführt werden. Folgend das t-Test-Ergebnis mit den von dem Extremwert bereinigten Daten.

In der Gruppe Concurrent Training wies eine Person einen Extremwert bei der Variable Kraft UE auf. Durch Entfernen dieses Werts änderten sich die Mittelwerte und Standardabweichungen (T0:  $1477,4 \pm 475,9$ , T2:  $1668,9 \pm 444,3$ ), es blieb bei einer signifikanten Steigerung der Kraft UE von T0 zu T2 ( $t(7)=4,69$ ,  $p=0,002$ ) und die Effektgröße (g) lag bei 1,47.

*Tab. 5: Intergruppeneffekte – Darstellung Pre- & Post-Messungen und Gruppenvergleiche (ANOVA, Messwertdifferenzen Pre-Post) bei Personen mit Post-COVID-Syndrom*

Variable	Ausdauertraining		Concurrent Training		Kontrollgruppe		p	$\eta^2$
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post		
VO <sub>2max</sub> (ml/min/kg)	30,1 ± 6,9	34,6 ± 8,1	29,6 ± 5,7	32,8 ± 5,9	28,4 ± 6	28,9 ± 6	< 0,001 <sup>a</sup>	0,43
Kraft UE (N)	1353,5 ± 246,1	1518,1 ± 395,6	1604,6 ± 586,3	1904,7 ± 820,4	1299,1 ± 226	1433,3 ± 309,4	0,416**	***
HGK (kg)	32,4 ± 4,2	34,6 ± 5,5	37,6 ± 9,9	38,3 ± 9,1	33,6 ± 7,3	35,3 ± 6,2	0,559	***
SF-36 (Score)	61,2 ± 11,5	78,5 ± 8,9	62,3 ± 12,7	76,8 ± 9,5	60,3 ± 13,7	67,7 ± 14,4	0,128	***
FSS (Score)	5,1 ± 0,7	3,8 ± 1,5	4,7 ± 0,8	3,8 ± 1,2	4,7 ± 1,3	4,4 ± 1,4	0,061	***

Abkürzungen: VO<sub>2max</sub>, Maximale Sauerstoffaufnahme; Kraft UE, Kraft Untere Extremitäten/ Beinkraft; HGK, Handgriffkraft; SF-36, Short Form

Gesundheitsfragebogen; FSS, Fatigue Severity Scale

Anmerkungen: Messungen dargestellt als Mittelwerte ± Standardabweichung; p (Signifikanzwert, ANOVA);  $\eta^2$  (Eta-Quadrat, Effektstärke);

<sup>a</sup> statistisch signifikant ( $p<0,05$ ); \*\* Kruskal-Wallis-Test (Normalverteilung nicht gegeben); \*\*\* Effektstärke nicht angegeben, wenn p statistisch nicht signifikant

### **5.2.3 Intergruppeneffekte**

Die unter diesem Punkt dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die Auswertungen aus Tabelle 5. Es wurde überprüft, ob statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der Messwertdifferenzen zwischen T0 und T2 bestanden. Hierzu wurden die Messwertdifferenzen der Variablen berechnet und zwischen den Gruppen anhand der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) verglichen.

Die ANOVA zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der Messwertdifferenzen der VO<sub>2</sub>max ( $F(2, 27)=10,18, p<0,001, \eta^2=0,43$ ). Der anschließende Bonferroni-post-hoc-Test zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Interventionsgruppen im Vergleich zu der Kontrollgruppe. Signifikant höhere VO<sub>2</sub>max-Messwertdifferenzen verzeichneten die Gruppe Ausdauertraining im Vergleich zu der Kontrollgruppe ( $M_{Diff}=4, p<0,001, 95\%-KI [1,62, 6,38]$ ) und die Gruppe Concurrent Training im Vergleich zu der Kontrollgruppe ( $M_{Diff}=2,7, p=0,014, 95\%-KI [0,47, 4,93]$ ). Zwischen der Gruppe Ausdauertraining im Vergleich zu der Gruppe Concurrent Training bestand kein signifikanter Unterschied ( $p=0,572, 95\%-KI [-1,17, 3,77]$ ).

Die Variablen Kraft UE ( $H(2)=1,75, p=0,416$ ), HGK ( $F(2, 27)=0,6, p=0,559$ ), SF-36 ( $F(2, 27)=2,22, p=0,128$ ) und FSS ( $F(2, 27)=3,11, 0,061$ ) wiesen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen auf.

#### **5.2.3.1 Intergruppeneffekte – Extremwert (Ausreißer)**

Bezüglich der Messwertdifferenzen erzeugte eine Person aus der Gruppe Concurrent Training bei der Variable Kraft UE einen Extremwert. Die Berechnung ohne diesen Wert ergab ebenfalls ein nicht signifikantes Ergebnis im Intergruppenvergleich (ANOVA:  $F(2, 25)=0,24, p=0,785$ ).

### **5.2.4 Deskriptive Statistik der Variablen**

In diesem Abschnitt werden mittels deskriptiver Statistik die Variablen (VO<sub>2</sub>max, Kraft UE, HGK, SF-36, FSS) der Stichprobe präsentiert und übersichtlich dargestellt. Durch die Darstellung von Diagrammen wird ein abschließender Überblick über die Ergebnisse gegeben.

Die Balkendiagramme dienen der Datenvisualisierung. Die Höhe des Balkens präsentiert den Mittelwert der Variable und der Fehlerbalken die Standardabweichung. Die Werte wurden auf eine Dezimalstelle gerundet. Die p-Werte wurden auf drei und die Werte der

Effektstärke (g) auf zwei Dezimalstellen gerundet. Die Effektstärke wurde nicht angegeben, wenn der p-Wert über dem Signifikanzniveau lag. Pre (T0, Eingangstestung) und Post (T2, Ausgangstestung) stellen die Messzeitpunkte dar.

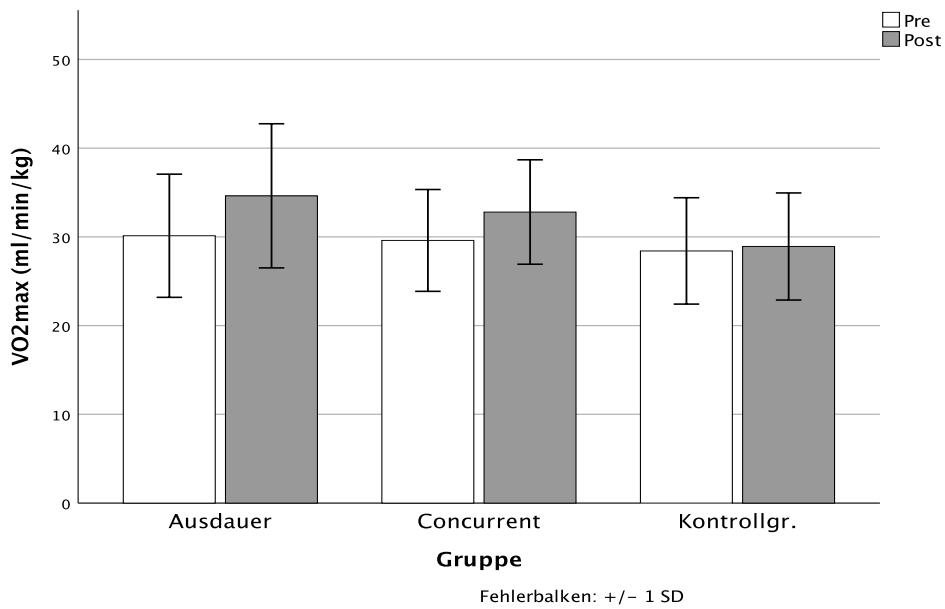


Abb. 3: Mittelwert und Standardabweichung –  $VO_{2\text{max}}$

In Abbildung 3 ist erkennbar, dass die Kontrollgruppe (T0:  $28,4 \pm 6,0$ , T2:  $28,9 \pm 6,0$ ,  $M_{\text{Diff}}=0,5$ ,  $p=0,324$ ) die geringste Veränderung über den beobachteten Zeitraum (T0 bis T2) hinweg hinsichtlich der  $VO_{2\text{max}}$  vollzog. Die Gruppe Ausdauertraining (T0:  $30,1 \pm 6,9$ , T2:  $34,6 \pm 8,1$ ,  $M_{\text{Diff}}=4,5$ ,  $g=2,64$ ) und die Gruppe Concurrent Training (T0:  $29,6 \pm 5,7$ , T2:  $32,8 \pm 5,9$ ,  $M_{\text{Diff}}=3,2$ ,  $g=1,08$ ) erfuhrn große Effekte.

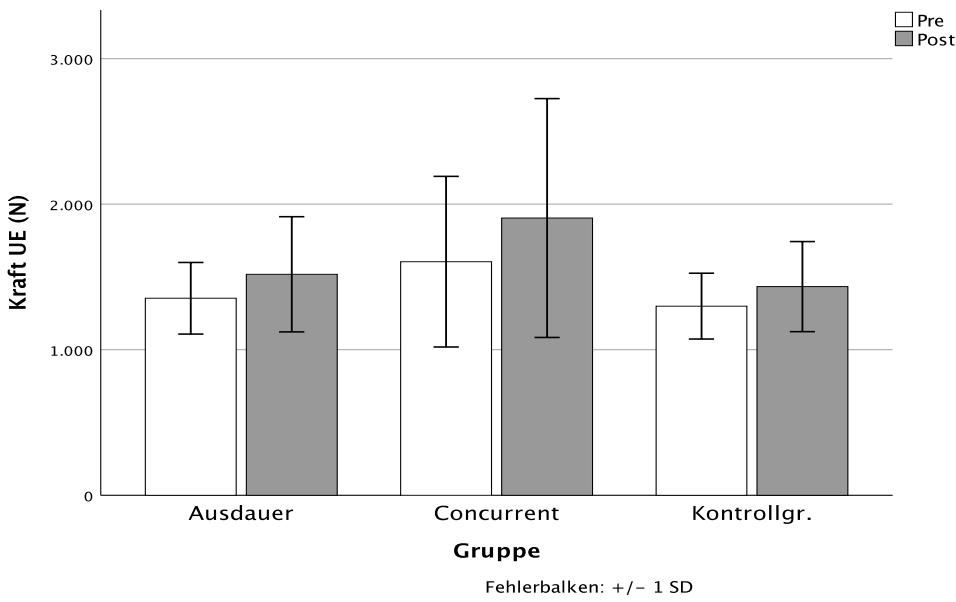


Abb. 4: Mittelwert und Standardabweichung – Kraft UE

Abbildung 4 zeigt, dass die Gruppe Concurrent Training einen großen Effekt hinsichtlich einer Verbesserung der Kraft UE verzeichnete ( $T_0: 1604,6 \pm 586,3$ ,  $T_2: 1904,7 \pm 820,4$ ,  $M_{\text{Diff}}=300,1$ ,  $r=0,89$ ). Dahinter folgten die Kontrollgruppe ( $T_0: 1299,1 \pm 226$ ,  $T_2: 1433,3 \pm 309,4$ ,  $M_{\text{Diff}}=134,2$ ,  $g=0,62$ ) und die Gruppe Ausdauertraining ( $T_0: 1353,5 \pm 246,1$ ,  $T_2: 1518,1 \pm 395,6$ ,  $M_{\text{Diff}}=164,6$ ,  $p=0,056$ ).

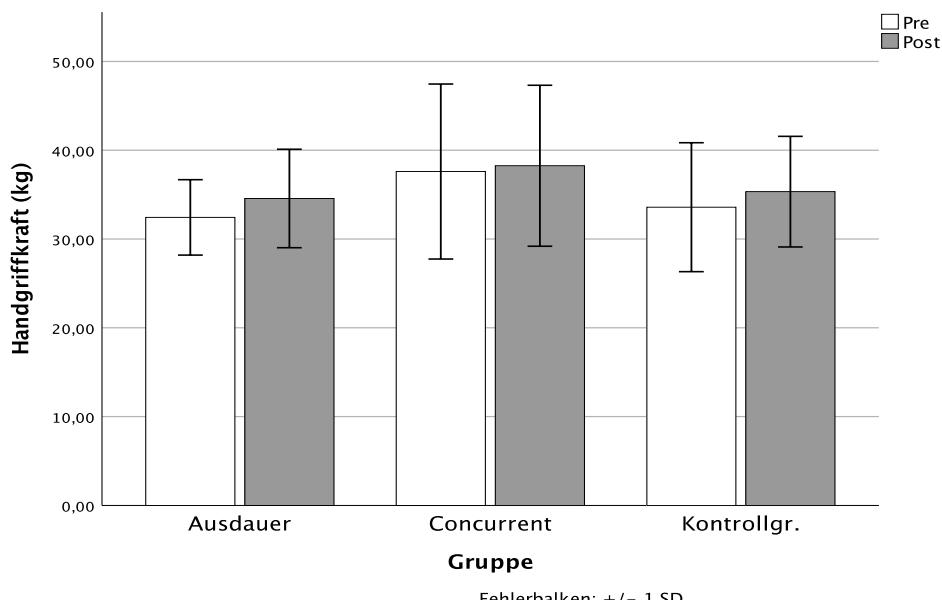
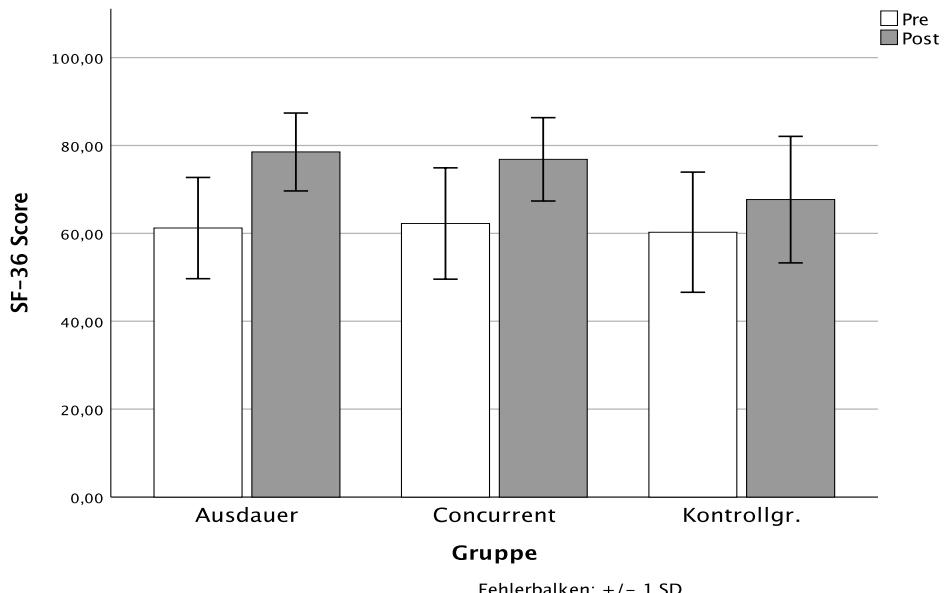


Abb. 5: Mittelwert und Standardabweichung – HGK

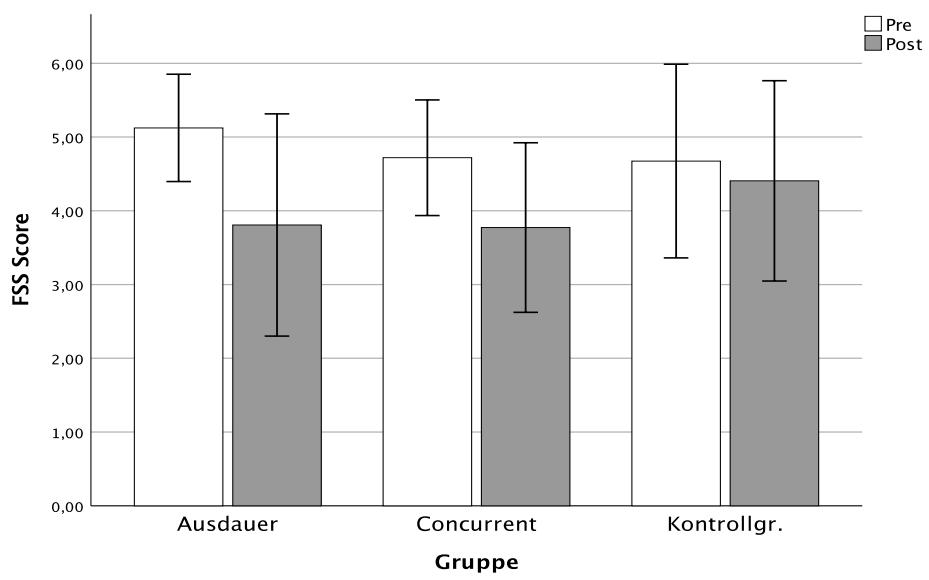
Die Gruppe Ausdauertraining ( $T_0: 32,4 \pm 4,2$ ,  $T_2: 34,6 \pm 5,5$ ,  $M_{\text{Diff}}=2,1$ ,  $g=0,796$ ) vernahm eine signifikante Steigerung der Handgriffkraft der dominanten Hand, wie in Abbildung 5 zu sehen ist. Die Kontrollgruppe ( $T_0: 33,6 \pm 7,3$ ,  $T_2: 35,3 \pm 6,2$ ,  $M_{\text{Diff}}=1,8$ ,  $p=0,120$ ) und die

Gruppe Concurrent Training (T0:  $37,6 \pm 9,9$ , T2:  $38,3 \pm 9,1$ ,  $M_{Diff}=0,7$ ,  $p=0,480$ ) lagen über dem Signifikanzniveau.



*Abb. 6: Mittelwert und Standardabweichung – SF-36*

Wie in Abbildung 6 dargestellt, machte die Kontrollgruppe den kleinsten Schritt in Hinsicht auf eine Steigerung des SF-36 Scores (T0:  $60,3 \pm 13,7$ , T2:  $67,7 \pm 14,4$ ,  $M_{Diff}=7,4$ ,  $g=0,6$ ). Im Vergleich zur Kontrollgruppe realisierten die Interventionsgruppen Ausdauertraining (T0:  $61,2 \pm 11,5$ , T2:  $78,5 \pm 8,9$ ,  $M_{Diff}=17,3$ ,  $g=1,23$ ) und Concurrent Training (T0:  $62,3 \pm 12,7$ , T2:  $76,8 \pm 9,5$ ,  $M_{Diff}=14,6$ ,  $g=1,52$ ) große Effekte.



*Abb. 7: Mittelwert und Standardabweichung – FSS*

Abbildung 7 zeigt den Wandel der Variable FSS über den zwölfwöchigen Studieneinschluss hinweg. Die Gruppen Ausdauertraining (T0:  $5,1 \pm 0,7$ , T2:  $3,8 \pm 1,5$ ,  $M_{\text{Diff}} = -1,3$ ,  $g = 1,26$ ) und Concurrent Training (T0:  $4,7 \pm 0,8$ , T2:  $3,8 \pm 1,2$ ,  $M_{\text{Diff}} = -0,9$ ,  $g = 0,99$ ) senkten ihren Score signifikant und verzeichneten große Effekte. Bei der Kontrollgruppe (T0:  $4,7 \pm 1,3$ , T2:  $4,4 \pm 1,4$ ,  $M_{\text{Diff}} = -0,3$ ,  $p = 0,392$ ) kam es zu keinem signifikanten Unterschied von T0 zu T2.

## **6 Diskussion**

Ziel dieser Arbeit war es zu überprüfen, wie sich eine zwölfwöchige Trainingsintervention auf die maximale Sauerstoffaufnahme, Kraftwerte, Lebensqualität und Fatigue von Post-COVID-Syndrom-Betroffenen, die keine Hospitalisierung im Rahmen ihrer COVID-19-Erkrankung erfuhren, auswirkt. Die Untersuchung zeigte, dass ein zwölfwöchiges betreutes und strukturiertes körperliches Training, sowohl in Form eines Ausdauertrainings als auch eines Concurrent Trainings, eine effektive Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme, der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und der Fatigue von PCS-Betroffenen erzielt. Die Gruppe Concurrent Training profitierte des Weiteren von einer hohen Kraftsteigerung.

COVID-19 kann zu vielfältigen Folgeerkrankungen führen und unterschiedlichste Systeme des Körpers betreffen (O'Connor, 2020; Fernández-de-las-Peñas et al., 2021). Körperliche Aktivität kann sich positiv auf die heterogenen Symptome des PCS auswirken (Jimeno-Almazán et al., 2021).

In der Bezeichnung des Virus erscheint bereits ein an der Erkrankung beteiligtes System, nämlich das respiratorische System. Ins Deutsche übersetzt bedeutet die Bezeichnung SARS (severe acute respiratory syndrome) aus SARS-CoV-2 so viel wie schweres akutes respiratorisches Syndrom. Laut Kessel et al. (2022) beeinträchtigt COVID-19 das respiratorische System. Im Zuge der Untersuchung dieser Masterarbeit wurden die Eingangs- (T0) und Ausgangswerte (T2) der maximalen Sauerstoffaufnahme analysiert, um einen möglichen Effekt der Trainingsinterventionen auf diese Variable feststellen zu können.

Studien deuten darauf hin, dass die funktionelle Fitness aufgrund von längerer Immobilität nach einer Infektion abnehmen kann (Xiong et al., 2021). Körperliche Aktivität kann sich in ihrer Dauer und Intensität als Folge einer COVID-19-Erkrankung verringern (Almando et al., 2020). Kraft und Muskelmasse nehmen bei anhaltender körperlicher Inaktivität ab (Paddon-Jones et al., 2006). Muskelschwäche und Muskelschmerzen können PCS-Betroffene beeinträchtigen (Jimeno-Almazán et al., 2021). Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde ausgewertet, ob die Kraftwerte der Probandinnen und Probanden nach dem zwölfwöchigen Studieneinschluss Veränderungen erfuhren.

PCS kann psychische Einschränkungen nach sich ziehen (Jimeno-Almazán et al., 2021). Die physische und psychische Gesundheit stehen beim Short Form 36 Gesundheitsfragebogen im Mittelpunkt und werden gemessen (Brazier et al., 1992). Der SF-36 wurde zu Beginn und

am Ende der zwölfwöchigen Beobachtungsphase dieser Untersuchung angewandt, um mögliche Veränderungen hinsichtlich der gesundheitsbezogenen Lebensqualität dokumentieren zu können.

Laut Haller et al. (2022) gehört die postvirale Fatigue zu den bedeutendsten Krankheitsfolgen von COVID-19. Fernández-de-las-Peñas et al. (2021) identifizierten in ihrem Review die Fatigue als das am häufigsten genannte Symptom bei nicht hospitalisierten COVID-19-Betroffenen 90 Tage nach Beginn des Symptomerlebens aufgrund von COVID-19. Die Fatigue Severity Scale (FSS) wurde im Zuge der Untersuchung dieser Masterarbeit bei der Eingangs- und Ausgangstestung eingesetzt, um den Verlauf dieser Symptomatik beobachten zu können.

## **6.1 Stichprobenmerkmale**

Die Daten bezüglich Alter ( $p=0,891$ ), BMI ( $p=0,708$ ) und Tage seit Infektion (Infektion bis T0) ( $p=0,764$ ) wiesen zum Zeitpunkt der Eingangstestung (T0) keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen (AD, CT, KG) auf.

## **6.2 Diskussion der erhobenen Variablen**

Folgend werden die Ergebnisse der erhobenen Variablen (VO<sub>2</sub>max, Kraft UE, HGK, SF-36, FSS) diskutiert.

### **6.2.1 Gruppenvergleich an Baseline**

Der Gruppenvergleich zum Zeitpunkt T0 zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen bei den erhobenen Variablen (VO<sub>2</sub>max:  $p=0,815$ , Kraft UE:  $p=0,368$ , HGK:  $p=0,450$ , SF-36:  $p=0,936$ , FSS:  $p=0,633$ ).

Die Teilnehmenden wurden anhand ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme stratifiziert randomisiert eingeteilt. Infolgedessen gab es an T0 keinen statistisch signifikanten Unterschied bezüglich der VO<sub>2</sub>max zwischen den drei Gruppen ( $p=0,815$ ). Laut Mehrholz (2010) dient die Stratifizierung als Instrument, mit dem die Startbedingungen vereinheitlicht werden können und die Qualität der Studie erhöht werden kann.

### **6.2.2 Maximale Sauerstoffaufnahme**

Die Intragruppenergebnisse zeigten, dass die maximale Sauerstoffaufnahme in den Interventionsgruppen im Gegensatz zur Kontrollgruppe über den zwölfwöchigen Studieneinschluss hinweg signifikant stieg. Die Gruppe Ausdauertraining ( $g=2,64$ ) und die Gruppe Concurrent Training ( $g=1,08$ ) erzielten einen großen Effekt ( $g>0,8$ ). Im

Intergruppenvergleich gab es signifikante Unterschiede bezüglich der Messwertdifferenzen zwischen den Interventionsgruppen im Vergleich zu der Kontrollgruppe.

Schon ein Anstieg der VO<sub>2</sub>max von >1 ml/min/kg wird bei Personen mit kardiopulmonaler Erkrankung als klinisch relevant bezeichnet und kann bedeutsame positive Auswirkungen auf das Sterberisiko haben (Taylor et al., 2021).

Die Gruppe Ausdauertraining verbesserte ihren VO<sub>2</sub>max-Wert im Mittel um 4,5 ml/min/kg und die Gruppe Concurrent Training verbesserte ihren Wert im Mittel um 3,2 ml/min/kg. Damit lagen die beiden Gruppen nach der Intervention merklich über der angesprochenen Schwelle von Taylor et al. (2021) von >1 ml/min/kg.

Jimeno-Almazán et al. (2022) kamen bei ihrer achtwöchigen Interventionsstudie mit PCS-Betroffenen auf ähnliche Ergebnisse. Bei ihrer Untersuchung absolvierten Probandinnen und Probanden ein Concurrent Training. Nach der Intervention wurde eine signifikante Steigerung der VO<sub>2</sub>max im Mittel von 2,1 ml/min/kg vernommen.

Die Kontrollgruppe erfuhr im Zuge der Untersuchung dieser Masterarbeit eine Verbesserung im Mittel um 0,5 ml/min/kg und damit keine signifikante Veränderung.

Die Ergebnisse zeigten eine effektive Wirkung der vorgenommenen Trainingsinterventionen auf die Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme.

### 6.2.3 Beinkraft

Bei einigen Messungen können, wenn ein längerer Zeitraum vergeht, gewisse spontane Verbesserungen auftreten. Dies kann unterschiedliche Gründe haben, wie zum Beispiel unspezifische Interventionen, die Erholung von beruflichen Tätigkeiten und die Aufhebung von COVID-19-Restriktionen (Jimeno-Almazán et al., 2022).

Die Intragruppenergebnisse stellten dar, dass die Kraft UE in der Gruppe Concurrent Training und in der Kontrollgruppe signifikant stieg. Die Gruppe Concurrent Training ( $r=0,89$ ) verzeichnete einen großen Effekt, die Kontrollgruppe ( $g=0,62$ ) einen mittleren. Ohne den in Punkt 5.2.2.1 erwähnten Extremwert in der Gruppe Concurrent Training lag die Effektstärke ( $g$ ) dieser Gruppe bei 1,47 ( $g>0,8$ , großer Effekt). Die Gruppe Ausdauertraining erreichte das Signifikanzniveau knapp nicht ( $p=0,056$ ).

Jimeno-Almazán et al. (2022) stellten in ihrer Interventionsstudie mit PCS-Betroffenen nach einem achtwöchigen Concurrent Training ebenfalls signifikante Steigerungen von Kraftwerten mit großen Effektstärken fest.

Die Ergebnisse der Untersuchung dieser Masterarbeit zeigten einen deutlichen Effekt des Krafttrainings in der Gruppe Concurrent Training. Diese Gruppe machte den größten Schritt in Hinsicht auf die Steigerung der Variable Kraft UE.

#### **6.2.4 Handgriffkraft**

Wie in Punkt 6.2.3 angeführt, können gewisse spontane Veränderungen über den Zeitraum einer Untersuchung entstehen. Die Intragruppenergebnisse zeigten, dass die Gruppe Ausdauertraining in Bezug auf die Handgriffkraft eine signifikante Steigerung mit mittlerem Effekt ( $p=0,039$ ,  $g=0,796$ ) von T0 zu T2 vernahm. Die Gruppe Concurrent Training und die Kontrollgruppe erfuhren keine signifikante Veränderung zwischen den Messzeitpunkten.

Diesbezüglich ist zu erwähnen, dass es in keiner der beiden Interventionsgruppen spezifische kraftstärkende Übungen bezüglich der Handgriffkraft gab.

Jimeno-Almazán et al. (2022) ermittelten in ihrer Interventionsstudie mit PCS-Betroffenen ebenfalls keinen signifikanten Unterschied bei der Handgriffkraft zwischen der Eingangs- und Ausgangstestung in der Gruppe Concurrent Training.

#### **6.2.5 Gesundheitsbezogene Lebensqualität**

Wie in Punkt 6.2.3 erwähnt, kann es auch bei der Kontrollgruppe zu spontanen Verbesserungen kommen. So verbesserte sich der SF-36 Score bei allen Gruppen signifikant. Mit Blick auf die Intragruppenergebnisse wurde aber ein deutlich stärkerer Effekt innerhalb der Interventionsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe festgestellt. Die Gruppen Ausdauertraining ( $g=1,23$ ,  $M_{Diff}= 17,3$ ) und Concurrent Training ( $g=1,52$ ,  $M_{Diff}= 14,5$ ) verzeichneten im Gegensatz zur Kontrollgruppe ( $g=0,6$ ,  $M_{Diff}= 7,4$ ) große Effekte ( $g>0,8$ ).

Hanada et al. (2020) ermittelten in ihrem Review über pulmonale Rehabilitation mit körperlicher Aktivität bei Personen mit idiopathischer Lungenfibrose sehr ähnliche Mittelwertsveränderungen des SF-36 Scores.

#### **6.2.6 Fatigue**

Die Intragruppenergebnisse zeigten, dass der FSS Score in den Interventionsgruppen im Gegensatz zur Kontrollgruppe signifikant sank. Beim Gruppenvergleich wurde das Signifikanzniveau knapp nicht erreicht (ANOVA:  $p=0,061$ ), die großen Effekte innerhalb der Interventionsgruppen Ausdauertraining ( $g=1,26$ ) und Concurrent Training ( $g=0,99$ ) weisen allerdings auf eine effektive Wirkung der Interventionen hin.

Laut Pfeffer (2008) gilt auf der siebenstufigen FSS-Skala ein Mittelwert über vier als Zeichen einer erhöhten Fatigue.

Die Gruppe Ausdauertraining senkte ihren FSS Score im Mittel um 1,3 Punkte (T0:  $5,1 \pm 0,7$ , T2:  $3,8 \pm 1,5$ ) und die Gruppe Concurrent Training senkte ihren Score im Mittel um 0,9 Punkte (T0:  $4,7 \pm 0,8$ , T2:  $3,8 \pm 1,2$ ). Damit fielen die Mittelwerte beider Trainingsgruppen nach der Intervention unter die von Pfeffer (2008) angesprochene Schwelle von vier, ab der man von einer erhöhten Fatigue spricht.

In der Interventionsstudie von Jimeno-Almazán et al. (2022) wurde bei PCS-Betroffenen anhand von Concurrent Training ebenfalls ein signifikanter Unterschied mit großer Effektstärke bezüglich der FSS verzeichnet. Hier sank der FSS Score im Mittel um 1,6 Punkte (Pre:  $5,0 \pm 1,4$ , Post:  $3,4 \pm 1,7$ ).

Die Kontrollgruppe erfuhr im Rahmen der Untersuchung dieser Masterarbeit eine Senkung des FSS Scores im Mittel um 0,3 Punkte (T0:  $4,7 \pm 1,3$ , T2:  $4,4 \pm 1,4$ ) und damit keine signifikante Veränderung.

Kessel et al. (2022) berichten, dass die Fatigue das am häufigsten beobachtete persistierende Symptom in Folge einer COVID-19-Erkrankung darstellt. Die Ergebnisse der hier vorliegenden Untersuchung zeigten eine effektive Verbesserung dieses Symptoms in den beiden Interventionsgruppen.

### **6.3 Ausdauertraining vs. Concurrent Training**

Die Untersuchung zeigte, dass PCS-Betroffene sowohl von Ausdauertraining als auch von Concurrent Training profitieren.

Die  $\text{VO}_{2\text{max}}$  steigerte sich in beiden Trainingsgruppen signifikant. Die Gruppe Ausdauertraining erfuhr einen größeren Anstieg ( $M_{\text{Diff}}=4,5$ ,  $g=2,64$ ) als die Gruppe Concurrent Training ( $M_{\text{Diff}}=3,2$ ,  $g=1,08$ ). Nichtsdestotrotz erzielte die Gruppe Concurrent Training ebenfalls einen großen Effekt ( $g>0,8$ ) und lag klar über dem von Taylor et al. (2021) erwähnten Anstieg von  $>1 \text{ ml/min/kg}$ , ab dem ein Anstieg bei Personen mit kardiopulmonaler Erkrankung als klinisch relevant bezeichnet wird und bedeutsame positive Auswirkungen auf das Sterberisiko haben kann.

Die Gruppe Concurrent Training erzielte über die zwölf Wochen Studieneinschluss hinweg eine signifikante Kraftsteigerung. Die Beinkraft wurde in dieser Gruppe anhand der Beinpresse trainiert und erfuhr eine signifikante Steigerung mit großem Effekt ( $r=0,89$ ),

ohne den in Punkt 5.2.2.1 erwähnten Extremwert lag die Effektstärke ( $g$ ) dieser Gruppe bei 1,47. Im Gegensatz dazu erreichte die Gruppe Ausdauertraining das Signifikanzniveau knapp nicht ( $p=0,056$ ).

In Bezug auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität profitierten beide Interventionsgruppen von einer signifikanten Verbesserung. Sowohl die Gruppe Ausdauertraining ( $M_{Diff}=17,3$ ,  $g=1,23$ ) als auch die Gruppe Concurrent Training ( $M_{Diff}=14,5$ ,  $g=1,52$ ) verzeichneten einen großen Effekt.

Die Fatigue ist laut Kessel et al. (2022) das am häufigsten festgestellte Symptom zwölf Wochen nach der Erkrankung an COVID-19. Der FSS Score sank durch beide Trainingsformen signifikant. Ausdauertraining ( $M_{Diff}=-1,3$ ,  $g=1,26$ ) und Concurrent Training ( $M_{Diff}=-0,9$ ,  $g=0,99$ ) bewirkten große Effekte. PCS-Betroffene erfuhrten in Hinsicht auf das Erleben dieses oft beobachteten Symptoms, das bei vielen COVID-19-Betroffenen zu Einschränkungen führen kann, dementsprechend sowohl durch Ausdauertraining als auch Concurrent Training eine effektive Verbesserung.

Die Untersuchung zeigte, dass körperliche Aktivität einen umfangreichen Nutzen für PCS-Betroffene birgt. Beide Trainingsformen erzielten eine signifikante Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme, der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und der Fatigue. Durch die zusätzliche Kraftkomponente führte die Trainingsform Concurrent Training zu einer hohen Kraftsteigerung. Laut Yamamoto et al. (2022) können Muskelschwund und Funktionsstörungen des muskulären Systems die Lebensqualität verschlechtern. Martone et al. (2022) erwähnen Mobilitätseinschränkungen, Stürze und Verlust der Unabhängigkeit als mögliche Folgen von körperlicher Gebrechlichkeit. Muskuläre Einschränkungen, wie Muskelschwäche und Muskelschmerzen, können sich laut Jimeno-Almazán et al. (2021) bei PCS-Betroffenen manifestieren. Demnach kann Concurrent Training, mit der zusätzlichen Kraftkomponente, ein umfassendes Mittel sein, um PCS-Betroffene bei der Rückkehr in den Alltag und Beruf zu unterstützen.

## **7 Sicherheitsaspekte und Dropouts**

Unterschiedlichste Systeme können durch Post-COVID-Symptome betroffen werden (Fernández-de-las-Peñas et al., 2021). PCS kann zu ME/CFS beziehungsweise zu diesem Syndrom ähnlichen Symptomen führen (Décary et al., 2021). Langfristige Folgen einer Erkrankung mit COVID-19 ähneln der Charakteristik von ME/CFS (Dietzel, 2022). Die Erschöpfungslevels bei an COVID-19-Erkrankten sind laut Haller et al. (2022) mit Werten von ME/CFS-Betroffenen vergleichbar. Laut Décary et al. (2021) ist es überaus wichtig, dass die körperliche Aktivität an die Person mit Einschränkungen in Folge von COVID-19 angepasst und gut dosiert wird. Unangebrachte und oft schon geringe Belastung kann zu Überanstrengung und einem Rückfall führen. Buchberger et al. (2022) weisen auf das Pacing bei Aktivitäten mit PCS-Betroffenen hin. Das Auseinandersetzen mit den eigenen körperlichen, kognitiven und emotionalen Warnsignalen liegt hier im Fokus. Durch Pacing sollen Betroffene des PCS in der Lage sein, ihre individuelle Leistungsgrenze zu erkennen und diese nicht zu überschreiten, um auf diese Weise einen Zusammenbruch (PEM) vermeiden zu können.

Aufgrund dieser Erkenntnisse nimmt die individuelle Betreuung eine wichtige Rolle in diesem Setting ein und kann ausschlaggebend für den Erfolg einer Intervention sein.

Vor jeder Trainingseinheit füllten die Probandinnen und Probanden einen Fragebogen bezüglich des Befindens, des Energilevels, der Schlafqualität, des Empfindens von Symptomen und Schmerzen aus. Mithilfe dieser Informationen und einer verbalen Abfrage zum allgemeinen Zustand entschieden die Trainingsanleiterinnen und Trainingsanleiter, ob die Trainingseinheit plangemäß durchführbar war, eine Adaption der Trainingsinhalte vorgenommen werden musste oder die Trainingseinheit nicht durchgeführt werden sollte. Die individuelle Abstimmung der Trainingsintervention auf die Probandinnen und Probanden und die gegebenenfalls notwendige spontane Anpassung oder Absage einer Trainingseinheit können dafür verantwortlich gewesen sein, dass es nur zu einem Dropout im Rahmen dieser Untersuchung aufgrund einer Verschlechterung der Symptome gekommen ist.

Die übrigen Dropouts hatten differenzierte Gründe. Fünf Personen hatten anderweitige gesundheitliche Probleme (Infekte), fünf Personen erfuhren eine Reinfektion mit COVID-19, drei Personen hatten Probleme mit dem Commitment und eine Person wurde aufgrund einer orthopädischen Beschwerde ausgeschlossen.

## **8 Limitationen**

Da diese Stichprobe ausschließlich nicht hospitalisierte COVID-19-Fälle umfasste, sind die Ergebnisse möglicherweise nicht direkt auf andere Kohorten mit Post-COVID-Folgen übertragbar, insbesondere wenn ein erhöhter Schweregrad vorliegt oder eine Krankenhauseinweisung in der akuten Phase der Erkrankung nötig war. Etliche Studien befassten sich mit der Behandlung beziehungsweise Rehabilitation von hospitalisierten COVID-19-Fällen. Untersuchungen von nicht hospitalisierten PCS-Betroffenen gehören weiterhin zu einer Forschungslücke.

Anzumerken ist, dass der Fitnesszustand dieser Stichprobe (sechs Monate vor Studieneinschluss kein Ausdauer- oder Krafttraining >1x/Woche) im Mittel nicht mit dem von (Hochleistungs-) Sportlerinnen und Sportlern vergleichbar ist und infolgedessen die in dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse möglicherweise nicht auf andere nicht hospitalisierte Kohorten mit anderen Ausgangslagen übertragbar sind. Für nicht hospitalisierte PCS-Betroffene mit anderen Ausgangspositionen sind weitere Untersuchungen von Vorteil.

Eine größere Stichprobe verspricht eine höhere statistische Power (Teststärke), Untersuchungen in größerem Rahmen liefern weitere Erkenntnisse. Nichtsdestotrotz können die Ergebnisse dieser Untersuchung mit ihren teils großen Effektstärken als Anhaltspunkte dienen.

Bei der durchgeführten Spirometrie an der Eingangstestung wurde auf eine Familiarisation verzichtet, da das Risiko einer Verschlechterung der Symptome durch zu hohe körperliche Belastung bestand. Dieses Risiko wurde durch den Verzicht auf Familiarisation gesenkt.

## **9 Resümee**

Langfristige Folgen einer COVID-19-Erkrankung können Betroffene in ihrer Arbeitsfähigkeit und bei der Ausführung ihrer täglichen Aktivitäten einschränken (The Lancet Diabetes & Endocrinology, 2022). Symptome wie Fatigue und Atemnot sowie neuropsychiatrische Folgen des Post-COVID-Syndroms können das alltägliche Funktionsniveau beeinträchtigen. Nicht nur Personen mit schwerem akuten COVID-19-Verlauf, auch Personen mit unkomplizierterem Verlauf können das Post-COVID-Syndrom entwickeln (Hellwig & Domschke, 2022).

Die individuelle Anpassung der körperlichen Aktivität an Personen mit langfristigen Folgen einer COVID-19-Erkrankung ist von großer Bedeutung, denn schon geringe Belastung kann zu Überanstrengung führen (Décaire et al., 2021).

Die Untersuchung zeigte, dass Post-COVID-Syndrom-Betroffene, die keine Hospitalisierung im Rahmen ihrer COVID-19-Erkrankung erfuhrten, umfangreich von körperlicher Aktivität profitieren. Sowohl Ausdauertraining als auch Concurrent Training erzielten positive Effekte. Anhand beider Trainingsformen erfuhrn Post-COVID-Syndrom-Betroffene eine effektive Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme, der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und der Fatigue. Concurrent Training führte mittels der zusätzlichen Kraftkomponente zu einer deutlichen Kraftsteigerung.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung lassen darauf schließen, dass ein individuell angepasstes, strukturiertes und betreutes Programm eine effektive und sichere Vorgehensweise darstellen kann, nicht hospitalisierte Post-COVID-Syndrom-Betroffene bei der Rehabilitation zu unterstützen.

## 10 Literaturverzeichnis

Ahmed, I. (2020). COVID-19 does exercise prescription and maximal oxygen uptake (VO<sub>2</sub> max) have a role in risk-stratifying patients? *Clinical Medicine*, 20(3), 282–284. <https://doi.org/10.7861/clinmed.2020-0111>

Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Tudor-Locke, C., Greer, J. L., Vezina, J., Whitt-Glover, M. C. & Leon, A. S. (2011). 2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(8), 1575–1581. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ece12>

Almadox, J. P., Xie, L., Schellinger, J. N., Mathew, M. S., Gazda, C., Ofori, A., Kukreja, S. & Messiah, S. E. (2020). Impact of COVID-19 stay-at-home orders on weight-related behaviours among patients with obesity. *Clinical Obesity*, 10(5). <https://doi.org/10.1111/cob.12386>

Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2016). *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung*. (14). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46076-4>

Blair, S. N. (2009). Physical inactivity: the biggest public health problem of the 21st century. *British Journal of Sports Medicine*, 43(1), 1–2.

Brawner, C. A., Ehrman, J. K., Bole, S., Kerrigan, D. J., Parikh, S. S., Lewis, B. K., Gindi, R. M., Keteyian, C., Abdul-Nour, K. & Keteyian, S. J. (2021). Inverse Relationship of Maximal Exercise Capacity to Hospitalization Secondary to Coronavirus Disease 2019. *Mayo Clinic Proceedings*, 96(1), 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.10.003>

Brazier, J. E., Harper, R., Jones, N. M., O'Cathain, A., Thomas, K. J., Usherwood, T. & Westlake, L. (1992). Validating the SF-36 health survey questionnaire: new outcome measure for primary care. *BMJ*, 305(6846), 160–164. <https://doi.org/10.1136/bmj.305.6846.160>

Broadbent, S. & Coutts, R. (2016). Graded versus Intermittent Exercise Effects on Lymphocytes in Chronic Fatigue Syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(9), 1655–1663. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000957>

Buchberger, B., Zwierlein, R. & Rohde, V. (2022). Post-Corona-Fatigue – das bekannte Bild in neuem Gewand? *Der Onkologe*, 28(4), 340–346.  
<https://doi.org/10.1007/s00761-022-01102-1>

Bullinger, M., Kirchberger, I. & Ware, J. (1995). Der deutsche SF-36 Health Survey Übersetzung und psychometrische Testung eines krankheitsübergreifenden Instruments zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. *Journal of public health*, 3(1), 21–36. <https://doi.org/10.1007/BF02959944>

Cohen, J. (1992). A Power Primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155–159.  
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>

Crook, H., Raza, S., Nowell, J., Young, M. & Edison, P. (2021). Long covid—mechanisms, risk factors, and management. *BMJ (Online)*, 374, 1648–1648.  
<https://doi.org/10.1136/bmj.n1648>

Dauwan, M., Begemann, M. J. H., Slot, M. I. E., Lee, E. H. M., Scheltens, P. & Sommer, I. E. C. (2021). Physical exercise improves quality of life, depressive symptoms, and cognition across chronic brain disorders: a transdiagnostic systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Neurology*, 268(4), 1222–1246. <https://doi.org/10.1007/s00415-019-09493-9>

Décaire, S., Gaboury, I., Poirier, S., Garcia, C., Simpson, S., Bull, M., Brown, D. & Daigle, F. (2021). Humility and Acceptance: Working Within Our Limits With Long COVID and Myalgic Encephalomyelitis/Chronic Fatigue Syndrome. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 51(5), 197–200.  
<https://doi.org/10.2519/jospt.2021.0106>

Dietzel, J. (2022). Long-COVID, Post-COVID und Chronic Fatigue – Symptom, Syndrom, Diagnose. *Deutsche Zeitschrift für Akupunktur (Heidelberg, Germany : 1977)*, 65(4), 223–226. <https://doi.org/10.1007/s42212-022-00508-7>

Dowman, L. M., McDonald, C. F., Hill, C. J., Lee, A. L., Barker, K., Boote, C., Glaspole, I., Goh, N. S. L., Southcott, A. M., Burge, A. T., Gillies, R., Martin, A. & Holland, A. E. (2017). The evidence of benefits of exercise training in interstitial lung disease: a randomised controlled trial. *Thorax*, 72(7), 610–619.  
<https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2016-208638>

Dransmann. M. (2020). Hochintensives Intervalltraining vs. extensive Dauermethode : Feldstudie zum ausdauernden Laufen im Sportunterricht. *Springer Fachmedien Wiesbaden* Imprint: Springer VS, 1. <https://doi.org.uaccess.univie.ac.at/10.1007/978-3-658-29154-9>

Ellis, P. (2010). *The Essential Guide to Effect Sizes. Statistical Power, Meta-Analysis, and the Interpretation of Research Results.* Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511761676

Estevéz-Lopéz, F., Maestre-Cascales, C., Russell, D., Alvarez-Gallardo, I. C., Rodriguez-Ayllon, M., Hughes, C. M., Davison, G. W., Sañudo, B. & McVeigh, J. G. (2021). Effectiveness of Exercise on Fatigue and Sleep Quality in Fibromyalgia: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Trials. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 102(4), 752-61.  
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2020.06.019>

Fernández-de-las-Peñas, C., Palacios-Ceña, D., Gómez-Mayordomo, V., Cuadrado, M. L. & Florencio, L. L. (2021). Defining Post-COVID Symptoms (Post-Acute COVID, Long COVID, Persistent Post-COVID): An Integrative Classification. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(15), 2621. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052621>

Fernández-de-las-Peñas, C., Palacios-Ceña, D., Gómez-Mayordomo, V., Florencio, L. L., Cuadrado, M. L., Plaza-Manzano, G. & Navarro-Santana, M. (2021). Prevalence of post-COVID-19 symptoms in hospitalized and non-hospitalized COVID-19 survivors: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Internal Medicine*, 92, 55–70. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2021.06.009>

Finkelstein, F. O., van Nooten, F., Wiklund, I., Trundell, D. & Cella, D. (2018). Measurement properties of the Short Form-36 (SF-36) and the Functional Assessment of Cancer Therapy - Anemia (FACT-An) in patients with anemia associated with chronic kidney disease. *Health and Quality of Life Outcomes*, 16(1), 111–111. <https://doi.org/10.1186/s12955-018-0933-8>

Garssen, M. P., Bussmann, J. B., Schmitz, P. I., Zandbergen, A., Welter, T. G., Merkies, I. S., Stam, H. J. & van Doorn, P. A. (2004). Physical training and fatigue, fitness, and quality of life in Guillain-Barré syndrome and CIDP. *Neurology*, 63(12), 2393–2395. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000148589.87107.9c>

- Ghali, A., Richa, P., Lacout, C., Gury, A., Beucher, A.-B., Homedan, C., Lavigne, C. & Urbanski, G. (2020). Epidemiological and clinical factors associated with post-exertional malaise severity in patients with myalgic encephalomyelitis/chronic fatigue syndrome. *Journal of Translational Medicine*, 18(1), 246–246. <https://doi.org/10.1186/s12967-020-02419-4>
- Goërtz, Y. M. J., Herck, M. V., Delbressine, J. M., Vaes, A. W., Meys, R., Machado, F. V. C., Houben-Wilke, S., Burtin, C., Posthuma, R., Franssen, F. M. E., Loon, N. V., Hajian, B., Spies, Y., Vijlbrief, H., Hul, A. J., Janssen, D. J. & Spruit, M. A. (2020). Persistent symptoms 3 months after a SARS-CoV-2 infection: the post-COVID-19 syndrome? *ERJ Open Research*, 6(4), 542. <https://doi.org/10.1183/23120541.00542-2020>
- Haller, J., Kocalevent, R.-D., Nienhaus, A., Peters, C., Bergelt, C. & Koch-Gromus, U. (2022). Anhaltende Fatigue als Folge einer COVID-19-Infektion bei Beschäftigten im Gesundheitswesen: Risikofaktoren und Auswirkungen auf die Lebensqualität. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 65(4), 471–480. <https://doi.org/10.1007/s00103-022-03511-4>
- Hanada, M., Kasawara, K. T., Mathur, S., Rozenberg, D., Kozu, R., Hassan, S. A. & Reid, W. D. (2020). Aerobic and breathing exercises improve dyspnea, exercise capacity and quality of life in idiopathic pulmonary fibrosis patients: systematic review and meta-analysis. *Journal of Thoracic Disease*, 12(3), 1041–1055. <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.12.27>
- Hartescu, I., Morgan, K. & Stevenson, C. D. (2015). Increased physical activity improves sleep and mood outcomes in inactive people with insomnia: a randomized controlled trial. *Journal of Sleep Research*, 24(5), 526–534. <https://doi.org/10.1111/jsr.12297>
- Hartlieb, M.-C. (2021). Psychotherapeutisch orientierte Behandlungen beim Chronic Fatigue Syndrome. *Psychotherapie-Wissenschaft*, 11(1), 51–56. <https://doi.org/10.30820/1664-9583-2021-1-51>
- Hellwig, S. & Domschke, K. (2022). Post-COVID-Syndrom – Fokus Fatigue. *Nervenarzt*, 93(8), 788–796. <https://doi.org/10.1007/s00115-022-01306-1>

Ilmarinen, J. (2000). Job design for the aged with regard to decline in their maximal aerobic capacity: Part II—The scientific basis for the guide. *Ergonomics Guidelines and Problem Solving*, 199.

[https://books.google.at/books?hl=de&lr=&id=ECIC5vKVKykC&oi=fnd&pg=PA199&dq=+Job+design+for+the+aged+with+regard+to+decline+in+their+maximal+aerobic+capacity.+Part+I—guidelines+for+the+practitioner.+Part+II—The+scientific+base+for+the+guide.+International+Journal+of+Industrial+Ergonomics&ots=w34wu2I\\_HN&sig=26hdSTM7K8UCPiuhxJrf8rzbi9c&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.at/books?hl=de&lr=&id=ECIC5vKVKykC&oi=fnd&pg=PA199&dq=+Job+design+for+the+aged+with+regard+to+decline+in+their+maximal+aerobic+capacity.+Part+I—guidelines+for+the+practitioner.+Part+II—The+scientific+base+for+the+guide.+International+Journal+of+Industrial+Ergonomics&ots=w34wu2I_HN&sig=26hdSTM7K8UCPiuhxJrf8rzbi9c&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

Jimeno-Almazán, A., Pallarés, J. G., Buendía-Romero, Á., Martínez-Cava, A., Franco-López, F., Sánchez-Alcaraz Martínez, B. J., Bernal-Morel, E. & Courel-Ibáñez, J. (2021). Post-COVID-19 Syndrome and the Potential Benefits of Exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5329. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105329>

Jimeno-Almazán, A., Franco-López, F., Buendía-Romero, A., Martínez-Cava, A., Sánchez-Agar, J. A., Sánchez-Alcaraz Martínez, B. J., Courel-Ibáñez, J., & Pallarés, J. G. (2022). Rehabilitation for post-COVID-19 condition through a supervised exercise intervention: A randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 32(12), 1791–1801. <https://doi.org/10.1111/sms.14240>

Kessel, S. A. M., Olde Hartman, T. C., Lucassen, P. L. B. J. & Jaarsveld, C. H. M. (2022). Post-acute and long-COVID-19 symptoms in patients with mild diseases: a systematic review. *Family Practice*, 39(1), 159–167.  
<https://doi.org/10.1093/fampra/cmab076>

Klok, F. A., Boon, G. J. A. M., Barco, S., Enes, M., Geelhoed, J. J. M., Knauss, S., Rezek, S. A., Spruit, M. A., Vehreschild, J. & Siegerink, B. (2020). The Post-COVID-19 Functional Status scale: a tool to measure functional status over time after COVID-19. *European Respiratory Journal*, 56(1), 2001494.  
<https://doi.org/10.1183/13993003.01494-2020>

Laukkonen, J. A., Zaccardi, F., Khan, H., Kurl, S., Jae, S. Y. & Rauramaa, R. (2016). Long-term Change in Cardiorespiratory Fitness and All-Cause Mortality: A Population-Based Follow-up Study. *Mayo Clinic Proceedings*, 91(9), 1183–1188.  
<https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2016.05.014>

- Linde, L., Sørensen, J., Østergaard, M., Hørslev-Petersen, K. & Hetland, M. L. (2008). Health-Related Quality of Life: Validity, Reliability, and Responsiveness of SF-36, EQ-15D, EQ-5D, RAQoL, and HAQ in Patients with Rheumatoid Arthritis. *Journal of Rheumatology*, 35(8), 1528–1537.  
<https://www.jrheum.org/content/35/8/1528.short>
- Loe, H., Rognmo, A., Saltin, B. & Wisloff, U. (2013). Correction: Aerobic Capacity Reference Data in 3816 Healthy Men and Women 20–90 Years. *PloS One*, 8(11).  
<https://doi.org/10.1371/annotation/e3115a8e-ca9d-4d33-87ef-f355f07db28e>
- Marcos-Delgado, A., Fernandez-Villa, T., Angel Martinez-Gonzalez, M., Salas-Salvado, J., Corella, D., Castaner, O., Alfredo Martinez, J., Alonso-Gomez, A. M., Waernberg, J., Vioque, J., Romaguera, D., Lopez-Miranda, J., Estruch, R., Tinahones, F. J., Lapetra, J., Luis Serra-Majem, J. L., Garcia-Molina, L., Tur, J. A., de Paz, J. A., ... Martin, V. (2020). The Effect of Physical Activity and High Body Mass Index on Health-Related Quality of Life in Individuals with Metabolic Syndrome. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), 3728. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103728>
- Martone, A. M., Tosato, M., Ciciarello, F., Galluzzo, V., Zazzara, M. B., Pais, C., Savera, G., Calvani, R., Marzetti, E., Robles, M. C., Ramirez, M. & Landi, F. (2022). Sarcopenia as potential biological substrate of long COVID-19 syndrome: prevalence, clinical features, and risk factors. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 13(4), 1974–1982. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12931>
- McMillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R. & Hoff, J. (2005). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 39(5), 273–277.  
<https://doi.org/10.1136/bjsm.2004.012526>
- Mehrholz, J. (2010). Wissenschaft erklärt: Stratifizierung – Wie man unterschiedliche Voraussetzungen ausgleicht. *Ergopraxis*, 3(9), 13–13. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1265874>
- Oronsky, B., Larson, C., Hammond, T. C., Oronskey, A., Kesari, S., Lybeck, M. & Reid, T. R. (2023). A Review of Persistent Post-COVID Syndrome (PPCS). *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*, 64(1), 66–74. <https://doi.org/10.1007/s12016-021-08848-3>

- Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Castillo, M. J. & Sjostrom, M. (2008). Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *International Journal of Obesity*, 32(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803774>
- O'Connor, C. M. (2020). COVID-19 Fatigue: Not So Fast. *JACC. Heart Failure*, 8(7), 592–594. <https://doi.org/10.1016/j.jchf.2020.06.001>
- Paddon-Jones, D., Sheffield-Moore, M., Cree, M. G., Hewlings, S. J., Aarsland, A., Wolfe, R. R. & Ferrando, A. A. (2006). Atrophy and Impaired Muscle Protein Synthesis during Prolonged Inactivity and Stress. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 91(12), 4836–4841. <https://doi.org/10.1210/jc.2006-0651>
- Pedersen, B. K. & Saltin, B. (2015). Exercise as medicine - evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(S3), 1–72. <https://doi.org/10.1111/sms.12581>
- Pfeffer, A. (2008). Einsatz bei Erschöpfung. *Physiopraxis*, 6(10), 42–43. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1308147>
- Pink, I. & Welte, T. (2022). Frequency, spectrum and risk factors of long COVID/Häufigkeit, Spektrum und Risikofaktoren von Long-COVID. *Der Internist (Berlin)*, 63(8), 813. <https://doi.org/10.1007/s00108-022-01370-4>
- Saidi, O., Colin, E., Rance, M., Doré, E., Pereira, B. & Duché, P. (2021). Effect of morning versus evening exercise training on sleep, physical activity, fitness, fatigue and quality of life in overweight and obese adults. *Chronobiology International*, 38(11), 1537–1548. <https://doi.org/10.1080/07420528.2021.1935988>
- Sallis, R., Young, D. R., Tartof, S. Y., Sallis, J. F., Sall, J., Li, Q., Smith, G. N. & Cohen, D. A. (2021). Physical inactivity is associated with a higher risk for severe COVID-19 outcomes: a study in 48 440 adult patients. *British journal of sports medicine*, 55(19), 1099–1105. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104080>
- Santos, C., Rodrigues, F., Santos, J., Morais, L. & Bárbara, C. (2015). Pulmonary Rehabilitation in COPD: Effect of 2 Aerobic Exercise Intensities on Subject-Centered Outcomes--A Randomized Controlled Trial. *Respiratory Care*, 60(11), 1603–1609. <https://doi.org/10.4187/respcare.03663>

- Schilling, C., Meyer-Lindenberg, A. & Schweiger, J. I. (2022). Cognitive disorders and sleep disturbances in long COVID/Kognitive Störungen und Schlafstörungen bei Long-COVID. *Nervenarzt*, 93(8), 779. <https://doi.org/10.1007/s00115-022-01297-z>
- Schlegel, P. (2020). CrossFit® training strategies from the perspective of concurrent training: A systematic review. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(4), 670-680.  
<https://uaccess.univie.ac.at/login?url=https://www.proquest.com/scholarly-journals/crossfit®-training-strategies-perspective/docview/2572976892/se-2>
- Silveira, E. A., Pagotto, V., Barbosa, L. S., de Oliveira, C., Pena, G. G. & Velasquez-Melendez, G. (2020). Accuracy of BMI and waist circumference cut-off points to predict obesity in older adults. *Ciência & Saude Coletiva*, 25(3), 1073–1082. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020253.13762018>
- Sivan, M. & Taylor, S. (2020). NICE guideline on long covid. *BMJ (Online)*, 371, 4938. <https://doi.org/10.1136/bmj.m4938>
- Swain, D. P. (2005). Moderate or Vigorous Intensity Exercise: Which Is Better for Improving Aerobic Fitness? *Preventive Cardiology*, 8(1), 55–58. <https://doi.org/10.1111/j.1520-037X.2005.02791.x>
- Taylor, J. L., Bonikowske, A. R. & Olson, T. P. (2021). Optimizing Outcomes in Cardiac Rehabilitation: The Importance of Exercise Intensity. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 8, 734278–734278. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.734278>
- The Lancet Diabetes & Endocrinology (2022, 7. April). *Long COVID: the elephant in the room*. Zugriff am 05. Dezember 2022 unter [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(22\)00111-5](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(22)00111-5)
- Thompson, W. R. (2009). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. (8). Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins.
- Wasserman, K. (1994). *Principles of exercise testing and interpretation*. (2). Lea & Febiger.
- Wonisch, M., Hofmann, P., Förster, H., Hörtnagl, H., Ledl-Kurkowski, E. & Pokan, R. (2017). *Kompendium der Sportmedizin. Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie*. (2). Springer Wien. <https://doi.org/10.1007/978-3-211-99716-1>

World Health Organisation (2023). *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard*. Zugriff am 06. Juni 2023 unter <https://covid19.who.int>

Xiong, L., Li, Q., Cao, X., Xiong, H., Huang, M., Yang, F., Liu, Q., Meng, D., Zhou, M., Wang, G., Tong, J., Chen, T., Zhang, Y., He, X., Fan, Y., Zhang, Y., Tang, L., Jin, Y., Xia, J. & Hu, Y. (2021). Dynamic changes of functional fitness, antibodies to SARS-CoV-2 and immunological indicators within 1 year after discharge in Chinese health care workers with severe COVID-19: a cohort study. *BMC medicine*, 19(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12916-021-02042-0>

Yamamoto, K., Ohsumi, S., Nagashima, T., Akiyama, H., Honda, H. & Shimizu, K. (2022). Screening of anti-atrophic peptides by using photo-cleavable peptide array and 96-well scale contractile human skeletal muscle atrophy models. *Biotechnology and Bioengineering*, 119(8), 2196–2205. <https://doi.org/10.1002/bit.28125>

Yong, S. J. (2020). Long COVID or post-COVID-19 syndrome: putative pathophysiology, risk, factors, and treatments. *Taylor & Francis (Online)*, 53(10), 737-754. <https://doi.org/10.1080/23744235.2021.1924397>

## 11 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Potenzielle Effekte von körperlicher Aktivität auf PCS-Symptome	7
Tab. 2: Merkmale der Stichprobe an Zeitpunkt T0	21
Tab. 3: Werte an Baseline (T0) – Darstellung Pre-Messungen und Gruppenvergleiche (ANOVA)	23
Tab. 4: Intragruppeneffekte – Darstellung Pre- & Post-Messungen und statistische Auswertung (gepaarter t-Test) der Interventionsgruppen und Kontrollgruppe (keine Intervention) bei Personen mit Post-COVID-Syndrom	24
Tab. 5: Intergruppeneffekte – Darstellung Pre- & Post-Messungen und Gruppenvergleiche (ANOVA, Messwertdifferenzen Pre-Post) bei Personen mit Post-COVID-Syndrom	27

## 12 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Post-COVID-Modell	2
Abb. 2: Zeitachse der Interventionsstudie	10
Abb. 3: Mittelwert und Standardabweichung – VO <sub>2</sub> max	29

Abb. 4: Mittelwert und Standardabweichung – Kraft UE	30
Abb. 5: Mittelwert und Standardabweichung – HGK	30
Abb. 6: Mittelwert und Standardabweichung – SF-36	31
Abb. 7: Mittelwert und Standardabweichung – FSS	31