

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Die körperliche Leistungsfähigkeit und die Muskelkraft im
Zusammenhang mit der Körperzusammensetzung nach
COVID-19

verfasst von | submitted by

Bernhard Lang BEd BSc BA

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

Wien | Vienna, 2025

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

UA 199 500 520 02

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

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Bewegung und Sport Unterrichtsfach Mathematik

Betreut von | Supervisor:

Ass.-Prof. Dr. Rhoia Clara Neidenbach BSc. M.Sc.

Danksagung

Ich möchte mich beim gesamten Studienteam, den Masterstudienkolleginnen und -kollegen, den Studienassistentinnen und -assistenten und den Praktikantinnen und Praktikanten für die überaus großartige Unterstützung und die gute Zusammenarbeit bei den Untersuchungen, der Datenerhebung und der Datenverarbeitung bedanken. Speziell möchte ich der Studienärztin Frau Dr. Theresa Hofbauer, die mich persönlich sehr umfangreich in meinem Tun unterstützt hat, meinen Dank aussprechen. Ein besonderer Dank gilt auch meiner Betreuerin Frau Ass.-Prof. Dr. Rhoia Clara Neidenbach, BSc. M.Sc., die mich in die Studie mitaufgenommen und bei der Durchführung sowie beim Verfassen der Arbeit optimal betreut hat.

Abstract (Deutsch)

Hintergrund

Eine durchlaufene COVID-19 Infektion kann zu einer verminderten körperlichen Leistungsfähigkeit führen. Schwerwiegendere Krankheitsverläufe sind mit der Körperzusammensetzung, einer geringeren allgemeinen Fitness und Muskelkraft verbunden. Die vorliegende Arbeit untersucht, inwiefern die körperliche Leistungsfähigkeit, die Muskelkraft, die Körperzusammensetzung und der Krankheitsverlauf einer COVID-19 Infektion zusammenhängen.

Methodisches Vorgehen

Diese Querschnittsstudie (01.2022–05.2023) analysierte 122 Personen ($38,85 \pm 11,67$ Jahre; 40,16 % weiblich, 59,84 % männlich) nach einer durchlaufenen COVID-19 Erkrankung. Unterschiede zwischen leichten und schweren Krankheitsverläufen sowie Korrelationen hinsichtlich der Körperzusammensetzung (Bioelektrische Impedanzanalyse), der körperlichen Leistungsfähigkeit (Spiroergometrie) und der Handgriffkraft (HGK, Handdynamometrie) wurden geprüft.

Ergebnisse

Ein leichter COVID-19 Krankheitsverlauf weist im Vergleich zu einem schweren Verlauf keine signifikanten Unterschiede, jedoch tendenziell höhere Werte in der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2peak}/kg : $41,1 \pm 8,5$ vs. $38,3 \pm 9,1$, $p = 0,081$) auf. Eine niedrigere VO_{2peak} steht in Zusammenhang mit einem höheren Körperfettanteil ($r = -0,586$, $p = 0,000$) und einem höheren Verhältnis zwischen extrazellulärer- und Körperzellmasse (ECM/BCM-Index, $r = -0,344$, $p = 0,000$). Eine höhere VO_{2peak}/kg steht in Zusammenhang mit einer höheren HGK (dominant: $r = 0,298$, $p = 0,001$; nicht-dominant: $r = 0,351$, $p = 0,000$) und einem höheren Phasenwinkel ($r = 0,375$, $p = 0,000$).

Diskussion/Schlussfolgerung

Eine höhere körperliche Leistungsfähigkeit, die in Zusammenhang mit einem niedrigeren Körperfettanteil, einer höheren Körperzellmasse, einem höheren Phasenwinkel und einer höheren HGK steht, hat vermutlich eine Auswirkung auf den Krankheitsverlauf. Diese Parameter könnten somit als Prädiktor für die Diagnose und Prognose bei der COVID-19 Erkrankung herangezogen werden.

Schlüsselwörter

SARS-CoV-19, Coronavirus, Bioelektrische Impedanzanalyse, Handdynamometrie, Spiroergometrie

Abstract (English)

Background

A COVID-19 infection can lead to reduced physical performance. More severe disease progressions are associated with body composition, lower general fitness and muscle strength. This study investigates the extent to which physical performance, muscle strength, body composition and the progression of the COVID-19 infection are related.

Methods

This cross-sectional study (01.2022–05.2023) analyzed 122 people (38.85 ± 11.67 years; 40.16 % female, 59.84 % male) after having undergone COVID-19 disease. Differences between mild and severe disease progression as well as correlations with regard to body composition (bioelectrical impedance analysis), physical performance (spiroergometry) and handgrip strength (HGS, hand dynamometry) were examined.

Results

A mild COVID-19 disease progression shows no significant differences compared to a severe progression, but tends to have higher values in maximum oxygen uptake (VO_{2peak}/kg : 41.1 ± 8.5 vs. 38.3 ± 9.1 , $p = 0.081$). Lower VO_{2peak} is associated with a higher body fat percentage ($r = -0.586$, $p = 0.000$) and a higher ratio between extracellular and body cell mass (ECM/BCM ratio, $r = -0.344$, $p = 0.000$). Higher VO_{2peak}/kg is associated with a higher HGS (dominant: $r = 0.298$, $p = 0.001$; non-dominant: $r = 0.351$, $p = 0.000$) and a higher phase angle ($r = 0.375$, $p = 0.000$).

Discussion/Conclusion

Higher physical performance, which is associated with a lower body fat percentage, greater body cell mass, higher phase angle and increased HGS, may influence the course of COVID-19. Accordingly, these parameters could serve as potential predictors for both the diagnosis and prognosis of the disease.

Keywords

SARS-CoV-19, coronavirus, bioelectrical impedance analysis, hand dynamometry, spiroergometry

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	8
1 Hintergrund	9
1.1 Themenbereich und Problemstellung	10
1.2 SARS-CoV-19 – Corona Virus Disease	11
1.2.1 Unterscheidung der Verläufe	12
1.2.2 Komplikationen nach der Infektion & Post-/Long-COVID-19	13
1.3 COVID-19 und die Körperzusammensetzung	16
1.4 COVID-19, die körperliche Leistungsfähigkeit und die Muskelkraft	18
1.5 COVID-19: Zusammenhang zwischen körperlicher Leistungsfähigkeit, Muskelkraft und Körperzusammensetzung	23
1.6 Zielsetzung der Arbeit, Forschungsfragen und Hypothesen.....	24
2 Methodik.....	25
2.1 Studien- und Untersuchungsablauf.....	26
2.1.1 Studiendesign	26
2.1.2 Untersuchungsablauf & Testungen	26
2.1.2.1 Sportmedizinische Untersuchungen	27
2.1.2.2 Sportwissenschaftliche Untersuchungen	27
2.1.3 Sample und Rekrutierung	28
2.1.4 Schwere des Krankheitsverlaufs	30
2.2 Datenerhebung.....	31
2.2.1 Bioelektrische Impedanzanalyse.....	32
2.2.1.1 Impedanz	32
2.2.1.2 Ablauf der Messung.....	33
2.2.1.3 Kompartimentmodelle.....	35
2.2.1.4 Body-Mass-Index.....	36
2.2.1.5 Ganzkörperwasser	37
2.2.1.6 Magermasse.....	38
2.2.1.7 Körperfett(-anteil).....	39
2.2.1.8 ECM/BCM-Index.....	39
2.2.1.8.1 Körperzellmasse	40
2.2.1.8.2 Extrazelluläre Masse	41
2.2.1.8.3 %-Zellanteil	41
2.2.1.9 Phasenwinkel	41
2.2.2 Spiroergometrie	42
2.2.2.1 Ablauf der Untersuchung	43
2.2.2.2 Testprotokoll.....	44

2.2.2.3	9-Felder-Grafik.....	45
2.2.2.4	Maximale Sauerstoffaufnahme – VO_{2max} & VO_{2peak}	46
2.2.2.5	Erste und zweite ventilatorische Schwelle – VT1 & VT2.....	50
2.2.3	Handdynamometrie.....	52
2.3	Statistische Datenanalyse.....	54
2.3.1	Datenverarbeitung.....	54
2.3.1.1	Microsoft® Excel®	54
2.3.1.2	IBM® SPSS® Statistics	54
2.3.2	Testen von Hypothesen.....	55
2.3.3	Korrelation und Regression	57
2.3.4	Signifikanzniveau und p-Wert.....	59
3	Ergebnisse.....	60
3.1	Analyse der Körperzusammensetzung.....	60
3.2	Analyse der körperlichen Leistungsfähigkeit	61
3.3	Analyse der Muskelkraft.....	64
3.4	Analyse des Zusammenhangs zwischen der körperlichen Leistungsfähigkeit, der Körperzusammensetzung und der Muskelkraft	66
4	Diskussion.....	68
4.1	Die COVID-19 Erkrankung und ihre Verläufe	68
4.1.1	Die Körperzusammensetzung	68
4.1.2	Die körperliche Leistungsfähigkeit	71
4.1.3	Die Muskelkraft	72
4.2	Die körperliche Leistungsfähigkeit im Zusammenhang mit der Körperzusammensetzung nach COVID-19	74
4.3	Die Muskelkraft im Zusammenhang mit der Körperzusammensetzung nach COVID-19	75
4.4	Stärken & Limitationen.....	77
5	Conclusio.....	78
5.1	Fazit.....	79
5.2	Ausblick	80
	Literaturverzeichnis.....	81
	Abbildungsverzeichnis.....	95
	Tabellenverzeichnis.....	96

Abkürzungsverzeichnis

ACCP	American College of Chest Physicians
ASHT	American Society of Hand Therapists
ATS	American Thoracic Society
BCM	Body Cell Mass (Körperzellmasse)
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
BMI	Body-Mass-Index
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COVID-19	Corona Virus Disease 2019 (Coronavirus Krankheit 2019)
CR10	Category Ratio 10
ECM	Extracellular Mass (Extrazelluläre Masse)
EKG	Elektrokardiogramm
FFM	Fat Free Mass (Fettfreie Masse)
FG	Freiheitsgrade
H ₀	Nullhypothese
H ₁	Alternativhypothese
HCO ₃ ⁻	Bicarbonat, Hydrogencarbonat
HF	Herzfrequenz
IBM	International Business Machines Corporation
IMRaD	Introduction, Methods, Results and Discussion
LA	Blutlaktatkonzentration
LBM	Lean Body Mass (Magermasse)
max	maximal, maximum
O ₂	Sauerstoff
ÖISM	Österreichisches Institut für Sportmedizin
pCO ₂	Kohlendioxidpartialdruck
pH	Potential des Wasserstoffs (pH-Wert)
R	Resistanz
R ²	Bestimmtheitsmaß
RER	Respiratory Exchange Rate (Respiratorischer Quotient)
RQ	Respiratorischer Quotient
SARS-CoV-2	Severe Acute Respiratory Syndrome Corona Virus 2
SPSS	Statistical Package for Social Sciences
TBW	Total Body Water (Gesamtkörperwasser)
VCO ₂	Kohlendioxidabgabe
VE	Ventilation
VO ₂	Sauerstoffaufnahme
VO _{2max}	Maximal mögliche, absolute Sauerstoffaufnahme
VO _{2peak}	Maximal erreichte, absolute Sauerstoffaufnahme
VT	Ventilatory Threshold (ventilatorische Schwelle)
VT1	Ventilatory Threshold 1 (erste ventilatorische Schwelle)
VT2	Ventilatory Threshold 2 (zweite ventilatorische Schwelle)
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
X _c	Reaktanz
Z	Impedanz
ZNS	Zentrales Nervensystem

1 Hintergrund

Die COVID-19 Pandemie brachte weltweit gesundheitliche Probleme, die auch mit starken sozialen Einschränkungen verbunden waren. Neben Lockdowns und neuen Impfstoffen, die der Ausbreitung der Pandemie entgegenwirken sollten, wurden neue Hygienemaßnahmen bzw. -konzepte und Restriktionen, um am öffentlichen Leben teilzuhaben, entwickelt (Kharroubi & Saleh, 2020; Müller, Neuhann & Razum, 2020; Güner, Hasanoğlu & Aktaş 2020; Talic et al., 2021). Dadurch wurde nicht nur der Lebensstil, sondern auch das Verhalten und die Einstellung der Menschen bezüglich einer Ansteckung zumindest für diese Zeit merklich verändert. Bestimmte Komplikationen und Auswirkungen der Virusinfektion können unerwünschte Effekte und Einschränkungen auf die körperliche Leistungsfähigkeit sowie die Lebensqualität mit sich bringen (Poudel et al., 2021; Ferreira, Pereira, da Fé Brás & Ilchuk, 2021; Nandasena, Pathirathna, Atapattu & Prasanga, 2022; Schwendinger, Knaier, Radtke & Schmidt-Trucksäss, 2023). Auch nach einer akuten Infektion können weiterhin bestehende Symptome das soziale Leben sowie die Arbeitsfähigkeit einer Person einschränken. Dabei wird die Lebensqualität von physischen und psychischen Symptomen negativ beeinflusst (Amdal et al., 2021). Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit diesen Auswirkungen auf den Körper nach einer COVID-19 Infektion. Sie soll den Zusammenhang der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Muskelkraft mit der Körperzusammensetzung nach einer COVID-19 Infektion untersuchen und aufzeigen. Hierfür wurde am Österreichischen Institut für Sportmedizin (ÖISM) in Wien die Studie „*Körperliche Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach Covid-19*“ durch die Abteilung für Sportmedizin, Leistungsphysiologie und Prävention am Institut für Sportwissenschaft der Universität Wien von Jänner 2022 bis Mai 2023 durchgeführt, wodurch relevante Daten erhoben wurden. Im Folgenden sollen diese Daten auf Grundlage eines umfassenden Literaturfundaments analysiert und diskutiert werden. Die Gliederung der Arbeit bedient sich dem *IMRaD-Modell (Introduction, Methods, Results and Discussion)* für wissenschaftliche Arbeiten (Sollaci & Pereira, 2004; Batmanabane, 2018). So wird in der Einleitung zuerst zum Thema und der Problemstellung hingeführt, wobei allgemeine Informationen sowie Definitionen über das Coronavirus und die COVID-19 Pandemie als Grundlage der weiteren Beschreibungen dienen. Zusätzlich werden die spezifischen Aspekte des Themas aufgegriffen und als theoretisches Fundament für den Hauptteil genutzt. Hier werden neben der Zielsetzung der Arbeit auch die Forschungsfragen und Hypothesen beschrieben. Im Methodikteil werden zusätzlich zum Studien- und Untersuchungsdesign bzw. -ablauf die verwendeten Messgeräte und deren Verwendung erklärt. Außerdem wird auf das Studienkollektiv und die Rekrutierung der Probandinnen und Probanden eingegangen. Zuletzt wird über die Erhebung sowie die weiterführende

Verarbeitung der erhaltenen Daten im Sinne der darauffolgenden Analyse informiert. Die Untersuchungsergebnisse sowie die erhobenen Daten werden im Ergebnisteil mithilfe von Diagrammen und Tabellen dargestellt und sachlich beschrieben. Bei der Diskussion werden die Ergebnisse erneut aufgegriffen, mit vorhandenen Studienergebnissen verglichen und es wird eine Antwort auf die Forschungsfragen gefunden. Außerdem wird Bezug darauf genommen, welche Bedeutung die Ergebnisse im Kontext des Themas mit sich bringen und was daraus geschlossen werden kann. Zum Abschluss werden die Ergebnisse noch einmal kurz zusammengefasst und als Fazit im Hinblick auf zukünftige Forschungen bewertet.

1.1 Themenbereich und Problemstellung

Im Jahr 2019 entwickelte sich in der chinesischen Stadt Wuhan eine Infektionskrankheit, die durch das sogenannte Coronavirus SARS-CoV-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome Corona Virus 2*) verursacht wird. Die Infektion breitet sich sehr rasch über Tröpfchen und Aerosole¹ in der Atemluft aus und wird durch Niesen, Husten, Sprechen, Singen oder Atmen übertragen. Am Beginn des Jahres 2020 wuchs das Virus in der Volksrepublik China zuerst zur Epidemie heran und weitete sich dann in weiterer Folge, aufgrund der hohen Ansteckungsrate, im März 2020 auf eine globale COVID-19 Pandemie aus (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2024). Die Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization – WHO) verzeichnete bis April/Mai 2024 insgesamt 775,3 Millionen gemeldete Fälle, wovon 7 Millionen Menschen am Virus oder dessen Folgen verstorben sind. Auch heute noch wurden in der letzten Aprilwoche (2024) 29 294 Krankheits- und 498 Todesfälle weltweit verzeichnet, wobei die Zahlen aber stetig abnehmen. Speziell in Österreich wurden seit dem Ausbruch der Krankheit über 6 Millionen Krankheits- und 22 534 Todesfälle gemeldet. Seit März 2024 werden in Österreich maximal vier neue Krankheitsfälle pro Tag vermerkt und seit Juli 2023 gibt es hier sogar keinen einzigen Todesfall aufgrund des Coronavirus mehr (WHO, 2024). Als großes Problem der COVID-19 Erkrankung gelten die verminderte Leistungsfähigkeit und die Verschlechterung der Lebensqualität im Zuge der Krankheit. Auch nach dem Abklingen der akuten Erkrankung können weiterhin Einschränkungen im persönlichen Leben und Alltag bestehen bleiben. Durch die verminderte Leistungsfähigkeit haben Menschen mehr Probleme, ihrer Arbeit oder ihren Hobbies nachzugehen, werden leichter erschöpft und erfahren eine erhöhte körperliche Belastung. Diese Umstände können auch psychisch belastend sein und daher auch die Lebensqualität negativ beeinflussen (Jimeno-

¹ Als *Aerosol* wird die feinste Verteilung flüssiger oder fester Partikel in einem Gas, z.B. in der Luft, bezeichnet (Dudenredaktion, 2008, S. 172).

Almazán et al., 2022). Speziell für Menschen mit Übergewicht bzw. einem hohen Körperfettanteil und geringer körperlicher Aktivität kommt es häufig zu schwerwiegenderen Krankheitsverläufen und Symptomen, was intensivere Betreuungen mit möglichen Aufenthalten im Krankenhaus notwendig machen kann (Lemos et al., 2022).

1.2 SARS-CoV-19 – Corona Virus Disease

Das neuartige Coronavirus SARS-CoV-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*) war im Jahr 2019 der Auslöser für eine globale, lebeenseinschränkende Pandemie, die sich rasch ausbreitete. Mit einer mittleren Inkubationszeit von 5–6 Tagen (1–14 Tage) (Müller et al., 2020) ist es verantwortlich für die sogenannte *Coronavirus Disease 2019* (COVID-19), einer hochinfektiösen Atemwegserkrankung, die hauptsächlich über die Atemwege von Mensch zu Mensch übertragen wird. Gegen Ende des Jahres 2019 wurde die erste Lungenentzündung durch das Virus festgestellt und aufgrund des weltweit sehr rasanten Anstiegs der Anzahl der COVID-19 Fälle am 11. März von der WHO zur Pandemie erklärt. Die ernste Lage der Pandemie wurde durch die steigende Anzahl an Sterbefällen durch das Virus erkannt. Da es zu dieser Zeit noch keine effektiven Präventionsmaßnahmen (z.B. Lockdowns, das Tragen von Masken und soziale Distanzierung) bzw. Impfstoffe gab, verschlechterte sich die Situation am Beginn der Pandemie Tag für Tag. Das unglaubliche Ausmaß der Pandemie ist bedingt durch die Infizierung von Menschen jeden Alters und Geschlechts, wobei aber ältere Personen (> 60 Jahre), Männer und Menschen mit Vorerkrankungen (z.B. Diabetes oder Herz-Kreislaufkrankungen) stärker daran leiden als andere und dadurch auch ein höheres Sterberisiko durch die Erkrankung aufweisen (Baloch, Baloch, Zheng & Pei, 2020; WHO, 2023; Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2024). Typische Symptome wie Fieber, Halsschmerzen, trockener Husten, Schwäche, Müdigkeit, Muskelschmerzen sowie ein Verlust von Geruchs- und Geschmackssinn treten häufig auf. Bei schweren Krankheitsverläufen können Atembeschwerden wie Kurzatmigkeit und Atemnot aufgrund einer Lungenentzündung oder akute Atemnot bzw. Komplikationen, die bis zum Tod führen können, auftreten (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2024). Auch Schmerzen im Bauch oder Kopf sowie in den Muskeln oder Gelenken gelten neben Schüttelfrost, Schwindel, Durchfall und Übelkeit oder Erbrechen als mögliche Symptome (Müller et al., 2020; Gallo Marin et al., 2021). Zusätzlich zu den eben genannten körperlichen Problemen können auch mentale Symptome wie Stress, Frust, Schlafstörungen, Reizbarkeit und Depression auftreten (Jimeno-Almazán, 2021).

1.2.1 Unterscheidung der Verläufe

Je nach der Stärke des Krankheitsverlaufs wirkt sich die Virusinfektion unterschiedlich auf den menschlichen Körper aus und bringt dementsprechende Komplikationen mit sich. Die Verläufe der Krankheit können in schwer, mittel, leicht und asymptomatisch unterteilt werden (Ciotti et al., 2020). Die WHO (2021a) teilt die Verläufe für die Behandlung symptomatischer Fälle in mild, moderat, schwer und kritisch ein. Bei asymptomatischen Fällen können Personen zwar positiv auf das Virus getestet werden, weisen jedoch keinerlei Symptome auf und haben während der Infektion auch keine gesundheitlichen Probleme oder Einschränkungen. Bei leichten und mittelschweren Verläufen erfahren die Erkrankten mindestens eines der COVID-Symptome und sind daher in ihren alltäglichen Tätigkeiten etwas eingeschränkt. In diesen Fällen sollten Bettruhe und gegebenenfalls Medikamente zur Behandlung der Symptome helfen. Schwere Verläufe enden meist im Krankenhaus und können im schlimmsten Fall bis zum Tod führen. Hier bedarf es intensiver medizinischer Versorgung. In allen Fällen ist es wichtig, dass die infizierten Personen von anderen Menschen isoliert werden, um die Ausbreitung des Virus einzudämmen (Ciotti et al., 2020; WHO, 2021a; Ochani et al., 2021). Mithilfe der Daten von 55 924 bestätigten und hospitalisierten Fällen in China wurden 80 % der Fälle als leicht bis mittelschwer, 14 % als schwer und 6 % als kritisch mit Multiorganversagen beschrieben. Zusätzlich wurde herausgefunden, dass das Alter bei der Virusinfektion und der Schwere der Verläufe eine Rolle spielt. Wenige Fälle bzw. milde Verläufe wurden bei Kindern, die nicht älter als 10 Jahre alt waren, aufgezeichnet. Demgegenüber stehen Menschen mit einem Alter von über 60 Jahren, bei denen das Erkrankungsrisiko an schweren Verläufen am höchsten war. Zusätzlich sind auch Personen, die an chronischen Krankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes, Hypertonie oder Krebs- und Lungenkrankheiten leiden, einem hohen Risiko bezüglich schwerer Verläufe ausgesetzt. Die Sterblichkeitsrate ist bei über 80-Jährigen mit 22 % am höchsten, wobei auch Männer altersunabhängig mit 4,7 % einen höheren Wert als Frauen mit 2,8 % aufweisen. Jedoch ist die Sterblichkeitsrate auch von den kapazitiven Möglichkeiten des Gesundheitssystems abhängig, da je nach Region in China 0,3 % bis 5,8 % der gesamten Erkrankten verstorben sind (Müller et al., 2020). Auch andere Quellen, unter anderem die WHO, listen Risikofaktoren für schwere Verläufe in ihren Studien auf. Wie schon erwähnt sind neben dem hohen Alter über 55 Jahren (Gallo Marin et al., 2021) bzw. über 60 Jahren (WHO, 2022) chronische Krankheiten Risikofaktoren für schwere COVID-Verläufe, die auch zum Tod führen können (Li et al., 2021; Gallo Marin et al., 2021; WHO, 2022; Lemos et al., 2022). In der Studie von Gallo Marin et al. (2021) lag der Anteil der hospitalisierten unter 19-Jährigen bei weniger als 1 %, was auf wenige bzw. milde Verläufe bei jüngeren Menschen schließen lässt. Weitere Risikofaktoren wie das

männliche Geschlecht, Übergewicht mit einem Body-Mass-Index (BMI) von $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ (Li et al., 2021; Gallo Marin et al., 2021; Lemos et al., 2022) und aktive Raucherinnen und Raucher bzw. eine Rauchervergangenheit (Li et al., 2021; WHO, 2022; Lemos et al., 2022). Jimeno-Almazán et al. (2021) schreiben körperlicher Inaktivität ein höheres Risiko, an einem schweren Verlauf zu erkranken, zu. Somit bringt eine höhere körperliche Fitness bzw. Leistungsfähigkeit eine positive Auswirkung auf den Verlauf der Krankheit mit sich. Außerdem wird die körperliche Fitness mit milderen Verläufen und einer geringeren Anzahl an Symptomen in Verbindung gebracht (Jimeno-Almazán et al., 2022).

1.2.2 Komplikationen nach der Infektion & Post-/Long-COVID-19

Neben der akuten, kurzzeitigen Erkrankung wurden auch Fälle mit längerfristigen Symptomen und Einschränkungen in der Lebensqualität nach dem Auskurieren einer akuten Infektion erfasst. Diese lange Form der COVID-19 Erkrankung, die nach der akuten Form auftritt, wird als Post- bzw. Long-COVID-19 bezeichnet (Lippi, Sanchis-Gomar & Henry, 2023; Hodgson & Broadley, 2023). Trotz einer großen Menge an Forschung weltweit und modernen Behandlungsmethoden leiden laut Schwendinger et al. (2023) ungefähr 15 % der COVID-19 Patientinnen und Patienten an langfristig anhaltenden physiologischen und psychologischen Folgen der Erkrankung wie beispielsweise Dyspnoe (= Atemnot, Kurzatmigkeit), Erschöpfung oder Schwindel. Andere Studien schreiben von 10 %–30 % (Kuodi, Gorelik, Gausi, Bernstine & Edelstein, 2023), von 10 %–20 % (Pink & Welte, 2022), auch von 45 % (O'Mahoney et al., 2023) oder sogar von 4,7 %–80 % (Cabrera Martimbianco, Pacheco, Bagattini & Riera, 2021) der Personen, die an mindestens einem Long-COVID-19 Symptom bzw. einer Nachwirkung der akuten Erkrankung leiden. Als häufige Beschwerden werden Erschöpfung, Brustschmerz, Schlafstörungen, Husten und Atembeschwerden genannt (Cabrera Martimbianco et al., 2021; O'Mahoney et al., 2023). Da COVID-19 in den letzten Jahren eine große Bedeutung und eine hohe Priorität sowohl in der Gesellschaft als auch in der Forschung und Medizin hatte, gab es auch viele Versuche, das Post-/Long-COVID-19 Syndrom zu definieren und zu benennen. Verschiedene Autorinnen und Autoren haben über die Jahre hinweg verschiedene Benennungen und Definitionen bereitgestellt, die zwar ähnlich, jedoch nicht vollständig gleich sind (Kuodi et al., 2023). Einige Definitionen sprechen von Post-/Long-COVID 19, wenn die Symptome länger als 4–12 Wochen (Tobler, Pruzansky, Naderi, Ambrosy & Slade, 2022) oder länger als 12 Wochen nach der akuten Erkrankung andauern (Astin et al., 2022). Andere Quellen unterscheiden zwischen Post-COVID und Long-COVID und bieten differenziertere Definitionen. Beispielsweise sprechen Raveendran, Jayadevan und Sashidharan (2021) sowie Turner et al. (2023) von „post acute COVID“, bei dem die Symptome länger als drei Wochen, aber kürzer als zwölf Wochen, andauern. Ab einem

Anhalten der Symptome von mehr als zwölf Wochen sprechen sie von „chronic COVID“. Dabei werden beide Konditionen als Formen des Long-COVID gesehen. In Abbildung 1 sind diese Formen zur besseren Veranschaulichung grafisch dargestellt.

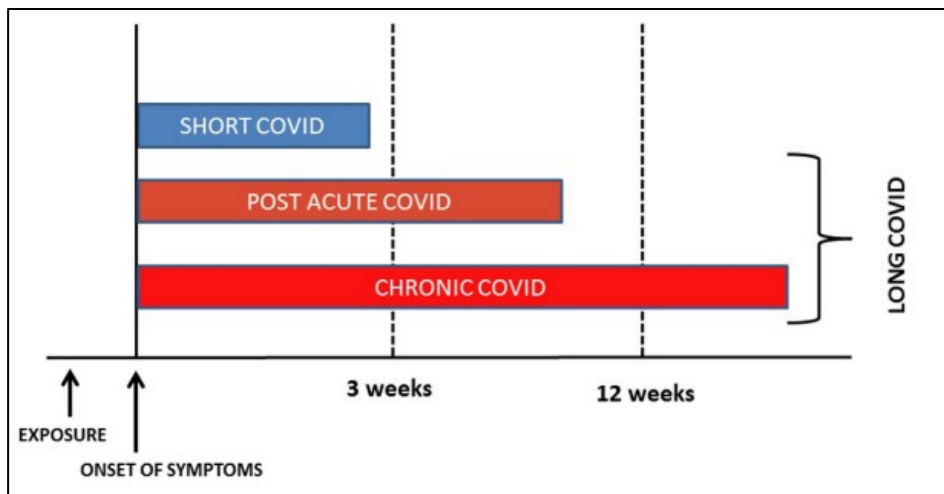


Abbildung 1: Klassifizierung von Long COVID (Raveendran et al., 2021, S. 870)

Eine weitere Differenzierung wird von einer spanischen Forschungsgruppe beschrieben. Dabei sprechen sie von „acute post-COVID“ (5-12 Wochen nach der Infektion), „long post-COVID“ (12–24 Wochen nach der Infektion) und „persistent post-COVID“ (ab 24 Wochen nach der Infektion). All diese Formen werden als Post-COVID Symptome gesehen. Sie unterscheiden hierbei zwischen akuten, langen und anhaltenden Symptomen (Fernández-de-las-Peñas, Palacios-Ceña, Gómez-Mayordomo, Cuadrado & Florencio, 2021). Ein Jahr später schreibt Fernández-de-las-Peñas (2022) erneut über die Definition von Post-/Long-COVID und schlägt Änderungen im Vergleich zu vorherigen Definitionen vor. Dabei soll „Long COVID“ den Zustand, an Post-COVID Symptomen zu erliden, beschreiben. Sofern also Symptome nach einer COVID-19 Infektion (= Post-COVID) weiterhin anhalten, so spricht Fernández-de-las-Peñas (2022) von „Long COVID“. Zusätzlich wird auch hier wieder in die zwei Phasen „acute post-COVID“ (5–12 Wochen nach dem Auftauchen von Symptomen) und „chronic post-COVID“ (mehr als 12 Wochen nach dem Auftauchen von Symptomen) unterteilt. Die Benennung von Post- bzw. Long-COVID befindet sich also seit dem Ausbruch des Virus im stetigen Wandel und wird von verschiedenen Autorinnen und Autoren unterschiedlich definiert. Eine überaus detaillierte Definition zu Post-COVID-19 bietet die WHO:

Post COVID-19 condition occurs in individuals with a history of probable or confirmed SARS CoV-2 infection, usually 3 months from the onset of COVID-19 with symptoms and that last for at least 2 months and cannot be explained by an alternative diagnosis. Common symptoms include fatigue, shortness of

breath, cognitive dysfunction but also others and generally have an impact on everyday functioning. Symptoms may be new onset following initial recovery from an acute COVID-19 episode or persist from the initial illness. Symptoms may also fluctuate or relapse over time. (World Health Organization WHO, 2021b, S. 11)

Die hier genannte Definition spricht von Symptomen, die drei Monate nach der akuten Erkrankung für mindestens zwei Monate anhalten und nicht durch eine alternative Diagnose erklärt werden können. Diese Definition wird auch von Lippi et al. (2023) in deren Artikel über die Langzeitfolgen von COVID-19 als internationaler Konsens beschrieben. Als Veranschaulichung bieten Lippi et al. (2023) folgenden Zeitverlauf (vgl. Abbildung 2).

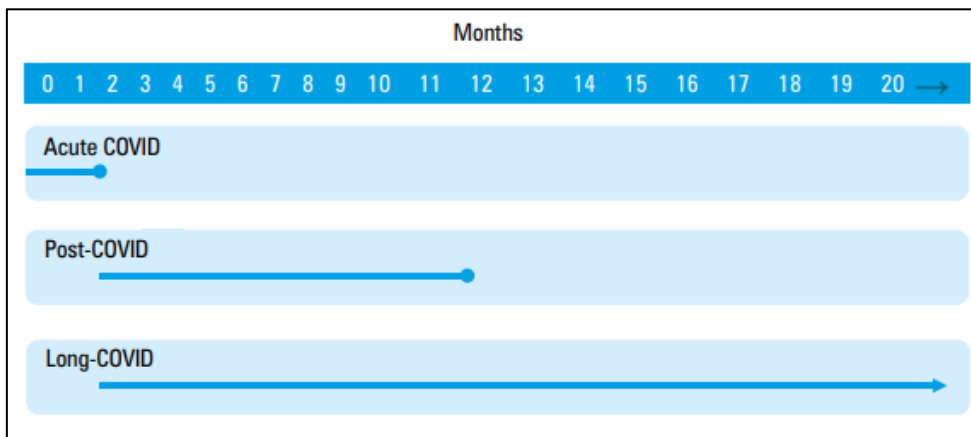


Abbildung 2: Unterscheidung von Post- und Long-COVID (Lippi et al., 2023, S. 3)

Zusätzlich wird darüber gesprochen, dass Symptome einerseits direkt nach der akuten Infektion für mindestens drei Monate anhalten oder aber auch nach einem Verschwinden erneut auftreten können. Speziell bei Frauen, älteren Menschen, Raucherinnen und Rauchern, dem Auftreten von mehr als fünf Symptomen in der akuten Phase der Erkrankung sowie häufigen Erkrankungen sind Long-COVID-19 Symptome wahrscheinlich. Häufig vorkommende Symptome inkludieren Erschöpfung, Kopfschmerzen, Bewusstseinsstrübung, Atemnot (Dyspnoe), Muskelschmerzen (Myalgie) und eine heisere Stimme (Raveendran et al., 2021; Shukla & Misra, 2022; Lippi et al., 2023; Natarajan et al., 2023). Die genannten Symptome sind auch Grund für eine geringere körperliche Leistungsfähigkeit bzw. eine geringe Arbeitsleistungsfähigkeit, die schon bei leichter Aktivität einschränkend auf den Körper und auch das persönliche Leben wirken (Jimeno-Almazán et al., 2022; Shukla & Misra, 2022). Zusätzlich sorgen auch psychische Symptome wie Depression, Nervosität, Angstzustände sowie Konzentrations- und Schlafschwierigkeiten für eine Verschlechterung der Lebensqualität (Shukla & Misra, 2022). Als Risikofaktoren für Long-COVID-19 gelten hohes Alter, eine hohe Anzahl an

Begleiterkrankungen, weibliches Geschlecht, Asthma, ein schwerer Krankheitsverlauf, Adipositas, Sauerstoff-Supplementierung sowie ein Krankenhausaufenthalt und eine hohe Anzahl an Symptomen während der akuten Phase der Erkrankung (Cabrera Martimbianco et al., 2021; Puta, Haunhorst & Bloch, 2021; Pink & Welte, 2022). Bei Frauen kommen laut Maglietta et al. (2022) Symptome von Long-COVID-19 häufiger vor als bei Männern (56,3 % Frauen vs. 45,5 % Männer).

1.3 COVID-19 und die Körperzusammensetzung

In der Adipositasforschung bekam die Körperzusammensetzung in den letzten Dekaden ihre Wichtigkeit als Risikofaktor in Bezug auf ungewollte gesundheitsbezogene Auswirkungen (Rossi et al., 2022). Allgemein gelten Menschen mit Adipositas bezüglich COVID-19 als Hochrisikogruppe (Freuer, Linseisen & Meisinger, 2021). Inwiefern die Körperzusammensetzung mit COVID-19 zusammenhängt, wird in diesem Kapitel genauer beschrieben. Im Folgenden werden aktuelle Studien bezüglich des Zusammenhangs der Körperzusammensetzung mit COVID-19 präsentiert. Beginnend lassen sich Freuer et al. (2021) nennen. Die Forschungsgruppe analysierte Datenbanken über den BMI (n = 694 649), den Taillenumfang (n = 232 101) und den Rumpffettanteil (n = 362 499) in Bezug auf die Schwere und Anfälligkeit von bzw. auf COVID-19. In ihren Ergebnissen beschreiben sie, dass der genetisch vorhergesagte BMI² sowie eine allgemeine Fettleibigkeit stark mit der Anfälligkeit und Schwere (Krankenhausaufenthalt) der COVID-19 Infektion verbunden sind. Sie diskutierten, dass der Rumpffettanteil einen starken Zusammenhang mit der Anfälligkeit, aber weniger mit der Schwere der Krankheit hatte. Jedoch konnten nach einer Anpassung an den BMI keine signifikanten Effekte festgestellt werden. Der Taillenumfang hingegen wies einen positiven Zusammenhang zur Anfälligkeit, aber nicht zur Hospitalisierung durch COVID-19 auf. Für übergewichtige und adipöse Menschen gilt somit ein höheres Risiko sowohl für die Anfälligkeit als auch die Schwere bei COVID-19. Lemos et al. (2022) analysierten die Körperzusammensetzung und die kardiorespiratorische Fitness³ bei übergewichtigen und adipösen Menschen nach einer COVID-19 Infektion im Zusammenhang mit der Schwere der Symptome und des Krankheitsverlaufs. Dabei wurden die Patientinnen und Patienten (n = 171) im Alter von 19–65 Jahren in drei Gruppen eingeteilt: Gruppe 1 (n = 61) hatte keinen Spitalsaufenthalt

² Übergewicht und in weiterer Folge auch der BMI sind vererbbar und können genetisch vorhergesagt werden (Maes, Neale & Eaves, 1997; Elks et al., 2012; Khera et al., 2019).

³ Die *kardiorespiratorische Fitness* ist eine gesundheitsbezogene Komponente der körperlichen Leistungsfähigkeit, die die Fähigkeit des Atmungs- und Kreislaufsystems des Körpers beschreibt, die Muskulatur bei andauernder körperlicher Aktivität mit Energie (= Sauerstoff) zu versorgen (Caspersen, Powell & Christenson, 1985).

bzw. nur milde Symptome, Gruppe 2 (n = 58) brauchte einen Krankenhausaufenthalt und Gruppe 3 (n = 52) musste in der Intensivstation behandelt werden. Zwischen den Gruppen gab es keine Unterschiede beim BMI, jedoch waren die Fettmasse und der Körperfettanteil in Gruppe 2 höher als in Gruppe 1. Nicht nur der BMI, sondern auch ein höherer Fettanteil im Körper kann das Ergebnis und die Folgen der Krankheit beeinflussen. So ist das Risiko einer Krankenhausaufnahme bei einem höheren Prozentsatz des Körperfetts wahrscheinlicher. Allgemein begünstigen Übergewicht und Adipositas schwere COVID-19 Verläufe und Symptome sowie eine Verschlechterung von diesen. Als kardiorespiratorische Testung für die körperliche Fitness wurde das Bruce-Protokoll am Laufband für adipöse Menschen verwendet. Dieses Protokoll besteht aus sieben Stufen zu je drei Minuten, wobei die Steigung des Laufbands nach jeder Stufe um 2 % und die Geschwindigkeit nichtlinear erhöht werden. Stufe 1 beginnt mit einer Geschwindigkeit von 2,7 km/h und einer Steigung von 10 %. Am Ende (Stufe 7) betragen die Geschwindigkeit und die Steigung 9,7 km/h bzw. 22 %. Die Patientinnen und Patienten mit einer geringeren Fettmasse erreichten bessere Ergebnisse bei der Testung als andere. Defizite in der Atemkapazität sind auch häufiger bei adipösen Menschen zu finden, wodurch auch eher intensive und starke Symptome bei diesen Personen auftreten. González-Islas et al. (2022) untersuchten 530 Menschen (Alter: > 18 Jahre) mit einer Sauerstoffsättigung im Blut von $\leq 93\%$ ⁴ und einem notwendigen Krankenhausaufenthalt mit anschließender Entlassung auf die Auswirkungen invasiver (= in den Körper eindringend), mechanischer Beatmung auf die Körperzusammensetzung sowie Risikofaktoren für Sarkopenie⁵ drei Monate nach einem mittleren bis schweren COVID-19 Krankheitsverlauf. Personen mit Adipositas und einem längeren Krankenhausaufenthalt (> 7 Tage) mit invasiver, mechanischer Beatmung zeigten ein höheres Risiko für Sarkopenie drei Monate nach einem mittelschweren oder schweren COVID-19 Verlauf. Bei Peball et al. (2024) wurden die Körperzusammensetzung und die körperliche Fitness zwölf Monate nach einer akuten COVID-19 Infektion von 69 Patientinnen und Patienten im Alter von ≥ 18 Jahren (41 % weiblich, 59 % männlich) mit milden (n = 22), moderaten (n = 32) und schweren (n = 15) Verläufen analysiert. Unabhängig von der Schwere des Verlaufs wiesen alle davon eine gute körperliche Gesundheit auf. Jedoch gab es Veränderungen in der Körperzusammensetzung und in der

⁴ Eine Sauerstoffsättigung von $\leq 93\%$ beschreibt einen Sauerstoffmangel im Blut und wird als *Hypoxämie* bezeichnet. Gesunde Menschen weisen normalerweise einen Wert von $> 95\%$ auf (Samuel & Franklin, 2008; Warnke et al., 2014).

⁵ Als *Sarkopenie* wird der Verlust bzw. der Abbau von Muskelmasse, -kraft und -funktion und in weiterer Folge körperlicher Leistungsfähigkeit, der im Alter natürlich vorkommt, bezeichnet (González-Islas et al., 2022; Rossi et al., 2022; Peball et al., 2024).

körperlichen Leistungsfähigkeit. Von den insgesamt 69 Personen, die an der Studie teilgenommen haben, hatten 44 % (n = 30) einen höheren BMI als zur Zeit der akuten Erkrankung. Die Muskelmasse war nur in 12 % der Untersuchten vermindert. Diejenigen mit intensivmedizinischer Behandlung (22 %) während der akuten Phase der Erkrankung wiesen öfter eine Zunahme des BMI, eine höhere Fettmasse und schlechtere Leistungen beim 6-Minuten-Gehtest als diejenigen mit milden bis moderaten Verläufen auf. Popkin et al. (2020) inkludierten in ihrem systematischen Review über die Epidemiologie von COVID-19 und Adipositas 75 Studien mit insgesamt 399 461 Patientinnen und Patienten (45 % weiblich, 55 % männlich). Sie erwähnen einen starken Zusammenhang zwischen Menschen mit Übergewicht bzw. Adipositas und dem Risiko einer Hospitalisierung und der Notwendigkeit einer Behandlung in der Intensivstation bei COVID-19. Adipositas begünstigt neben einem höheren Infektionsrisiko (> 46 % höher) und schwereren Krankheitsverläufen auch das Hospitalisierungsrisiko (113 % höher), einen eventuellen Aufenthalt in der Intensivstation (74 % höher) und das Sterblichkeitsrisiko (> 48 % Zunahme an Todesfällen). Rossi et al. (2022) fassten mehrere Studien über den Zusammenhang zwischen COVID-19, der Körperzusammensetzung und dem Ernährungszustand in ihrem narrativen Review zusammen und analysierten diese. Dabei konnten sie feststellen, dass Adipositas alleine für 30 % aller COVID-19 Hospitalisierungen verantwortlich ist. Kritische Verläufe bei gleichzeitigem Bedarf invasiver, mechanischer Beatmung bei Menschen mit Übergewicht steigern das Sterberisiko enorm. Außerdem sind übergewichtige Personen durch Begleiterkrankungen wie Diabetes Typ 2 oder Herz-Kreislauf- und Lungenerkrankungen leicht anfällig für eine Infektion. Zusätzlich ist ein hoher BMI verbunden mit höheren Entzündungswerten, Muskelschäden und einer höheren Sterblichkeit in den ersten 28 Tagen im Krankenhaus. Dabei spielt aber nicht nur die Körperfettmasse, sondern auch die Verteilung dieser eine Rolle. Obwohl der BMI als schnelle und einfache Methode gilt, die Risiken für ungewollte gesundheitliche Folgen einzuordnen, geben sowohl das viszerale (Bauchhöhle), als auch das intrathorakale (Brusthöhle) Fettgewebe eine bessere Vorhersage über die Schwere des Verlaufs und den Bedarf an einer Intensivstation bzw. invasiver, mechanischer Beatmung.

1.4 COVID-19, die körperliche Leistungsfähigkeit und die Muskelkraft

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit aktuellen Studien über den Zusammenhang der körperlichen Leistungsfähigkeit und COVID-19. Zunächst schreiben Rossi et al. (2022) in ihrem narrativen Review neben der Rolle von Adipositas und der Körperzusammensetzung, wie schon im vorherigen Kapitel 1.3 erläutert, auch über Sarkopenie bei COVID-19. Einerseits weisen Personen mit Sarkopenie eine schlechte Immunantwort auf, was die Infektionsrate erhöhen kann. Dadurch können bei ihnen auch häufiger schwere Formen

eines COVID-19 Verlaufs, verbunden mit ungünstigen gesundheitlichen Folgen, gesehen werden. Beispielsweise wird auch die Behandlung von Symptomen, wie z.B. einer Lungenentzündung, durch Kraft- und Funktionsausfälle der Atemmuskulatur beeinträchtigt. Andererseits kann ein schwerer und langer COVID-Verlauf zu Sarkopenie bei COVID-19 Patientinnen und Patienten führen, da bei einem längeren Krankenhausaufenthalt mit Bettruhe Muskelschwund eintreten kann. Dabei sind ältere Personen in Kombination mit Begleiterkrankungen wie Adipositas oder einer Herz-Kreislauf-Störung anfälliger für Muskelbeeinträchtigungen (Rossi et al., 2022). Auch González-Islas et al. (2022) bestätigen, dass ältere Menschen (> 60 Jahre) mit Adipositas, Diabetes, einem längeren Krankenhausaufenthalt (> 7 Tage) und einem Bedarf an invasiver, mechanischer Beatmung ein höheres Risiko für Sarkopenie drei Monate nach einem mittleren oder schweren COVID-19 Verlauf zeigen. Sarkopenie ist gekennzeichnet durch eine niedrige Muskelmasse und -funktion, wodurch das Risiko von negativen Folgen bezüglich körperlicher Einschränkungen und Sterblichkeit erhöht wird (González-Islas et al., 2022). Eine längere Bettruhe geht mit einem Verlust an Muskelmasse einher. Außerdem beeinflusst Sarkopenie gesundheitliche Auswirkungen wie die Unabhängigkeit bei alltäglichen Aktivitäten (Peball et al., 2024). Narici et al. (2021) beschreiben, dass bereits nach zwei Tagen körperlicher Inaktivität ein Verlust an Muskelmasse erkennbar ist. Beispielsweise konnten sie eine signifikante Reduktion der Muskelmasse im Quadrizeps nach fünf Tagen Bettruhe nachweisen, wobei die Muskelkraft um rund 9 % gesunken ist. Nach 10, 30 und 60 Tagen konnten sie einen Verlust an Muskelmasse im Quadrizeps um zirka 6 %, 10 % und 15 % aufzeigen, was laut Veronese, Beaudart und Sabico (2021) im physiologischen Normalfall in einer Zeitspanne von zehn Jahren der Fall sein sollte. Im Allgemeinen beläuft sich der Verlust an Muskelmasse bei Menschen über 50 Jahren auf 1–2 % und der Verlust an Muskelkraft auf 1,5–5 % pro Jahr (González-Islas et al., 2022). Sarkopenie beeinflusst neben der Atem- und Schluckfunktion auch die motorischen Fähigkeiten sowie die Immunreaktion. Außerdem kann Sarkopenie bei einer COVID-19 Infektion für ein erhöhtes Infektionsrisiko, längere Krankenhausaufenthalte und unerwünschte klinische Folgen, wie z.B. eine erhöhte Sterblichkeit, verantwortlich sein (Menozzi et al., 2022). Körperliche Inaktivität birgt auch ein Risiko für einen funktionellen Verfall, schlechte Stoffwechselgesundheit und erhöhte Sterblichkeit. Zusätzlich vermindert sich auch die kardiorespiratorische Fitness, die meist durch die VO_{2max} (vgl. Kapitel 2.2.2.4) gemessen wird. Durch eine hohe körperliche Inaktivität, vergleichbar mit einer Bettruhe, können tägliche Verluste der VO_{2max} von ungefähr 0,5 % gemessen werden. Bei Menschen mittleren Alters und bei älteren Menschen geht dieser Verlust noch schneller vonstatten. Eine geringe VO_{2max} wird außerdem mit einer erhöhten Sterblichkeit assoziiert (Narici et al., 2021).

Bezogen auf die Studie von Lemos et al. (2022), die schon im vorherigen Kapitel 1.3 bezüglich der Körperzusammensetzung präsentiert wurde, werden nun die Ergebnisse über die körperliche Leistungsfähigkeit bei übergewichtigen und adipösen Menschen nach einer COVID-19 Infektion beleuchtet. Die Erkenntnisse aus der Bruce-Protokoll-Testung am Laufband mit den drei Gruppen (nicht-hospitalisiert = 1, hospitalisiert = 2, Intensivstation = 3) werden nun genannt. Eingangs lässt sich erwähnen, dass die nicht-hospitalisierte Gruppe 1 eine höhere körperliche Aktivität (selbst genannt) aufwies als die hospitalisierte Gruppe 2 und die Gruppe 3 auf der Intensivstation. Körperlich inaktive Personen hatten daher eine erhöhte Rate an Aufenthalt im Krankenhaus bzw. der Intensivstation. Gruppe 1 wies auch bessere Werte als die beiden anderen Gruppen bei Distanz, Ventilation⁶ und dem respiratorischen Quotienten⁷ auf. Zusätzlich war auch die Sauerstoffsättigung im Blut bei Gruppe 1 höher als bei Gruppe 2, die auch höhere Werte als Gruppe 3 aufwies. Gruppe 1 erreichte einen höheren Puls und eine höhere VO_{2peak} (vgl. Kapitel 2.2.2.4) als Gruppe 3. Asymptomatische Patientinnen und Patienten erreichten auch eine höhere VO_{2peak} als länger anhaltende COVID-Fälle. Der diastolische Blutdruck war sowohl 10 als auch 15 Minuten nach dem Test bei Gruppe 2 und Gruppe 3 höher als bei Gruppe 1. Nicht-hospitalisierte Personen mit einer höheren kardiorespiratorischen Fitness, einem höheren Level an Aktivität und einer höheren Muskelkraft schnitten also allgemein besser ab als hospitalisierte, weniger aktive Personen. Es wurde auch erkannt, dass die Hospitalisierungsraten bei Ausdauerathletinnen und -athleten signifikant niedriger sind, da körperliche Aktivität und eine bessere kardiorespiratorische Fitness einer Hospitalisierung und auch der Schwere der Symptome entgegenwirken. Ein hohes Level an körperlicher Aktivität bringt somit ein geringeres Risiko für Todesfälle durch COVID-19. Jimeno-Almazán et al. (2022) untersuchten in ihrer Studie den Zusammenhang der körperlichen Fitness mit der Schwere der COVID-19 Symptome bei 72 Menschen (65,3 % weiblich, 34,7 % männlich) im Alter von ≥ 18 Jahren ($45,5 \pm 9,0$). Sie beschreiben, dass ein niedriges Belastungslevel und körperliche Inaktivität ein höheres Risiko für schwere COVID-19 Verläufe mit sich bringen. Schwere und länger anhaltende Symptome sind häufiger bei Menschen mit einer geringeren Fitness und einer niedrigeren Muskelkraft zu finden. Im Gegensatz dazu haben Menschen mit einem besseren körperlichen

⁶ *Ventilation* = Belüftung der Atmungsorgane

⁷ Der *respiratorische Quotient* (RQ) ist das Verhältnis zwischen der Menge (Volumen V) an abgegebenem Kohlenstoffdioxid (CO_2) und der Menge an aufgenommenem Sauerstoff (O_2) in der Muskulatur. Er gibt an, aus welchem Energieträger (Kohlenhydrate, Fettsäuren, Proteine) primär Energie gewonnen wird und lässt sich berechnen durch $RQ = \frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}}$ (Kroidl, Schwarz, Lehnigk & Fritsch, 2015; Wonisch, Pokan & Hofmann, 2016; Primus, Wonisch, Berent & Auer, 2022).

Fitnesszustand weniger schwere Symptome, wobei die VO_{2max} und die Beinkraft mit Atemnot und Erschöpfung korrelieren. Bei einem höheren Aktivitätslevel kann auch eine geringere Anzahl an Symptomen festgestellt werden. In der Studie von do Amaral et al. (2024) wurden 113 COVID-19 Patientinnen und Patienten im Alter von ≥ 18 Jahren 120 Tage nach der Entlassung aus dem Krankenhaus auf ihre Lungenfunktion und ihre körperliche Leistungsfähigkeit getestet. Dabei wurden ein 6-Minuten-Gehtest, eine Spirometrie⁸ sowie eine Messung der Handgriffkraft durchgeführt. Die Handgriffkraft gilt als ein Stellvertreter für Muskelkraft und Krafterzeugung. Nach COVID-19 konnte eine verminderte Handgriffkraft festgestellt werden. Von den 113 Teilnehmerinnen und Teilnehmern wiesen 22 % einen Verlust an Muskelkraft und an Krafterzeugung auf. Ein Verlust an Muskelkraft ist assoziiert mit einer schlechteren Lungenfunktion und weniger Kraft im Atemmuskel, was die 6-Minuten-Gehdistanz negativ beeinflusste. Außerdem korreliert auch speziell die Handgriffkraft mit einer schlechteren Lungenfunktion und in weiterer Folge der 6-Minuten-Gehdistanz. Die Handgriffkraft und die Fähigkeit der Skelettmuskulatur, Kraft zu erzeugen, beeinflusst zudem gesundheitliche Auswirkungen und ist verbunden mit einem erhöhten Risiko für körperliche Einschränkungen und eine verminderte körperliche Leistungsfähigkeit. Zudem konnten Ramírez-Vélez et al. (2023) in ihrer Studie über die Muskelkraft nach COVID-19 eine geringere Handgriffkraft sowie eine geringere Kraft in der Beinstreckung bei COVID-19 Patientinnen und Patienten ($n = 99$; Durchschnittsalter: $47,38 \pm 9,99$; 71 % weiblich, 29 % männlich) im Vergleich zur Kontrollgruppe ($n = 97$; Durchschnittsalter: $52,22 \pm 11,94$; 53 % weiblich, 47 % männlich) feststellen. COVID-19 Erkrankte wiesen nach der akuten Phase der Erkrankung allgemein eine signifikant niedrigere absolute und auch relative Muskelkraft als die Kontrollgruppe auf. Auch Stavrou et al. (2022) untersuchten die Handgriffkraft, die als Indikator von körperlicher Fitness gilt, und führten außerdem einen 6-Minuten-Gehtest bei COVID-19 Erkrankten ($n = 80$; 17,5 % weiblich, 82,5 % männlich) zwei Monate nach ihrer Entlassung aus dem Krankenhaus durch. Eine Hospitalisierung von einer Woche beeinflusst die Muskelmasse und das allgemeine Wohlbefinden, da eine längere Bettruhe mit einem Verlust von körperlicher Leistungsfähigkeit und einem erhöhten Risiko von Komplikationen einhergeht. Bei dieser Studie wurden Patientinnen und Patienten nach ihrer akuten COVID-19 Erkrankung ($n = 40$; Durchschnittsalter: $51,7 \pm 6,5$; 17,5 % weiblich, 82,5 % männlich) mit

⁸ Die *Spirometrie* ist eine einfache Testmethode zur Untersuchung der Lungenfunktion, durch die das Lungenvolumen und Atemstromstärken bestimmt sowie obstruktive (= verschließende) Ventilationsstörungen diagnostiziert werden können (Criée et al., 2006; Criée et al., 2015).

Menschen, die an obstruktivem Schlafapnoe-Syndrom⁹ litten (n = 40; Durchschnittsalter: 48,3 ± 9,5; 17,5 % weiblich, 82,5 % männlich), verglichen, da beide Krankheiten mit Sauerstoffmangel im Blut und Einschränkungen der körperlichen Aktivität in Verbindung gebracht werden können. Die COVID-19 Gruppe wies außerdem eine niedrigere Muskelkraft sowie Handgriffkraft als die Schlafapnoe-Gruppe auf. Eine niedrige Handgriffkraft wird mit einer Hospitalisierung bei COVID-19 assoziiert. Außerdem zeigten COVID-19 Erkrankte eine niedrigere Sauerstoffsättigung im Blut sowie einen höheren Puls und Blutdruck am Ende der Testung.

Peball et al. (2024) führten eine Studie in Österreich durch, bei der sie die körperliche Leistungsfähigkeit ein Jahr nach einer COVID-19 Erkrankung bei 69 Menschen im Alter von ≥ 18 Jahren mit milden (n = 22), moderaten (n = 32) und schweren (n = 15) Verläufen untersuchten. Laut Durstenfeld et al. (2022) ist die körperliche Leistungsfähigkeit, speziell 3–6 Monate nach einer Hospitalisierung aufgrund eines schweren COVID-19 Verlaufs, vermindert. Zudem bringt die körperliche Inaktivität während einer Hospitalisierung einen körperlichen Abbau mit sich, was bei Krankheiten allgemein öfter vorkommt. Diese Personen weisen auch häufig Atemprobleme sowie einen niedrigeren Maximalpuls auf, wodurch ihre körperliche Leistungsfähigkeit eingeschränkt wird. Von insgesamt 69 Personen wurde bei n = 8 (12 %) eine Verringerung der Skelettmuskelmasse festgestellt. Diese Verminderung wurde unabhängig von der Schwere, der Dauer des Krankenhausaufenthalts, den Begleiterkrankungen und der Belastung der Symptome erkannt. Patientinnen und Patienten, die während der akuten COVID-19 Erkrankung auf der Intensivstation behandelt werden mussten, zeigten schlechtere Ergebnisse beim 6-Minuten-Gehtest, im Vergleich zu Erkrankten mit milden bzw. moderaten Verläufen. Schwere Verläufe konnten daher mit einer schlechteren körperlichen Leistungsfähigkeit in Verbindung gebracht werden. Zwischen den Verlaufgruppen war die allgemeine körperliche Genesung gut und vergleichbar, wobei auch die Muskelmasse nicht signifikant vermindert war (Peball et al., 2024). Nach einer COVID-19 Infektion sind kardiopulmonale¹⁰ Funktionen laut Besnier et al. (2022) häufig beeinträchtigt. Die Forschungsgruppe testete ein 8-wöchiges Rehabilitationsprogramm nach einer akuten COVID-19 Erkrankung bei 40 Teilnehmerinnen und Teilnehmern im Alter von 40 bis 80 Jahren. Bei einem Krankenhausaufenthalt vermindert sich die körperliche Leistungsfähigkeit durch längere

⁹ *Obstruktives Schlafapnoe-Syndrom*: Störung der Schlafatmung, die durch längere Perioden einer vollständigen oder teilweisen Obstruktion (= Verschluss) der oberen Atemwege gekennzeichnet ist (Stavrou et al., 2021).

¹⁰ *Kardiopulmonal*: Herz und Lunge betreffend [von *kardio* (griech.) „Herz“ und *pulmonal* (lat.) „die Lunge betreffend“] (Dudenredaktion, 2008, S. 474 & S. 669).

Inaktivität und Bettruhe, wobei 30 % der Untersuchten nach einer COVID-19 Krankheit im Vergleich zur Kontrollgruppe eine verringerte VO_{2peak} aufwiesen. Die VO_{2peak} gilt als ein Hauptmarker für Krankheitshäufigkeit und Sterblichkeit. Auch Torres-Castro et al. (2021) weisen auf eine schlechtere Lungenfunktion nach einer COVID-19 Erkrankung hin. In ihrem systematischen Literaturreview inkludierten sie 162 weibliche und 190 männliche Personen mit unterschiedlichen Altersmedianen zwischen $46,7 \pm 13,7$ und $69,1 \pm 7,8$ Jahren. Sie sprechen von einer veränderten Diffusionskapazität¹¹ bei 39 %, von restriktiven (= einschränkenden) Mustern bei 15 % und von obstruktiven (= verschließenden) Lungenmustern bei 7 % der analysierten COVID-19 Patientinnen und Patienten.

1.5 COVID-19: Zusammenhang zwischen körperlicher Leistungsfähigkeit, Muskelkraft und Körperzusammensetzung

Bis dato konnte keine Studie, die sich spezifisch mit dem Zusammenhang zwischen der Körperzusammensetzung, der Muskelkraft und der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Menschen nach einer COVID-19 Infektion beschäftigt, gefunden werden. Auch Lemos et al. (2022) bestätigen, dass ein möglicher Zusammenhang zwischen der Körperzusammensetzung und der Leistungsfähigkeit mit der Schwere der COVID-19 Symptome bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht verifiziert wurde. In der vorliegenden Arbeit soll diese Forschungslücke bearbeitet und im Zuge der Studie *„Körperliche Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach Covid-19“* der Abteilung für Sportmedizin, Leistungsphysiologie und Prävention am Institut für Sportwissenschaft der Universität Wien mit den erhobenen Daten analysiert werden. Gefundene, relevante Studien beschreiben beispielsweise die positiven Effekte einer höheren körperlichen Leistungsfähigkeit und sportlicher Aktivität auf den Verlauf, die Schwere und die Symptome nach einer COVID-19 Infektion (Jimeno-Almazán et al., 2021; Jimeno-Almazán et al., 2022), die negativen Auswirkungen, vermehrte Komplikationen und höhere Risiken bei Übergewicht bzw. Adipositas während und nach einer COVID-19 Erkrankung (González-Islas et al., 2022; Lemos et al., 2022) oder die Rolle von Körperzusammensetzung, Übergewicht und Ernährung bei COVID-19 (Rossi et al., 2022). Die in dieser Arbeit zu analysierenden Zusammenhänge werden in der aktuellen Forschung nicht behandelt, obwohl die Effekte der einzelnen Themen (Körperzusammensetzung, Muskelkraft und körperliche Leistungsfähigkeit) bezogen auf die Infektion während und nach einer COVID-19 Erkrankung ausführlich diskutiert werden. Jedoch werden speziell die gegenseitigen Effekte dieser einzelnen Komponenten (Muskelkraft ↔ Körperzusammensetzung ↔ körperliche

¹¹ Die *Diffusionskapazität* ist ein Maß zur Beurteilung des Gasaustausches in der Lunge (Hegewald, 2009).

Leistungsfähigkeit) bei COVID-19 Patientinnen und Patienten nach einer Infektion im Zusammenhang mit der Schwere des Krankheitsverlaufs nicht diskutiert. Peball et al. (2024) untersuchten zwar die körperliche Leistungsfähigkeit und die Körperzusammensetzung ein Jahr nach einer COVID-19 Infektion ($n = 69$; ≥ 18 Jahre), stellten jedoch keinen Zusammenhang bzw. Einfluss zwischen diesen beiden Komponenten her. Lemos et al. (2022) analysierten in ihrer Studie die körperliche Leistungsfähigkeit sowie die Körperzusammensetzung bei übergewichtigen Personen ($n = 171$; 45,6 % weiblich, 54,4 % männlich) im Alter von 19 bis 65 Jahren in Bezug auf die Schwere der Symptome. Sie vermuten, dass eine höhere Fettmasse und eine niedrigere körperliche Fitness im Zusammenhang mit der Schwere der Symptome stehen. Aufgrund der schwereren Verläufe und vermehrten Komplikationen bei Menschen mit Übergewicht wird die Hypothese aufgestellt, dass auch die körperliche Leistungsfähigkeit sowie die Muskelkraft nach einer COVID-19 Infektion von der Körperzusammensetzung beeinflusst werden.

1.6 Zielsetzung der Arbeit, Forschungsfragen und Hypothesen

Die Zielsetzung der Studie ist die Untersuchung der körperlichen Leistungsfähigkeit sowie Muskelkraft nach einer COVID-19 Erkrankung. Durch diese Untersuchung können dann individuelle, krankheitsspezifische und präventive Trainingsprogramme abgeleitet und die Versorgung von Menschen nach einer COVID-19 Erkrankung verbessert werden. Zusätzlich können auch evidenzbasierte sportmedizinische und sportwissenschaftliche Empfehlungen etabliert werden. Die Beantwortung der Forschungsfragen soll speziell im Hinblick auf Empfehlungen bezogen auf die Körperzusammensetzung (z.B. BMI, fettfreie Masse, Fettmasse, Phasenwinkel, etc.) hilfreich sein. Inwiefern die körperliche Leistungsfähigkeit und die Muskelkraft nach einer COVID-19 Infektion von der Zusammensetzung des Körpers abhängig sind und wie sie diese beeinflusst, soll in dieser Arbeit beantwortet werden. Dadurch ergeben sich nachfolgende Forschungsfragen und Hypothesen.

Forschungsfragen:

- a) Inwiefern stehen eine SARS-CoV-2 Infektion, die körperliche Leistungsfähigkeit, die Muskelkraft und die Körperzusammensetzung in Zusammenhang und welche Unterschiede gibt es zwischen leichten und schweren Krankheitsverläufen?
- b) Inwiefern beeinflusst die Körperzusammensetzung die körperliche Leistungsfähigkeit und die Muskelkraft nach einer SARS-CoV-2 Infektion?

Hypothesen:

- a) Die körperliche Leistungsfähigkeit und die Muskelkraft nach einer SARS-CoV-2 Infektion hängen mit der Körperzusammensetzung zusammen und es gibt Unterschiede zwischen leichten und schweren Krankheitsverläufen.
- b) Die körperliche Leistungsfähigkeit und die Muskelkraft nach einer SARS-CoV-2 Infektion werden durch die Körperzusammensetzung beeinflusst.

2 Methodik

Im Zuge der Studie „*Körperliche Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach Covid-19*“ der Abteilung für Sportmedizin, Leistungsphysiologie und Prävention am Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft der Universität Wien, die von Jänner 2022 bis Mai 2023 durchgeführt wurde, werden neben der sportmedizinischen Anamnese auch sportwissenschaftliche Untersuchungen angewendet. In dieser Arbeit werden die Daten aus dieser Studie analysiert. Mithilfe dieser Daten wird der Zusammenhang zwischen der körperlichen Leistungsfähigkeit, die mit einem Belastungs-EKG als Spiroergometrie untersucht wird, der Muskelkraft, die mit einem Handdynamometer eruiert wird, und der Körperzusammensetzung, die mithilfe einer Bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) gemessen wird, untersucht. Somit beschränkt sich die vorliegende Arbeit neben dem Miteinbeziehen der sportmedizinischen Anamnese auf diese Untersuchungen. In der Analyse wird untersucht, ob und inwiefern die Zusammensetzung des Körpers dessen Leistungsfähigkeit bzw. Muskelkraft nach COVID-19 beeinflusst. Bei der Spiroergometrie wird die körperliche Leistungsfähigkeit getestet. Während der Ergometrie wird ein Belastungs-EKG aufgezeichnet, wobei die Spirometrie zeitgleich die Atemgase misst. Diese Werte geben dann Aufschluss über die körperliche Leistungsfähigkeit der untersuchten Person. Zusätzlich wird eine Messung der Handgriffkraft an beiden Händen durchgeführt. So können Aussagen zur Muskelkraft getätigt werden. Die erhobenen Daten werden zuerst direkt mithilfe der Software des verwendeten Geräts (BIA, Spiroergometrie) erfasst, danach in eine Excel®-Datei exportiert und dort zusammengefasst. Zusätzlich zu den digitalen Daten werden die Untersuchungsergebnisse auch auf Papier in einer Mappe für jede Testperson gesammelt, um einem digitalen Datenverlust entgegenzuwirken. Nach dem Sammeln und Organisieren der benötigten Daten in Microsoft® Excel® werden diese in SPSS® *Statistics (Statistical Package for Social Sciences)*, einer Software für statistische Datenanalyse der Firma IBM® (*International Business Machines Corporation, USA*), analysiert und ausgewertet.

2.1 Studien- und Untersuchungsablauf

Im folgenden Abschnitt wird der Studien- und Untersuchungsablauf der Studie „*Körperliche Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach Covid-19*“ beschrieben. Dabei wird auf die sportmedizinischen und sportwissenschaftlichen Untersuchungen bzw. Testungen genauer eingegangen, das Studiendesign, die Ziele und Kriterien beschrieben sowie die Rekrutierung der Probandinnen und Probanden erklärt. Die Rekrutierungsphase begann im Jänner 2022 und endete ein Jahr später im Jänner 2023. Gleichzeitig begann auch die Untersuchungsphase, die aber bis Mai 2023 andauerte. Zuletzt startete die Auswertungsphase der Daten nach dem Abschluss der Rekrutierungsphase, da zu diesem Zeitpunkt schon ausreichend viele Daten vorhanden waren. Die Phase der Dateneintragungen fand laufend während den anderen Phasen statt und konnte im Juni 2023 abgeschlossen werden.

2.1.1 Studiendesign

Die Studie untersucht, welche Auswirkungen eine Erkrankung an COVID-19 bei Untrainierten sowie Sporttreibenden auf die Lebensqualität und die körperliche Leistungsfähigkeit hat. Interessierte konnten sich kostenfrei für die sportmedizinischen und sportwissenschaftlichen Untersuchungen im Zuge der Studie anmelden. Nach einer COVID-19 Erkrankung können Symptome wie Kopfschmerzen, Schwindel, chronische Erschöpfung sowie eine verringerte körperliche Leistungsfähigkeit auftreten und sowohl über einen kürzeren als auch längeren Zeitraum bestehen bleiben, wodurch der Alltag bzw. das Sporttreiben negativ beeinflusst wird. Am Institut für Sport- und Bewegungswissenschaften der Universität Wien wird diese Versorgungsstudie in der Abteilung Sportmedizin, Leistungsphysiologie und Prävention zur Beurteilung der Gesundheit und Belastbarkeit nach einer COVID-19 Erkrankung durchgeführt und stellt eine wichtige Grundlage für Medizinerinnen und Mediziner, Trainerinnen und Trainer sowie Trainingstherapeutinnen und -therapeuten bezüglich Beratung und Betreuung dar. Zusätzlich soll es durch die zwei umfangreichen sportmedizinisch-leistungsphysiologischen Untersuchungen möglich sein, individuelle Trainingsprogramme abzuleiten, die Versorgung von Menschen nach einer COVID-19 Erkrankung zu verbessern und evidenzbasierte sportmedizinische sowie sportwissenschaftliche Empfehlungen altersspezifisch zu etablieren (Universität Wien, 2024; Österreichisches Institut für Sportmedizin ÖISM, 2024).

2.1.2 Untersuchungsablauf & Testungen

Bei allen Personen wurden bei beiden Untersuchungsterminen eine Reihe von sportmedizinischen und sportwissenschaftlichen Untersuchungen durchgeführt, wobei auch drei Fragebögen ausgefüllt werden mussten. Im den folgenden drei Unterkapiteln

werden alle Testungen der Studie aufgezählt und kurz beschrieben. An einem Testtag wurden üblicherweise jeweils zwei Probandinnen bzw. Probanden am Vormittag und am Nachmittag parallel durch das Studienteam untersucht und getestet. Die Untersuchungen wurden aus logistischen Gründen um 30 Minuten versetzt begonnen. Pro Person betrug die Gesamtdauer der Untersuchungen zirka 2,5–3 Stunden, was einen Gesamtaufwand von 5–6 Stunden pro Untersuchungstag (exklusive Vor- und Nachbereitungen) für das Untersuchungsteam ausmachte. Zu Beginn wurden die Anamnese und die Messung von anthropometrischen Daten wie Körpergewicht und -größe durchgeführt. Bevor es zur einer körperlichen Belastungstestung, der Spiroergometrie, kam, wurde mit einer Griffkraft- bzw. Körperzusammensetzungsmessung weitergemacht.

2.1.2.1 Sportmedizinische Untersuchungen

- *Anamnese und körperliche Untersuchung*

Bei der Anamnese werden allgemeine Informationen über die Testpersonen in einem Gespräch aufgenommen. Als Kernpunkt der Beziehung zwischen Ärztin/Arzt und Probandin bzw. Proband liefert sie grundlegende Informationen über die zu untersuchende Person und baut ein Vertrauensverhältnis auf (Neurath & Lohse, 2015; Grüne, 2016). Hier werden das Körpergewicht sowie die Körpergröße gemessen und Fragen der Studienärztin bezüglich sportlicher Aktivität, Vorerkrankungen, Symptome und Zeitpunkt der COVID-19 Infektion und Gesundheit bzw. Lebensstil werden beantwortet.

- *Analyse der Körperzusammensetzung (Körperfettstatus, Größe, Gewicht)*

Mithilfe der Bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) wird die Körperzusammensetzung gemessen. Dabei werden Größen wie der Körperfettanteil, der Anteil der Muskelmasse, das Körperwasser und der Phasenwinkel aufgezeigt. Die Messung der Körperzusammensetzung ist ein wichtiges Werkzeug, den Ernährungs- und Gesundheitszustand bei gesunden sowie kranken Menschen zu beurteilen (Marra et al., 2019). Da die BIA in dieser Arbeit ein großer Bestandteil ist, werden genauere Details im Kapitel 2.2.1 beschrieben.

2.1.2.2 Sportwissenschaftliche Untersuchungen

- *Belastungs-EKG als Spiroergometrie*

Bei der Spiroergometrie werden die körperliche Leistungsfähigkeit sowie die Lungenfunktion unter Belastung getestet. Sie überprüft die Belastbarkeit der Lunge und des Herzkreislaufsystems. Neben dem EKG werden auch die Atemgase und deren Austausch in der Lunge gemessen. Hier müssen die Probandinnen und Probanden am

Fahrradergometer bis zur vollständigen Ausbelastung arbeiten (Breuer, 1997). Auch diese Testung ist Hauptbestandteil der vorliegenden Arbeit und wird im Kapitel 2.2.2 detailliert beschrieben.

- *Messung der Handgriffkraft*

Mit einem Handdynamometer wird die Handgriffkraft, die auch als Indikator für die Gesundheit und Fitness gilt, an beiden Händen getestet. Niedrige Werte werden mit Stürzen, beeinträchtigter gesundheitsbezogener Lebensqualität sowie erhöhter Sterblichkeit in Verbindung gebracht (Roberts et al., 2011). Die Handdynamometrie wird in Kapitel 2.2.3 ausführlich beschrieben.

2.1.3 Sample und Rekrutierung

Im Zuge der Studie „*Körperliche Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach Covid-19*“ wurden sowohl Untrainierte als auch Sporttreibende über die Webseite der Universität Wien (<https://postcovid19.univie.ac.at/>) zur Studie rekrutiert. Während der Anmeldephase (Jänner 2022–Jänner 2023) konnten sich Interessenten online direkt über die Webseite anmelden. Die Kriterien für die Rekrutierung und Aufnahme der Studie sowie die genauen Ein- und Ausschlusskriterien sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien (Rekrutierung)

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
1. Nachweis einer durchlaufenen COVID-19 Erkrankung	1. Keine durchlaufene COVID-19 Erkrankung
2. Alter: ≥ 18 Jahre	2. Alter: < 18 Jahre
3. Keine akuten internistischen und/oder orthopädischen Erkrankungen	3. Akute internistische und/oder orthopädische Erkrankungen
4. Keine akute COVID-19 Infektion	4. Akute COVID-19 Infektion
5. Erfolgreiche Teilnahme am Untersuchungstermin	5. Keine Teilnahme am Untersuchungstermin
6. Vorhandene Daten aller Untersuchungen bzw. Testungen	6. Fehlende Daten von Untersuchungen bzw. Testungen

Für die Rekrutierung war es wichtig, dass die Personen zum Zeitpunkt der Untersuchungen mindestens 18 Jahre alt sind und nachweislich eine COVID-19 Erkrankung durchlaufen haben. Das bedeutet auch, dass sie zum Zeitpunkt der Untersuchungen an keiner akuten COVID-19 Infektion erkrankt sind, die Krankheit musste auskuriert gewesen sein. Zusätzlich sollte auch niemand an akuten internistischen und/oder orthopädischen Erkrankungen leiden. Damit die Daten ausgewertet werden können, müssen auch Daten von allen Testungen, die in dieser Arbeit analysiert werden, beim Untersuchungstermin

vorhanden sein. In Abbildung 3 sind die ein- und ausgeschlossenen Probandinnen und Probanden gemeinsam mit den jeweiligen Begründungen mithilfe eines Flow-Diagramms dargestellt.

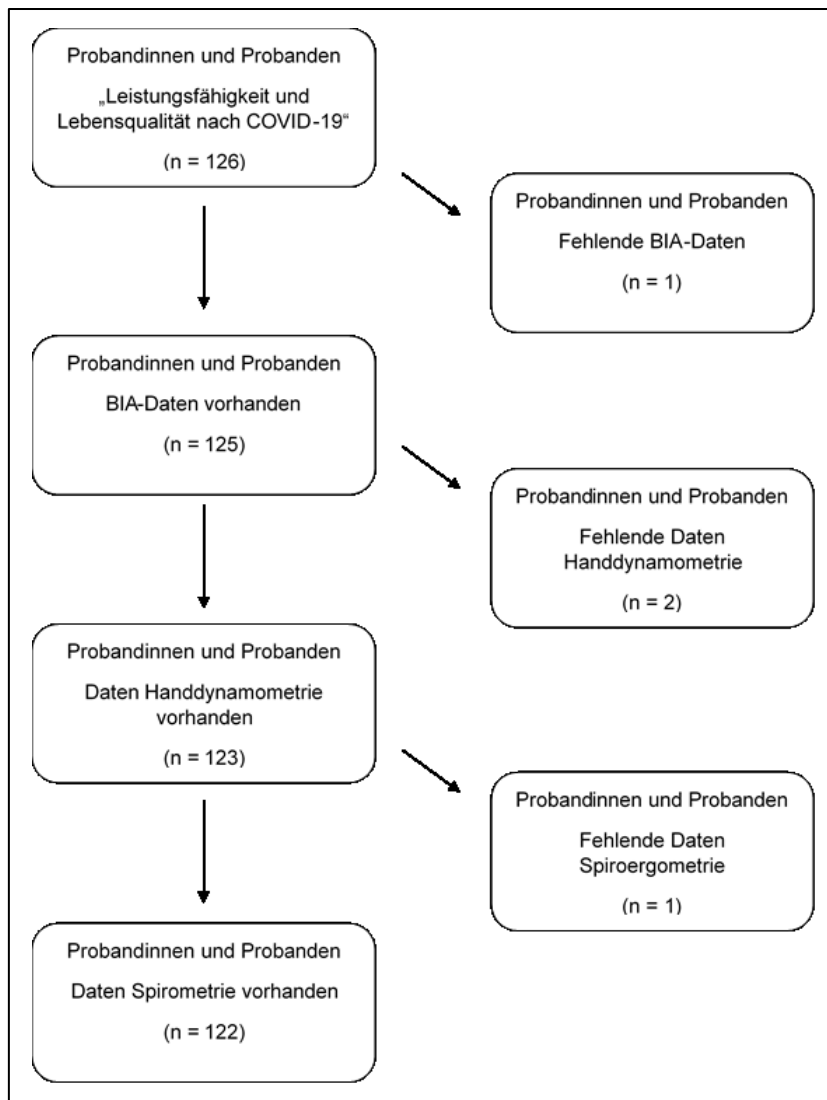


Abbildung 3: Flow-Diagramm

Eingangs konnten 126 Probandinnen und Probanden untersucht werden. Aufgrund fehlender Messdaten bei der BIA ($n = 1$), der Handdynamometrie ($n = 2$) und der Spiroergometrie ($n = 1$) mussten insgesamt 4 Personen von der Analyse für diese Arbeit ausgeschlossen werden. Somit bleiben insgesamt 122 Personen, die alle Kriterien erfüllen und damit auch analysiert werden können, übrig. Das Studienkollektiv der 122 Probandinnen und Probanden setzt sich zusammen aus 73 Männern (59,84 %) und 49 Frauen (40,16 %) im Alter von 20 bis 68 Jahren. Das Durchschnittsalter beträgt 38,85 Jahre mit einer Standardabweichung von 11,67 Jahren. Da sich Komplikationen und Effekte der akuten COVID-19 Erkrankung über alle Altersgruppen verteilen, gab es bei der Studie keine Altersbeschränkung nach oben, jedoch lag das Mindestalter der

Teilnehmer/innen bei 18 Jahren. Im Sinne eines Gesamtüberblicks über das vorhandene Studienkollektiv sind weitere anthropometrische Daten wie Körpergröße, Gewicht und Body-Mass-Index (BMI) in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Anthropometrische Daten des Studienkollektivs (n = 122)

	Gesamt	Männer	Frauen
Studienkollektiv (n)	122 (100 %)	73 (59,84 %)	49 (40,16 %)
Alter (Jahre)	38,89 ± 11,69	39,60 ± 12,06	37,84 ± 11,28
Größe (cm)	174,80 ± 8,73	180,19 ± 6,04	166,77 ± 5,35
Gewicht (kg)	74,95 ± 15,89	81,05 ± 13,44	65,87 ± 15,18
BMI (kg/m²)	24,41 ± 4,38	24,91 ± 3,63	23,66 ± 5,29

Werte stellen absolute Anzahlen (relative Anzahlen in Prozent) bzw. Mittelwerte ± Standardabweichungen dar
n: Anzahl, %: Prozent, cm: Zentimeter, kg: Kilogramm, BMI: Body-Mass-Index, kg/m²: Kilogramm pro Quadratmeter

2.1.4 Schwere des Krankheitsverlaufs

Da die Parameter „körperliche Leistungsfähigkeit“, „Muskelkraft“ sowie „Körperzusammensetzung“ bei der Analyse mit der COVID-19 Erkrankung in Verbindung gebracht werden sollen, ist das Wissen um die Schwere des Krankheitsverlaufs unabdingbar. Dafür wurde vom Studienteam ein System entwickelt, das die aufgetretenen Symptome während der Erkrankung in Abhängigkeit ihrer Schwere auf einer Skala von 0 bis 15 darstellen. Von der medizinischen Leitung der Studiengruppe wurde festgelegt, wie schwer ein vorhandenes Symptom zu beurteilen ist. Leichte Symptome (z.B. Kopfschmerzen) wurden mit der Zahl 1, mittelschwere Symptome (z.B. Fieber) mit 2 und schwere Symptome (z.B. Dyspnoe/Atemnot) mit 3 gewertet. Die Symptome wurden nach ihrem Effekt auf den Körper eingeordnet. So beeinflussen leichte Symptome den Bereich oberhalb des Halses, mittelschwere Symptome auch den Rumpfbereich und schwere Symptome den ganzen Körper. Die aufgetretenen Symptome wurden mit der Wertung ihrer Schwere addiert, wodurch ein Wert zwischen 0 und 15 errechnet werden konnte. Nicht aufgetretene Symptome (= asymptomatisch) wurden mit dem Wert 0 bewertet und dadurch nicht in die Rechnung miteinbezogen. Der Krankheitsverlauf ist somit umso schwerer, je höher der errechnete Wert ist. Folgende Symptome wurden gewertet:

- Wert 1: Verlust des Geruchs- und Geschmackssinns, Kopfschmerzen
- Wert 2: Durchfall, Husten, Übelkeit, Fieber, Muskel- und Gliederschmerzen
- Wert 3: Dyspnoe/Atemnot

Im Ergebnisteil dieser Arbeit (Kapitel 3) werden die vorhandenen Daten der Untersuchungen mit der Schwere des Krankheitsverlaufs in Verbindung gebracht. Dafür wird das gesamte Studienkollektiv (n = 122) in die beiden Gruppen „leichter Verlauf“ und

„schwerer Verlauf“ aufgeteilt. Die Einteilung erfolgt in Abhängigkeit der Anzahl und Schwere der Symptome. Die Grenze zwischen den beiden Gruppen wird beim Medianwert ($\tilde{x} = 5$) der geordneten Datenliste gesetzt. So werden die Gruppen „leichter Verlauf“ bei Werten ≤ 5 und „schwerer Verlauf“ bei Werten > 5 definiert. Aus dieser Definition ergibt sich die Anzahl für den leichten Verlauf ($n = 63$) und für den schweren Verlauf ($n = 59$). Die Häufigkeitsverteilung der Schwere des Krankheitsverlaufs ist in Abbildung 4 dargestellt.

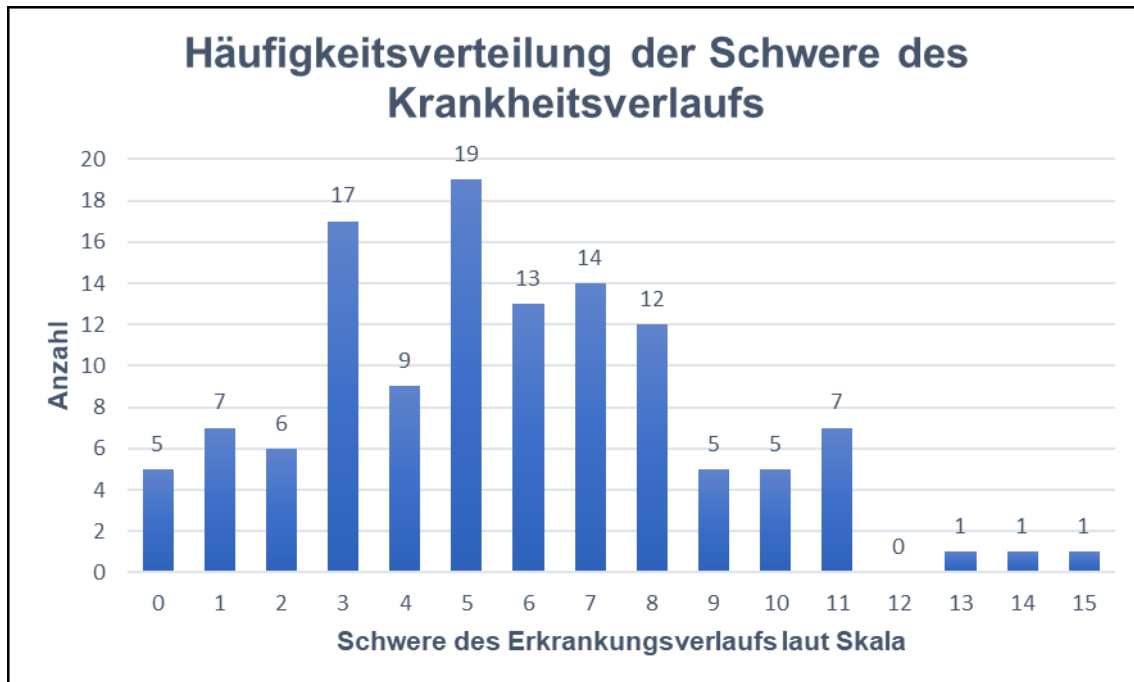


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Schwere des Krankheitsverlaufs

2.2 Datenerhebung

In diesem Kapitel werden allgemeine Informationen über die Datenerhebung und die verwendeten Testgeräte beschrieben. Die für diese Arbeit zu analysierenden Daten stammen aus der Bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA), der Spiroergometrie und der Handdynamometrie. Mithilfe der BIA wurde die Körperzusammensetzung gemessen, die körperliche Leistungsfähigkeit der Probandinnen und Probanden wurde durch die Spiroergometrie gemessen und durch die Handdynamometrie konnte die Griffkraft von beiden Händen ermittelt werden. Kapitel 2.2.1 beschäftigt sich genauer mit den Grundlagen und Messwerten der BIA, Kapitel 2.2.2 wird die Spiroergometrie in ihren Merkmalen und Eigenschaften beschreiben. Kapitel 2.2.3 befasst sich mit der Handdynamometrie und der Ermittlung der Handgriffkraft.

2.2.1 Bioelektrische Impedanzanalyse

Die Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) wird dazu verwendet, die Körperzusammensetzung eines Menschen zu untersuchen. Sie ist ein nichtinvasives, reliables, kosten- und zeitgünstiges Verfahren, das im klinischen sowie epidemiologischen¹² Bereich Anwendung findet. Aus der Messung elektrischer Eigenschaften von Körpergewebe werden wichtige Parameter der Körperzusammensetzung errechnet und abgeleitet (Marra et al., 2019). Für die Untersuchungen der Studie wurde das Gerät *NutriBox – Body Impedanz Analyzer* der deutschen Firma *Data Input GmbH* verwendet. Mithilfe der *NutriPlus Software* des gleichen Herstellers konnten die Daten gespeichert und ausgewertet werden. Auf Grundlage des 3-Kompartiment-Modells (vgl. Kapitel 2.2.1.3) wurde eine phasensensitive BIA, die eine Unterscheidung der Impedanz in Resistanz und Reaktanz ermöglicht, verwendet (vgl. Kapitel 2.2.1.1). Diese Werte sind für die Beurteilung des Körperwassers und der Körperzellmasse (BCM) notwendig. Alle Werte, die bei der BIA-Untersuchung gemessen sowie berechnet werden, werden in den nächsten Unterkapiteln genauer erklärt.

2.2.1.1 Impedanz

Die Impedanz (Z) beschreibt den gesamten Widerstand, den ein (biologischer) Leiter (z.B. der menschliche Körper) gegen Wechselstrom aufweist. Bei der phasensensitiven BIA wird die Impedanz Z in Resistanz R und Reaktanz X_C unterteilt, wodurch die Körperzellmasse (BCM) von der extrazellulären Masse (ECM) unterschieden werden kann. Dabei wird die Resistanz als Wirkwiderstand bzw. Wasserwiderstand und die Reaktanz als Blindwiderstand bzw. Zellwiderstand bezeichnet. Deshalb kann die Resistanz zum Berechnen des Körperwassers und die Reaktanz als Maß für die Körperzellmasse (BCM) herangezogen werden. Die Zellen der Körperzellmasse (BCM) verhalten sich wegen ihrer Zellmembran wie ein Kondensator, der als Wechselstromwiderstand fungiert. Durch diese Eigenschaft entsteht an der Zellmembran eine zeitliche Verschiebung des sinusförmigen Verlaufs des Wechselstroms zwischen Stromstärke und Spannung, wie in Abbildung 5 schematisch dargestellt (Data Input GmbH, 2009). Die physiologischen Werte der Resistanz (Frauen: $R = 400\text{--}750\text{ Ohm}$; Männer: $R = 350\text{--}650\text{ Ohm}$) und der Reaktanz X_C (8 %–14 % des gemessenen Resistanz-Wertes) bei einer Wechselstromfrequenz von 50 kHz¹³ sollten bei einer Erstmessung immer überprüft werden. Liegen die Messwerte

¹² Die *Epidemiologie* beschäftigt sich mit dem Aufkommen und der Verbreitung von Krankheiten sowie deren Ursachen und Folgen in einer Population bzw. der Bevölkerung (du Prel, Röhrig & Weinmayr, 2010).

¹³ kHz: Kilohertz

außerhalb dieser Bereiche, so liegen meist Mess- bzw. Durchführungsfehler vor. Bei Mangelernährung oder stark trainierten Menschen können jedoch Reaktanz-Werte außerhalb des physiologischen Bereichs ($X_C < 8 \%$ bei Mangelernährung; $X_C > 14 \%$ bei stark trainierten Personen) auftreten (Data Input GmbH, 2019).

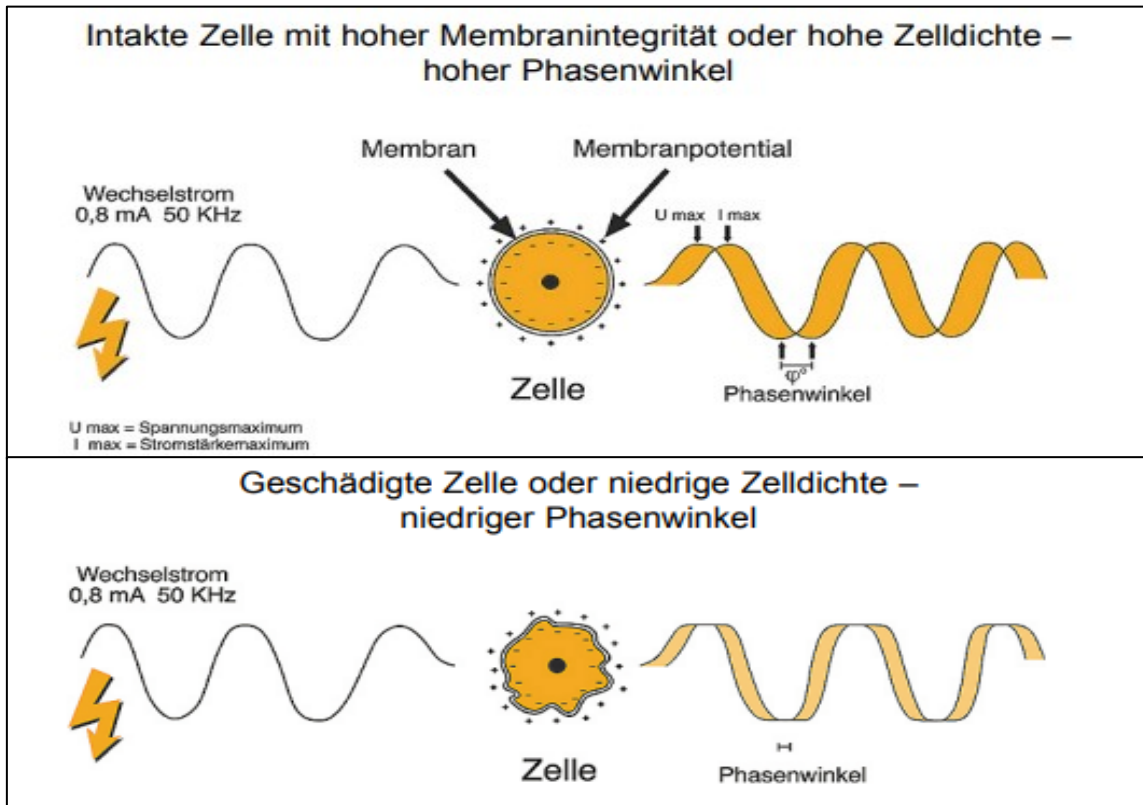


Abbildung 5: Entstehung des Phasenwinkels (Data Input GmbH, 2009, S. 7)

Die eben genannte Phasenverschiebung wird bei Winkelfunktionen, wie der Sinusfunktion beim Wechselstrom, auch Phasenwinkel genannt und in Grad [°] gemessen. Gesunde Zellen mit einer hohen Zelldichte bewirken eine stärkere Phasenverschiebung und somit einen höheren Phasenwinkel, wohingegen geschädigte Zellen im Umkehrschluss einen niedrigeren Phasenwinkel hervorbringen. Aus dem gemessenen Phasenwinkel kann somit direkt auf den Ernährungs- sowie Fitnesszustand einer Person geschlossen werden (Data Input GmbH, 2009). Der Phasenwinkel wird in Kapitel 2.2.1.9 detailliert behandelt.

2.2.1.2 Ablauf der Messung

Die BIA-Messung wird allgemein in einer entspannten Position in Rückenlage durchgeführt. Wichtig dabei ist, dass die Extremitäten keinen Kontakt zum Rumpf bzw. anderen Extremitäten haben, da sonst der Weg des Stroms verkürzt wird und es dadurch zu falschen Ergebnissen kommt (vgl. Abbildung 6). Außerdem darf der Körper keinen Kontakt zu metallischen Gegenständen (z.B. Bettrahmen) haben, wobei Schmuck kein Problem bei der Messung darstellt (Data Input GmbH, 2009).



Abbildung 6: BIA-Messung in Rückenlage (Data Input GmbH, 2019, S. 7)

Für die Messung werden jeweils zwei Elektroden an Hand sowie Fuß derselben Seite geklebt (vgl. Abbildung 7). Vor dem Anbringen der Elektroden sollte die Haut mit Desinfektionsmittel gereinigt werden, da sie für eine optimale Messung fettfrei und trocken sein muss. Bevor die Messung beginnt, sollte die Probandin/der Proband zirka zehn Minuten in Ruhelage verbringen, damit sich das Blutvolumen im Körper gleichmäßig verteilen kann. Medizinisch zugelassene BIA-Geräte messen im Normalfall zuverlässig und sehr genau, wodurch Messfehler durch das Gerät sehr selten vorkommen. Für Messfehler oder Ungenauigkeiten der Messwerte sind meist die Durchführung bzw. die falsche Lage oder Beschädigungen der Messkabel oder die Elektroden auf der Haut verantwortlich (Data Input GmbH, 2019).

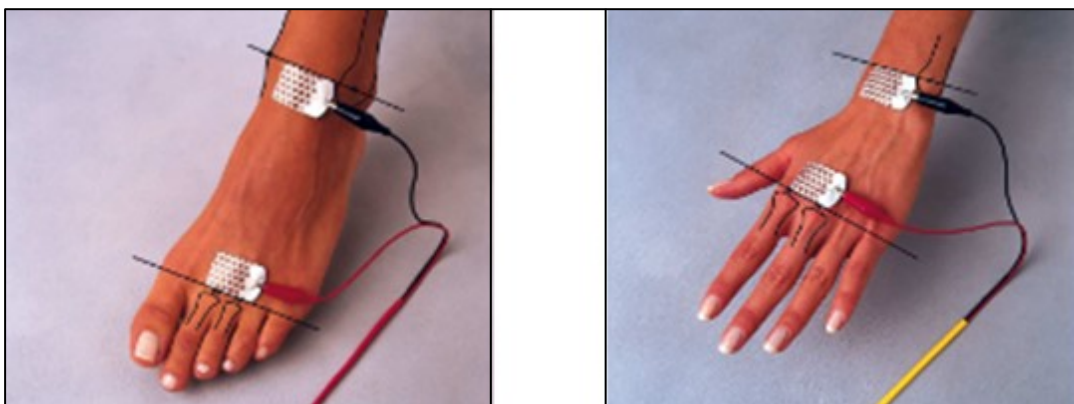


Abbildung 7: Platzierung der BIA-Elektroden an Fuß und Hand (Data Input GmbH, 2019, S. 11)

2.2.1.3 Kompartimentmodelle

Für die Messung der Körperzusammensetzung gibt es verschiedenste Methoden, die sogenannte Kompartimentmodelle als Grundlage heranziehen. In Abbildung 8 sind die verschiedenen Kompartimentmodelle schematisch dargestellt.

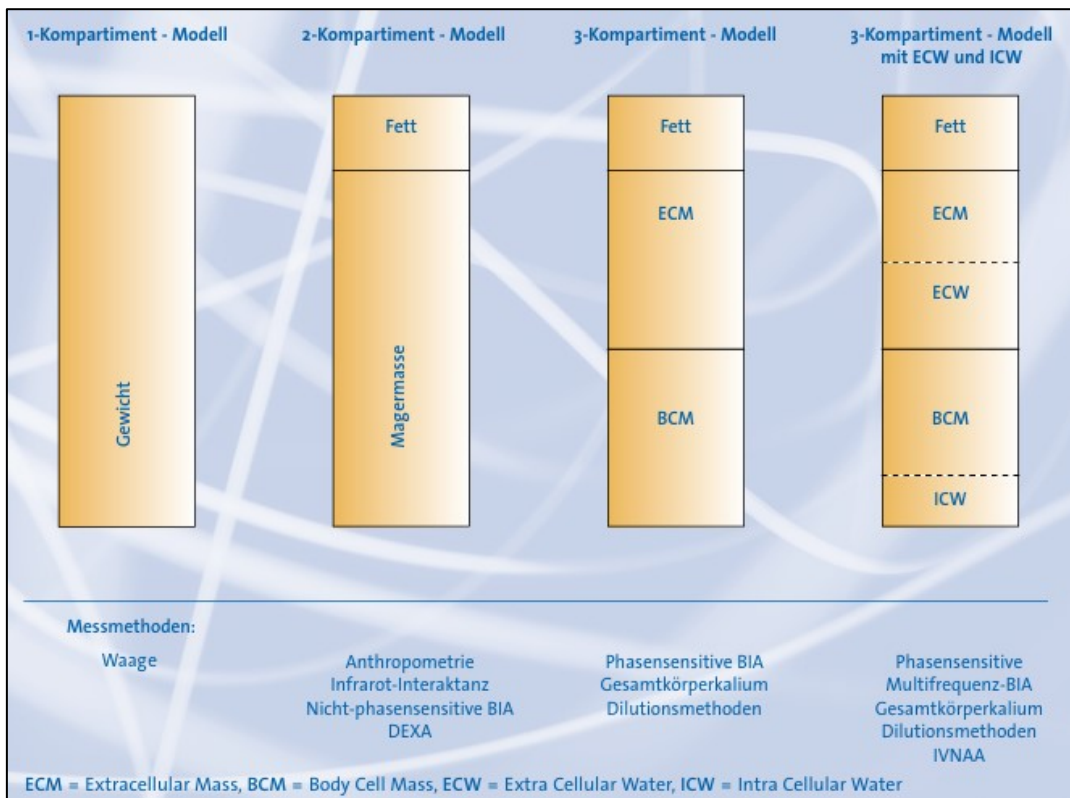


Abbildung 8: Kompartimentmodelle – schematische Darstellung (Data Input GmbH, 2009, S. 2)

Beim 1-Kompartiment-Modell wird der Körper als Gesamtes gesehen, wodurch nur das Körpergesamtwicht mit einer Waage gemessen werden kann. Die Ursache einer Gewichtsveränderung kann hier nicht bestimmt werden. Das 2-Kompartiment-Modell unterteilt den Körper in Fettmasse und Magermasse. Mögliche Messverfahren sind in Abbildung 8 aufgelistet. Bei der Messung der Impedanz einer *Nicht-phasensensitiven BIA* wird vom Körperwasser auf die Magermasse und in weiterer Folge auf die Fettmasse geschlossen. Dabei kann die Ursache einer Gewichtsveränderung erkannt werden (Data Input GmbH, 2009). Das BIA-Gerät, das für die Studie verwendet wurde, bedient sich der *Phasensensitiven BIA*, wodurch das 3-Kompartiment-Modell zum Einsatz kommt. Auf Grundlage des 2-Kompartiment-Modells wird hier die Magermasse in Körperzellmasse (BCM) und extrazelluläre Masse (ECM) unterteilt. Wichtig dabei ist, dass Veränderungen von BCM und ECM auch ohne eine Änderung des Gewichts oder der Magermasse vonstattengehen können. Detaillierte Beschreibungen zu diesen Werten können in Kapitel 2.2.1.8 gefunden werden. Beim letzten Kompartimentmodell (Abbildung 8, ganz rechts) wird durch die spezifischen Messmethoden auch die Analyse der Verteilung des

Körperwassers in BCM und ECM möglich (Data Input GmbH, 2009). Im Hinblick auf den Ergebnisteil dieser Arbeit (Kapitel 3) werden in weiterer Folge die gemessenen sowie berechneten Werte der BIA genauer beschrieben.

2.2.1.4 Body-Mass-Index

Der Body-Mass-Index (BMI) wird hier nicht direkt durch die BIA-Untersuchung gemessen, jedoch wird er durch die Eingabe des Körpergewichts und der Körpergröße vom Programm berechnet und angezeigt. Beim BMI wird das Körpergewicht mit der Körpergröße in Relation gesetzt. Als einfacher Index wird er allgemein zur Einteilung von Unter-, Über- und Normalgewicht sowie Adipositas genutzt. In Abbildung 9 sind die Einteilung und die Bedeutung der BMI-Klassen laut WHO dargestellt.

Classification of adults according to BMI ^a		
Classification	BMI	Risk of comorbidities
Underweight	<18.50	Low (but risk of other clinical problems increased)
Normal range	18.50–24.99	Average
Overweight:	≥25.00	
Preobese	25.00–29.99	Increased
Obese class I	30.00–34.99	Moderate
Obese class II	35.00–39.99	Severe
Obese class III	≥40.00	Very severe

^a These BMI values are age-independent and the same for both sexes. However, BMI may not correspond to the same degree of fatness in different populations due, in part, to differences in body proportions (see section 2.3.2). The table shows a simplistic relationship between BMI and the risk of comorbidity, which can be affected by a range of factors, including the nature of the diet, ethnic group and activity level. The risks associated with increasing BMI are continuous and graded and begin at a BMI above 25. The interpretation of BMI gradings in relation to risk may differ for different populations. Both BMI and a measure of fat distribution (waist circumference or waist:hip ratio (WHR)) are important in calculating the risk of obesity comorbidities.

Abbildung 9: Einteilung der BMI-Klassen nach WHO (WHO Consultation on Obesity, 1999 & WHO, 2000, S. 9)

Mit der Formel $BMI = \frac{\text{Körpergewicht in kg}}{\text{Körpergröße in m}^2}$ lässt sich der BMI einfach von jedem Menschen berechnen. Ein BMI $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ ist allgemein ein Zeichen von Adipositas, mit dem ein erhöhtes Risiko, an bestimmten Krankheiten zu erkranken, einhergeht. Der BMI ist für die breite Bevölkerung ein gutes Maß, sein eigenes Körpergewicht abhängig von der Körpergröße einzuschätzen. Er lässt sich schnell berechnen und ist bei Erwachsenen unabhängig vom Alter und Geschlecht. Bei Kindern ändert sich der BMI bedeutend mit dem Alter, wodurch altersspezifische BMI-Klassen notwendig sind. Außerdem gibt der BMI keine Auskunft über die Verteilung bzw. die Masse des Körperfetts. Ein höheres Körpergewicht bei einer bestimmten Körpergröße bedeutet nicht sofort, dass die Person übergewichtig oder ungesund ist. Der BMI kann zwischen einer Erhöhung des Körpergewichts durch

Zunahme an Muskelmasse oder der Zunahme an Fettmasse nicht unterscheiden. So können Sportlerinnen und Sportler zwar einen erhöhten BMI aufweisen, müssen aber nicht unbedingt als übergewichtig eingestuft werden und weisen daher kein erhöhtes Krankheitsrisiko auf. Zusätzlich dazu gibt es auch körperliche Unterschiede zwischen verschiedenen Populationen, bei denen eine andere BMI-Klasseneinteilung sinnvoller wäre (WHO Consultation on Obesity, 1999 & WHO, 2000).

2.2.1.5 Ganzkörperwasser

Die Berechnung des Ganzkörperwassers (Total Body Water = TBW) durch die BIA dient als Grundlage zur Errechnung aller anderen Parameter (abgesehen vom Phasenwinkel). Dieses Elektrolytwasser, das im Gewebe enthalten ist, wird bei der Messung sehr genau erfasst, wobei getrunkenes Wasser nicht gemessen wird. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass die Magermasse, die den Hauptteil des Körperwassers im gesamten Körper enthält, zu zirka 73,2 % aus diesem besteht (Willett & Hu, 1998). In Abbildung 10 ist diese Relation grafisch dargestellt.

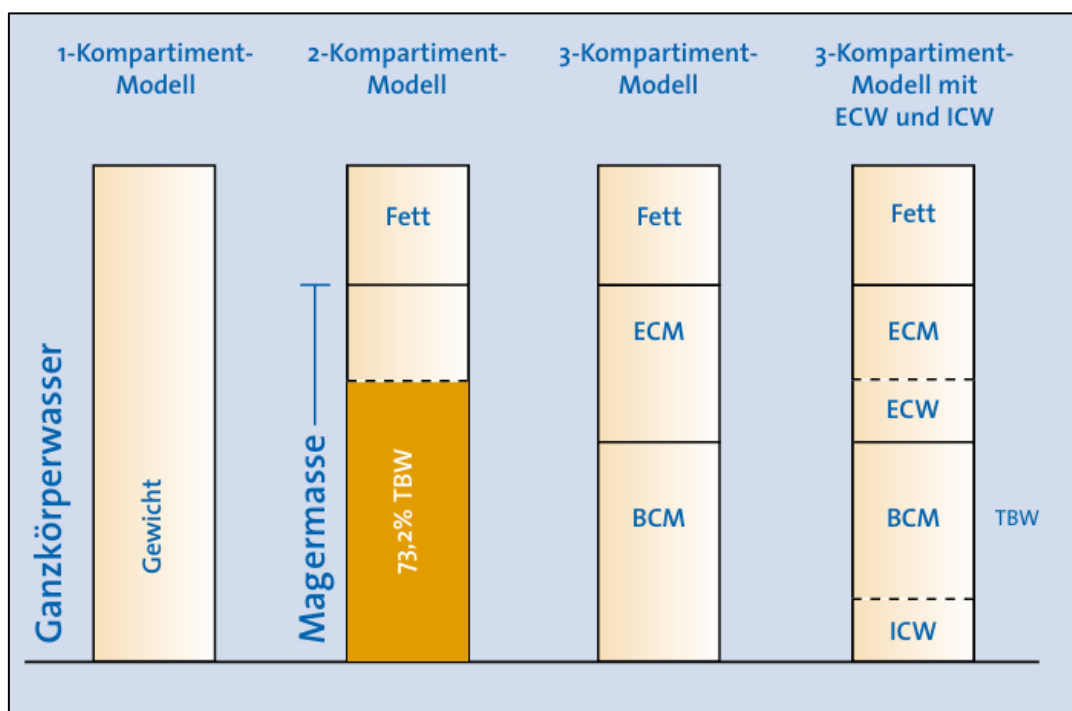


Abbildung 10: Anteil des Körperwassers im Körper (Data Input GmbH, 2009, S. 10)

Im Körper verteilt sich das Wasser zu 43 % extrazellulär und zu 57 % intrazellulär. Primär wird die Menge des Körperwassers also durch die Körperzellmasse (= BCM; vgl. Kapitel 2.2.1.8.1) und daher über die Muskelmasse bestimmt. Mithilfe dieses Wissens können auf Grundlage des Körperwassers die Magermasse (vgl. Kapitel 2.2.1.6) und in weiterer Folge die Fettmasse (vgl. Kapitel 2.2.1.7) berechnet werden (Data Input GmbH, 2009).

Folgende Referenzwerte für das Körperwasser, bezogen auf den gesamten Körper, sind zu beachten (Data Input GmbH, 2009, S. 10):

- Normalwert Frauen: 50–60 %
- Normalwert Männer: 55–65 %
- Sehr muskulös: 70–80 %
- Adipös: 45–50 %

2.2.1.6 Magermasse

Bei der Magermasse, fettfreien Masse (FFM) oder auch Lean Body Mass (LBM) handelt es sich um die fettfreie Masse des Körpers. Im 2-Kompartiment-Modell der BIA wird der Körper in Magermasse und Fettmasse unterteilt (vgl. Abbildung 11). Die Magermasse besteht aus der Muskulatur, dem Skelettsystem, dem zentralen Nervensystem (ZNS) und den Organen. Sie wird unterteilt in Zellen, die an Stoffwechselprozessen und Syntheseleistungen beteiligt sind, sowie extrazellulären Flüssigkeiten und Zwischenzellsubstanz, die für Stoffaustausch und Substrattransport verantwortlich sind.

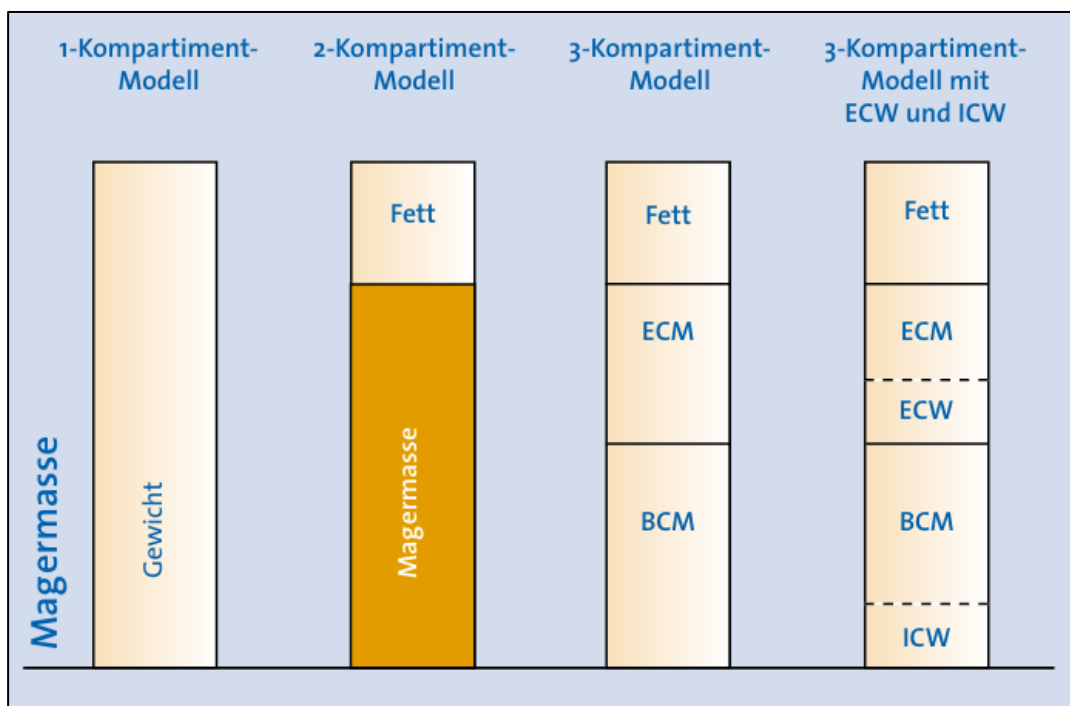


Abbildung 11: Anteil der Magermasse im Körper (Data Input GmbH, 2009, S. 11)

Da die Magermasse bei gesunden Erwachsenen zu 73,2 % aus Körperwasser (Willett & Hu, 1998) besteht (vgl. Kapitel 2.2.1.5), kann sie durch Kenntnis der Wassermenge mithilfe der Formel $FFM = \frac{TBW}{0,732}$ berechnet werden. In Kapitel 2.2.1.7 werden die zwei Komponenten der Magermasse, intra- und extrazelluläre Masse (BCM und ECM), und deren Verhältnis zueinander beschrieben (Data Input GmbH, 2009).

2.2.1.7 Körperfett(-anteil)

Der Körper wird im 2-Kompartiment-Modell der BIA in Magermasse und Fettmasse unterteilt (vgl. Abbildung 11). Da Fettzellen als Isolator für Wechselstrom wirken, kann Fettmasse durch die BIA nicht direkt gemessen werden. Im Gegensatz zur Magermasse besitzt das Körperfett einen sehr geringen Anteil an Körperwasser, wodurch die elektrische Leitfähigkeit sehr mangelhaft ist. Der Körperfettanteil wird daher aus der Differenz zwischen dem gesamten Körpergewicht und der Magermasse berechnet (Data Input GmbH, 2009).

2.2.1.8 ECM/BCM-Index

Die Magermasse wird unterteilt in die Körperzellmasse (BCM; vgl. Kapitel 2.2.1.8.1) und die extrazelluläre Masse (ECM; vgl. Kapitel 2.2.1.8.2). Dabei gilt die Körperzellmasse als Motor des Organismus und die extrazelluläre Masse stellt Stützgewebe und Transport dar. Der ECM/BCM-Index setzt die beiden Komponenten der Magermasse in Relation und wird durch die Formel $ECM/BCM - Index = \frac{ECM}{BCM}$ berechnet. Im Normalfall ist der Wert der BCM beim gesunden Menschen eindeutig höher als der Wert der ECM. Das bedeutet, dass der ECM/BCM-Index bei gesunden Personen < 1 sein muss.

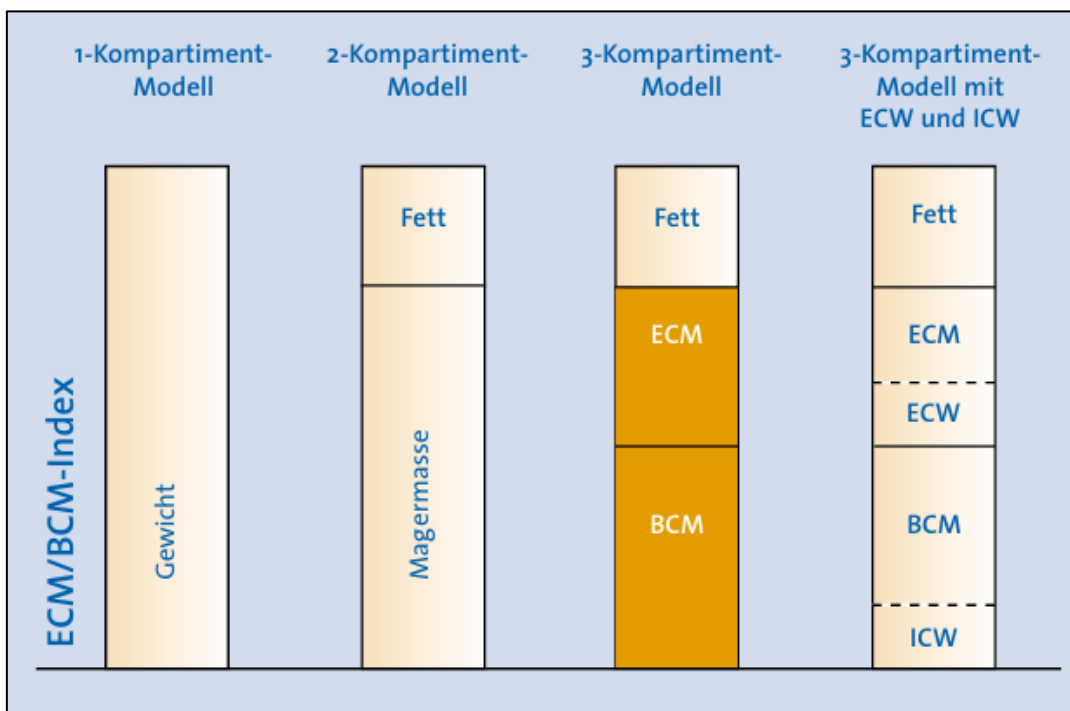


Abbildung 12: Anteil von ECM & BCM im Körper (Data Input GmbH, 2009, S. 14)

Der ECM/BCM-Index gilt neben dem Phasenwinkel (vgl. Kapitel 2.2.1.9) als zweitwichtigster Parameter, um den Ernährungszustand einer individuellen Person zu beurteilen (Data Input GmbH, 2009). Der Anteil von ECM und BCM im Körper ist in Abbildung 12 ersichtlich. Nimmt die Körperzellmasse bei einer gleichzeitigen Zunahme der

extrazellulären Masse ab, so ist dies ein Zeichen für ein frühes Stadium einer Mangelernährung. Das Körpergewicht sowie die Magermasse können dabei unverändert bleiben. Ein Anstieg im ECM/BCM-Index ist somit ein Zeichen für einen schlechter werdenden Ernährungszustand. Gründe dafür sind katabole Veränderungen der BCM (= Reduktion bzw. Abbau) und kompensatorische Wassereinlagerungen oder erhöhte Wasserretention in der ECM aufgrund bestimmter Krankheiten (Data Input GmbH, 2009). Der ECM/BCM-Index kann beispielsweise mit Schulnoten, wie in Abbildung 13 ersichtlich, beurteilt werden.

<i>Frauen und Männer</i>	<i>Beurteilung</i>
0,6	<i>Meist nur im Leistungssport und bei Bodybuilding.</i>
0,8 und 0,7	<i>„Sehr gut“.</i>
0,9	<i>„Gut“.</i>
1,0	<i>„Befriedigend“.</i>
1,1	<i>„Ausreichend“.</i>
1,2	<i>„Mangelhaft“.</i>
1,3	<i>„Ungenügend“.</i>
> 1,3	<i>Werte > 1,3 sind meist ein Hinweis auf Wassereinlagerungen im Extrazellulärraum oder auf schwere katabole Prozesse in der Body Cell Mass.</i>

Abbildung 13: Beurteilung der ECM/BCM-Index-Werte (Data Input GmbH, 2009, S. 18)

2.2.1.8.1 Körperzellmasse

Die Körperzellmasse (BCM) besteht aus allen Zellen, die am Stoffwechsel aktiv beteiligt sind und Sauerstoff oxidieren. Dieses Kompartiment wird durch seine Funktion definiert und beinhaltet Muskulatur, Blut, Organe, Drüsen und das zentrale Nervensystem (ZNS). Aufgrund des geringen Energiestoffwechsels werden Fettzellen nicht zur BCM dazugezählt (vgl. Abbildung 12). Wegen der wichtigen Stoffwechsellarbeiten in den Zellen der BCM wird sie als zentrales Maß zum Beurteilen des Ernährungszustands herangezogen. Durch die BCM wird auch der Kalorienbedarf einer Person bestimmt, da sie für den Erhalt der Zellstrukturen durch den Betriebs- sowie Baustoffwechsel verantwortlich ist. Als Regelgröße des Energieverbrauchs wird sie vom Alter, von genetischen Faktoren und dem Trainingszustand beeinflusst. Üblicherweise sollten Erwachsene bei einem normalen Ernährungsverhalten bzw. -zustand eine BCM von > 50 % haben. Bei Männern im Alter von 18–75 Jahren sind Werte zwischen 53 % und 59 % erstrebenswert, wobei Frauen bei Werten zwischen 50 % und 56 % einen guten Ernährungszustand vorweisen können. Sehr aktive Personen bzw. Leistungssportlerinnen und -sportler können einen BCM-Anteil von bis zu 60 % der Magermasse besitzen. Mit einem hohen Alter und wenig Aktivität kann der BCM-Anteil in der Magermasse bis unter 50 % sinken (Data Input GmbH, 2009).

2.2.1.8.2 Extrazelluläre Masse

Die extrazelluläre Masse befindet sich außerhalb der Zellen der Körperzellmasse (BCM). Sie besteht aus bindegewebigen Strukturen wie Faszien, Sehnen, Elastin, Collagen und der Haut sowie dem gesamten Skelett. Außerdem stellen Plasma, interstitielles und transzelluläres Wasser (= Flüssigkeiten in den Körperhöhlen) den flüssigen Anteil der ECM dar (Data Input GmbH, 2009).

2.2.1.8.3 %-Zellanteil

Der Zellanteil gibt an, wie viel Prozent der Magermasse die Zellen der BCM in Anspruch nehmen. Er ist daher ein Maß des individuellen Trainings- und Ernährungszustands einer Person. Außerdem kann mit diesem Parameter die Qualität der Magermasse sehr gut beurteilt werden, da Leistungssport bzw. viel körperliche Aktivität und eine ausgewogene Ernährung den Zellanteil erhöhen. Sofern keine sichtbaren Ödeme vorhanden sind, ist ein niedriger individueller Zellanteil, der unterhalb der Grenze liegt, ein Zeichen einer Mangelernährung. Auch Erkrankungen mit Muskeldystrophie (= Muskelschwund) gehen mit einem niedrigen Zellanteil einher (Data Input GmbH, 2009). Als Normalwerte für Erwachsene gelten folgende Bereiche (Data Input GmbH, 2009, S. 15):

- Normalbereich Männer: 53–59 %
- Normalbereich Frauen: 50–56 %

2.2.1.9 Phasenwinkel

Als wichtigste Größe zur Beurteilung des Ernährungs- und Trainingszustands einer Person bei der BIA gilt der Phasenwinkel. Wie bereits einleitend in Kapitel 2.2.1.1 erwähnt, entsteht der Phasenwinkel durch eine Verschiebung der sinusförmigen Phasenverläufe von elektrischer Spannung und elektrischer Stromstärke bei Wechselstrom. Die Zellen und Zellmembranen der Körperzellmasse wirken als sehr kleine Kondensatoren, die bei Wechselstrom als Widerstand wirken und dadurch die Phasenverschiebung auslösen. Gesunde und gut ernährte Zellen bewirken durch ihre höhere Membranintegrität sowie Zelldichte eine größere Verschiebung zwischen Spannung und Stromstärke – und daher einen höheren Phasenwinkel – als weniger gut ernährte Zellen, die eine geringere Zelldichte und Membranintegrität aufweisen. Ob das Zellwasser und die Nährstoffe innerhalb der Zelle aus der Zelle verloren gehen, hängt von der Dichte und Membranintegrität ab. Daraus folgt, dass der Phasenwinkel durch die Gesundheit bzw. den Ernährungszustand der Zelle beeinflusst wird und somit durch Training und einer gesunden Ernährung auch veränderbar ist. Es ist jedoch nur eine eher langsame Änderung möglich, da der Phasenwinkel durch sportliches Training um maximal 0,2° pro Monat verändert werden kann (Data Input GmbH, 2009). In Abbildung 14 werden die Werte des

Phasenwinkels mithilfe von Schulnoten beurteilt. Durchschnittliche Werte des Phasenwinkels bei gesunden Menschen belaufen sich auf $7,32^\circ \pm 1,17^\circ$, wobei Männer höhere Werte ($7,43^\circ \pm 0,98^\circ$) als Frauen ($7,05^\circ \pm 1,58^\circ$) aufweisen (Kumar, Dutt, Hemraj, Bhat & Manipadybhima, 2012).

Frauen	Männer	Beurteilung von Ernährungs- und Trainingszustand
> 7,5	> 7,9	Meist nur im Leistungssport und bei Bodybuilding.
6,5 - 7,5	7,0 - 7,9	„Sehr gut“.
6,0 - 6,4	6,5 - 6,9	„Gut“.
5,5 - 5,9	6,0 - 6,4	„Befriedigend“.
5,0 - 5,4	5,5 - 5,9	„Ausreichend“.
4,0 - 4,9	4,5 - 5,4	„Mangelhaft“.
< 4,0	< 4,5	„Ungenügend“.
< 2,0	< 2,5	Nur bei Inaktivitätsatrophie mit Muskelschwund

Abbildung 14: Beurteilung der Phasenwinkel-Werte (Data Input GmbH, 2009, S. 18)

Sportliche, sehr aktive Menschen bzw. Leistungssportlerinnen und -sportler weisen einen höheren Phasenwinkel als weniger sportliche Menschen auf. Extremwerte von $< 3^\circ$ bzw. $> 8^\circ$ kommen nur bei schwerstkranken Patientinnen und Patienten ($< 3^\circ$) bzw. Extrem- oder Leistungssportlerinnen und -sportlern ($> 8^\circ$) vor. Sollte dies nicht der Fall sein, so liegt meist ein Mess- oder Durchführungsfehler vor (Data Input GmbH, 2009).

2.2.2 Spiroergometrie

Zum Abschluss der Untersuchung einer Testperson wurde eine ausbelastende Spiroergometrie mittels Fahrradergometer (Ergoline®, Ergoselect 200, Deutschland) durchgeführt. Die Spiroergometrie gilt bei diagnostischen Verfahren als Goldstandard, der die Zusammenhänge zwischen Herz, Lunge, Kreislauf und Stoffwechsel bei einer stetig ansteigenden Belastung nicht-invasiv¹⁴ analysiert und dadurch die körperliche Leistungsfähigkeit detailliert bestimmt (Primus et al., 2022). Die Probandinnen und Probanden wurden während der Testung mittels 12-Kanal-EKG¹⁵ (Custo Med®, Custo Cardio 300, Deutschland) und regelmäßiger Blutdruckmessung kontinuierlich überwacht, um Herz-Kreislauf-Problemen entgegenzuwirken und die Untersuchung im Notfall abbrechen zu können. Zusätzlich dazu wurden auch die Atemgase mittels Atemmaske und „Breath-by-Breath“-Analyse gemessen (Cortex®, MetaMax® 3B, 25 Deutschland). Die gemessenen Daten wurden mit der entsprechenden Software (Cortex® Meta Soft® Studio,

¹⁴ Bei *nicht-invasiven* Untersuchungen werden keine Messgeräte oder medizinischen Instrumente physisch durch die Haut oder tief durch äußere Körperöffnungen in den Körper eingeführt (Northrop, 2017).

¹⁵ Das *EKG* (= *Elektrokardiogramm*) ist ein bildgebendes, nicht-invasives Verfahren, das der grafischen Darstellung der Herzaktivität dient (Martis, Acharya & Adeli, 2014).

Deutschland) gespeichert. Für die nachfolgende Analyse werden die Werte zu den Zeitpunkten der ventilatorischen Schwellen VT1 und VT2 (vgl. Kapitel 2.2.2.5) sowie der VO_{2peak} (vgl. Kapitel 2.2.2.4) ausgewertet.

2.2.2.1 Ablauf der Untersuchung

Nach einer 3-minütigen Ruhephase startete die 2-minütige Aufwärmphase ohne Widerstand (in Watt [W] gemessen). Direkt darauf folgte die Belastungsphase, in der der Widerstand beim Treten der Pedale kontinuierlich anstieg. Am Ende der Untersuchung wurde noch eine Auslaufphase von zirka 5–6 Minuten als Cool-Down nach der vollständigen Ausbelastung angehängt. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden dazu angehalten, bis zu ihrer individuellen Leistungsgrenze durchzuhalten, damit eine maximale Ausbelastung zustande kommt. Dadurch wird gewährleistet, dass die gemessenen Daten valide und aussagekräftig sind und die Leistungsfähigkeit sinnvoll beurteilt werden kann. Zusätzlich ist es wichtig, dass die EKG-Aufzeichnungen kontinuierlich erfolgen und der Blutdruck zumindest alle 2 Minuten gemessen und kontrolliert wird (Wonisch et al., 2008). Außerdem sollte laut Empfehlung eine Frequenz von 60–90 Umdrehungen pro Minute über den gesamten Belastungszeitraum gehalten werden (Wonisch et al., 2008; Primus et al., 2022). Vom Studienteam wurde eine konstante Trittfrequenz von zirka 70–80 Umdrehungen pro Minute (± 5 Umdrehungen pro Minute) empfohlen. Konnten die Probandinnen und Probanden die minimale Frequenz nicht mehr halten (< 60 Umdrehungen pro Minute), wurde die Belastungsphase beendet. Weitere Kriterien, die einen Abbruch der Testung veranlassen, sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Absolute Abbruchkriterien Ergometrie

Abfall systolischer Blutdruck > 10 mmHg gegenüber dem Ausgangsblutdruck trotz Belastungsanstieg mit anderen Ischämiezeichen
Angina pectoris
Anhaltende ventrikuläre Tachykardie
ST-Elevation $> 0,1$ mV in Ableitungen ohne pathologische Q-Wellen (außer aVR oder V1)
Technische Gründe
Wunsch des Patienten aufzuhören
Zeichen verminderter Perfusion (z.B. Blässe, ...)
Zunehmende zerebrale Symptomatik (z.B. Verwirrtheit, ...)

mmHg: Millimeter-Quecksilbersäule, ST: ST-Strecke im EKG, mV: Millivolt, aVR: augmented Voltage Right, V1: Elektrode am 4. Interkostalraum am rechten Rand des Sternums (mod. n. Wonisch et al., 2008; Fletcher et al., 2013, Primus et al., 2022)

Beim Auftreten eines dieser Kriterien während der Belastungsphase muss die Testung sofort abgebrochen werden. Dies dient der gesundheitlichen Sicherheit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer sowie der Vorbeugung von Komplikationen (Wonisch et al., 2008). Am Ende der Untersuchung mussten die Probandinnen und Probanden ihren Erschöpfungsgrad bzw. ihr Anstrengungsempfinden auf der „Borg CR10“-Skala von 1 bis 10 subjektiv definieren. Der Wert 10 auf dieser Skala bedeutet eine maximale, subjektiv wahrgenommene Ausbelastung der Person (Borg, 1998). Zusätzlich dazu sollten sie dem Studienteam auch den Grund des Belastungsabbruchs mitteilen. Hier wurden als Gründe entweder die Kraft in den Beinen oder die Atmung und damit das Herz-Kreislaufsystem genannt.

2.2.2.2 Testprotokoll

Bei der Testung wurde ein sogenanntes Rampenprotokoll zur Erhöhung des Widerstands genutzt. Hierbei steigt der Widerstand nicht sprunghaft nach einer bestimmten Zeit (z.B. nach einer Minute) wie bei einem Stufenprotokoll, sondern er wird über den gesamten Zeitraum der Testung kontinuierlich erhöht. Die Belastungsphase sollte laut internationalen Empfehlungen nach 8–12 Minuten beendet sein (Wonisch et al., 2008; Primus et al., 2022). Nach dieser Zeitspanne sollte eine maximale Ausbelastung der Testpersonen erreicht werden. Kürzere Belastungen führen zu keiner vollständigen Ausbelastung, längere Belastungen bringen keinen Mehrwert in der Informationsgewinnung (Wonisch et al., 2008). Ein individuelles Rampenprotokoll mit einer Belastungszeit von 8–12 Minuten und Belastungsintervallen von 60 Sekunden wird als optimal gesehen (Primus et al., 2022). Aus diesem Grund wird die Erhöhung des Widerstands in Watt pro Minute vor der Durchführung der Testung individuell an die Probandinnen und Probanden angepasst. Das verwendete Belastungsprotokoll (= Belastungssteigerung in Watt pro Minute) hängt von der zu erwarteten Maximalbelastung ab. Dabei ist der Fitnesszustand der teilnehmenden Personen entscheidend. Die Maximalleistung wurde je nach Einschätzung des Fitnesslevels durch das Studienteam bei Frauen mit 2–3 Watt/kg Körpergewicht und bei Männern mit 3–4 Watt/kg Körpergewicht berechnet. Die daraus errechneten Belastungsprotokolle sind in Tabelle 4 aufgelistet. Wird beispielsweise davon ausgegangen, dass ein sportlicher, 80 kg schwerer Mann eine Maximalbelastung von ≥ 240 W erreichen wird, so wird dieser Wert durch die maximal empfohlene Belastungsdauer von 12 Minuten dividiert, wodurch man das Belastungsprotokoll von 20 Watt pro Minute erhält. Für diese Person ist daher eine Belastungssteigerung von 20 Watt/min erforderlich (Primus et al., 2022). Bei gut trainierten Personen sind auch Belastungsprotokolle von bis zu 25–30 Watt/min möglich (American Thoracic Society ATS & American College of Chest Physicians ACCP, 2003).

Tabelle 4: Belastungsprotokolle in Abhängigkeit der erwarteten Maximalbelastung

Erwartete Maximalbelastung	Belastungsprotokoll	Start- und Erholungsbelastung
≥ 240 Watt	20 Watt/min	40 Watt
≥ 180 Watt	15 Watt/min	30 Watt
≥ 120 Watt	10 Watt/min	20 Watt
< 70 Watt	5 Watt/min	10 Watt

mod. n. Primus et al. (2022, S. 19)

Als Aufwärm- und Erholungsbelastung wird das Doppelte der Belastungsänderung genutzt (Primus et al., 2022). In dieser Studie wurden hauptsächlich Belastungsprotokolle von 15–25 Watt/min verwendet.

2.2.2.3 9-Felder-Grafik

Die *9-Felder-Grafik* nach dem amerikanischen Physiologen Karlman Wasserman (1927–2020) stellt die gemessenen Parameter der Spiroergometrie grafisch dar. Für die Auswertung der Grafik wird die Form der Kurven analysiert und die erhaltenen Daten werden auch als Zahlenwerte in Form von Tabellen aufgelistet. Abbildung 15 zeigt eine solche Grafik am Beispiel eines jungen, gesunden Mannes (Primus et al., 2022).

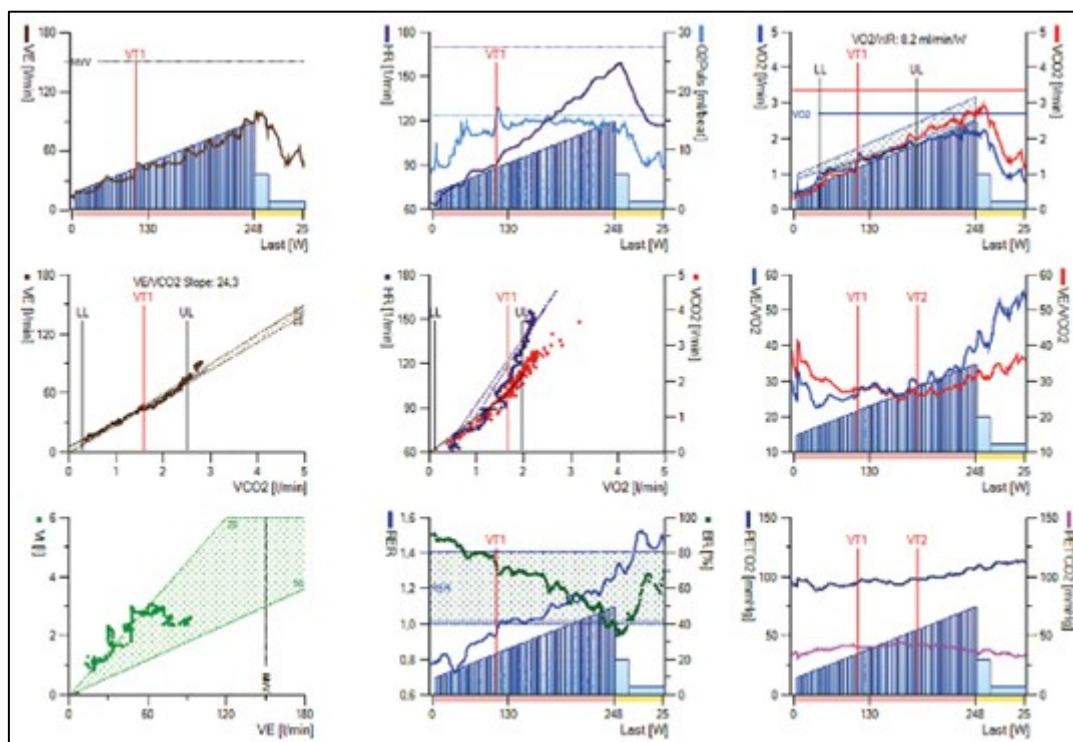


Abbildung 15: Darstellung der gemessenen Daten einer Spiroergometrie in einer 9-Felder-Grafik am Beispiel eines jungen, gesunden Mannes (Primus et al., 2022, S. 24)

In Tabelle 5 sind die Messgrößen der 9-Felder-Grafik nach Wasserman in den einzelnen Feldern aufgezeigt.

Tabelle 5: Schematischer Aufbau der 9-Felder-Grafik

Feld 1	Feld 2	Feld 3
Ventilation	kardiozirkulatorisches System	kardiozirkulatorisches System
Feld 4	Feld 5	Feld 6
Ventilation & Kardiozirkulation	kardiozirkulatorisches System	Gasaustausch
Feld 7	Feld 8	Feld 9
Ventilation	Respiratorischer Quotient	Gasaustausch

mod. n. Scharhag-Rosenberger & Schommer (2013, S. 364)

2.2.2.4 Maximale Sauerstoffaufnahme – VO_{2max} & VO_{2peak}

Einer der wichtigsten Parameter zur effektiven Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit und der kardiorespiratorischen Fitness ist die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) einer Person (Niemeyer, Knaier & Beneke, 2021). Die VO_{2max} ist die maximal mögliche Menge an Sauerstoff (O_2), die vom Körper verstoffwechselt werden kann (Scharhag-Rosenberger & Schommer, 2013; Wonisch et al., 2016). Mit dem Austesten der VO_{2max} können Aussagen über die Qualität bzw. Verminderung der körperlichen Leistungsfähigkeit getroffen werden. Sie wird als bester Indikator für die aerobe Kapazität gesehen und gilt als Goldstandard der körperlichen Leistungsfähigkeit (ATS & ACCP, 2003). Die Sauerstoffaufnahme (VO_2) wird allgemein in Liter pro Minute angegeben (Wonisch et al., 2016) und kann durch gezieltes Training um 25 % verbessert werden (Rassouli & Thurnheer, 2015). Um die Werte zwischen Personen vergleichbar zu machen, wird die Sauerstoffaufnahme auf das Körpergewicht normiert und als relative VO_2 in ml/min/kg Körpergewicht angegeben (Wonisch et al., 2016). Folgende Referenzwerte der VO_{2max} sind laut Rassouli und Thurnheer (2015, S. 318) für Männer und Frauen sowie Spitzensportlerinnen und -sportler heranzuziehen:

- Männer: 18 bis 22 Jahre: 44–50 ml/min/kg, ab 30 Jahren: –1 %/Jahr
- Frauen: 18 bis 22 Jahre: 38–42 ml/min/kg, ab 30 Jahren: –1 %/Jahr
- Spitzensportlerinnen und -sportler: bis 85 ml/min/kg

Scharhag-Rosenberger und Schommer (2013) präsentieren folgende Referenzwerte der VO_{2max} :

- 30-jährige, nicht ausdauertrainierte, gesunde Frauen und Männer: 35–50 ml/min/kg
- Fußballprofis (je nach Spielposition): 55–67 ml/min/kg
- hochtrainierte Ausdauerathletinnen und -athleten: 90 ml/min/kg

Frauen weisen im Vergleich zu Männern aufgrund ihrer geringeren Muskelmasse um 10–15 % niedrigere Werte auf. Zusätzlich vermindert sich die $\text{VO}_{2\text{max}}$ ab einem Alter von 30 Jahren pro Dekade um 8–10 % (Scharhag-Rosenberger & Schommer, 2013). Wonisch et al. (2016) beschreiben $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Werte von 35–45 ml/min/kg bei Untrainierten und 70–90 ml/min/kg bei Ausdauertrainierten.

Allgemein lässt sich die $\text{VO}_{2\text{max}}$ in der 9-Felder-Grafik erkennen, wenn die VO_2 bei einem weiteren Anstieg der Belastung (= Watt) unverändert bleibt, dadurch ein Abflachen der Kurve bewirkt und ein Plateau bildet. Einerseits ist es nicht immer eindeutig, ob ein Plateau am Ende der Belastung vorhanden ist und andererseits, ob es das richtige Plateau ist. Es kann nämlich vorkommen, dass sich ein erstes Plateau schon bei submaximaler Belastung bildet. Abbildung 16 zeigt ein solches falsch-positives Plateau (Niemeyer et al., 2021).

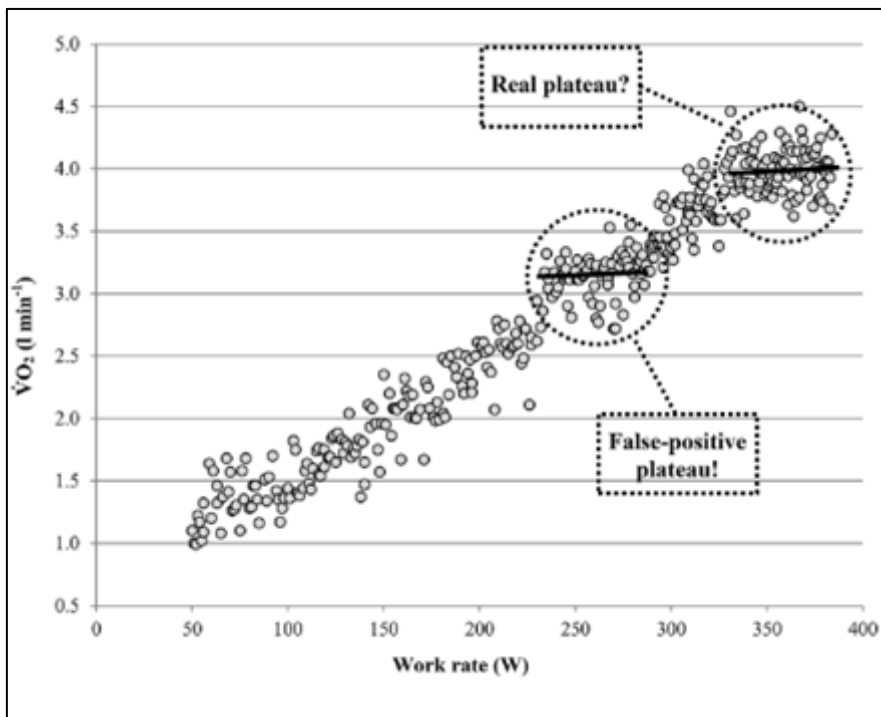


Abbildung 16: Falsch-positives $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Plateau (Niemeyer et al., 2021, S. 1818)

In der Literatur der letzten Dekaden werden verschiedene Methoden, ein $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Plateau zu erkennen, diskutiert. Unter Beachtung mehrerer Studien kommen Niemeyer et al. (2021) zum Schluss, dass die mittlere Steigerung der gemessenen VO_2 -Werte gegen Ende der Belastungsphase $\leq 50\%$ der mittleren Änderung der VO_2 -Werte während der submaximalen Intensität sein sollte. Wichtig dabei ist auch die Länge des Zeitraums vor dem Ende der Belastungsphase. Bei relativ kurzen Zeitintervallen ist die Gefahr groß, ein Plateau falsch zu erkennen. Um Fehler bei der Erkennung eines Plateaus zu minimieren, wird daher ein relativ langer Zeitraum empfohlen. Bei einem Rampenprotokoll von 30 ± 10 Watt/min sollten der Zeitraum der letzten 40–50 Watt beachtet werden. Das

bedeutet, dass bei einem Belastungsprotokoll von 20 Watt/min die letzten 40–50 Watt, also mindestens 2 Minuten, zur Sicherstellung eines $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Plateaus hergenommen werden sollten (Niemeyer et al., 2021). Zusätzlich dazu ist es nicht sicher, ob die Testpersonen überhaupt eine Plateaubildung während der Belastungsphase erreichen. Niemeyer et al. (2021) analysierten verschiedene Studien, die zeigten, dass nur 17–94 % der Probandinnen und Probanden (je nach Studie) ein VO_2 -Plateau am Ende der Belastungsphase erreichten. Dies hat zur Folge, dass die $\text{VO}_{2\text{max}}$ nicht immer eindeutig aus der Messung ermittelt werden kann. Aus diesem Grund wird der Parameter $\text{VO}_{2\text{peak}}$ für praktische Zwecke relevant (Midgley, McNaughton, Polman & Marchant, 2007; ATS & ACCP, 2003). Sowohl die $\text{VO}_{2\text{max}}$ als auch die $\text{VO}_{2\text{peak}}$ sind abhängig von Geschlecht, Alter, Körpergröße und -gewicht sowie Trainingszustand (ATS & ACCP, 2003). Die $\text{VO}_{2\text{peak}}$ beschreibt die höchst gemessene Sauerstoffaufnahme (VO_2) während der Belastungsphase. Im Optimalfall ist die $\text{VO}_{2\text{peak}}$ bei einer vollständigen Ausbelastung mit der $\text{VO}_{2\text{max}}$ gleichzusetzen. Ist am Ende der Belastungsphase kein Plateau zu erkennen, so muss die $\text{VO}_{2\text{peak}}$ verwendet werden (Niemeyer et al., 2021). Auch in dieser Arbeit werden die gemessenen $\text{VO}_{2\text{peak}}$ -Werte für die Analyse genutzt. Dabei ist es wichtig, sicherzustellen, dass die $\text{VO}_{2\text{peak}}$ möglichst nahe an der $\text{VO}_{2\text{max}}$ liegt, was bei einer kompletten Ausbelastung der Fall ist. Aufgrund des Fehlens eines $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Plateaus sind daher weitere Ausbelastungskriterien notwendig, um zu gewährleisten, dass die $\text{VO}_{2\text{peak}}$ der $\text{VO}_{2\text{max}}$ annähernd gleicht (Niemeyer et al., 2021). Die Ausbelastungskriterien werden in der Literatur schon seit mehreren Jahrzehnten beforscht, wodurch unterschiedliche Ergebnisse vorhanden sind (Howley, Bassett & Welch, 1995; Midgley et al., 2007).

Tabelle 6: Ausbelastungskriterien $\text{VO}_{2\text{max}}$

Ausbelastungskriterium	Häufigste Definition
LA_{max}	> 8 mmol/L
HF_{max}	≥ 100 % oder ± 10 Schläge/min des altersentsprechenden Normwerts ¹⁶
RQ_{max} bzw. RER_{max}	> 1,10
Borg CR10-Skala	> 9,0

LA_{max} : Maximale Blutlaktatkonzentration, HF_{max} : Maximale Herzfrequenz, RQ_{max} : Maximaler respiratorischer Quotient, RER_{max} : maximum respiratory exchange ratio, CR10: Category Ratio 10, mmol/L: Millimol pro Liter (mod. n. Scharhag-Rosenberger & Schommer, 2013, S. 363)

Laut Niemeyer et al. (2021) sollten sekundäre Kriterien wie die maximale Blutlaktatkonzentration, die maximale Herzfrequenz, der maximale respiratorische Quotient

¹⁶ Der *altersentsprechende Normwert* wird bei der Fahrradergometrie als $200 - \text{Lebensalter}$ aufgefasst (Scharhag-Rosenberger & Schommer, 2013, S. 363).

und eine Einschätzung der subjektiven Ausbelastung beachtet werden. Midgley et al. (2007) analysierten 275 Studien zwischen den Jahren 1993 und 2006 bezüglich der Ausbelastungskriterien für die VO_{2max} und listeten diese auf. Scharhag-Rosenberger und Schommer (2013) fassten die bei Midgley et al. (2007) aufgelisteten Ausbelastungskriterien unter Beachtung der Häufigkeit, wie in Tabelle 6 ersichtlich, zusammen. Sind die genannten Ausbelastungskriterien vorhanden, so kann auch ohne eine VO_2 -Plateaubildung von einer maximalen Ausbelastung ausgegangen und somit die VO_{2peak} mit der VO_{2max} gleichgesetzt werden.

Auch Rapp, Scharhag, Wagenpfeil und Scholl (2018) beschreiben in ihrer Studie mit 10 090 Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Alter von 21 bis 83 Jahren ähnliche Ausbelastungskriterien. Eine maximale Ausbelastung lag vor, wenn $LA_{max} \geq 8\text{mmol/L}$ oder $HF_{max} \geq 90\%$ des altersentsprechenden Normwerts oder $RQ \geq 1,1$ gegeben war. Ihr Ziel war es, Referenzwerte für die relative VO_{2peak} nach Alter und Geschlecht darzustellen. In Abbildung 17 sowie Abbildung 18 sind diese Werte grafisch dargestellt.

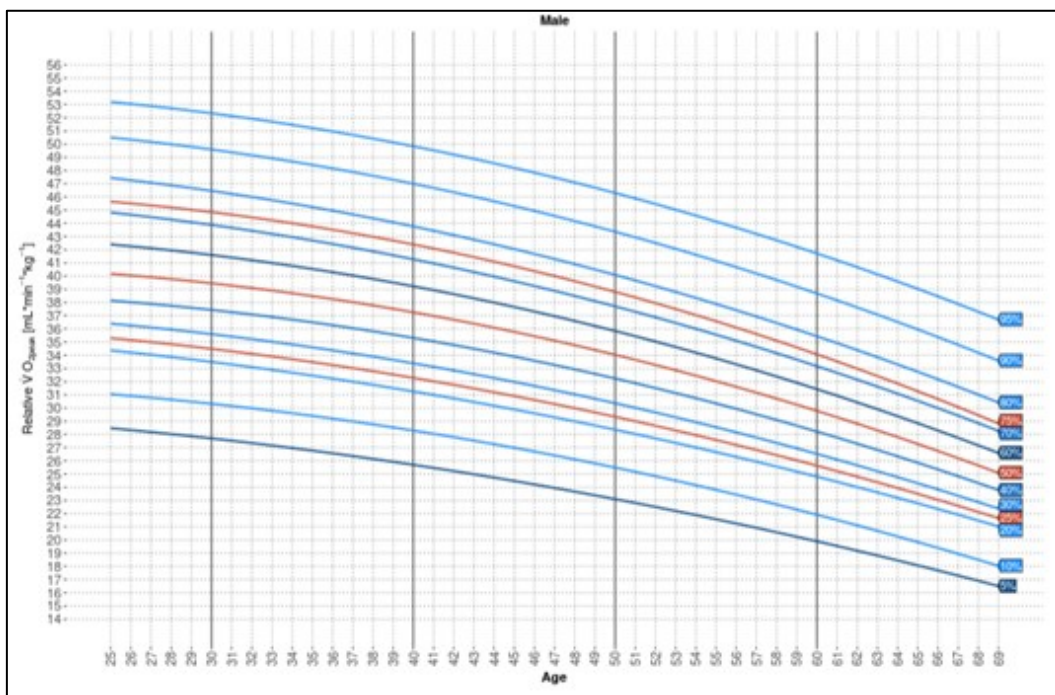


Abbildung 17: Perzentil-Referenzwerte der relativen VO_{2peak} bei Männern (Rapp et al., 2018, S. 7)

Die gemessenen Werte der Probandinnen und Probanden werden mit individuellen Referenz- bzw. Sollwerten verglichen. Werte, die $< 80\%$ des Sollwerts aufweisen, gelten als leichte Einschränkung der Leistungsfähigkeit, wohingegen Werte $< 40\%$ mit einer schweren Einschränkung der Leistungsfähigkeit zu beurteilen sind (Rassouli & Thurnheer, 2015).

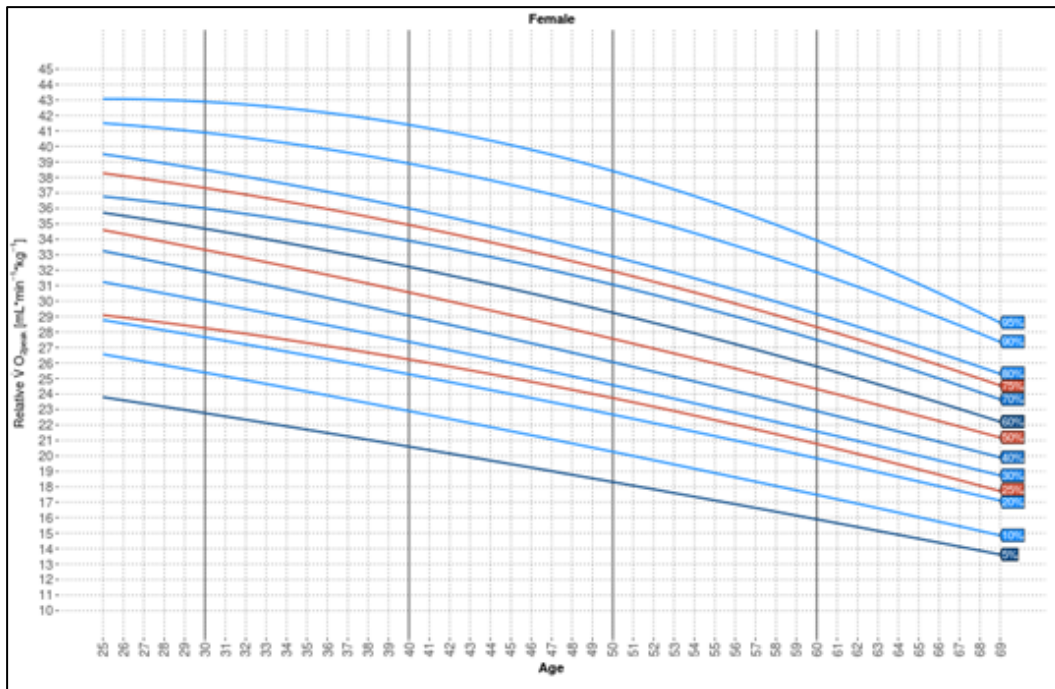


Abbildung 18: Perzentil-Referenzwerte der relativen $\dot{V}O_{2peak}$ bei Frauen (Rapp et al., 2018, S. 7)

2.2.2.5 Erste und zweite ventilatorische Schwelle – VT1 & VT2

Ein äußerst wichtiges Modell der Leistungsdiagnostik, im Sinne einer darauffolgenden Trainingssteuerung, ist die *Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung*. Das genaue Bestimmen der drei Phasen der Energiebereitstellung macht eine vernünftige Trainingssteuerung möglich.

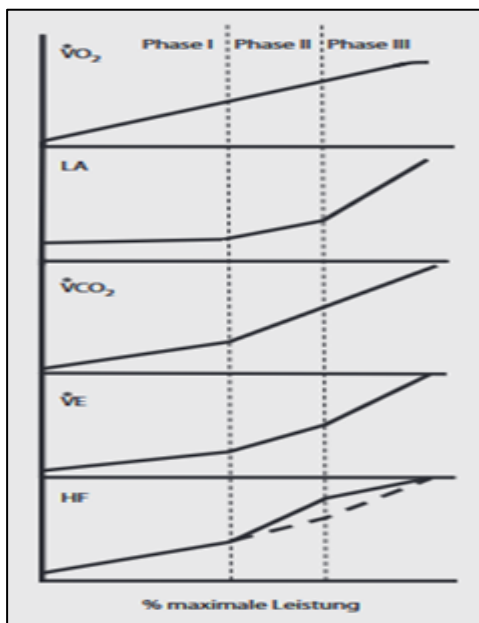


Abbildung 19: Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung [$\dot{V}O_2$: Sauerstoffaufnahme, LA: Blutlaktatkonzentration, $\dot{V}CO_2$: Kohlendioxidabgabe, VE: Ventilation (= Atemminutenvolumen), HF: Herzfrequenz] (Pokač et al., 2016, S. 98)

Abbildung 19 stellt die Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung, gemeinsam mit den Umstellpunkten, schematisch dar. Die drei Phasen können mit dem Eruiere bestimmten „Schwellen“ bzw. Umstellpunkte (vgl. Abbildung 19, strichlierte, senkrechte Linien) definiert werden. Dafür wird das Verhalten von belastungsabhängigen Parametern wie der Blutlaktatkonzentration, der Herzfrequenz oder der Atemgase analysiert (Pokan, Hofmann & Wonisch, 2016). In der vorliegenden Arbeit werden die gemessenen Spiroergometrie-Werte, wie einleitend in Kapitel 2.2.2 erwähnt, an den Zeitpunkten der ventilatorischen Schwellen¹⁷ VT1 und VT2 (Atemgase) analysiert, um so der Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung gerecht zu werden. Die VT1 beschreibt den Umstellpunkt von Phase I der Energiebereitstellung in Phase II. Mit ihr kann die aerobe Leistungsfähigkeit objektiv eingeschätzt werden, wodurch es möglich ist, Aussagen über die funktionelle Kapazität bei gesunden sowie kardiovaskulär erkrankten Menschen zu tätigen. Der Umstellpunkt zeigt sich neben einem Anstieg der Laktatkonzentration im Blut durch eine erhöhte Ventilation, die während der Belastungsphase erstmals nichtlinear ansteigt. An der VT2 lässt sich der Übergang von Phase II in Phase III erkennen (Pokan et al., 2016). Durch einen weiteren abrupten Anstieg der Laktatproduktion und der anaeroben Energiebereitstellung, bedingt durch die kontinuierliche Belastungssteigerung, muss die daraus folgende metabolische Azidose¹⁸ durch die Atmung (Ventilation) kompensiert werden. Dies ist durch eine erhöhte Steigung der Ventilation (VE; vgl. Abbildung 19) zu erkennen (Wonisch et al., 2016; Hofmann, Wonisch & Pokan, 2016). Das Erfassen dieser Kennwerte ist äußerst relevant, da so die Ausdauerleistungsfähigkeit von trainierten und untrainierten Personen sinnvoll beurteilt werden kann. Mit dem Wissen über die Umstellpunkte können die drei Phasen der Energiebereitstellung getrennt werden. Die drei Phasen werden grundlegend in die Grundlagenausdauerentwicklung (Phase I), den Schwellenbereich (Phase II) und den Bereich der hohen sowie maximalen Belastungen (Phase III) eingeteilt werden. Aus der Bestimmung der Umstellpunkte und Maximalwerte können Trainingsanpassungen, speziell bei Ausdauerbelastungen, effektiv beurteilt werden. Auch im Anwendungsbereich der Trainingstherapie können benötigte Trainingszonen individuell und exakt an Patientinnen und Patienten angepasst werden. Die Trainingsintensität kann als Prozentangabe der Maximalleistung in spezifische Bereiche unterteilt werden. So beläuft sich die Grundlagenausdauerentwicklung der Phase I auf $\leq 45\%$ der Maximalleistung bei untrainierten bzw. auf $\leq 60\%$ bei trainierten Personen. Der Schwellenbereich liegt bei

¹⁷ eng.: *ventilatory threshold* (VT)

¹⁸ Als *metabolische Azidose* wird eine stoffwechselbedingte Störung des Säure-Basen-Haushalts, erkennbar durch erniedrigte Werte von Bicarbonat (HCO_3^-), Kohlendioxidpartialdruck (pCO_2) sowie pH, bezeichnet (Haag-Weber, 2022).

ungefähr 45–75 % der Maximalleistung, wobei höhere Belastungen mit sehr hohen und maximalen Leistungen (> 75 % Maximalleistung) in Verbindung zu setzen sind. Allgemein ist das Wissen um die Umstellpunkte und der VO_{2max} die wichtigste Grundlage zur Einschätzung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit (Hofmann et al., 2016; ATS & ACCP, 2003).

2.2.3 Handdynamometrie

Ein gutes Mittel, um Aussagen über den allgemeinen Gesundheitszustand sowie über die Muskelkraft der oberen Extremitäten und auch des gesamten Körpers zu tätigen, ist die Handdynamometrie (Guerra & Amaral, 2009; Sasaki, Kasagi, Yamada & Fujita, 2007). Die Handgriffkraft hängt eng zusammen mit Prognosen bezüglich Behinderung, erhöhtem Risiko von Komplikationen bei Krankheiten und Operationen sowie Sterblichkeit (Guerra & Amaral, 2009; Schlüssel, dos Anjos, de Vasconcellos & Kac, 2008; Roberts et al., 2011). Niedrige Werte werden außerdem mit einem höheren Sturzrisiko, einer geringeren Lebensqualität sowie längeren Krankenhausaufenthalten assoziiert (Roberts et al., 2011). Sie ist somit ein wichtiger Parameter zur Einschätzung des aktuellen sowie zukünftigen Gesundheitszustands.

Tabelle 7: Werte der Handgriffkraft eingeteilt nach Alter und Geschlecht bei Erwachsenen aus Brasilien

Age category (years)		Males			Females		
		n	Mean	SE	n	Mean	SE
20–29	R	295	45.8	0.67	431	27.2	0.46
	L	295	43.8	0.56	431	25.6	0.42
30–39	R	244	46.5	0.47	397	28.0	0.39
	L	244	44.5	0.50	397	26.7	0.37
40–49	R	220	43.2	0.53	403	27.0	0.37
	L	220	41.6	0.50	403	25.7	0.35
50–59	R	166	40.8	0.70	327	24.2	0.45
	L	166	39.2	0.67	327	23.0	0.43
60–69	R	121	36.8	0.76	198	22.1	0.40
	L	121	34.5	0.68	198	21.0	0.41
≥70	R	76	31.8	0.79	172	17.2	0.41
	L	76	29.4	0.75	172	16.4	0.41

R: right; L: left; SE: standard error.

Schlüssel et al. (2008, S. 603)

Schlüssel et al. (2008) untersuchten in ihrer Studie die Handgriffkraft von 1122 Männer und 1298 Frauen aus Brasilien im Alter von ≥ 20 Jahren in beiden Händen. Ihr Ziel war es, Referenzwerte für die Handgriffkraft bei gesunden Erwachsenen zu ermitteln. Tabelle 7 zeigt diese Werte, eingeteilt nach Alter und Geschlecht. Die Mittelwerte der Handgriffkraft von rechter und linker Hand belaufen sich auf 42,8 kg und 40,9 kg bei Männern und auf

25,3 kg und 24,0 kg bei Frauen. Sie konnten zeigen, dass die Handgriffkraft signifikant mit dem BMI zusammenhängt, wobei untergewichtige Personen ($\text{BMI} < 18,5 \text{ kg/m}^2$) signifikant niedrigere Werte aufwiesen als Normal- ($18,5 < \text{BMI} < 25 \text{ kg/m}^2$) und Übergewichtige ($\text{BMI} \geq 25 \text{ kg/m}^2$). Allgemein nimmt die Handgriffkraft mit dem Alter zu, jedoch nimmt sie ab einem Alter von 40 Jahren bei Männern und 50 Jahren bei Frauen signifikant ab (Schlüssel et al., 2008). Als Messgerät für die Studie „*Körperliche Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach Covid-19*“ wurde ein hydraulisches Jamar Handdynamometer (Jamar Hydraulic Hand Dynamometer Modell 5030 J1; Sammons Preston Rolyan, Bolingbrook, IL, USA) verwendet (Molenaar et al., 2010). In Abbildung 20 ist das verwendete Gerät abgebildet.



Abbildung 20: Jamar Hydraulic Hand Dynamometer Modell 5030 J1, Sammons Preston Rolyan, Bolingbrook, IL, USA (Rostamzadeh, Saremi, Abouhossein, Vosoughi & Molenbroek, 2021, S. 3)

Der Ablauf der Messung richtete sich an die Empfehlung der *American Society of Hand Therapists*. Bei der Messung mussten die Probandinnen und Probanden das Handdynamometer mit einer Hand im Sitzen greifen, den Oberarm dieser Hand an den Oberkörper anlegen, den Ellbogen um 90° beugen und das Handgelenk in neutraler Position halten. Der Unterarm war somit parallel zum Boden. In dieser Position sollte das Messgerät mit der Hand so stark wie möglich zusammengedrückt werden. Die Testung wurde zweimal an beiden Händen durchgeführt, wobei der jeweils höhere Wert sowie die dominante Hand notiert wurden (American Society of Hand Therapists ASHT, 1992). Im Ergebnisteil dieser Arbeit werden die Werte der dominanten sowie nicht-dominanten Hand in die Datenauswertung miteinbezogen. Die dominante Hand wurde nach eigenem Ermessen von den Testpersonen definiert. Gab es keine eindeutige Dominanz, so wurde die Hand, mit der geschrieben wird, als dominant bezeichnet (Armstrong & Oldham, 1999).

2.3 Statistische Datenanalyse

In diesem Kapitel werden die Merkmale der statistischen Datenanalyse während der Studie aufgezeigt. Dabei wird sowohl auf die Methode der Datenerhebung sowie -speicherung Bezug genommen als auch die weiterführende Verarbeitung dieser Daten erläutert. Neben den verschiedensten digitalen Programmen wurde ein Teil der Daten auch handschriftlich auf Papier erhoben. Zusätzlich werden auch die verwendeten statistischen Analysemethoden ausführlich beschrieben.

2.3.1 Datenverarbeitung

Die durch die verschiedenen Testungen und Untersuchungen erhobenen Daten werden zunächst in der jeweiligen Software des benutzten Test- bzw. Untersuchungsgeräts gespeichert. Von dort werden die Daten, wenn möglich, automatisch in eine Excel®-Datei exportiert bzw. per Hand übertragen. Die so erhaltenen einzelnen Excel®-Dateien wurden zunächst nach Themen eingeteilt und zu einer neuen, größeren Excel®-Datei zusammengefügt. Nachdem alle Daten vorhanden waren, konnten auch diese größeren, nach Themen geordneten, Excel®-Dateien in einer Gesamtdatei, die alle Daten jeder Untersuchung enthält, verbunden werden. Neben den digitalen Daten mussten die Ergebnisse der Frage- und Anamnesebögen, die handschriftlich ausgefüllt wurden, zusätzlich in die Datei übertragen werden.

2.3.1.1 Microsoft® Excel®

Das Tabellenkalkulationsprogramm *Microsoft® Excel®* der amerikanischen Firma Microsoft® dient als Grundlage der Dateneingabe und -verarbeitung (Microsoft® Office®, 2022, USA). Mit diesem Programm wurden sowohl Einzeldateien der unterschiedlichen Untersuchungen als auch eine Gesamtdatei aller Untersuchungen erstellt. Alle erhobenen Daten wurden zuerst in Excel® gesammelt, bevor sie zur statistischen Analyse in *SPSS® Statistics* (vgl. Kapitel 2.3.1.2) übertragen wurden. Zusätzlich hilft das Programm, sich einen ersten Überblick über alle Daten zu verschaffen. Da nicht jedes Mitglied des Untersuchungsteams alle erhobenen Daten für die eigene Analyse benötigt, können so auch die notwendigen Daten ohne große Mühe herausgefiltert werden. Dies vereinfacht die Handhabung und die Bearbeitung der zu analysierenden Daten.

2.3.1.2 IBM® SPSS® Statistics

Das Programm *SPSS® Statistics* (IBM® SPSS® Statistics, 29.00, USA) des amerikanischen Unternehmens International Business Machines Corporation (IBM®) gilt als das klassische Statistikprogramm zur Nutzung im Bereich der wissenschaftlichen Forschung. Neben einfacher, beschreibender Statistik können auch Hypothesentests durchgeführt werden. In

dieser Arbeit dient das Programm zum einen zur Analyse von deskriptiven Kenngrößen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer und zum anderen zur Testung von Zusammenhängen zwischen zwei oder mehreren Merkmalen. Durch die Vorarbeit in Microsoft® Excel® (vgl. Kapitel 2.3.1.1) werden die Daten mühelos in SPSS® Statistics importiert und können dort einfach weiterverarbeitet werden.

2.3.2 Testen von Hypothesen

Für das Testen von Zusammenhängen bzw. Unterschieden zwischen Variablen oder Gruppen werden sogenannte Signifikanz- oder Hypothesentests als statistische Analysemethoden verwendet (Lange & Bender, 2007). Hypothesentests werden in Abhängigkeit des Skalenniveaus und der Verteilung der Daten in parametrische und nicht-parametrische Verfahren unterteilt (Kim, 2015; Kim & Park, 2019; Mishra, Pandey, Singh, Keshri & Sabaretnam, 2019). Außerdem ist zu beachten, ob eine Gruppe oder mehrere Gruppen, die voneinander abhängig bzw. unabhängig sind, auf Zusammenhänge oder Unterschiede geprüft werden (Kim, 2015; Mishra et al., 2019). Sind die metrischen bzw. intervallskalierten Daten normalverteilt, so werden parametrische Tests verwendet, da sie im Normalfall eine höhere statistische Power aufweisen als nicht-parametrische Tests (Kwak & Kim, 2017; Kim & Park, 2019; Mishra et al., 2019; Kishore & Jaswal, 2022). Aus diesem Grund wird allgemein empfohlen, die statistische Auswertung mit parametrischen Tests durchzuführen (Kim & Park, 2019). In Abhängigkeit der vorhandenen Daten muss also eine passende statistische Analysemethoden gewählt werden, damit die Validität der Ergebnisse gewährleistet und somit die Qualität der Studie gesichert ist. Bei metrischen Daten, die annähernd normalverteilt sind, wird der Mittelwert als repräsentative Größe verwendet. Sind die metrischen Daten nicht normalverteilt, so wird der Median als repräsentative Größe zur passenden Beschreibung der Daten herangezogen (Mishra et al., 2019). Ein parametrischer Test, der die Mittelwerte zweier unabhängiger Gruppen miteinander vergleicht, ist der *t-Test für unabhängige Stichproben* (Kim, 2015; Mishra et al., 2019). Die nicht-parametrische Alternative, bei Verletzung der Normalverteilungsannahme, wäre der *Mann-Whitney-U-Test*, der die Rangsummen der beiden Gruppen vergleicht. Es wird aber empfohlen, nicht-parametrische Tests nur zu verwenden, wenn die Daten sehr stark von der Normalverteilung abweichen, ansonsten sind parametrische Tests zu bevorzugen (Mishra et al., 2019). Der *ungepaarte t-Test* bzw. *t-Test für unabhängige Stichproben* testet die Mittelwerte zweier unabhängiger Gruppen auf Gleichheit bzw. Ungleichheit. Die Nullhypothese H_0 geht von der Gleichheit der Mittelwerte aus, wobei die Alternativhypothese H_1 Ungleichheit bzw. Unterschiede in den Mittelwerten beschreibt (Lange & Bender, 2007; Bender, Ziegler & Lange, 2007; Schober & Vetter, 2019). Allgemein ist der *ungepaarte t-Test* valide, sofern die abhängige Variable metrisch bzw.

intervallskaliert ist, die Beobachtungen unabhängig voneinander sind (z.B. 2 Gruppen), die Daten annähernd normalverteilt und die Varianzen annähernd gleich sind (Kim, 2015; Schober & Vetter, 2019). Die Gleichheit der Varianzen und die Normalverteilungsannahme der Zielvariable beziehen sich auf die Grundgesamtheit, von der die Stichprobe genommen wurde, nicht auf die Stichprobe selbst (Sawilowsky & Blair, 1992; Lange & Bender, 2007; Ghasemi & Zahediasl, 2012; Kwak & Kim, 2017; Schober & Vetter, 2019; Kishore & Jaswal, 2022). Da sowohl die Verteilung als auch die Varianz der Grundgesamtheit unbekannt sind, muss eine Stichprobe dieser Grundgesamtheit herangezogen und betrachtet werden. Um statistisch relevante Schlüsse ziehen zu können, wird das Wissen um die für den *t-Test* relevante Größe und seiner Verteilung notwendig (Kim, 2015; Kwak & Kim, 2017). Aus diesem Grund wird der Mittelwert der Stichprobe und dessen Verteilung benötigt (Kim, 2015). Der Mittelwert der Stichprobe kann einfach berechnet werden, die Verteilung der Stichprobenmittelwerte wird durch den *zentralen Grenzwertsatz*¹⁹ begründet. Durch den zentralen Grenzwertsatz wird sichergestellt, dass die Verteilung der Stichprobenmittelwerte einer Normalverteilung entspricht, wenn die Stichprobengröße groß genug ($n > 30$) ist (Kim, 2015; Kwak & Kim, 2017; Islam, 2018; Ali, Lulseged & Medhin, 2018). Zusätzlich wird, aufgrund der unbekannten Varianz der Grundgesamtheit, die Varianz der Stichprobe verwendet (Kim, 2015). In diesem Fall folgt die Verteilung der Stichprobe einer *t-Verteilung*, welche von den Freiheitsgraden²⁰ (FG) abhängig ist (Lange & Bender, 2007; Kim, 2015; Kwak & Kim, 2017; Ali et al., 2018). Bei Zunahme der Freiheitsgrade lässt sich eine Annäherung der t-Verteilung an die Normalverteilung erkennen (Lange & Bender, 2007; Kwak & Kim, 2017). Bei Freiheitsgraden von $n > 30$ ist die t-Verteilung praktisch gleichwertig mit der Normalverteilung (Kwak & Kim, 2017). Die Freiheitsgrade der t-Verteilung hängen vom Stichprobenumfang ab. Bei einer Stichprobe werden die Freiheitsgrade durch $FG = n - 1$, bei zwei Stichproben bzw. Gruppen durch $FG = n_1 + n_2 - 2$ berechnet (Lange & Bender, 2007; Pandey & Bright, 2008; Kwak & Kim, 2017). Daraus folgt, dass der Stichprobenumfang mindestens $n > 30$ sein muss, damit die t-Verteilung gleichwertig mit der Normalverteilung sein kann. Das bedeutet, dass die Grundgesamtheit nicht normalverteilt sein muss, da die Stichprobenverteilung gemäß dem zentralen Grenzwertsatz als normalverteilt angesehen wird, wenn die Stichprobe

¹⁹ Nach dem *zentralen Grenzwertsatz* folgt die Verteilung der Stichprobenmittelwerte tendenziell der Normalverteilung, wenn der Stichprobenumfang groß genug ist ($n > 30$), unabhängig von der Verteilung der Grundgesamtheit (Kwak & Kim, 2017; Islam, 2018; Ali et al., 2018; Kim & Park, 2019).

²⁰ Die Anzahl der unabhängigen, frei wählbaren Informationen bzw. Werte, die zur Schätzung eines Parameters verwendet werden, gelten als *Freiheitsgrade*. Sie sind eine Funktion sowohl des Stichprobenumfangs als auch der Anzahl der unabhängigen Variablen (Pandey & Bright, 2008).

ausreichend groß ist (Ghasemi & Zahediasl, 2012; Kim, 2015; Kwak & Kim, 2017; Islam, 2018; Ali et al., 2018). Die Verletzung der Normalverteilungsannahme stellt daher bei einer Stichprobengröße von $n > 30$ keine größeren Probleme dar. Aus diesem Grund können auch parametrische Tests zur Analyse herangezogen werden, auch wenn die Daten nicht normalverteilt sind (Ghasemi & Zahediasl, 2012). Speziell der *ungepaarte t-Test* ist bei einer Stichprobengröße von $n > 30$ äußerst robust gegenüber nicht-normalverteilten Daten (Skovlund & Fenstad, 2001; Bender, Lange & Ziegler, 2007; Bender et al., 2007b; Fagerland, 2012; Schober & Vetter, 2019; Kishore & Jaswal, 2022). Auch diverse Simulationsstudien haben gezeigt, dass die Robustheit weiter verstärkt wird, wenn die Größe der Stichprobe zunimmt (Ratcliffe, 1968; Lumley, Diehr, Emerson & Chen, 2002; Fagerland, 2012). Die weit verbreitete Annahme, dass der *t-Test* nur für normalverteilte Daten valide ist, ist speziell bei ausreichend großen Stichproben falsch (Lumley et al., 2002). Ist die Stichprobe daher groß genug, so braucht der *t-Test* keine Normalverteilungsannahme (Lumley et al., 2002; Bender et al., 2007a; Bender et al., 2007b). Sind die zu vergleichenden Gruppen gleich bzw. ungefähr gleich groß und ist der Test zweiseitig, so wird die Robustheit des *t-Tests* weiter verstärkt (Sawilowsky & Blair, 1992). Aus den genannten Gründen sollte daher der *t-Test* bei größeren Stichproben angewendet werden (Fagerland, 2012), wobei $n = 30$ mindestens notwendig ist, aber $n = 60$ empfohlen wird (Kishore & Jaswal, 2022). Für kleinere Stichproben ($n < 30$) sind nicht-parametrische Tests am nützlichsten (Fagerland, 2012).

2.3.3 Korrelation und Regression

Neben dem Testen auf Unterschiede zwischen zwei Gruppen können auch zwei Variablen mit einer Korrelation auf Zusammenhänge überprüft werden. Eine Korrelation gibt die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen zwei bestimmten Größen an. Als gängige Methode bei metrischen Variablen eignet sich der *Korrelationskoeffizient nach Pearson* bzw. *Pearsons r* (Sedgwick, 2012; Kuckartz, Rädiker, Ebert & Schehl, 2013; Armstrong 2019). Diese parametrische Testmethode setzt neben metrischen Daten in beiden Variablen auch einen linearen Zusammenhang dieser und Unabhängigkeit voneinander voraus. Zusätzlich sollten die Wertepaare der Variablen Teil einer bivariaten Normalverteilung sein. Das bedeutet, dass zumindest eine Variable normalverteilt sein sollte (Havlicek & Peterson, 1976; Sedgwick, 2012; Kuckartz et al., 2013; Armstrong, 2019). Jedoch ist der Pearson'sche Korrelationskoeffizient sogar sehr robust gegenüber extremen Verletzungen der Voraussetzungen für Normalität und dem Skalenniveau und kann daher auch bei nicht-normalverteilten bzw. nicht-metrischen Daten genutzt werden und wird daher auch in dieser Arbeit verwendet (Havlicek & Peterson, 1976; Kuckartz et al., 2013). Pearsons *r* kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen und beschreibt damit einen negativen

bzw. positiven Zusammenhang der Variablen. Bei einem Wert von $r = 0$ besteht kein Zusammenhang, bei einem Wert von $r = \pm 1$ besteht ein vollständiger Zusammenhang. Je näher der Wert von r bei ± 1 ist, desto stärker ist der lineare Zusammenhang zwischen den Variablen. Zusätzlich lässt sich anmerken, dass durch eine Korrelation weder Ursache noch Wirkung impliziert werden kann (Sedgwick, 2012; Kuckartz et al., 2013). Es kann nur der Grad des linearen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen definiert werden (Sedgwick, 2012; Armstrong, 2019). Dieser Zusammenhang lässt sich grafisch durch ein Streudiagramm visualisieren (Kuckartz et al., 2013).

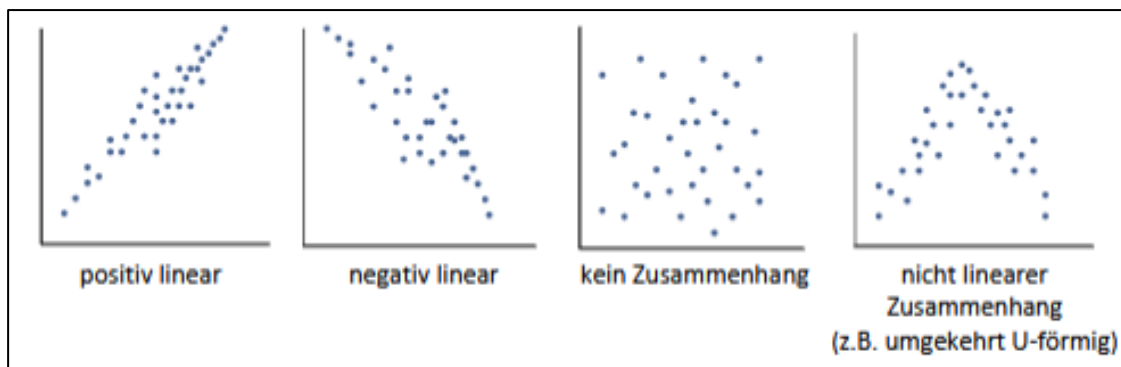


Abbildung 21: Beispiele für die grafische Darstellung von Zusammenhängen mittels Streudiagramm (Kuckartz et al., 2013, S. 209)

In Abbildung 21 sind unterschiedliche Streudiagramme dargestellt. Je näher die Punkte zusammenliegen und von einer Geraden angenähert werden können, desto stärker ist der lineare Zusammenhang. Ein Streudiagramm kann einen Zusammenhang nur dann darstellen, wenn die Datenwerte in einer aufsteigenden Reihenfolge geordnet werden können. Deshalb müssen die Daten zumindest ordinalskaliert sein. Vor der Berechnung des Korrelationskoeffizienten muss grafisch geprüft werden, ob die Daten einen linearen Zusammenhang aufweisen.

Tabelle 8: Referenzbereiche für die Stärke des linearen Zusammenhangs nach Pearson

Betrag von r	Stärke des Zusammenhangs
$0,00 \leq r < 0,10$	kein Zusammenhang
$0,10 \leq r < 0,30$	geringer Zusammenhang
$0,30 \leq r < 0,50$	mittlerer Zusammenhang
$0,50 \leq r < 0,70$	hoher Zusammenhang
$0,70 \leq r < 1,00$	sehr hoher Zusammenhang

r : Korrelationskoeffizient (mod. n. Kuckartz et al., 2013, S. 213)

Ist dies nicht der Fall, so kann keine sinnvolle Aussage über den Wert des Korrelationskoeffizienten getätigt werden. Für die Interpretation der Stärke des Zusammenhangs kann die Einteilung aus Tabelle 8 herangezogen werden (Kuckartz et al.,

2013). Sobald ein Zusammenhang zwischen zwei Variablen festgestellt wurde, kann mithilfe einer Regressionsanalyse eine Variable durch die andere vorhergesagt werden. So können wertvolle Aussagen bzw. Vorhersagen getroffen werden, wenn nur eine Variable bekannt ist. Grafisch gesehen wird in das Streudiagramm der Daten eine Regressionsgerade eingezeichnet, die den linearen Zusammenhang visualisiert. Die Gerade alleine sagt aber noch nichts über das Maß der Vorhersage aus. Dazu wird das sogenannte *Bestimmtheitsmaß* R^2 angegeben. Es gibt an, inwiefern die vorhergesagten Werte der Regressionsgeraden mit den realen, gemessenen Daten übereinstimmen. Dabei wird die Varianz der vorhergesagten Werte durch die Varianz der gemessenen Werte dividiert, wodurch das Ergebnis einen Wert zwischen 0 und 1 annimmt. Bei einem beispielhaften Wert von $R^2 = 0,74$ können 74 % der Variation der einen Variable durch die andere erklärt werden. Je höher der Wert bei 1 liegt, desto höher ist der Effekt (Kuckartz et al., 2013; Benesch, 2013).

2.3.4 Signifikanzniveau und p-Wert

Das numerische Ergebnis eines statistischen Signifikanztests ist der p-Wert. Mit diesem Wert können Hypothesen, die vor dem Testen formuliert wurden, auf Gültigkeit überprüft werden. Dabei beschreibt die Nullhypothese H_0 Gleichheit bzw. keinen Effekt oder Unterschied und die Alternativhypothese H_1 einen Unterschied bzw. einen Effekt bezogen auf die Fragestellung. Ob nun entweder H_0 oder H_1 gültig ist, entscheidet das Ergebnis des Signifikanztests, der p-Wert. Damit das Ergebnis sinnvoll interpretiert werden kann, muss vor dem Durchführen eines Tests ein bestimmtes Signifikanzniveau α festgelegt werden. Bei wissenschaftlichen Fragestellungen werden häufig die Niveaus $\alpha = 5\%$ und $\alpha = 1\%$ gewählt. Diese Niveaus geben die maximale Irrtumswahrscheinlichkeit an, die Nullhypothese verwerfen und die Alternativhypothese annehmen zu können. Ist der p-Wert $p \geq 0,05$ bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ ($= 0,05$), so ist die Wahrscheinlichkeit, bei Verwerfung der Nullhypothese einen Fehler zu begehen, zu groß und die Nullhypothese wird beibehalten. In diesem Fall wird von keinem signifikanten Unterschied bzw. Effekt ausgegangen. Liegt der p-Wert nun unter dem Signifikanzniveau α , also $p < 0,05$, so ist die Irrtumswahrscheinlichkeit gering genug, um die Nullhypothese verwerfen und die Alternativhypothese annehmen zu können. Hier wird von einem signifikanten Unterschied bzw. Effekt gesprochen. Das Signifikanzniveau ist abhängig von inhaltlichen Faktoren der Studie. Je gravierender die Folgen bei einer Fehlentscheidung, die Nullhypothese abzulehnen, sind, desto niedriger sollte α gewählt werden. (Bender & Lange, 2007; Baulig, Al-Nawas & Krummenauer, 2008; Bortz & Schuster, 2011). In der vorliegenden Arbeit ist ein Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ für die statistische Auswertung äußerst passend und wird daher verwendet.

3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Studie tabellarisch sowie grafisch dargestellt und beschrieben. Zuerst werden die Körperzusammensetzung, die körperliche Leistungsfähigkeit sowie die Muskelkraft auf Unterschiede hinsichtlich der Schwere des Krankheitsverlaufs mit dem *t-Test für unabhängige Stichproben* untersucht. Darauf folgend werden wichtige, ausgewählte Parameter auf Zusammenhänge mittels *Korrelation nach Pearson* geprüft. Zusätzlich wird auf die Stärke der Zusammenhänge und Einflüsse Bezug genommen.

3.1 Analyse der Körperzusammensetzung

Die Parameter der Körperzusammensetzung, die in Tabelle 9 aufgelistet sind, wurden für die Analyse ausgewählt. Wie in der Tabelle ersichtlich, wurden die beiden Gruppen „leichter Verlauf“ und „schwerer Verlauf“ auf signifikante Unterschiede mittels *t-Test für unabhängige Stichproben* geprüft. Diese beiden Gruppen beziehen sich auf die Schwere des Krankheitsverlauf, die mithilfe der Studienskala eingeteilt wurden (vgl. Kapitel 2.1.4).

Tabelle 9: Vergleich der Körperzusammensetzung zwischen den Krankheitsverläufen

	Leichter Verlauf (≤ 5) (n = 63)	Schwerer Verlauf (> 5) (n = 59)	Sig. p
Alter (Jahre)	37,02 $\pm$ 10,89	40,90 $\pm$ 12,36	0,068
Gewicht (kg)	74,19 $\pm$ 16,89	75,1 $\pm$ 15,04	0,754
Größe (cm)	1,74 $\pm$ 0,10	1,75 $\pm$ 0,09	0,590
BMI (kg/m ²)	24,33 $\pm$ 4,08	24,51 $\pm$ 4,58	0,824
Körperfett (kg)	17,25 $\pm$ 7,68	17,07 $\pm$ 9,51	0,909
Körperfett (%)	22,93 $\pm$ 6,64	22,21 $\pm$ 8,56	0,605
Körperwasser (L)	42,29 $\pm$ 8,73	43,04 $\pm$ 8,18	0,629
Magermasse (kg)	57,78 $\pm$ 11,93	58,79 $\pm$ 11,17	0,630
ECM (kg)	26,32 $\pm$ 5,01	27,05 $\pm$ 4,98	0,419
BCM (kg)	31,47 $\pm$ 7,59	31,74 $\pm$ 7,32	0,844
ECM/BCM Index	0,86 $\pm$ 0,14	0,88 $\pm$ 0,23	0,415
Zellanteil (%)	54,17 $\pm$ 3,77	53,64 $\pm$ 4,89	0,500
Grundumsatz (kcal)	1610,32 $\pm$ 239,89	1618,81 $\pm$ 231,03	0,843
Phasenwinkel (°)	6,53 $\pm$ 0,82	6,44 $\pm$ 0,96	0,571

Werte stellen Mittelwerte $\pm$ Standardabweichungen dar

p-Werte beziehen sich auf Unterschiede zwischen leichten und schweren Verläufen (t-Test) mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$; n: Anzahl, Sig.: Signifikanz, p: p-Wert, BMI: Body-Mass-Index, ECM: extrazelluläre Masse, BCM: Körperzellmasse, kg: Kilogramm, cm: Zentimeter, kg/m²: Kilogramm pro Quadratmeter, %: Prozent, L: Liter, kcal: Kilokalorien, °: Grad

Bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ müssten die p-Werte unter 0,05 liegen, damit von einem signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen ausgegangen werden kann. Die p-Werte in Tabelle 9 haben in jedem Parameter einen Wert von $p > 0,05$. Sie zeigen daher, dass es in allen Parametern keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gibt.

3.2 Analyse der körperlichen Leistungsfähigkeit

Die Messung der körperlichen Leistungsfähigkeit erfolgte mit einem Ausbelastungsprotokoll bei der Spiroergometrie. Der Ablauf der Testung wurde in Kapitel 2.2.2.1 beschrieben. Auch hier wurden die ausgewählten Parameter auf Unterschiede zwischen den Verlaufsgruppen mittels *t-Test* analysiert. Tabelle 10 zeigt die Werte während der anfänglichen Ruhephase vor dem Beginn der Belastungsphase sowie die Werte an der ersten ventilatorischen Schwelle (VT1, vgl. Kapitel 2.2.2.5). In Tabelle 11 sind die Werte an der zweiten ventilatorischen Schwelle (VT2, vgl. Kapitel 2.2.2.5) sowie die Maximalwerte (vgl. Kapitel 2.2.2.4) zum Zeitpunkt des Abbruchs der Testung ersichtlich. In beiden Tabellen gilt das Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$.

Die Ruhewerte aus Tabelle 10 zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ($p > 0,05$). Bei den Werten an der VT1 konnte nur bei einem Parameter, dem diastolischen Blutdruck, ein signifikanter Unterschied gefunden werden ($p = 0,044$). Die p-Werte der relativen Sauerstoffaufnahme VO_2/kg ($p = 0,075$) und der relativen Leistung in Watt/kg ($p = 0,087$) kommen dem Signifikanzniveau zwar recht nahe, jedoch wird es knapp überschritten und dadurch kann von keinem signifikanten Unterschied gesprochen werden.

Tabelle 10: Vergleich der körperlichen Leistungsfähigkeit zwischen den Krankheitsverläufen (Ruhe und VT1)

	Leichter Verlauf (< 5) (n = 63)	Schwerer Verlauf (≥ 5) (n = 59)	Sig. p
Ruhewerte			
VO₂ (ml/min)	405,08 ± 94,89	411,00 ± 118,83	0,761
VO₂/kg (ml/min/kg)	5,51 ± 1,03	5,51 ± 1,17	0,998
%Norm (%)	16,60 ± 4,07	17,12 ± 4,12	0,489
%Peak (%)	13,87 ± 3,29	14,66 ± 3,35	0,192
HF (bpm)	77,08 ± 13,33	77,73 ± 14,28	0,795
RER	0,80 ± 0,06	0,79 ± 0,06	0,273
RR systolisch (mmHg)	124,44 ± 13,31	125,32 ± 12,59	0,709
RR diastolisch (mmHg)	78,67 ± 9,20	79,42 ± 8,07	0,631

Werte an VT1			
VO₂ (ml/min)	1344,02 ± 355,86	1279,46 ± 395,76	0,345
VO₂/kg (ml/min/kg)	18,40 ± 4,07	17,02 ± 4,42	0,075
%Norm (%)	53,87 ± 12,58	52,29 ± 14,56	0,520
%Peak (%)	44,43 ± 7,50	43,69 ± 7,19	0,583
HF (bpm)	109,86 ± 15,19	108,53 ± 15,31	0,631
RER	0,80 ± 0,06	0,79 ± 0,53	0,246
Watt (W)	95,54 ± 32,07	87,66 ± 35,57	0,201
Watt/kg (W/kg)	1,31 ± 0,39	1,18 ± 0,43	0,087
RR systolisch (mmHg)	145,86 ± 19,29	149,58 ± 19,62	0,293
RR diastolisch (mmHg)	76,35 ± 8,76	79,41 ± 7,77	0,044

Werte stellen Mittelwerte ± Standardabweichungen dar

p-Werte beziehen sich auf Unterschiede zwischen leichten und schweren Verläufen (t-Test) mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$; n: Anzahl, Sig.: Signifikanz, p: p-Wert, VO₂: absolute Sauerstoffaufnahme, VO₂/kg: relative Sauerstoffaufnahme, %Norm: Prozentwert im Vergleich zu Normwerten, %Peak: Prozentwert in Bezug auf den Maximalwert, HF: Herzfrequenz, RER: respiratorischer Quotient, RR: Blutdruck, VT1: erste ventilatorische Schwelle, ml/min: Milliliter pro Minute, ml/min/kg: Milliliter pro Minute pro Kilogramm, %: Prozent, bpm: Schläge pro Minute, W: Watt, W/kg: Watt pro Kilogramm, mmHg: Millimeter-Quecksilbersäule

In keinem Parameter aus der Tabelle 11 konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Verlaufgruppen entdeckt werden ($p > 0,05$). Obwohl die p-Werte des diastolischen Blutdrucks an der VT2 ($p = 0,090$) und der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme VO_{2peak}/kg ($p = 0,081$) dem Signifikanzniveau von 5 % am nächsten sind, kann von keinem signifikanten Unterschied ausgegangen werden.

Tabelle 11: Vergleich der körperlichen Leistungsfähigkeit zwischen den Krankheitsverläufen (VT2 und Maximalwerte)

	Leichter Verlauf (< 5) (n = 63)	Schwerer Verlauf (≥ 5) (n = 59)	Sig. p
Werte an VT2			
VO₂ (ml/min)	2620,19 ± 670,57	2533,47 ± 763,49	0,506
VO₂/kg (ml/min/kg)	35,73 ± 7,82	33,71 ± 8,18	0,166
%Norm (%)	105,38 ± 18,10	104,9 ± 22,98	0,898
%Peak (%)	87,14 ± 6,20	87,76 ± 5,02	0,547
HF (bpm)	162,62 ± 16,40	161,86 ± 15,35	0,794
RER	1,01 ± 0,05	1,02 ± 0,06	0,643
Watt (W)	222 ± 60,38	213,22 ± 65,85	0,444
Watt/kg (W/kg)	3,03 ± 0,71	2,84 ± 0,73	0,152
RR systolisch (mmHg)	183,81 ± 24,09	187,20 ± 24,09	0,438
RR diastolisch (mmHg)	78,10 ± 9,22	81,19 ± 10,72	0,090

Maximalwerte			
VO_{2peak} (ml/min)	3005,51 ± 729,8	2881,14 ± 840,72	0,384
VO_{2peak}/kg (ml/min/kg)	41,08 ± 8,45	38,29 ± 9,07	0,081
%Norm (%)	120,75 ± 17,47	119,12 ± 23,23	0,664
HF_{max} (bpm)	175,98 ± 14,51	175,1 ± 13,29	0,727
RER	1,12 ± 0,06	1,12 ± 0,07	0,841
Watt (W)	268,24 ± 67,81	256,59 ± 76,46	0,375
Watt/kg (W/kg)	3,67 ± 0,79	3,42 ± 0,85	0,103
RR systolisch (mmHg)	184,68 ± 30,76	183,64 ± 31,50	0,854
RR diastolisch (mmHg)	76,43 ± 12,46	76,86 ± 12,14	0,845

Werte stellen Mittelwerte ± Standardabweichungen dar

p-Werte beziehen sich auf Unterschiede zwischen leichten und schweren Verläufen (t-Test) mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$; n: Anzahl, Sig.: Signifikanz, p: p-Wert, VO_{2peak}: absolute maximal erreichte Sauerstoffaufnahme, VO_{2peak}/kg: relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme, %Norm: erreichter Prozentwert im Vergleich zu Normwerten, %Peak: Prozentwert in Bezug auf den Maximalwert, HF_{max}: maximal erreichte Herzfrequenz, RER: respiratorischer Quotient, RR: Blutdruck, VT2: zweite ventilatorische Schwelle, ml/min: Milliliter pro Minute, ml/min/kg: Milliliter pro Minute pro Kilogramm, %: Prozent, bpm: Schläge pro Minute, W: Watt, W/kg: Watt pro Kilogramm, mmHg: Millimeter-Quecksilbersäule

Zur besseren Veranschaulichung werden die relativen VO₂-Werte der beiden Gruppen grafisch dargestellt. In Abbildung 22 sind die Werte in Ruhe, an der VT1 und VT2 sowie am Maximum eingezeichnet.

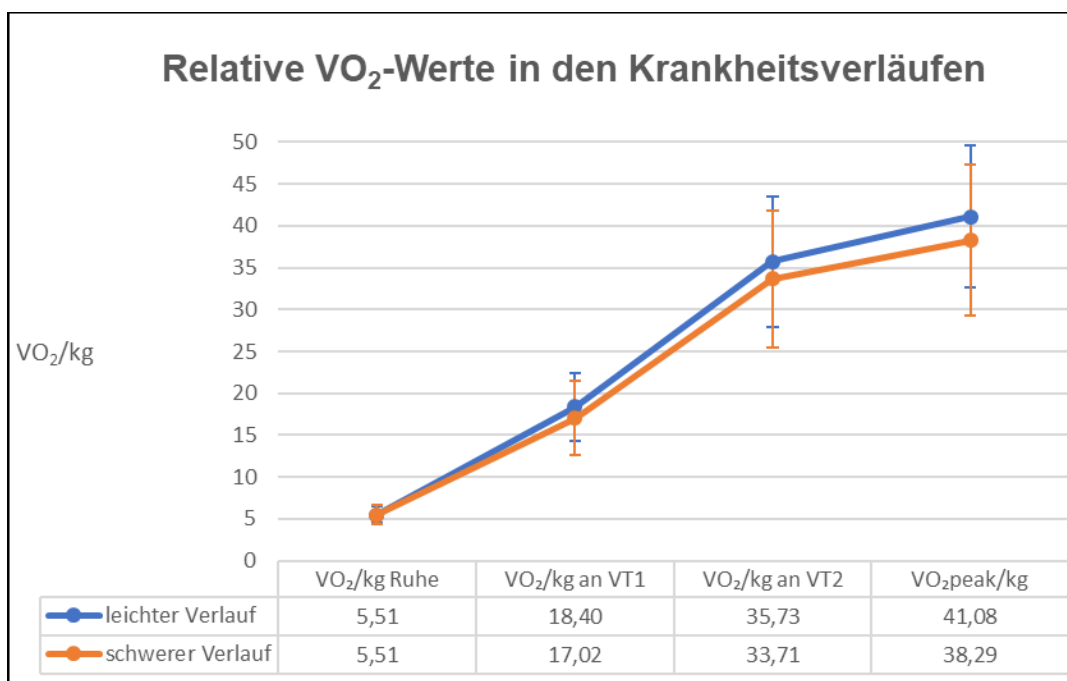


Abbildung 22: Relative VO₂-Werte in den Krankheitsverläufen

In der Grafik lassen sich zwar kleine Unterschiede zwischen den Krankheitsverläufen erkennen, jedoch gelten diese als nicht signifikant. Die Gruppe „schwerer Verlauf“ weist laut Grafik niedrigere Werte als die Gruppe „leichter Verlauf“ auf, wobei der Unterschied mit zunehmender Belastung größer wird.

3.3 Analyse der Muskelkraft

Die Testung der Handgriffkraft erfolgte mittels Handdynamometrie (vgl. Kapitel 2.2.3). Mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ wurden die Gruppen der Krankheitsverläufe auf Unterschiede in der Handgriffkraft mittels *t-Test* getestet.

Tabelle 12: Vergleich der Handgriffkraft (HGK) zwischen den Krankheitsverläufen

	Leichter Verlauf (< 5) (n = 63)	Schwerer Verlauf (≥ 5) (n = 59)	Sig. p
HGK dominant (kg)	42,78 ± 10,73	43,76 ± 11,83	0,631
HGK nicht dominant (kg)	39,57 ± 10,31	40,97 ± 12,53	0,502

Werte stellen Mittelwerte ± Standardabweichungen dar

p-Werte beziehen sich auf Unterschiede zwischen leichten und schweren Verläufen (t-Test) mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$; n: Anzahl, Sig.: Signifikanz, p: p-Wert, kg: Kilogramm

Tabelle 12 zeigt die Werte der Handgriffkraft der dominanten sowie nicht-dominanten Hand. Mit dem *t-Test* konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in beiden Parametern festgestellt werden ($p > 0,05$).

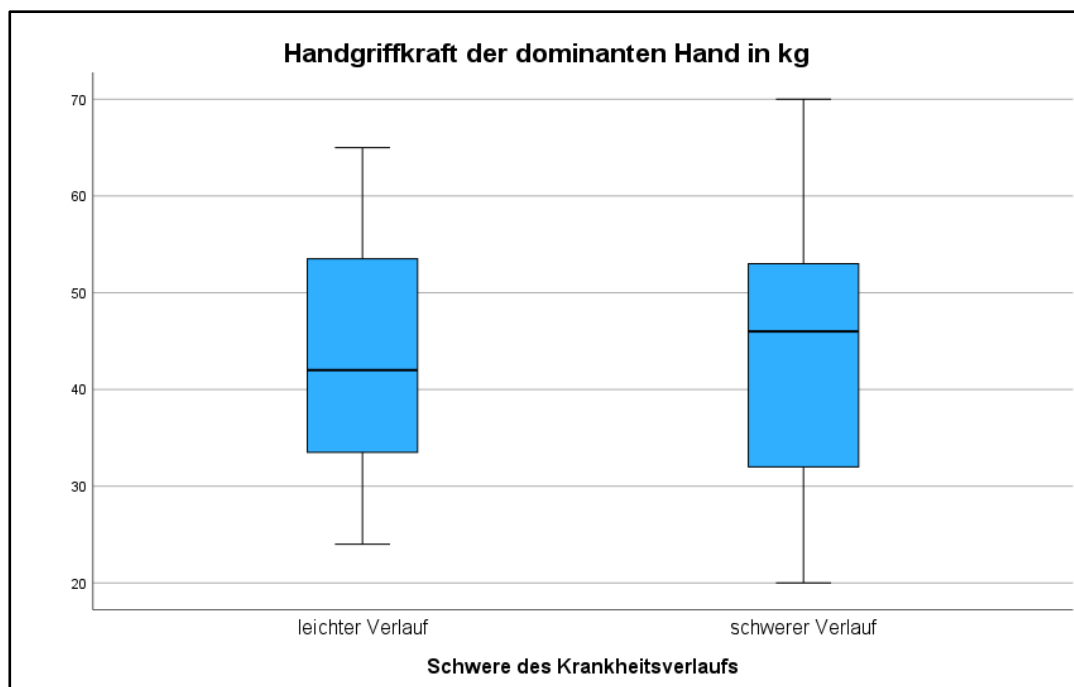


Abbildung 23: Vergleich der Handgriffkraft der dominanten Hand zwischen den Krankheitsverläufen

In Abbildung 23 wird die Handgriffkraft der dominanten Hand zwischen den Krankheitsverläufen mittels Boxplot-Diagramm grafisch veranschaulicht. Es ist zu erkennen, dass die Spannweite (= Abstand zwischen maximalem und minimalem Wert) beim schweren Verlauf größer ist als beim leichten Verlauf. Das bedeutet, dass sowohl niedrigere, als auch höhere Werte bei den schweren Verläufen im Vergleich zu den leichten Verläufen gemessen wurden. Außerdem ist im Diagramm des schweren Verlaufs ein größerer Medianwert zu erkennen. Der Wert in der Mitte der geordneten Datenreihe ist bei den schweren Verläufen also höher als bei den leichten Verläufen. Beim Vergleich der Mittelwerte konnte aber kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p = 0,631$).

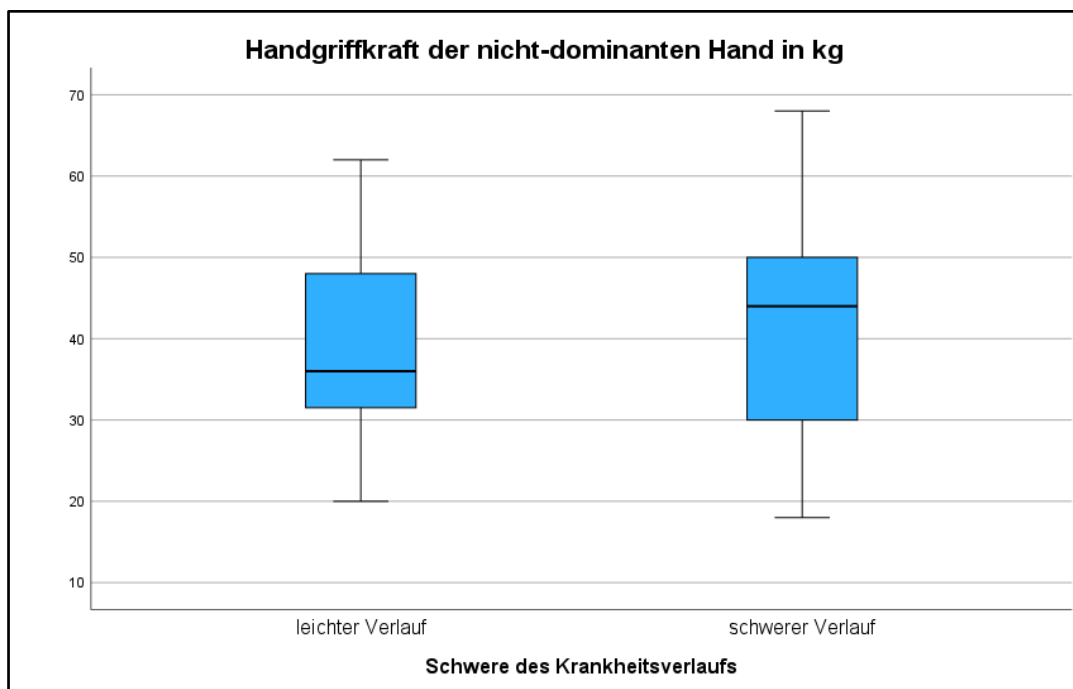


Abbildung 24: Vergleich der Handgriffkraft der nicht-dominanten Hand zwischen den Krankheitsverläufen

Auch beim Vergleich der nicht-dominanten Hand zwischen den Verlaufsgruppen ist eine größere Spannweite bei den schweren Verläufen als bei den leichten Verläufen zu erkennen (vgl. Abbildung 24). Der Median ist genauso wie bei der dominanten Hand in der Gruppe des schweren Verlaufs höher als im leichten Verlauf. Zusätzlich konnte auch hier kein signifikanter Unterschied in den Mittelwerten festgestellt werden ($p = 0,502$).

3.4 Analyse des Zusammenhangs zwischen der körperlichen Leistungsfähigkeit, der Körperzusammensetzung und der Muskelkraft

Tabelle 13: Korrelationen ausgewählter Parameter nach Pearson

	Body Mass Index (BMI)	Magermasse (LBM)	Körperfett in %	Körperwasser (TBW)	Extrazelluläre Masse (ECM)	Body Cell Mass (BCM)	ECM/BCM Index	Phasenwinkel	Handkraft dominante Hand	Handkraft nicht-dominante Hand
Magermasse (LBM)	r ,637** p ,000									
Körperfett in %	r ,537** p ,000	- ,176 ,053								
Körperwasser (TBW)	r ,637** p ,000	1,000** ,000	- ,177 ,052							
Extrazelluläre Masse (ECM)	r ,684** p ,000	,892** ,000	,039 ,667	,891** ,000						
Body Cell Mass (BCM)	r ,528** p ,000	,953** ,000	- ,300** ,001	,953** ,000	,712** ,000					
ECM/BCM Index	r -,042 p ,642	- ,333** ,000	,402** ,000	- ,333** ,000	,082 ,368	- ,571** ,000				
Phasenwinkel	r ,022 p ,814	,380** ,000	- ,469** ,000	,380** ,000	- ,073 ,425	,638** ,000	- ,909** ,000			
Handkraft dominante Hand	r ,205* p ,023	,738** ,000	- ,481** ,000	,738** ,000	,512** ,000	,802** ,000	- ,481** ,000	,583** ,000		
Handkraft nicht-dominante Hand	r ,137 p ,134	,708** ,000	- ,535** ,000	,708** ,000	,491** ,000	,768** ,000	- ,437** ,000	,559** ,000	,933** ,000	
VO2peak/kg	r -,404** p ,000	,066 ,471	- ,586** ,000	,067 ,465	- ,108 ,238	,175 ,054	- ,344** ,000	,375** ,000	,298** ,001	,351** ,000

p-Werte beziehen sich auf lineare Zusammenhänge zwischen zwei Parametern (Korrelation nach Pearson) mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$; r gibt die Stärke und Richtung des Zusammenhangs an; p: p-Wert, r: Pearsons Korrelationskoeffizient, VO_{2peak}/kg : relative maximal erreichte Sauerstoffaufnahme

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

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

Die Parameter, die auf lineare Zusammenhänge mittels Korrelation nach Pearson geprüft wurden, sind in Tabelle 13 aufgelistet. Bei einem p-Wert von $p < 0,05$ (*) wird von einem signifikanten, linearen Zusammenhang gesprochen. Weist der p-Wert $p < 0,01$ (**) auf, so kann der lineare Zusammenhang als hochsignifikant bezeichnet werden. Bei Werten von $p \geq 0,05$ wird von keinem signifikanten, linearen Zusammenhang ausgegangen. Bezüglich der Fragestellungen der vorliegenden Arbeit werden die Parameter der Körperzusammensetzung mit der Handgriffkraft (dominant & nicht-dominant) sowie der körperlichen Leistungsfähigkeit (VO_{2peak}/kg) in Zusammenhang gesetzt und analysiert.

Beginnend mit der VO_{2peak} konnten positive Zusammenhänge mit der Handgriffkraft gefunden werden. Dabei zeigt die Handgriffkraft der dominanten Hand einen geringen ($r = 0,298$; $p = 0,001$) und die Handgriffkraft der nicht-dominanten Hand einen mittleren positiven Zusammenhang ($r = 0,351$; $p = 0,000$) mit der VO_{2peak} . Die VO_{2peak} zeigt auch einen mittleren positiven Zusammenhang mit dem Phasenwinkel ($r = 0,375$; $p = 0,000$). Personen mit höheren Werten der Handgriffkraft sowie des Phasenwinkels weisen damit auch höhere Werte der VO_{2peak} auf. Negative Zusammenhänge konnten beim BMI ($r = -0,404$; $p = 0,000$), dem ECM/BCM-Index ($r = -0,344$; $p = 0,000$) und dem Körperfett in % ($r = -0,586$; $p = 0,000$) bezogen auf die VO_{2peak} gefunden werden. Dabei zeigt der relative Körperfettanteil einen hohen negativen Zusammenhang mit der körperlichen Leistungsfähigkeit, BMI und ECM/BCM-Index zeigen einen mittleren negativen Zusammenhang. Das bedeutet, dass Personen mit geringeren Werten dieser Parameter höhere Werte der VO_{2peak} aufweisen.

Als Nächstes wird die Handgriffkraft der dominanten Hand mit den Parametern der Körperzusammensetzung in Verbindung gebracht. Die Korrelationsanalyse zeigt einen mittleren negativen Zusammenhang mit dem ECM/BCM-Index ($r = -0,481$; $p = 0,000$) und dem relativen Körperfettanteil ($r = -0,481$; $p = 0,000$). Probandinnen und Probanden, die niedrigere Werte in diesen beiden Parametern aufweisen, besitzen eine höhere Griffkraft in der dominanten Hand. Der BMI weist einen geringen positiven Zusammenhang mit der Handgriffkraft der dominanten Hand auf ($r = 0,205$; $p = 0,023$). Ein hoher positiver Zusammenhang konnte bei der ECM ($r = 0,512$, $p = 0,000$) und dem Phasenwinkel ($r = 0,583$, $p = 0,000$) festgestellt werden. Das Körperwasser ($r = 0,738$, $p = 0,000$), die BCM ($r = 0,802$, $p = 0,000$) sowie die Magermasse ($r = 0,738$, $p = 0,000$) wiesen sogar einen sehr hohen positiven Zusammenhang mit der dominanten Handgriffkraft auf.

Zuletzt werden die Korrelationen der Handgriffkraft der nicht-dominanten Hand mit den Parametern der Körperzusammensetzung analysiert. Ein mittlerer negativer Zusammenhang konnte mit dem ECM/BCM-Index gefunden werden ($r = -0,437$, $p = 0,000$), ein mittlerer positiver Zusammenhang wurde bei der ECM ($r = 0,491$, $p = 0,000$)

festgestellt. Der relative Körperfettanteil ($r = -0,535$, $p = 0,000$) und der Phasenwinkel ($r = 0,559$, $p = 0,000$) zeigen einen hohen negativen bzw. positiven Zusammenhang mit der Griffkraft der nicht-dominanten Hand auf. Die Parameter Magermasse ($r = 0,708$, $p = 0,000$), Körperwasser ($r = 0,708$, $p = 0,000$) sowie BCM ($r = 0,768$, $p = 0,000$) korrelieren mit einem sehr hohen positiven Zusammenhang mit der nicht-dominanten Handgriffkraft.

4 Diskussion

In der Diskussion werden bereits vorhandene Ergebnisse aus der Literatur mit den Ergebnissen aus dieser Arbeit verglichen und in Beziehung gesetzt. Außerdem werden die erhaltenen Ergebnisse interpretiert und Begründungen für diese gesucht. Zuletzt werden die Stärken bzw. Limitationen dieser Studie besprochen und weitere Anregungen für zukünftige Forschungen formuliert.

4.1 Die COVID-19 Erkrankung und ihre Verläufe

Je nach Anzahl und Schwere der Symptome der COVID-19 Erkrankung können verschieden intensive Krankheitsverläufe definiert werden. Die Stärke bzw. Schwere des Krankheitsverlaufs bringt unterschiedliche Auswirkungen und Komplikationen mit sich. In der Literatur werden die Krankheitsverläufe meist in 3–4 Gruppen unterteilt. Ciotti et al. (2020) schreiben von asymptomatischen, leichten, mittleren und schweren Verläufen, die WHO (2021a) teilt symptomatische Fälle in mild, moderat, schwer und kritisch ein. Auch Peball et al. (2024) definieren milde, moderate und schwere Verläufe, Rossi et al. (2022) erwähnen zusätzlich kritische Verläufe. In dieser Arbeit wurde nur zwischen „leichten“ und „schweren“ Verläufen unterschieden (vgl. Kapitel 2.1.4). Diese beiden Gruppen wurden in Kapitel 3 auf signifikante Unterschiede in der Körperzusammensetzung, der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Handgriffkraft geprüft.

4.1.1 Die Körperzusammensetzung

Einige Studien über die Körperzusammensetzung in Bezug auf COVID-19 zeigen, dass übergewichtige bzw. adipöse Menschen ein größeres Risiko haben, einen schweren Krankheitsverlauf aufzuweisen (Popkin et al., 2020; Freuer et al., 2021; Lemos et al., 2022; Rossi et al., 2022). Dabei sind speziell der BMI (Popkin et al., 2020; Freuer et al., 2021; Rossi et al., 2022) sowie die Fettmasse und der Körperfettanteil (Lemos et al., 2022; Rossi et al., 2022) von Bedeutung. Das Alter des Studienkollektivs ist mit der Literatur sehr gut vergleichbar, da die getesteten Personen ein Alter von > 18 Jahren (González-Islas et al., 2022), von ≥ 18 Jahren (Peball et al., 2024) oder von 19–65 Jahren (Lemos et al., 2022) aufwiesen. Im Vergleich dazu zeigt das Studienkollektiv dieser Studie ein Alter von

20–68 Jahren, was sehr ähnlich zu den genannten Studien ist. Bezogen auf die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit müssten daher Personen mit einem schweren Krankheitsverlauf höhere Werte im BMI, der Fettmasse und dem Körperfettanteil aufweisen als diejenigen mit einem leichten Krankheitsverlauf. Wie bereits im Ergebnisteil beschrieben, gab es in diesen Parametern keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ($p > 0,05$; vgl. Tabelle 9 aus Kapitel 3.1). In Abbildung 25 werden die genannten Parameter mithilfe von Boxplot-Diagrammen grafisch dargestellt und zwischen den Verläufen gegenübergestellt.

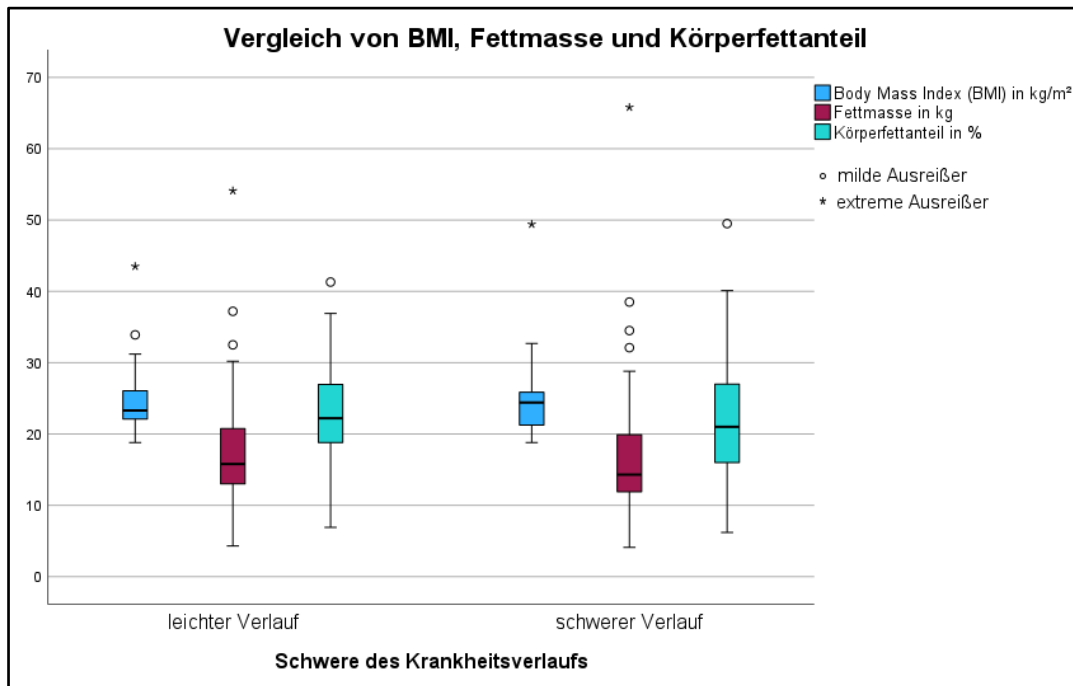


Abbildung 25: Body-Mass-Index (BMI), Fettmasse und Körperfettanteil im Vergleich zwischen den Krankheitsverläufen

Es lässt sich erkennen, dass in allen Parametern Ausreißer nach oben vorhanden sind. Das bedeutet, dass sowohl bei den leichten als auch bei den schweren Verläufen Personen mit Übergewicht ($\text{BMI} \geq 25 \text{ kg/m}^2$) und Adipositas ($\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$) vorhanden sind. Außerdem sind auch erhöhte Werte in der Fettmasse und dem Körperfettanteil in beiden Verlaufsgruppen erkennbar. Beim genaueren Betrachten der Diagramme lässt sich erkennen, dass nur der Median des BMI in der schweren Verlaufsgruppe tendenziell höher ist als in der leichten Verlaufsgruppe. Sowohl der Median der Fettmasse als auch des Körperfettanteils ist aber bei der schweren Verlaufsgruppe niedriger. Diese Unterschiede sind jedoch, wie schon in Kapitel 3.1 beschrieben, nicht signifikant. In der vorliegenden Studie gibt es daher keine Anzeichen dafür, dass übergewichtige Menschen schwerwiegendere Krankheitsverläufe erlitten als andere. Der wesentliche Unterschied zur Literatur ist, dass Autorinnen und Autoren speziell Menschen mit Übergewicht bzw. Adipositas getestet und mit einer Kontrollgruppe verglichen haben. Im vorhandenen Kollektiv dieser Arbeit ist der Großteil normalgewichtig ($n = 77$), etwas mehr als ein Viertel

übergewichtig ($n = 35$) und niemand ($n = 0$) untergewichtig. Außerdem gab es 8 Personen mit Adipositas ($\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$) und 2 Personen mit sehr starker Adipositas ($\text{BMI} \geq 35 \text{ kg/m}^2$). Die Verteilung der BMI-Kategorien des Studienkollektivs ist in Abbildung 26 dargestellt.

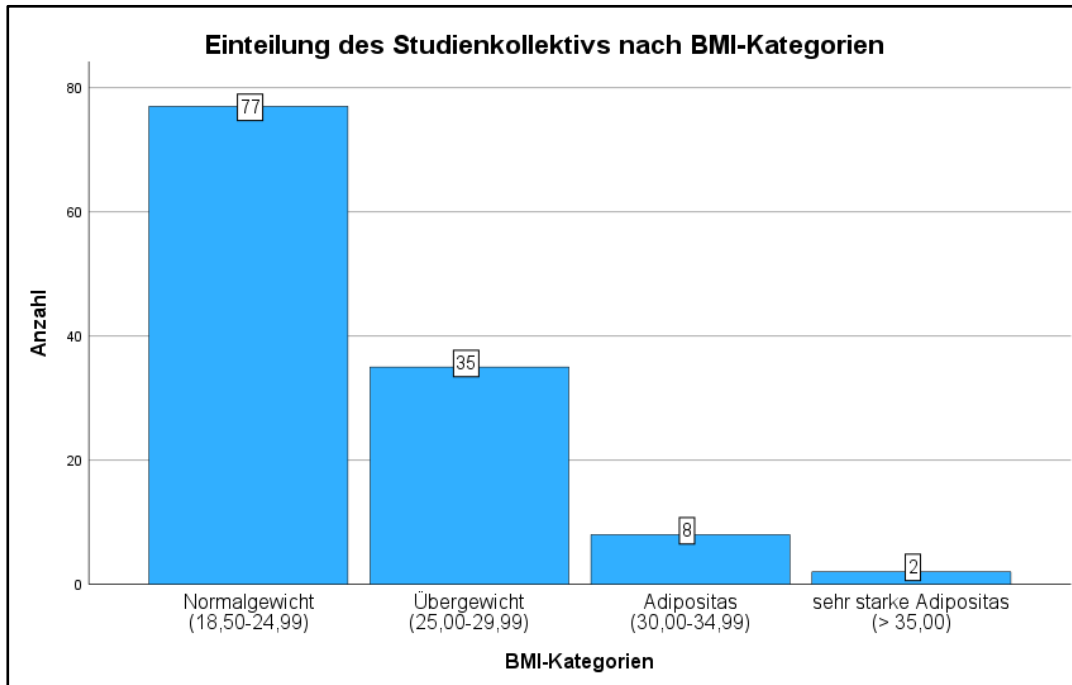


Abbildung 26: Einteilung des Studienkollektivs nach Body-Mass-Index (BMI)-Kategorien

Zusätzlich wurden in den Vergleichsstudien deutlich größere Datenbanken ($n = 1\,289\,249$) und Kollektive aus mehreren Studien in Reviews analysiert (Popkin et al., 2020; Freuer et al., 2021; Rossi et al., 2022). Im Vergleich dazu betrachtet die vorhandene Studie die Daten und Ergebnisse von 122 Personen. Möglicherweise wären die Ergebnisse dieser Arbeit zu den Ergebnissen der genannten Studien ähnlicher, wenn das Studienkollektiv größer gewesen wäre. Jedoch zeigen auch Studien mit einer geringeren Anzahl an Testpersonen (Lemos et al., 2022; Peball et al., 2024) ähnliche Ergebnisse zu den Studien mit einer hohen Anzahl an Testpersonen (Popkin et al., 2020; Freuer et al., 2021; Rossi et al., 2022; González-Islas et al., 2022). Weiters wurden in der Literatur häufig Patientinnen und Patienten mit einem Aufenthalt im Krankenhaus oder sogar der Intensivstation, bei äußerst schweren Krankheitsverläufen, in die Studien miteinbezogen (Lemos et al., 2022; González-Islas et al., 2022; Peball et al., 2024). Im Vergleich dazu weist das vorhandene Studienkollektiv keine derart schweren Verläufe auf. Beim Betrachten von Abbildung 4 aus Kapitel 2.1.4 lässt sich erkennen, dass der Großteil des Studienkollektivs Werte bis zum Wert 11, also knapp unter drei Viertel der möglichen Skala der Verlaufsschwere, aufweist. Dabei gibt es nur drei Personen (= 2,46 % des Studienkollektivs) mit Werten über 12. Das bedeutet, dass die Probandinnen und Probanden dieser Studie im Allgemeinen keine derart

schwerwiegenden Krankheitsverläufe aufwiesen als die in den Studien beschriebenen. Dies könnte ein Grund sein, warum keine signifikanten Unterschiede in den Parametern der Körperzusammensetzung zwischen den beiden Verlaufsgruppen aufgezeigt werden konnten.

4.1.2 Die körperliche Leistungsfähigkeit

Bei der körperlichen Leistungsfähigkeit konnten allgemein keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Verlaufsgruppen gefunden werden. Der einzige Parameter, der einen signifikanten Unterschied aufwies, war der diastolische Blutdruck an der VT1 ($p = 0,044$; vgl. Tabelle 10 aus Kapitel 3.2). Zusätzlich dazu waren die relative Leistung in Watt/kg an der VT 1 ($p = 0,087$), der diastolische Blutdruck an der VT 2 ($p = 0,090$) sowie die VO_{2peak}/kg ($p = 0,081$) dem Signifikanzniveau recht nahe (vgl. Tabelle 11 aus Kapitel 3.2), was Tendenzen erkennbar macht. Die Literatur gibt Hinweise darauf, dass sich die COVID-19 Krankheit je nach der Stärke des Krankheitsverlaufs unterschiedlich auf den Körper auswirkt (Ciotti et al., 2020). Dabei wird von einer schlechteren körperlichen Leistungsfähigkeit bei schweren Verläufen gesprochen. Erkrankte mit milden bzw. moderaten Verläufen zeigen bessere Ergebnisse, zum Beispiel beim 6-Minuten-Gehtest, als diejenigen mit schweren Verläufen. Diese verminderte Leistungsfähigkeit wurde ein Jahr nach der COVID-19 Erkrankung getestet und analysiert. Ein wesentliches Merkmal dieses Studienkollektivs ist, dass ein Teil davon im Krankenhaus auf der Intensivstation aufgrund eines schweren COVID-19 Verlaufs behandelt wurde (Peball et al., 2024).

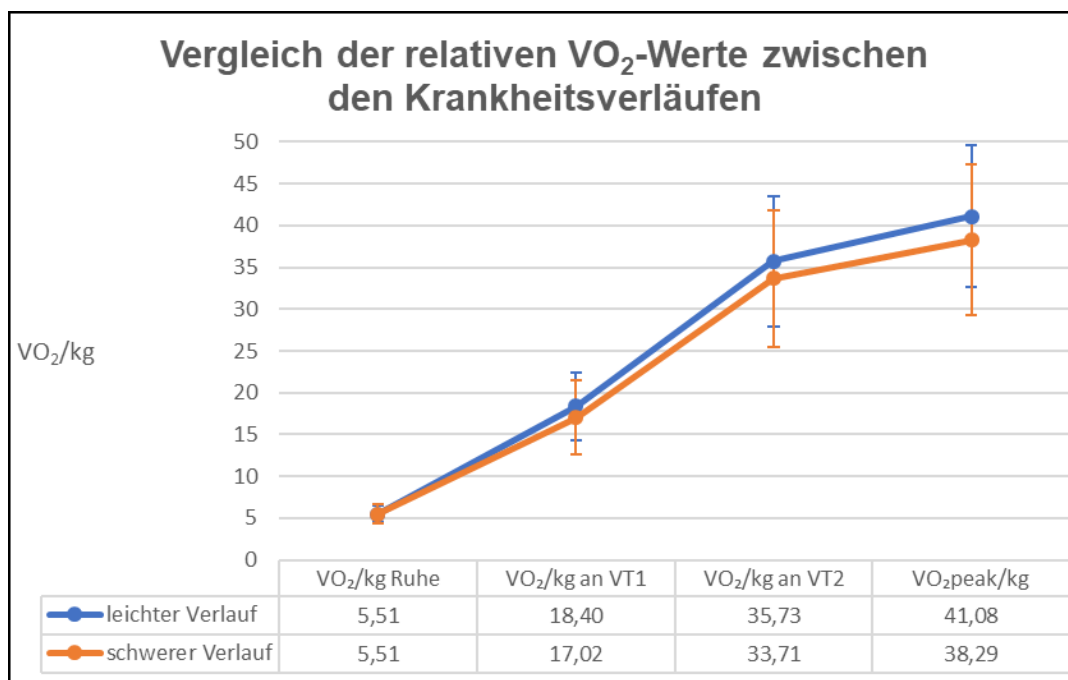


Abbildung 27: Vergleich der relativen VO_2 -Werte zwischen den Krankheitsverläufen

Im Gegensatz dazu wies das Kollektiv dieser Arbeit, wie zuvor erwähnt, keine derart schweren Verläufe auf. Werden die relativen VO_2 -Werte zwischen den beiden Verlaufsgruppen verglichen und grafisch dargestellt, so lässt sich, wie in Abbildung 27 ersichtlich, ein geringer, tendenzieller Unterschied erkennen. Die körperliche Fitness wird allgemein mit leichteren Verläufen und weniger Symptomen assoziiert (Jimeno-Almazán et al., 2022). Der größte und deutlichste Unterschied ist speziell bei den Maximalwerten zu sehen. Hier zeigt sich, dass die Gruppe des schweren Krankheitsverlaufs tendenziell niedrigere Werte in der relativen VO_{2peak} aufweist als die leichte Verlaufsgruppe. Wie bereits erwähnt ist dieser Unterschied jedoch statistisch nicht signifikant ($p = 0,081$). Eine Tendenz in Richtung der Ergebnisse aus der Literatur lässt sich dennoch erkennen. Der geringe Unterschied zwischen den beiden Gruppen resultiert vermutlich aus dem geringen Unterschied der Schwere der Krankheitsverläufe. Der Unterschied wäre womöglich eindeutiger und eventuell auch signifikant, wenn das Verhältnis zwischen leichten und schweren Krankheitsverläufen annähernd ausgeglichen gewesen wäre.

4.1.3 Die Muskelkraft

Schwere COVID-19 Verläufe begünstigen eine längere Bettruhe bzw. einen Krankenhausaufenthalt, wodurch die Muskeln an Masse und Kraft verlieren können. Je nach Dauer des Aufenthalts kann ein Muskelschwund bis hin zur Sarkopenie eintreten (Rossi et al., 2022; Stavrou et al., 2022). Auch Jimeno-Almazán et al. (2022) bestätigen, dass eine niedrige Muskelkraft und auch eine niedrige Fitness schwere Verläufe begünstigt. Aus diesem Grund müssten Personen mit einem schweren COVID-19 Verlauf geringere Werte in der Handgriffkraft aufweisen als jene mit einem leichten Verlauf. Im Vergleich dazu fanden Peball et al. (2024), dass bei 12 % ihres Studienkollektivs eine Verringerung der Muskelmasse unabhängig von der Schwere des Krankheitsverlaufs vonstattenging. In Tabelle 12 aus Kapitel 3.3 wurden die Unterschiede in den Mittelwerten der Handgriffkraft auf Signifikanz überprüft. Sowohl die dominante als auch die nicht-dominante Hand weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Verlaufsgruppen auf ($p = 0,631$ bzw. $p = 0,502$). In Abbildung 28 werden diese Daten nochmals grafisch mit Boxplot-Diagrammen gegenübergestellt. Interessanterweise zeigen die Mediane in der schweren Verlaufsgruppe sowohl in der dominanten als auch in der nicht-dominanten Hand höhere Werte als in der leichten Verlaufsgruppe. Außerdem ist zu erkennen, dass einerseits die höchsten und andererseits auch die niedrigsten Werte in der schweren Verlaufsgruppe gemessen wurden. Im Gegensatz zu diesen Daten stehen die zuvor genannten Studien, da sie genau gegenteilige Ergebnisse präsentieren.

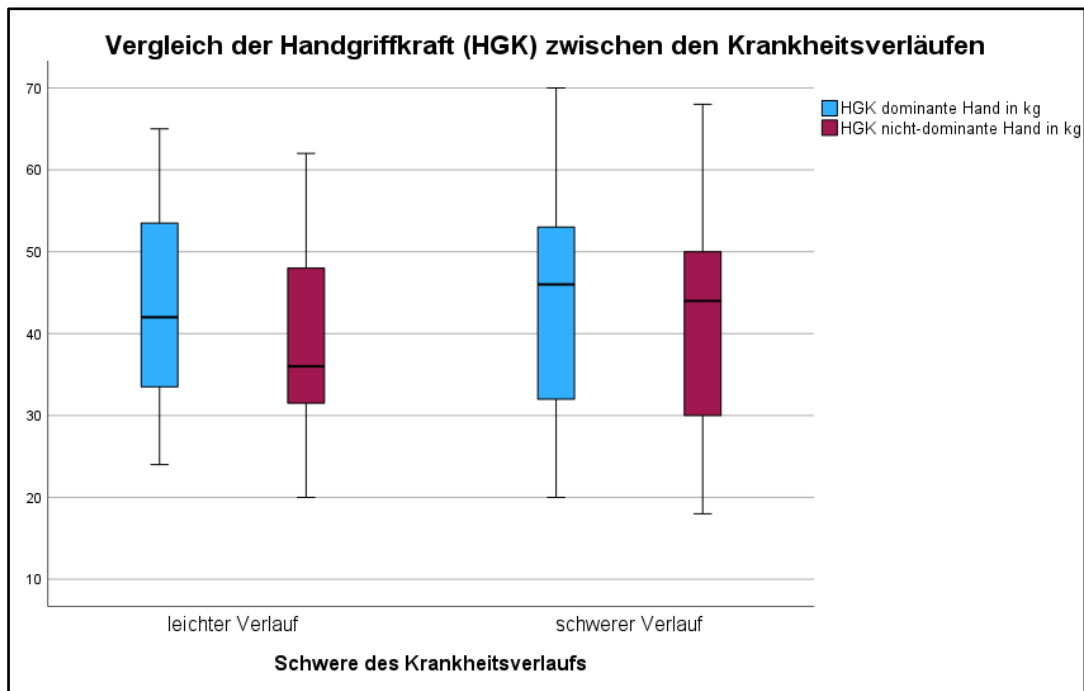


Abbildung 28: Vergleich der Handgriffkraft (HGK) zwischen den Krankheitsverläufen

Eine Begründung dafür könnten die nicht allzu schwerwiegenden Verläufe des Studienkollektivs dieser Arbeit sein. Bei einem größeren Anteil an sehr schweren Verläufen (z.B. Skalawert > 10, vgl. Kapitel 2.1.4) wären die Ergebnisse womöglich ähnlich zur vorhandenen Literatur. Zusätzlich dazu weist die schwere Verlaufsgruppe auch einen etwas höheren BMI als die leichte Verlaufsgruppe auf (vgl. Abbildung 25 aus Kapitel 4.1.1). Der BMI setzt das Körpergewicht zur Körpergröße in Relation, wobei aber keine Rückschlüsse auf die Zusammensetzung des Körpergewichts gezogen werden können. Ein höheres Körpergewicht bei einer bestimmten Körpergröße, und dadurch ein höherer BMI-Wert, kann sowohl durch eine Erhöhung der Fettmasse als auch durch eine Erhöhung der Muskelmasse begründet werden. In Tabelle 9 aus Kapitel 3.1 weisen die Magermasse sowie die BCM in der schweren Verlaufsgruppe ein wenig höhere Mittelwerte, jedoch nicht signifikante Unterschiede ($p = 0,630$ bzw. $p = 0,844$) auf. Außerdem zeigen sie auch niedrigere Mittelwerte in der Fettmasse sowie im Körperfettanteil. Die Unterschiede zur leichten Verlaufsgruppe sind aber auch hier nicht signifikant ($p = 0,909$ bzw. $p = 0,605$). In Abbildung 29 sind die genannten Parameter mithilfe von Boxplot-Diagrammen grafisch dargestellt. Die geringen Unterschiede in den Mittelwerten sind auch in den Medianen sichtbar. Für eine ausreichende Begründung ist dieser Unterschied jedoch zu gering. Es lässt sich daher zumindest begründen, dass eine Tendenz erkennbar ist. Auch wenn die Mittelwerte und Mediane einen tendenziellen Unterschied in diese Richtung, sozusagen gegensätzlich zur zuvor genannten Literatur, darstellen, zeigen die minimalen sowie die maximalen Werte einen Unterschied in die entgegengesetzte Richtung.

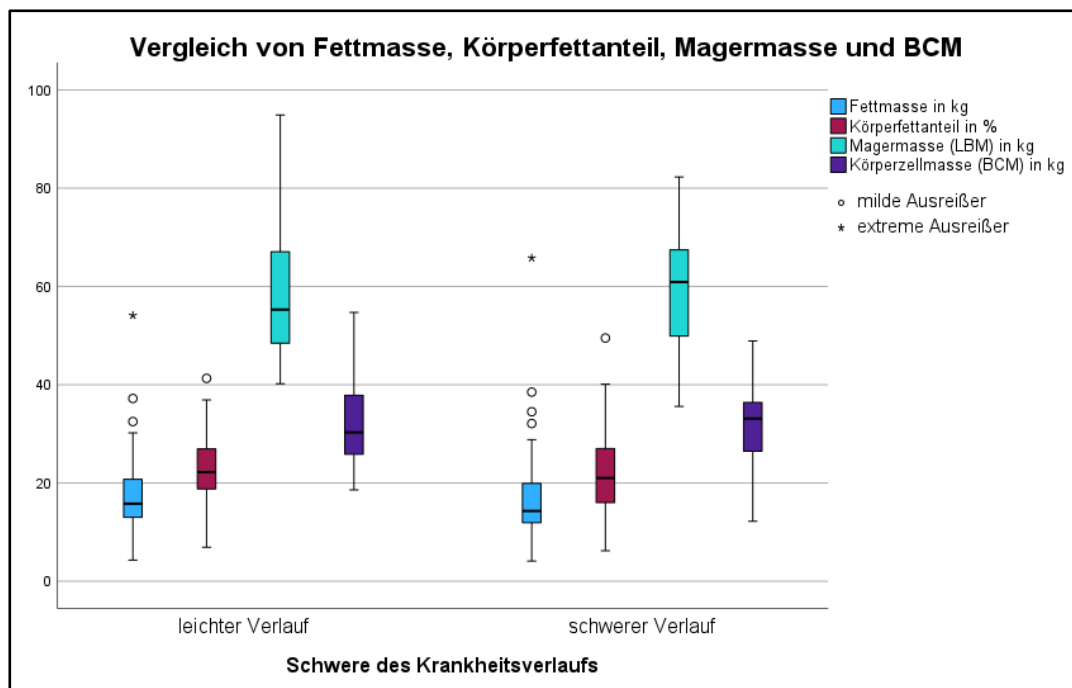


Abbildung 29: Fettmasse, Körperfettanteil, Magermasse (LBM) und Körperzellmasse (BCM) im Vergleich zwischen den Krankheitsverläufen

Werden die Diagramme in Abbildung 29 als Ganzes betrachtet, so sind die Werte der Fettmasse und des Körperfettanteils in der schweren Verlaufsguppe höher und die Werte der Magermasse und der BCM niedriger als in der leichten Verlaufsguppe. Diese Ergebnisse stimmen mit den Studien von Rossi et al. (2022), Stavrou et al. (2022) und Jimeno-Almazán et al. (2022) überein. Es können also Tendenzen in eine bestimmte Richtung, aber keine signifikanten Unterschiede, begründet werden.

4.2 Die körperliche Leistungsfähigkeit im Zusammenhang mit der Körperzusammensetzung nach COVID-19

Die Ergebnisse aus Kapitel 3.4 zeigen Zusammenhänge zwischen der körperlichen Leistungsfähigkeit und Parametern der Körperzusammensetzung. Dabei zeigte sich, dass ein niedriger BMI und ein niedriger ECM/BCM-Index mit einer besseren VO_{2peak} bzw. körperlichen Leistungsfähigkeit korrelieren. Eine Reduktion des BMI-Werts einer Person bei einer bestimmten Körpergröße kann einerseits durch eine Reduktion der Fettmasse und andererseits durch eine Reduktion der Muskelmasse bzw. Magermasse hervorgerufen werden. Ein niedriger ECM/BCM-Index (< 1) bedeutet, dass die Körperzellmasse (BCM) höher ist als die extrazelluläre Masse (ECM), wobei die Muskelmasse ein wichtiger Bestandteil der BCM ist. Würde der BMI nun bei einer Verringerung der Muskelmasse niedriger werden, so müsste sich der ECM/BCM-Index erhöhen, was aber gegen eine bessere Leistungsfähigkeit spricht. Aus diesem Grund wäre der logische Schluss, dass die Fettmasse verringert wird, um mit einer höheren Leistungsfähigkeit korrelieren zu können.

Auch Lemos et al. (2022) zeigten in ihrer Studie, dass Patientinnen und Patienten mit einer geringeren Fettmasse bessere Ergebnisse bei der Bruce-Protokoll-Testung am Laufband (vgl. Kapitel 1.3) erreichten als andere, wodurch die genannte Schlussfolgerung unterstützt wird. Der einzige Unterschied zur vorliegenden Arbeit ist, dass bei Lemos et al. (2022) speziell Menschen mit Übergewicht und Adipositas getestet wurden. In Abbildung 26 aus Kapitel 4.1.1 ist zu erkennen, dass der Großteil der Probandinnen und Probanden der Studie (63,11 %) laut BMI normalgewichtig ist. Die genannten Begründungen werden jedoch durch eine hohe negative Korrelation zwischen dem Körperfettanteil und der körperlichen Leistungsfähigkeit bestätigt ($r = -0,586$; $p = 0,000$). Es lässt sich daher schlussfolgern, dass Personen mit niedrigen Werten im BMI, dem ECM/BCM-Index und dem Körperfettanteil eine bessere körperliche Leistungsfähigkeit aufweisen. Zusätzlich dazu erfahren Menschen mit Übergewicht und einem hohen Körperfettanteil häufiger schwerwiegende Verläufe mit einer längeren Bettruhe. Durch die Bettruhe und der daraus entstehenden Inaktivität können Verluste der VO_{2max} und somit der Leistungsfähigkeit ausgemacht werden (Narici et al., 2021; Besnier et al., 2022). Die Daten zeigen außerdem einen positiven Zusammenhang der Leistungsfähigkeit mit dem Phasenwinkel ($r = 0,375$; $p = 0,000$). Dieser ist die wichtigste Kenngröße in der Beurteilung des Ernährungs- bzw. Trainingszustands und kann durch Training verändert bzw. erhöht werden (Data Input GmbH, 2009). Höhere Werte im Phasenwinkel bedeuten also eine höhere Fitness der Person. Menschen mit einer besseren Fitness erreichen daher auch bessere Werte in einer Leistungstestung (z.B. Spiroergometrie). Aus diesem Grund ist es offensichtlich, dass höhere Werte im Phasenwinkel mit einer besseren Leistungsfähigkeit einhergehen.

4.3 Die Muskelkraft im Zusammenhang mit der Körperzusammensetzung nach COVID-19

Zwischen Parametern der Körperzusammensetzung und der Handgriffkraft der dominanten sowie nicht-dominanten Hand konnten bestimmte Zusammenhänge ausgemacht werden (vgl. Kapitel 3.4). Sowohl bei der dominanten als auch der nicht-dominanten Hand konnten negative Zusammenhänge mit dem ECM/BCM-Index ($r = -0,481$; $p = 0,000$ bzw. $r = -0,437$, $p = 0,000$) und dem relativen Körperfettanteil ($r = -0,481$; $p = 0,000$ bzw. $r = -0,535$, $p = 0,000$) erfasst werden. Niedrigere Werte dieser Parameter korrelieren somit mit höheren Werten der Handgriffkraft. Der ECM/BCM-Index ist neben dem Phasenwinkel ein wichtiges Mittel, den Ernährungs- bzw. Trainingszustand einer Person zu beschreiben. Je niedriger der Wert ist, desto besser ist der Trainingszustand und somit die Fitness der Person (Data Input GmbH, 2009). Auch Personen mit einem niedrigeren Körperfettanteil weisen meist eine bessere Fitness als Menschen mit einem höheren Körperfettanteil auf (Lemos et al., 2022). Außerdem ist auch die Handgriffkraft ein allgemeines Zeichen der

Fitness und Leistungsfähigkeit einer Person (Guerra & Amaral, 2009; Sasaki et al., 2007; Stavrou et al., 2022). Es macht also Sinn, dass Menschen mit einem geringeren ECM/BCM-Index bzw. Körperfettanteil höhere Werte in der Handgriffkraft aufweisen, da alle Parameter eine Referenz zur körperlichen Fitness darstellen.

Positive Zusammenhänge mit der dominanten sowie nicht-dominanten Handgriffkraft konnten in der ECM ($r = 0,512$, $p = 0,000$ bzw. $r = 0,491$, $p = 0,000$), dem Phasenwinkel ($r = 0,583$, $p = 0,000$ bzw. $r = 0,559$, $p = 0,000$), dem Körperwasser ($r = 0,738$, $p = 0,000$ bzw. $r = 0,708$, $p = 0,000$), der BCM ($r = 0,802$, $p = 0,000$ bzw. $r = 0,768$, $p = 0,000$) und der Magermasse ($r = 0,738$, $p = 0,000$ bzw. $r = 0,708$, $p = 0,000$) ermittelt werden. Der BMI weist nur mit der dominanten Handgriffkraft eine positive Korrelation auf ($r = 0,205$; $p = 0,023$). Probandinnen und Probanden mit höheren Werten dieser Parameter weisen auch höhere Werte in der Handgriffkraft der entsprechenden Hand auf. In der Magermasse sind ECM, BCM und auch das Körperwasser miteinbezogen (vgl. Abbildung 8 aus Kapitel 2.2.1.3). Daher ist es nicht verwunderlich, dass ECM, BCM und Körperwasser eine hohe bzw. sehr hohe Korrelation mit der dominanten Handgriffkraft aufweisen, wenn die Magermasse eine derartige Korrelation aufweist. Der BMI ist abhängig vom Körpergewicht und der Körpergröße einer Person. Dadurch, dass die Magermasse positiv und der Körperfettanteil negativ mit der Handgriffkraft korrelieren, kann behauptet werden, dass ein höherer BMI durch eine Erhöhung der Muskelmasse, und nicht der Fettmasse, begründet ist. Wird die Muskelmasse erhöht, so erhöht sich der BMI und auch die Muskelkraft in der dominanten Hand. Der Phasenwinkel ist, wie auch der ECM/BCM-Index, ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Ernährungs- und Trainingszustands einer Person. Je höher der Phasenwinkel ist, desto besser ist auch die Fitness der untersuchten Person (Data Input GmbH, 2009). Auch durch die Handgriffkraft lässt sich der Fitness- bzw. Trainingszustand einer Person beurteilen (Guerra & Amaral, 2009; Sasaki et al., 2007; Stavrou et al., 2022). Daher ist es nicht verwunderlich, dass die Handgriffkraft mit dem Phasenwinkel positiv korreliert. Ein weiterer Punkt ist das vermehrte Auftreten von schweren Krankheitsverläufen bei übergewichtigen Menschen mit einer erhöhten Fettmasse bzw. einem erhöhten Körperfettanteil (Popkin et al., 2020; González-Islas et al., 2022; Lemos et al., 2022). Diese Verläufe sind meist mit längeren Aufenthalten im Krankenhaus bzw. einer längeren Bettruhe verbunden. Bei einer längeren Bettruhe und der daraus entstandenen körperlichen Inaktivität kann ein Verlust an Muskelmasse bis hin zur Sarkopenie festgestellt werden (Narici et al., 2021; González-Islas et al., 2022; Rossi et al., 2022; Stavrou et al., 2022; Durstenfeld et al., 2022; Peball et al., 2024; do Amaral et al., 2024). Daher müsste der Muskelschwund bei Menschen mit Übergewicht und den daraus resultierenden schweren Verläufen größer sein als bei normalgewichtigen Menschen mit leichteren

Krankheitsverläufen, was in Folge eine niedrigere Handgriffkraft bedingt. Die positive Korrelation zwischen Muskelmasse und Handgriffkraft bestätigt diese Behauptung. Zusätzlich zu erwähnen ist die positive Korrelation zwischen der Handgriffkraft der dominanten bzw. nicht-dominanten Hand mit der VO_{2peak} ($r = 0,298$, $p = 0,001$ bzw. $r = 0,351$, $p = 0,000$). Personen mit einer besseren körperlichen Leistungsfähigkeit weisen somit auch eine höhere Handgriffkraft in beiden Händen auf. Beide Parameter geben den Fitnesszustand einer Person wieder, wodurch die Korrelation begründet werden kann.

4.4 Stärken & Limitationen

Die vorliegende Arbeit konnte nur bedingt mit Studien aus der Literatur verglichen werden. Einerseits ist das Alter der Untersuchten der Studien und dieser Arbeit sehr ähnlich und daher gut vergleichbar. Andererseits gibt es zwar Studien mit ähnlich großen Studienkollektiven, jedoch gibt es auch einige mit viel größeren Kollektiven, was die Vergleichsmöglichkeiten einschränkt. Außerdem wurden bei den Studien aus der Literatur meist bestimmte Personengruppen wie Menschen mit Übergewicht bzw. Adipositas oder Aufenthalt im Krankenhaus bzw. der Intensivstation analysiert. Das Studienkollektiv dieser Arbeit war vorwiegend normalgewichtig und eher sportlich mit einem kleineren Anteil an übergewichtigen Teilnehmerinnen und Teilnehmern. Zusätzlich dazu hatten die Probandinnen und Probanden größtenteils keine derart schweren Krankheitsverläufe, wie in der Literatur häufig genannt. Der Unterschied zwischen leichten und schweren Verläufen war daher nicht ausgeprägt vorhanden und wirkte sich auf die Ergebnisse aus. Außerdem wurden in der Literatur andere Testungen, wie das Bruce-Protokoll am Laufband oder der 6-Minuten-Gehtest für die körperliche Leistungsfähigkeit durchgeführt. Die Anzahl der Impfungen sowie unterschiedliche Virusvarianten wurden in dieser Arbeit nicht beachtet. Eine weitere Limitation ist der Zeitraum zwischen der letzten COVID-19 Infektion und dem Untersuchungstermin ($135,91 \pm 140,38$ Tage). Der kürzeste Zeitraum betrug 9 Tage (ca. 1,5 Wochen), der längste jedoch 766 Tage (> 2 Jahre). In Abbildung 30 sind die Zeiträume der einzelnen Probandinnen und Probanden mithilfe eines Boxplot-Diagramms dargestellt. Die Standardabweichung von 140,38 Tagen beschreibt eine äußerst große Streuung um den Mittelwert von 135,91 Tagen. Eine derart große Streuung im Zeitraum zwischen der letzten COVID-19 Infektion und dem Untersuchungstermin bedeutet, dass die Probandinnen und Probanden äußerst unterschiedlich von den körperlichen Einschränkungen durch die COVID-19 Erkrankung zum Zeitpunkt der Untersuchung beeinträchtigt waren. Diese großen Unterschiede beeinflussen natürlich die Daten der Leistungsfähigkeit und Muskelkraft nach der Infektion. Dadurch lässt sich das Kollektiv nur schwer vergleichen, und sinnvolle, praktisch relevante Schlüsse können nur bedingt gezogen werden.

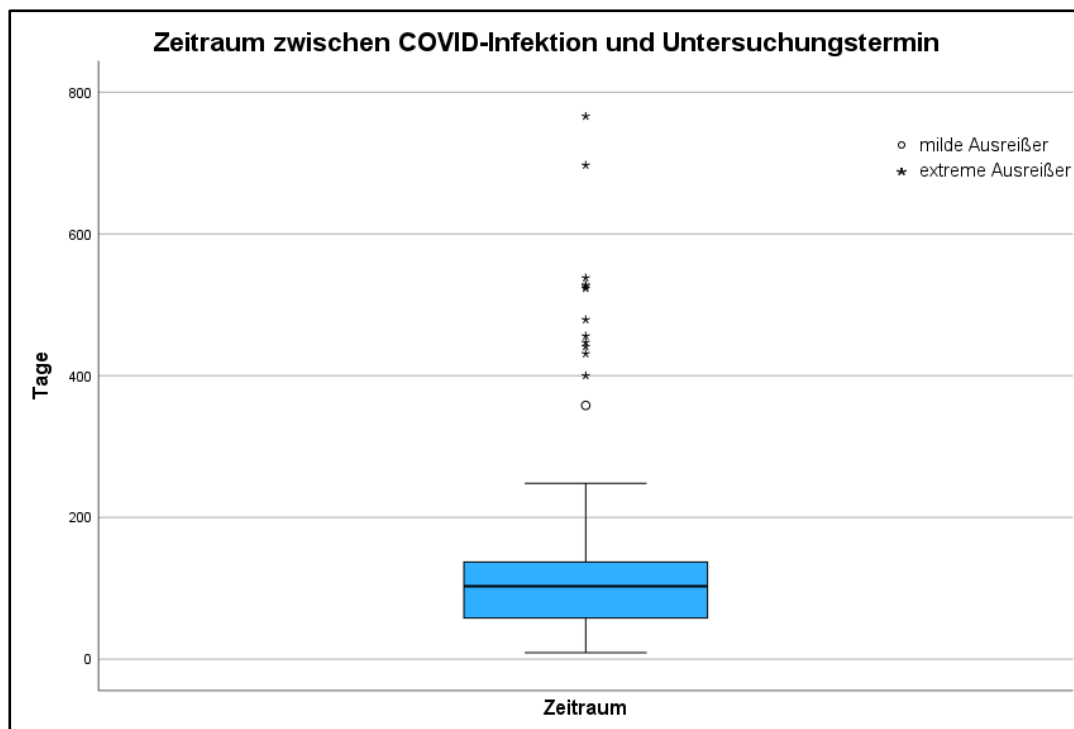


Abbildung 30: Zeitraum zwischen COVID-19 Infektion und Untersuchungstermin

Ein positiver Aspekt der Studie sind die gründlichen und umfassenden Testungen und Untersuchungsdaten, die relevante Ergebnisse für die Forschung liefern. Mit einer derartigen Vielzahl an Messdaten konnten ausführliche und detaillierte Ergebnisse für diese Arbeit erzielt und analysiert werden. Die eher aufwendige Testung der Spiroergometrie bei einem Kollektiv von 122 Personen ist beachtlich und positiv zu bewerten. Im Gegensatz zur Literatur wurden zwar keine spezifischen Personengruppen (z.B. Krankenhausaufenthalt bzw. Intensivstation, Leistungssportlerinnen und -sportler, Menschen mit Adipositas oder bestimmten Erkrankungen, etc.) für die Studie rekrutiert und untersucht. Diese breite Heterogenität des Studienkollektivs bewirkt aber eine höhere Vergleichbarkeit mit der allgemeinen Bevölkerung als die homogenen Kollektive aus der Literatur.

5 Conclusio

Die vorliegende Arbeit beinhaltet die Analyse der körperlichen Leistungsfähigkeit, der Körperzusammensetzung sowie der Handgriffkraft bei Probandinnen und Probanden nach einer COVID-19 Infektion. Erkrankte Menschen weisen nach ihrer Genesung häufig eine verminderte Leistungsfähigkeit sowie Fitness auf. Das Kollektiv wurde nach der Schwere der Krankheitsverläufe zwischen den beiden Gruppen „leichter Verlauf“ (≤ 5) und „schwerer Verlauf“ (> 5) auf signifikante Unterschiede in verschiedenen Parametern geprüft. Außerdem wurden die Leistungsfähigkeit und die Muskelkraft mit der Körperzusammensetzung in Relation gesetzt und auf Zusammenhänge untersucht. Dazu wurden die Daten von 122 Personen ($38,85 \pm 11,67$ Jahre; 40,16 % weiblich, 59,84 %

männlich), die an der Studie „Körperliche Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach COVID-19“ (01.2022–05.2023) des Instituts für Sport- und Bewegungswissenschaften der Universität Wien teilgenommen haben, ausgewertet.

5.1 Fazit

In der vorliegenden Arbeit weist ein leichter COVID-19 Krankheitsverlauf im Vergleich zu einem schweren Verlauf keine signifikanten Unterschiede, jedoch tendenziell höhere Werte in der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2peak}/kg : $41,1 \pm 8,5$ vs. $38,3 \pm 9,1$, $p = 0,081$) auf. Die Korrelationsanalyse zeigte, dass sowohl die körperliche Leistungsfähigkeit als auch die Handgriffkraft mit Parametern der Körperzusammensetzung zusammenhängen. Eine niedrigere VO_{2peak} steht in Zusammenhang mit einem höheren Körperfettanteil ($r = -0,586$, $p = 0,000$), einem höheren BMI ($r = -0,404$, $p = 0,000$) und einem höheren ECM/BCM-Index ($r = -0,344$, $p = 0,000$). Dagegen steht eine höhere VO_{2peak}/kg in Zusammenhang mit einer höheren Handgriffkraft (dominant: $r = 0,298$, $p = 0,001$; nicht-dominant: $r = 0,351$, $p = 0,000$) und einem höheren Phasenwinkel ($r = 0,375$, $p = 0,000$). Weiters steht eine niedrigere Handgriffkraft in Zusammenhang mit einem höheren ECM/BCM-Index ($r = -0,481$, $p = 0,000$ bzw. $r = -0,437$, $p = 0,000$) und einem höheren Körperfettanteil ($r = -0,481$, $p = 0,000$ bzw. $r = -0,437$, $p = 0,000$). Eine höhere Handgriffkraft hingegen steht in Zusammenhang mit einer höheren ECM ($r = 0,512$, $p = 0,000$ bzw. $r = 0,491$, $p = 0,000$) und BCM ($r = 0,802$, $p = 0,000$ bzw. $r = 0,768$, $p = 0,000$), einem höheren Phasenwinkel ($r = 0,583$, $p = 0,000$ bzw. $r = 0,559$, $p = 0,000$), einer höheren Magermasse ($r = 0,738$, $p = 0,000$ bzw. $r = 0,708$, $p = 0,000$) und einem höheren Körperwasser ($r = 0,708$, $p = 0,000$ bzw. $r = 0,738$, $p = 0,000$). Aus diesen Erkenntnissen können die Forschungsfragen dieser Arbeit angemessen beantwortet werden. Zwischen den Krankheitsverläufen gab es keine signifikanten Unterschiede in den wesentlichen Parametern. Die körperliche Leistungsfähigkeit, die Muskelkraft und die Körperzusammensetzung stehen, wie zuvor beschrieben, mit den genannten Merkmalen in Zusammenhang. Die Körperzusammensetzung beeinflusst die Leistungsfähigkeit und die Muskelkraft einer Person nach einer COVID-19 Infektion. Beispielsweise korrelieren geringere Werte im Körperfettanteil mit einer besseren Leistungsfähigkeit sowie Muskelkraft. Außerdem hängen höhere Werte in der Magermasse oder dem Phasenwinkel mit einer besseren Muskelkraft zusammen. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass niedrigere Werte im Körperfettanteil, im Body-Mass-Index und im ECM/BCM-Index sowie höhere Werte in der Handgriffkraft, dem Phasenwinkel, der Magermasse, der Körperzellmasse, dem Körperwasser und der VO_{2peak} vermutlich mit einem leichteren Krankheitsverlauf zusammenhängen. Das bedeutet, dass eine höhere körperliche Leistungsfähigkeit, die in Zusammenhang mit einem niedrigeren Körperfettanteil, einer

höheren Körperzellmasse, einem höheren Phasenwinkel und einer höheren Handgriffkraft steht, vermutlich eine Auswirkung auf den Krankheitsverlauf hat. Diese Parameter können somit als Prädiktor für die Gesundheit sowie für eine bessere Diagnose und Prognose bei der COVID-19 Erkrankung herangezogen werden.

5.2 Ausblick

Abschließend ist anzumerken, dass im Zuge der Studie eine Vielzahl an wichtigen Daten, die relevante Ergebnisse für die Forschung liefern, erhoben wurde. Für zukünftige Forschungen lässt sich empfehlen, den Zeitraum zwischen der Erkrankung und der Untersuchung genau festzulegen und evtl. zu minimieren, damit die Ergebnisse besser miteinander verglichen werden können. Um eindeutigere Ergebnisse zu bekommen, sollte ein größerer Anteil der Testpersonen einen schwerwiegenderen Krankheitsverlauf im Vergleich zum vorhandenen Studienkollektiv aufweisen. Das Verhältnis zwischen leichten und schweren Verläufen sollte ausgeglichen sein. Eventuell würde auch ein größeres Studienkollektiv andere Ergebnisse liefern. Ein weiterer Vorschlag wäre eine Eingrenzung des Studienkollektivs durch den BMI. In der Literatur wurden häufig bestimmte Personengruppen, wie z.B. Menschen mit Übergewicht bzw. Adipositas untersucht. Wichtige Daten könnte ein vollständig normal- oder sogar untergewichtiges Studienkollektiv bereitstellen. Das vorhandene Studienkollektiv war zwar größtenteils normalgewichtig, jedoch nicht zur Gänze. Außerdem wäre eine getrennte Analyse von Männern und Frauen für die Ergebnisse womöglich sinnvoll, ebenso eine Einteilung des Studienkollektivs in Altersklassen. Für ein Untersuchungsteam ist die Verwendung eines genauen Protokolls bzw. einer exakten Beschreibung der Abläufe der Testungen und der Bedienung der Geräte zu empfehlen. So werden Unterschiede zwischen den Anleitenden minimiert und einer möglichen falschen Bedienung der Untersuchungsgeräte bzw. fehlerhaften Durchführung der Testungen wird entgegengewirkt. Dadurch wird sichergestellt, dass fehlerhafte oder eventuell fehlende Daten die Auswertung nicht negativ beeinflussen, da keine bzw. sehr wenige Messergebnisse für die Analyse ausgeschlossen werden müssen.

Literaturverzeichnis

- Ali, S. M., Lulseged, S. & Medhin, G. (2018). EMJ series on statistics and methods: normal distribution and the central limit theorem. *Ethiopian Medical Journal*, 56(3), 285–291. Zugriff am 18. Feber 2025 unter https://emjema.org/index.php/EMJ/article/view/1025/pdf_168
- Amdal, C. D., Pe, M., Falk, R. S., Piccinin, C., Bottomley, A., Arraras, J. I., ... Bjordal, K. (2021). Health-related quality of life issues, including symptoms, in patients with active COVID-19 or post COVID-19; a systematic literature review. *Quality of Life Research*, 30(12), 3367–3381. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11136-021-02908-z>
- American Society of Hand Therapists (ASHT). (1992). *Clinical Assessment Recommendations* (2. Auflage). Chigago, IL: American Society of Hand Therapists.
- American Thoracic Society & American College of Chest Physicians (ATS/ACCP). (2003). ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 167(2), 211–277. DOI: <https://doi.org/10.1164/rccm.167.2.211>
- Armstrong, C. A. & Oldham, J. A. (1999). A comparison of dominant and non-dominant hand strengths. *Journal of Hand Surgery*, 24(4), 421–425. DOI: <https://doi.org/10.1054/jhsb.1999.0236>
- Armstrong, R. A. (2019). Should Pearson's correlation coefficient be avoided? *Ophthalmic and Physiological Optics*, 39(5), 316–327. DOI: <https://doi.org/10.1111/opo.12636>
- Astin, R., Banerjee, A., Baker, M. R., Dani, M., Ford, E., Hull, J. H., ... Hall, C. N. (2023). Long COVID: mechanisms, risk factors and recovery. *Experimental Physiology*, 108(1), 12–27. DOI: <https://doi.org/10.1113/EP090802>
- Baloch, S., Baloch, M. A., Zheng, T. & Pei, X. (2020). The coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 250(4), 271–278. DOI: <https://doi.org/10.1620/tjem.250.271>
- Batmanabane, G. (2018). The IMRAD structure. In P. Sahni & R. Aggarwal (Hrsg.), *Reporting and Publishing Research in the Biomedical Sciences* (S. 1–4). Singapore: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7062-4_1
- Baulig, C., Al-Nawas, B. & Krummenauer, F. (2008). p-Werte – statistische Signifikanz ist keine klinische Relevanz! *Zeitschrift für Zahnärztliche Implantologie*, 24(2). Zugriff am 22. Feber 2025 unter https://www.researchgate.net/publication/230577240_p-Werte_-_Statistische_Signifikanz_ist_keine_klinische_Relevanz

- Bender, R. & Lange, S. (2007). Was ist der p-Wert? *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 132, e15–e16. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2007-959030>
- Bender, R., Lange, S. & Ziegler, A. (2007a). Wichtige Signifikanztests. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 132, e24–e25. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2007-959034>
- Bender, R., Ziegler, A. & Lange, S. (2007b). Varianzanalyse. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 132, e57–e60. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2007-959044>
- Benesch, T. (2013). *Schlüsselkonzepte zur Statistik: die wichtigsten Testmethoden, Verteilungen, Tests anschaulich erklärt*. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2772-4>
- Besnier, F., Bérubé, B., Malo, J., Gagnon, C., Grégoire, C. A., Juneau, M., ... Bherer, L. (2022). Cardiopulmonary rehabilitation in long-COVID-19 patients with persistent breathlessness and fatigue: the COVID-rehab study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 1–11. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19074133>
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign, IL: Human Kinetics. Zugriff am 27. Mai 2024 unter https://www.researchgate.net/publication/306039034_Borg's_Perceived_Exertion_And_Pain_Scales
- Bortz, J. & Schuster, C. (2011). *Statistik für Human-und Sozialwissenschaftler* (7. Auflage). Berlin Heidelberg New York: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12770-0>
- Breuer, H.-W. M. (1997). Spiroergometrie. Indikationen, Methodik, Relevanz. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 122(14), 447–449. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2008-1047636>
- Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz. (2024, 26. April). COVID-19 (SARS-CoV-2). Zugriff am 8. Mai 2024 unter <https://www.sozialministerium.at/Themen/Gesundheit/Uebertragbare-Krankheiten/Infektionskrankheiten-A-Z/Neuartiges-Coronavirus.html>
- Cabrera Martimbianco, A. L., Pacheco, R. L., Bagattini, Â. M. & Riera, R. (2021). Frequency, signs and symptoms, and criteria adopted for long COVID-19: A systematic review. *International Journal of Clinical Practice*, 75(10), 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijcp.14357>

- Caspersen, C. J., Powell, K. E. & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100(2), 126–131. Zugriff am 27. Mai 2024 unter <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1424733/>
- Ciotti, M., Ciccozzi, M., Terrinoni, A., Jiang, W. C., Wang, C. B. & Bernardini, S. (2020). The COVID-19 pandemic. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 57(6), 365–388. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408363.2020.1783198>
- Criée, C. P., Baur, X., Berdel, D., Bösch, D., Gappa, M., Haidl, P., ... Worth, H. (2015). Leitlinie zur Spirometrie. *Pneumologie*, 69(3), 147–164. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0034-1391345>
- Criée, C. P., Berdel, D., Heise, D., Kardos, P., Köhler, D., Leupold, W., ... Wuthe, H. (2006). Empfehlungen der deutschen Atemwegsliga zur Spirometrie. *Pneumologie*, 60(9), 576–584. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2006-944245>
- Data Input GmbH. (2009). *Das BIA-Kompendium* (3. Ausgabe). Darmstadt: Digitaldruck Darmstadt GmbH & Co. KG. Zugriff am 18. Juni 2024 unter [https://data-input.de/media/pdf-deutsch/Kompendium III Ausgabe 2009.pdf](https://data-input.de/media/pdf-deutsch/Kompendium_III_Ausgabe_2009.pdf)
- Data Input GmbH. (2019). Nutribox: Gebrauchsanleitung (Version 2019). Zugriff am 18. Juni 2024 unter <https://data-input.de/bia/deutsch/service/downloads.php>
- do Amaral, C. M. S. S. B., da Luz Goulart, C., da Silva, B. M., Valente, J., Rezende, A. G., Fernandes, E., ... Almeida-Val, F. (2024). Low handgrip strength is associated with worse functional outcomes in long COVID. *Scientific Reports*, 14(1), 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52401-z>
- du Prel, J. B., Röhrig, B. & Weinmayr, G. (2010). Was ist Epidemiologie? *Krankenhaushygiene up2date*, 5(3), 157–175. DOI: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0030-1255697>
- Dudenredaktion (Hrsg.). (2008). *Aerosol*. Duden – Das große österreichische Schulwörterbuch (1. Auflage). S. 172. Mannheim, Zürich: Bibliographisches Institut.
- Dudenredaktion (Hrsg.). (2008). *Kardio*. Duden – Das große österreichische Schulwörterbuch (1. Auflage). S. 474. Mannheim, Zürich: Bibliographisches Institut.
- Dudenredaktion (Hrsg.). (2008). *Pulmonal*. Duden – Das große österreichische Schulwörterbuch (1. Auflage). S. 669. Mannheim, Zürich: Bibliographisches Institut.

- Durstenfeld, M. S., Sun, K., Tahir, P., Peluso, M. J., Deeks, S. G., Aras, M. A., ... Hsue, P. Y. (2022). Use of cardiopulmonary exercise testing to evaluate long COVID-19 symptoms in adults: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Network Open*, 5(10), 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.36057>
- Elks, C. E., den Hoed, M., Zhao, J. H., Sharp, S. J., Wareham, N. J., Loos, R. J. & Ong, K. K. (2012). Variability in the heritability of body mass index: a systematic review and meta-regression. *Frontiers in Endocrinology*, 3(29), 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2012.00029>
- Fagerland, M. W. (2012). t-tests, non-parametric tests, and large studies—a paradox of statistical practice? *BMC Medical Research Methodology*, 12, 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2288-12-78>
- Fernández-de-Las-Peñas, C. (2022). Long COVID: current definition. *Infection*, 50(1), 285–286. DOI: <https://doi.org/10.1007/s15010-021-01696-5>
- 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(5), 1–9. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18052621>
- Ferreira, L. N., Pereira, L. N., da Fé Brás, M. & Ilchuk, K. (2021). Quality of life under the COVID-19 quarantine. *Quality of Life Research*, 30, 1389–1405. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11136-020-02724-x>
- Fletcher, G. F., Ades, P. A., Kligfield, P., Arena, R., Balady, G. J., Bittner, V. A. ... Williams, M. A. (2013). Exercise Standards for Testing and Training: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*, 128(8), 873–934. DOI: <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e31829b5b44>
- Freuer, D., Linseisen, J. & Meisinger, C. (2021). Impact of body composition on COVID-19 susceptibility and severity: A two-sample multivariable Mendelian randomization study. *Metabolism*, 118, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2021.154732>
- Gallo Marin, B., Aghagholi, G., Lavine, K., Yang, L., Siff, E. J., Chiang, S. S., ... Michelow, I. C. (2021). Predictors of COVID-19 severity: a literature review. *Reviews in Medical Virology*, 31(1), 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1002/rmv.2146>
- Ghasemi, A. & Zahediasl, S. (2012). Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 10(2), 486–489. DOI: <https://doi.org/10.5812/ijem.3505>

- González-Islas, D., Sánchez-Moreno, C., Orea-Tejeda, A., Hernández-López, S., Salgado-Fernández, F., Keirns-Davis, ... Castorena-Maldonado, A. (2022). Body composition and risk factors associated with sarcopenia in post-COVID patients after moderate or severe COVID-19 infections. *BMC Pulmonary Medicine*, 22(1), 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12890-022-02014-x>
- Grüne, S. (2016). Anamnese und körperliche Untersuchung. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 141(1), 24–27. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0041-106337>
- Guerra, R. S. & Amaral, T. F. (2009). Comparison of hand dynamometers in elderly people. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 13(10), 907–912. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12603-009-0250-3>
- Güner, H. R., Hasanoğlu, İ. & Aktaş, F. (2020). COVID-19: Prevention and control measures in community. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 50(9), 571–577. DOI: <https://doi.org/10.3906/sag-2004-146>
- Haag-Weber, M. (2022). Azidose – Alkalose. In: A. S. Merseburger & M. W. Kramer (Hrsg.), *Medikamente in der Urologie* (S. 611–616). Berlin/Heidelberg: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-61492-1_33
- Havlicek, L. L. & Peterson, N. L. (1976). Robustness of the Pearson correlation against violations of assumptions. *Perceptual and Motor Skills*, 43(3_suppl), 1319-1334. DOI: <https://doi.org/10.2466/pms.1976.43.3f.1319>
- Hegewald, M. J. (2009). Diffusing Capacity. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*, 37, 159–166. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12016-009-8125-2>
- Hodgson, C. L. & Broadley, T. (2023). Long COVID – unravelling a complex condition. *The Lancet Respiratory Medicine*, 11(8), 667–668. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(23\)00232-1](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(23)00232-1)
- Hofmann, P., Wonisch, M. & Pokan, R. (2016). Laktat-Leistungsdiagnostik: Durchführung und Interpretation. In M. Wonisch, P. Hofmann, H. Förster, H. Hörtnagl, E. Ledl-Kurkowski & R. Pokan (Hrsg.), *Kompendium der Sportmedizin* (2. Auflage, S. 189–242). Wien: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-211-99716-1_14
- Howley, E. T., Bassett Jr., D. R. & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(9), 1292–1301. Zugriff am 6. Jänner 2025 unter https://journals.lww.com/acsm-msse/abstract/1995/09000/criteria_for_maximal_oxygen_uptake_review_and.9.a.spx

- Islam, M. R. (2018). Sample size and its role in Central Limit Theorem (CLT). *Computational and Applied Mathematics Journal*, 4(1), 1–7. Zugriff am 18. Feber 2025 unter <http://www.aascit.org/journal/archive2?journalId=928&paperId=6214>
- Jimeno-Almazán, A., Martínez-Cava, A., Buendía-Romero, Á., Franco-López, F., Sánchez-Agar, J. A., Sánchez-Alcaraz, B. J., ... Courel-Ibáñez, J. (2022). Relationship between the severity of persistent symptoms, physical fitness, and cardiopulmonary function in post-COVID-19 condition. A population-based analysis. *Internal and Emergency Medicine*, 17(8), 2199–2208. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11739-022-03039-0>
- Jimeno-Almazán, A., Pallarés, J. G., Buendía-Romero, Á., Martínez-Cava, A., Franco-López, F., Sánchez-Alcaraz Martínez, B. J., ... Courel-Ibáñez, J. (2021). Post-COVID-19 Syndrome and the Potential Benefits of Exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(10), 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18105329>
- Kharroubi, S. & Saleh, F. (2020). Are lockdown measures effective against COVID-19? *Frontiers in Public Health*, 8, 1–4. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.549692>
- Khera, A. V., Chaffin, M., Wade, K. H., Zahid, S., Brancale, J., Xia, R., ... Kathiresan, S. (2019). Polygenic Prediction of Weight and Obesity Trajectories from Birth to Adulthood. *Cell*, 177(3), 587–596. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.03.028>
- Kim, T. K. & Park, J. H. (2019). More about the basic assumptions of t-test: normality and sample size. *Korean Journal of Anesthesiology*, 72(4), 331–335. DOI: <https://doi.org/10.4097/kja.d.18.00292>
- Kim, T. K. (2015). T test as a parametric statistic. *Korean Journal of Anesthesiology*, 68(6), 540–546. DOI: <http://dx.doi.org/10.4097/kjae.2015.68.6.540>
- Kishore, K. & Jaswal, V. (2022). Statistics Corner: Comparing Two Unpaired Groups. *Journal of Postgraduate Medicine, Education and Research*, 56(3), 145–148. DOI: <http://dx.doi.org/10.5005/jp-journals-10028-1594>
- Kroidl, R., Schwarz, S., Lehnigk, B. & Fritsch, J. (Hrsg.). (2015). *Kursbuch Spiroergometrie: Technik und Befundung verständlich gemacht*. Stuttgart: Georg Thieme. DOI: <https://doi.org/10.1055/b-003-104201>
- Kuckartz, U., Rädiker, S., Ebert, T. & Schehl, J. (2013). *Statistik: Eine verständliche Einführung* (2. Auflage). Wiesbaden: Springer VS. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19890-3>

- Kumar, S., Dutt, A., Hemraj, S., Bhat, S. & Manipadybhima, B. (2012). Phase angle measurement in healthy human subjects through bio-impedance analysis. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 15(6), 1180–1184. Zugriff am 30. Mai 2024 unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23653848/>
- Kuodi, P., Gorelik, Y., Gausi, B., Bernstine, T. & Edelstein, M. (2023). Characterization of post-COVID syndromes by symptom cluster and time period up to 12 months post-infection: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Infectious Diseases*, 134, 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2023.05.003>
- Kwak, S. G. & Kim, J. H. (2017). Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics. *Korean Journal of Anesthesiology*, 70(2), 144–156. DOI: <https://doi.org/10.4097/kjae.2017.70.2.144>
- Lange, S. & Bender, R. (2007). Was ist ein Signifikanztest? Allgemeine Aspekte. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 132, e19–e21. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2007-959032>
- Lemos, M. M., Cavalini, G. R., Pugliese Henrique, C. R., Perli, V. A. S., de Moraes Marchiori, G., Marchiori, L. L. M., ... Magnani Branco, B. H. (2022). Body composition and cardiorespiratory fitness in overweight or obese people post COVID-19: A comparative study. *Frontiers in Physiology*, 13, 1–13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.949351>
- Li, X., Zhong, X., Wang, Y., Zeng, X., Luo, T. & Liu, Q. (2021). Clinical determinants of the severity of COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *PloS One*, 16(5), 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250602>
- Lippi, G., Sanchis-Gomar, F. & Henry, B. M. (2023). COVID-19 and its long-term sequelae: what do we know in 2023? *Polish Archives of Internal Medicine*, 133(4), 1–7. DOI: <https://doi.org/10.20452/pamw.16402>
- Lumley, T., Diehr, P., Emerson, S. & Chen, L. (2002). The importance of the normality assumption in large public health data sets. *Annual Review of Public Health*, 23(1), 151–169. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.23.100901.140546>
- Maes, H. H., Neale, M. C. & Eaves, L. J. (1997). Genetic and environmental factors in relative body weight and human adiposity. *Behavior Genetics*, 27(4), 325–351. DOI: <https://doi.org/10.1023/a:1025635913927>

- Maglietta, G., Diodati, F., Puntoni, M., Lazzarelli, S., Marcomini, B., Patrizi, L. & Caminiti, C. (2022). Prognostic Factors for Post-COVID-19 Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 11(6), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm11061541>
- Marra, M., Sammarco, R., De Lorenzo, A., Iellamo, F., Siervo, M., Pietrobelli, A., ... Contaldo, F. (2019). Assessment of Body Composition in Health and Disease Using Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) and Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA): A Critical Overview. *Contrast Media & Molecular Imaging*, 2019(1), 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/3548284>
- Martis, R. J., Acharya, U. R. & Adeli, H. (2014). Current methods in electrocardiogram characterization. *Computers in Biology and Medicine*, 48, 133–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2014.02.012>
- Menozzi, R., Valoriani, F., Prampolini, F., Banchelli, F., Boldrini, E., Martelli, F., ... Pecchi, A. R. (2022). Impact of sarcopenia in SARS-CoV-2 patients during two different epidemic waves. *Clinical Nutrition ESPEN*, 47, 252–259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.12.001>
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., Polman, R. & Marchant, D. (2007). Criteria for determination of maximal oxygen uptake: A brief critique and recommendations for future research. *Sports Medicine*, 37, 1019–1028. DOI: <https://doi.org/10.2165/00007256-200737120-00002>
- Mishra, P., Pandey, C. M., Singh, U., Keshri, A. & Sabaretnam, M. (2019). Selection of appropriate statistical methods for data analysis. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(3), 297–301. DOI: https://doi.org/10.4103/aca.ACA_248_18
- Molenaar, H. M. T., Selles, R. W., Zuidam, J. M., Willemsen, S. P., Stam, H. J. & Hovius, S. E. R. (2010). Growth diagrams for grip strength in children. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 468(1), 217–223. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11999-009-0881-z>
- Müller, O., Neuhaan, F. & Razum, O. (2020). Epidemiologie und Kontrollmaßnahmen bei COVID-19. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 145(10), 670–674. DOI: <https://doi.org/10.1055/a-1162-1987>
- Nandasena, H. M. R. K. G., Pathirathna, M. L., Atapattu, A. M. M. P. & Prasanga, P. T. S. (2022). Quality of life of COVID 19 patients after discharge: Systematic review. *PloS One*, 17(2), 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263941>

- Narici, M., Vito, G.D., Franchi, M., Paoli, A., Moro, T., Marcolin, G., ... Maganaris, C. (2021). Impact of sedentarism due to the COVID-19 home confinement on neuromuscular, cardiovascular and metabolic health: Physiological and pathophysiological implications and recommendations for physical and nutritional countermeasures. *European Journal of Sport Science*, 21, 614–635. DOI: <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1761076>
- Natarajan, A., Shetty, A., Delanerolle, G., Zeng, Y., Zhang, Y., Raymont, V., ... Phiri, P. (2023). A systematic review and meta-analysis of long COVID symptoms. *Systematic Reviews* 12(88), 1–19. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13643-023-02250-0>
- Neurath, M. F. & Lohse, A. W. (2015). *Checkliste Anamnese und klinische Untersuchung*. Stuttgart: Georg Thieme.
- Niemeyer, M., Knaier, R. & Beneke, R. (2021). The Oxygen Uptake Plateau – A Critical Review of the Frequently Misunderstood Phenomenon. *Sports Medicine*, 51(9), 1815–1834. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01471-4>
- Northrop, R. B. (2017). *Non-Invasive Instrumentation and Measurement in Medical Diagnosis* (2. Auflage). CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315117690>
- Ochani, R., Asad, A., Yasmin, F., Shaikh, S., Khalid, H., Batra, S., ... Surani, S. (2021). COVID-19 pandemic: from origins to outcomes. A comprehensive review of viral pathogenesis, clinical manifestations, diagnostic evaluation, and management. *Infezioni in Medicina*, 29(1), 20–36. Zugriff am 27. Mai 2024 unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33664170/>
- O'Mahoney, L. L., Routen, A., Gillies, C., Ekezie, W., Welford, A., Zhang, A., ... Khunti, K. (2023). The prevalence and long-term health effects of Long Covid among hospitalised and non-hospitalised populations: a systematic review and meta-analysis. *eClinicalMedicine*, 55, 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2023.101959>
- Österreichisches Institut für Sportmedizin (ÖISM). (2024). Covid-19 & Sport: Covid-Studie. Zugriff am 27. Mai 2024 unter <https://sportmedizin.or.at/covid-studie.html>
- Pandey, S. & Bright, C. L. (2008). What are degrees of freedom? *Social Work Research*, 32(2), 119–128. DOI: <https://doi.org/10.1093/swr/32.2.119>

- Peball, M., Rass, V., Valent, D., Beer, R., Schiefecker, A. J., Limmert, V., ... Seppi, K. (2024). Body Composition and Physical Performance 1 Year After COVID-19. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 103(2), 124–133. DOI: <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000002314>
- Pink, I. & Welte, T. (2022). Häufigkeit, Spektrum und Risikofaktoren von Long-COVID. *Innere Medizin*, 63(8), 813–818. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00108-022-01370-4>
- Pokan, R., Hofmann, P. & Wonisch, M. (2016). Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung. In M. Wonisch, P. Hofmann, H. Förster, H. Hörtnagl, E. Ledl-Kurkowski & R. Pokan (Hrsg.), *Kompendium der Sportmedizin* (2. Auflage, S. 95–101). Wien: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-211-99716-1_8
- Popkin, B. M., Du, S., Green W. D., Beck, M. A., Algaith, T., Herbst, C. H., ... Shekar, M. (2020). Individuals with obesity and COVID-19: A global perspective on the epidemiology and biological relationships. *Obesity Reviews*, 21(11), 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.13128>
- Poudel, A. N., Zhu, S., Cooper, N., Roderick, P., Alwan, N., Tarrant, C., ... Yao, G. L. (2021). Impact of Covid-19 on health-related quality of life of patients: A structured review. *PloS One*, 16(10), 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259164>
- Primus, C., Wonisch, M., Berent, R. & Auer, J. (2022). Praxisleitlinien Ergometrie und Spiroergometrie. *Journal für Kardiologie – Austrian Journal of Cardiology*, 29(1–2), 17–26. Zugriff am 3. Jänner 2025 unter <https://www.kup.at/kup/pdf/15119.pdf>
- Putz, C., Haunhorst, S. & Bloch, W. (2021). Post-akutes COVID-19 ("long-COVID"): Andauernde Symptome, mögliche Ursachen und symptomgeleitetes post-akut COVID-19 Management zur Wiedererlangung der körperlichen Leistungsfähigkeit (Scoping Review). *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 37(3), 214–225. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2021.08.006>
- Rapp, D., Scharhag, J., Wagenpfeil, S. & Scholl, J. (2018). Reference values for peak oxygen uptake: cross-sectional analysis of cycle ergometry-based cardiopulmonary exercise tests of 10 090 adult German volunteers from the Prevention First Registry. *BMJ Open*, 8(3), 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-018697>
- Rassouli, F. & Thurnheer, R. (2015). Spiroergometrie – Indikation, Durchführung und Interpretation. *Swiss Medical Forum*, 15(14–15), 315–321. DOI: <http://dx.doi.org/10.4414/smf.2015.02227>

- Ratcliffe, J. F. (1968). The effect on the t distribution of non-normality in the sampled population. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 17(1), 42–48. DOI: <https://doi.org/10.2307/2985264>
- Raveendran, A. V., Jayadevan, R. & Sashidharan, S. (2021). Long COVID: an overview. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 15(3), 869–875. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2021.04.007>
- Roberts, H. C., Denison, H. J., Martin, H. J., Patel, H. P., Syddall, H., Cooper, C. & Sayer, A. A. (2011). A review of the measurement of grip strength in clinical and epidemiological studies: towards a standardised approach. *Age and Ageing*, 40(4), 423–429. DOI: <https://doi.org/10.1093/ageing/afr051>
- Rossi, A. P., Muollo, V., Dalla Valle, Z., Urbani, S., Pellegrini, M., El Ghoch, M. & Mazzali, G. (2022). The Role of Obesity, Body Composition, and Nutrition in COVID-19 Pandemia: A Narrative Review. *Nutrients*, 14(17), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14173493>
- Rostamzadeh, S., Saremi, M., Abouhossein, A., Vosoughi, S. & Molenbroek, J. F. M. (2021). Normative data for handgrip strength in Iranian healthy children and adolescents aged 7–18 years: comparison with international norms. *Italian Journal of Pediatrics*, 47(1):164, 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13052-021-01113-5>
- Samuel, J. & Franklin, C. (2008). Hypoxemia and Hypoxia. In J. A. Myers, K. W. Millikan & T. J. Saclarides (Hrsg.), *Common Surgical Diseases* (S. 391–394). New York, NY: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-75246-4_97
- Sasaki, H., Kasagi, F., Yamada, M. & Fujita, S. (2007). Grip strength predicts cause-specific mortality in middle-aged and elderly persons. *The American Journal of Medicine*, 120(4), 337–342. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2006.04.018>
- Sawilowsky, S. S. & Blair, R. C. (1992). A more realistic look at the robustness and type II error properties of the t test to departures from population normality. *Psychological Bulletin*, 111(2), 352–360. DOI: <https://doi.org/10.1037/0033-2909.111.2.352>
- Scharhag-Rosenberger, F. & Schommer, K. (2013). Die Spiroergometrie in der Sportmedizin. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 64(12), 362–366. DOI: <https://doi.org/10.5960/dzsm.2013.105>
- Schlüssel, M. M., dos Anjos, L. A., de Vasconcellos, M. T. L. & Kac, G. (2008). Reference values for handgrip dynamometry of healthy adults: A population-based study. *Clinical Nutrition*, 27(4), 601–607. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2008.04.004>

- Schober, P. & Vetter, T. R. (2019). Two-Sample Unpaired t Tests in Medical Research. *Anesthesia & Analgesia* 129(4), 911. DOI: <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004373>
- Schwendinger, F., Knaier, R., Radtke, T. & Schmidt-Trucksäss, A. (2023). Low cardiorespiratory fitness post-COVID-19: a narrative review. *Sports Medicine*, 53(1), 51–74. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01751-7>
- Sedgwick, P. (2012). Pearson's correlation coefficient. *BMJ*, 345, 1–2. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.e4483>
- Shukla, A. K. & Misra, S. (2022). An overview of post COVID sequelae. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 33(6), 715–726. DOI: <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2022-0057>
- Skovlund, E. & Fenstad, G. U. (2001). Should we always choose a nonparametric test when comparing two apparently nonnormal distributions? *Journal of Clinical Epidemiology*, 54(1), 86–92. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(00\)00264-X](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(00)00264-X)
- Sollaci, L. B. & Pereira, M. G. (2004). The introduction, methods, results, and discussion (IMRAD) structure: a fifty-year survey. *Journal of the Medical Library Association: JMLA*, 92(3), 364–367. Zugriff am 3. Jänner 2025 unter <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC442179/#abstract1>
- Stavrou, V. T., Astara, K., Turlakopoulos, K. N., Papayianni, E., Boutlas, S., Vavougiou, G. D., ... Gourgoulidis, K. I. (2021). Obstructive sleep apnea syndrome: the effect of acute and chronic responses of exercise. *Frontiers in Medicine*, 8, 1–10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.806924>
- Stavrou, V. T., Vavougiou, G. D., Boutlas, S., Turlakopoulos, K. N., Papayianni, E., Astara, K., ... Gourgoulidis, K. I. (2022). Physical fitness differences, amenable to hypoxia-driven and sarcopenia pathophysiology, between sleep apnea and COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2), 1–9. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19020669>
- Talic, S., Shah, S., Wild, H., Gasevic, D., Maharaj, A., Ademi, Z., ... Ilic, D. (2021). Effectiveness of public health measures in reducing the incidence of covid-19, SARS-CoV-2 transmission, and covid-19 mortality: systematic review and meta-analysis. *BMJ*, 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj-2021-068302>

- Tobler, D. L., Pruzansky, A. J., Naderi, S., Ambrosy, A. P. & Slade, J. J. (2022). Long-term cardiovascular effects of COVID-19: emerging data relevant to the cardiovascular clinician. *Current Atherosclerosis Reports*, 24(7), 563–570. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11883-022-01032-8>
- Torres-Castro, R., Vasconcello-Castillo, L., Alsina-Restoy, X., Solis-Navarro, L., Burgos, F., Puppo, H. & Vilaró, J. (2021). Respiratory function in patients post-infection by COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Pulmonology*, 27(4), 328–337. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2020.10.013>
- Turner, S., Khan, M. A., Putrino, D., Woodcock, A., Kell, D. B. & Pretorius, E. (2023). Long COVID: pathophysiological factors and abnormalities of coagulation. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 34(6), 321–344. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tem.2023.03.002>
- Universität Wien. (2024). Körperliche Leistungsfähigkeit und Lebensqualität nach Covid-19. Zugriff am 27. Mai 2024 unter <https://postcovid19.univie.ac.at/>
- Veronese, N., Beaudart, C. & Sabico, S. (2021). *Sarcopenia: Research and Clinical Implications*. Berlin, Heidelberg: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80038-3>
- Warnke, C., Bollmann, T., Ittermann, T., Gläser, S., Koch, B., Schäper, C., ... Ewert, R. (2014). Referenzwerte für den arteriellen Sauerstoffgehalt. *Pneumologie*, 68(12), 788–792. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0034-1378089>
- WHO Consultation on Obesity (1999: Genf, Schweiz) & World Health Organization. (2000). Obesity: preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation. *WHO Technical Report Series* 894, i–253. Zugriff am 5. September 2024 unter <https://iris.who.int/handle/10665/42330>
- Willett, W. & Hu, F. (1998). Anthropometric measures and body composition. In W. Willett (Hrsg.), *Nutritional Epidemiology* (3. Auflage, S. 213–240). Oxford: University Press.
- Wonisch, M., Berent, R., Klicpera, M., Laimer, H., Marko, C., Pokan, R. & Schwann, H. (2008). Praxisleitlinien Ergometrie. *Journal für Kardiologie – Austrian Journal of Cardiology*, 15(Supplementum A), 3–17. Zugriff am 3. Jänner 2025 unter <https://www.kup.at/kup/pdf/7255.pdf>

- Wonisch, M., Pokan, R. & Hofmann, P. (2016). Funktionsdiagnostik akuter und chronischer Anpassung der Atmungsorgane (Spiroergometrie). In M. Wonisch, P. Hofmann, H. Förster, H. Hörtnagl, E. Ledl-Kurkowski & R. Pokan (Hrsg.), *Kompendium der Sportmedizin* (2. Auflage, S. 173–180). Wien: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-211-99716-1_12
- World Health Organization (WHO). (2021a). COVID-19 clinical management: living guidance, 25 January 2021. World Health Organization. Zugriff am 5. September 2024 unter <https://iris.who.int/handle/10665/338882>
- World Health Organization (WHO). (2021b). *A clinical case definition of post COVID-19 condition by a Delphi consensus, 6 October 2021* (No. WHO/2019-nCoV/Post_COVID-19_condition/Clinical_case_definition/2021.1). World Health Organization. Zugriff am 5. September 2024 unter https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-Post_COVID-19_condition-Clinical_case_definition-2021.1
- World Health Organization (WHO). (2022). *Public health surveillance for COVID-19: interim guidance, 22 July 2022* (No. WHO/2019-nCoV/SurveillanceGuidance/2022.2). World Health Organization. Zugriff am 5. September 2024 unter <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-SurveillanceGuidance-2022.2>
- World Health Organization (WHO). (2023, 9. August). Coronavirus disease (COVID-19). Zugriff am 5. September 2024 unter [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/coronavirus-disease-\(covid-19\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/coronavirus-disease-(covid-19))
- World Health Organization (WHO). (2024). WHO COVID-19 Dashboard. Zugriff am 8. Mai 2024 unter <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?m49=001&n=c>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klassifizierung von Long COVID	14
Abbildung 2: Unterscheidung von Post- und Long-COVID	15
Abbildung 3: Flow-Diagramm.....	29
Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der Schwere des Krankheitsverlaufs	31
Abbildung 5: Entstehung des Phasenwinkels.....	33
Abbildung 6: BIA-Messung in Rückenlage	34
Abbildung 7: Platzierung der BIA-Elektroden an Fuß und Hand.....	34
Abbildung 8: Kompartimentmodelle – schematische Darstellung	35
Abbildung 9: Einteilung der BMI-Klassen nach WHO	36
Abbildung 10: Anteil des Körperwassers im Körper	37
Abbildung 11: Anteil der Magermasse im Körper	38
Abbildung 12: Anteil von ECM & BCM im Körper	39
Abbildung 13: Beurteilung der ECM/BCM-Index-Werte.....	40
Abbildung 14: Beurteilung der Phasenwinkel-Werte	42
Abbildung 15: Darstellung der gemessenen Daten einer Spiroergometrie in einer 9- Felder-Grafik am Beispiel eines jungen, gesunden Mannes	45
Abbildung 16: Falsch-positives VO_{2max} -Plateau.....	47
Abbildung 17: Perzentil-Referenzwerte der relativen VO_{2peak} bei Männern.....	49
Abbildung 18: Perzentil-Referenzwerte der relativen VO_{2peak} bei Frauen	50
Abbildung 19: Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung	50
Abbildung 20: Jamar Hydraulic Hand Dynamometer.....	53
Abbildung 21: Beispiele für die grafische Darstellung von Zusammenhängen mittels Streudiagramm.....	58
Abbildung 22: Relative VO_2 -Werte in den Krankheitsverläufen	63
Abbildung 23: Vergleich der Handgriffkraft der dominanten Hand zwischen den Krankheitsverläufen	64
Abbildung 24: Vergleich der Handgriffkraft der nicht-dominanten Hand zwischen den Krankheitsverläufen	65
Abbildung 25: Body-Mass-Index (BMI), Fettmasse und Körperfettanteil im Vergleich zwischen den Krankheitsverläufen	69
Abbildung 26: Einteilung des Studienkollektivs nach Body-Mass-Index (BMI)- Kategorien.....	70
Abbildung 27: Vergleich der relativen VO_2 -Werte zwischen den Krankheitsverläufen	71
Abbildung 28: Vergleich der Handgriffkraft (HGK) zwischen den Krankheitsverläufen	73
Abbildung 29: Fettmasse, Körperfettanteil, Magermasse (LBM) und Körperzellmasse (BCM) im Vergleich zwischen den Krankheitsverläufen.....	74
Abbildung 30: Zeitraum zwischen COVID-19 Infektion und Untersuchungstermin	78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien (Rekrutierung).....	28
Tabelle 2: Anthropometrische Daten des Studienkollektivs.....	30
Tabelle 3: Absolute Abbruchkriterien Ergometrie	43
Tabelle 4: Belastungsprotokolle in Abhängigkeit der erwarteten Maximalbelastung.....	45
Tabelle 5: Schematischer Aufbau der 9-Felder-Grafik	46
Tabelle 6: Ausbelastungskriterien VO_{2max}	48
Tabelle 7: Werte der Handgriffkraft eingeteilt nach Alter und Geschlecht bei Erwachsenen aus Brasilien	52
Tabelle 8: Referenzbereiche für die Stärke des linearen Zusammenhangs nach Pearson.....	58
Tabelle 9: Vergleich der Körperzusammensetzung zwischen den Krankheitsverläufen	60
Tabelle 10: Vergleich der körperlichen Leistungsfähigkeit zwischen den Krankheitsverläufen (Ruhe und VT1)	61
Tabelle 11: Vergleich der körperlichen Leistungsfähigkeit zwischen den Krankheitsverläufen (VT2 und Maximalwerte)	62
Tabelle 12: Vergleich der Handgriffkraft (HGK) zwischen den Krankheitsverläufen	64
Tabelle 13: Korrelationen ausgewählter Parameter nach Pearson.....	66