

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Analyse der ergometrischen Leistungsfähigkeit von Athlet*innen des
Österreichischen Instituts für Sportmedizin (ÖISM)

verfasst von | submitted by

Liesa Ofner BSc

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2025

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

UA 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree pro-
gramme as it appears on the student record
sheet:

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Jürgen Scharhag

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	3
Zusammenfassung (Deutsch)	5
Abstract (English).....	6
1 Einleitung	7
1.1 Grundlagen der Ergometrie	8
1.2 Problematik bei der Befundung.....	14
1.2.1 Undifferenziertheit.....	14
1.2.2 Möglichkeiten	19
1.3 Sports Legend-Studie	19
1.4 Ziel dieser Arbeit.....	20
2 Methodik	21
2.1 Studiendesign	21
2.1.1 Labortestungen	22
2.1.2 Fahrradergometer.....	23
2.1.3 Ganymed.....	24
2.2 Studienteilnehmer*innen.....	24
2.2.1 Sportkategorien.....	26
2.2.2 Altersgruppen	29
2.3 Statistik.. ..	29
2.4 Untersuchte Parameter	30
3 Ergebnisse.....	31
3.1 Geschlecht	31
3.2 Sportart.....	33
3.3 Alter.....	39
4 Diskussion.....	47
4.1 Limitationen	51
4.2 Schlussfolgerungen	53
4.3 Forschungsausblick.....	54
Tabellenverzeichnis	55
Abbildungsverzeichnis	56
Literaturverzeichnis	57



Vorwort

Ich möchte meinen aufrichtigen Dank an Herr Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag und Herr David Nader MSc für die umfassende Betreuung meiner Masterarbeit aussprechen. Ihre Unterstützung und die Gelegenheit, an der Sports Legend-Studie am Österreichischen Institut für Sportmedizin mitwirken zu dürfen, waren für mich von unschätzbarem Wert.

Ein weiteres Dankeschön richte ich an Mag. Roland Hudetschek, Dr. Nora Klambauer, Wolfgang Reith, Gabi Maier, Karin Mesicek und allen Weiteren, welche an den kontinuierlichen Sporttauglichkeitsuntersuchungen am ÖISM beteiligt sind.

Vielen Dank auch den Teilnehmer*innen der Sports Legend-Studie, die das Verfassen dieser Masterarbeit ermöglicht haben.

Ein besonderer Dank geht an meine Eltern, die mir das Studium erst ermöglicht haben und mir jederzeit unterstützend zur Seite standen.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Freundin Patricia danken, die mich in allen Belangen großartig unterstützt und motiviert hat.

Vielen Dank!

Abkürzungsverzeichnis

BMI	Body-Mass-Index
BORG-Skala	Borg Rating of Perceived Exertion
EKG	Elektrokardiogramm
FEV1	Forciertes Expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde
KO	Körperoberfläche
O ₂	Sauerstoff
ÖISM	Österreichisches Institut für Sportmedizin
P _{max}	Maximale Leistung
SOP	Standard Operating Procedures
Sports Legend	Sportliche Leistung und Gesundheit
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SV _{max}	Maximales Schlagvolumen
VO _{2max}	Maximale Sauerstoffaufnahme
W	Watt
W/kg KG	Watt pro Kilogramm Körpergewicht
W/min	Watt pro Minute

Zusammenfassung (Deutsch)

Hintergrund: Die Befundung der Leistungsfähigkeit am ÖISM soll optimiert werden, indem neben der bisherigen Bewertung anhand von Sollwerten, aussagekräftige Vergleiche mit anderen Proband*innen ähnlicher Ausgangssituationen getätigt werden können.

Zielsetzung: Die Sports Legend-Studie zielt darauf ab, Daten aus Sporttauglichkeitsuntersuchungen zu analysieren und Erkenntnisse zur Leistungsfähigkeit und Gesundheit gesunder aktiver Personen zu gewinnen. Diese Masterarbeit hat das Ziel, die ergometrische Leistungsfähigkeit anhand der Merkmale Geschlecht, Sportart und Alter zu analysieren.

Methoden: Die im Rahmen der Sports Legend-Studie gesammelten Leistungsdaten, werden mit der Statistik Software IBM SPSS analysiert und ausgewertet. Die Pmax wird in W/kg KG getrennt nach Geschlecht, Sportkategorie und Altersgruppe untersucht. Zusätzlich werden Leistungsunterschiede zwischen den Gruppen ermittelt.

Ergebnisse: Männer (n=244) erreichten um durchschnittlich 0.5 W/kg KG mehr als Frauen (n=99, $p < 0.001$).

Ausdauersportler (n=82) weisen signifikant höhere Leistungen auf als Kraftsportler (n=28, 0.7 W/kg KG, $p < 0.001$) und „Skill“-Sportler (n=19, 0.5 W/kg KG, $p = 0.014$). Kraftsportler schnitten signifikant schlechter ab als Spielsportler (n=115, 0.7 W/kg KG, $p < 0.001$).

Ausdauersportlerinnen (n=35) erreichten signifikant höhere Leistungen als Kraftsportlerinnen (n=8, 0.9 W/kg KG, $p = 0.006$), „Skill“-Sportlerinnen (n=19, 0.9 W/kg KG, $p < 0.001$) und Spielsportlerinnen (n=37, 0.7 W/kg KG, $p < 0.001$).

Über-30-Jährige Männer (n=59) weisen signifikant geringere Leistungen auf als 13- bis 15-Jährige (n=69, -0.7 W/kg KG, $p < 0.001$), 16- bis 17-Jährige (n=29, -0.2 W/kg KG, $p < 0.001$), 18- bis 20-Jährige (n=29, -0.5 W/kg KG, $p = 0.004$), 21- bis 24-Jährige (n=32, -0.4 W/kg KG, $p < 0.001$).

Schlussfolgerungen: Die Leistungsunterschiede zwischen Sportkategorien und Altersgruppen decken sich mit der Literatur. Gleichzeitig bestärken sie die Sinnhaftigkeit differenzierterer Befundungen.

Abstract (English)

Background: The performance assessment at the ÖISM is to be optimized by allowing meaningful comparisons to be made with other test subjects in similar starting situations in addition to the previous assessment based on target values.

Objective: The Sports Legend study aims to analyze data from sports fitness examinations and to gain insights into the performance and health of healthy active individuals. This master's thesis aims to analyze ergometric performance based on the characteristics of gender, type of sport and age.

Methods: The data collected in the Sports Legend study are analyzed using the statistical software IBM SPSS. The Pmax is examined in W/kg separately according to gender, sport category and age group. In addition, performance differences between the groups are determined.

Results: Men (n=244) achieved an average of 0.5 W/kg more than women (n=99, $p<0.001$). Endurance athletes (n=82) show significantly higher performance than strength athletes (n=28, 0.7 W/kg, $p<0.001$) and “skill” athletes (n=19, 0.5 W/kg, $p=0.014$). Strength athletes performed significantly worse than game athletes (n=115, 0.7 W/kg, $p<0.001$).

Female endurance athletes (n=35) achieved significantly higher performance than female strength athletes (n=8, 0.9 W/kg, $p=0.006$), female “skill” athletes (n=19, 0.9 W/kg, $p<0.001$) and female game athletes (n=37, 0.7 W/kg, $p<0.001$).

Men over 30 years of age (n=59) showed significantly lower performance than 13- to 15-year-olds (n=69, -0.7 W/kg, $p < 0.001$), 16- to 17-year-olds (n=29, -0.2 W/kg, $p < 0.001$), 18- to 20-year-olds (n=29, -0.5 W/kg, $p = 0.004$), 21- to 24-year-olds (n=32, -0.4 W/kg, $p < 0.001$).

Conclusions: The differences in performance between sport categories and age groups are in line with the literature. At the same time, they confirm the usefulness of more differentiated findings.

1 Einleitung

Am Österreichischen Institut für Sportmedizin werden sowohl Hochleistungs- und Profisportler*innen als auch Freizeit- und Gesundheitssportler*innen untersucht. Eine der Untersuchungen, welche am ÖISM durchgeführt werden, sind Sporttauglichkeitsuntersuchungen. Um die Sporttauglichkeit festzustellen, wird eine umfassende körperliche Untersuchung durchgeführt, die die Erhebung der anthropometrischen Daten sowie des Körperfettanteils umfasst. Ein Elektrokardiogramm, eine Echokardiographie und ein Belastungs-EKG auf dem Fahrradergometer werden eingesetzt, um Informationen über das körperliche Leistungsvermögen und die Belastbarkeit zu erhalten. Zudem wird die Möglichkeit geprüft, angeborene Herzerkrankungen sowie Herzklappenerkrankungen, Herzrhythmusstörungen oder Herzschwäche zu identifizieren, die potenziell die Herzleistung beeinträchtigen könnten (ÖISM, 2024).

Die Fahrradergometrie ist eine zentrale Komponente der Sporttauglichkeitsuntersuchungen. Mit dieser kann unter anderem die maximale ergometrische Leistungsfähigkeit festgestellt werden. Die Bewertung und Befundung der erreichten Leistung basiert auf professionellen Einschätzungen vor Ort unter Berücksichtigung fachlicher Richtwerte (Wonisch et al., 2008).

Durch die Sporttauglichkeitsuntersuchungen werden laufend neue Leistungs- und Gesundheitsdaten erhoben. Im Zuge der Sports Legend-Studie sollen diese Daten für Forschungszwecke gesammelt, aufbereitet und weiter untersucht werden. Hierzu wurde eine umfangreiche Datenbank in der Software Microsoft Excel erstellt. Mittels dieser sollen tiefere Einblicke in die Leistungsfähigkeit und Gesundheit sportlich aktiver und gesunder Menschen gewonnen werden.

Diese Masterarbeit analysiert die im Zeitraum von Anfang Jänner 2022 bis Ende Februar 2024 leistungsbezogenen Daten, die durch die Sports Legend-Studie gesammelt werden konnten. Intention der Arbeit ist es herauszufinden, wie leistungsfähig dieses betrachtete Kollektiv ist. Dazu wird die im Zuge der Fahrradergometrie die maximal erreichte Leistung (P_{max}) in Watt pro Kilogramm Körpergewicht (W/kg KG) getrennt nach Geschlecht, Sportart und Alter begutachtet. Die aus dieser Arbeit gewonnen Erkenntnisse sollen in weiterer Folge dazu beitragen, die Befundung der Leistungsfähigkeit am ÖISM zu optimieren.

1.1 Grundlagen der Ergometrie

Die Ergometrie stellt ein Standardverfahren in der Kardiologie dar und spielt eine entscheidende Rolle bei der Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit. Durch die Untersuchung von Herzfrequenz, Blutdruck und EKG-Auffälligkeiten während der Belastung können potenzielle kardiovaskuläre Erkrankungen, wie Ischämien oder Arrhythmien, identifiziert werden. In der Rehabilitation ist die Ergometrie unerlässlich, da sie den Rehabilitationsfortschritt überwacht und die Effektivität von Trainingsprogrammen evaluiert. Regelmäßige Untersuchungen ermöglichen gezielte Anpassungen im Trainingsprogramm, um die Sicherheit und Wirksamkeit der Maßnahmen sicherzustellen (Wonisch et al., 2008).

Auch in der Prävention spielt die Ergometrie eine wesentliche Rolle. Insbesondere bei gesunden Personen, welche noch keine derartigen Untersuchungen gemacht haben, können Ergometrien helfen bislang nicht erkannte Risikofaktoren aufzudecken und damit die Sicherheit und Gesundheit sporttreibender Personen zu gewährleisten, weshalb die Empfehlung lautet, dass alle Sportler*innen sowohl im Freizeit- als auch im Leistungssport das Herz-Kreislaufsystem untersuchen lassen. So können etwaige kardiovaskulärer Erkrankungen erkannt bzw. ausgeschlossen werden (Wonisch et al., 2008).

Darüber hinaus findet die Ergometrie Anwendung in der klinischen Forschung. Sie wird zur Untersuchung von Auswirkungen neuer Therapien oder Interventionen auf die körperliche Leistungsfähigkeit verwendet (Wonisch et al., 2008).

State of the Art

Die Ergometrie umfasst mehrere wichtige Schritte, die sorgfältig befolgt werden müssen. Zunächst erfolgt die Vorbereitung des/der Sportler*in. Hierbei werden sowohl mündliche als auch schriftliche Informationen gegeben, um den/die Proband*in über den Ablauf und die Risiken der Untersuchung aufzuklären (Wonisch et al., 2008).

Klinische Voraussetzungen sind ebenfalls entscheidend; dazu gehört eine genaue Zuweisung oder Fragestellung sowie eine umfassende Anamnese und körperliche Untersuchung, die auch Auskultation, Ruheblutdruck und Ruhe-EKG im Liegen umfasst. Fakultative Untersuchungen wie Echokardiographie, Thorax-Röntgen und Lungenfunktion können ebenfalls durchgeführt werden. Zudem ist es wichtig, die Medikamentenanamnese zu berücksichtigen. Der/die Sportler*in sollte mindestens zwei Stunden nach der letzten

Mahlzeit warten und ausreichend regenerieren, wenn er/sie kürzlich schwere körperliche Belastungen hatte. Des Weiteren sollte ein Abstand von mindestens zwölf Stunden nach Alkohol und zwei Stunden nach Nikotin eingehalten werden (Wonisch et al., 2008).

Für die Durchführung ist es notwendig, räumliche und apparative Voraussetzungen zu schaffen. Dazu zählt ein angenehmes Raumklima mit einer Temperatur von 18–24 Grad Celsius und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 30–60 Prozent. Der Raum sollte ausreichend groß sein, mit einer Liege in unmittelbarer Nähe. Das verwendete Ergometer sollte standardisierbar, reproduzierbar und dosierbar sein, wobei entweder ein Fahrrad- oder Laufbandergometer zum Einsatz kommen kann (Wonisch et al., 2008).

Die eigentliche Durchführung der Ergometrie beginnt mit der Festlegung der Startbelastung, die normalerweise das Doppelte des Belastungsincrements beträgt. Der Belastungstest erfolgt gemäß einem individuell abgestimmten Protokoll oder gemäß einem standardisierten Protokoll, wie beispielsweise dem Bruce-Protokoll. Während der gesamten Belastung wird die Herzfrequenz, der Blutdruck und das EKG kontinuierlich überwacht (Wonisch et al., 2008).

Die Ergometrie wird beendet, sobald die maximale Belastung erreicht wird, Symptome auftreten oder die festgelegten Abbruchkriterien erfüllt sind (Wonisch et al., 2008). Als Abbruchkriterien können in Form von subjektive Beschwerden, Objektive Zeichen, EKG-Veränderungen (Rhythmusstörungen), Störungen in der Regulation des Herzschlags, Blutdruckregulationsstörungen, Erregungsleitungs- oder Erregungsrückleitungsstörungen auftreten (Schreinicke, 2004).

Nach der Belastung folgt eine Erholungsphase, in der die Herzfrequenz und der Blutdruck weiterhin überwacht werden. Abschließend erfolgt die Dokumentation der gesamten Belastungsuntersuchung. Diese sollte standardisiert und protokolliert sein und alle relevanten Parameter sowie Beobachtungen umfassen (Wonisch et al., 2008).

Auswahl des Belastungsprotokolls

Internationale Fachgesellschaften empfehlen die Verwendung individuell angepasster Belastungsprotokolle, um eine kardiovaskuläre Ausbelastung zu erreichen und damit die Aussagekraft der Ergebnisse zu gewährleisten. Damit variieren die Protokolle hinsichtlich Einstiegsstufe, Inkrement und Stufendauer. Eine passende Einstiegsstufe ist entscheidend, zur Vermeidung frühzeitiger Ermüdung und damit unzureichender Erfassung der

Maximalleistung. Angemessene Inkremente unterstützen eine stufenweise Steigerung der Belastung, während zu große Inkremente die Validität der Testergebnisse negativ beeinflussen können (Stockhausen et al., 1997). Die empfohlene Stufendauer beträgt in der Regel zwischen ein und drei Minuten, um einen stetigen Anstieg der Herzfrequenz zu gewährleisten. Das verwendete Belastungsprotokoll muss im Zuge der Dokumentation genau festgehalten werden. Das ist für die Bewertung der maximal erreichten Leistung relevant. Außerdem ist es sinnvoll im Falle von erneuten Untersuchungen, gleiche Protokolle zu verwenden, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten (Wonisch et al., 2008).

Die Einschätzung der voraussichtlichen maximalen Leistung ist ein entscheidender Aspekt bei der Wahl des passenden Belastungsprotokolls und damit bei der Durchführung der Ergometrie. Um die maximale Leistung eines/er Proband*in zu bestimmen, werden verschiedene Faktoren berücksichtigt, darunter das Alter, Geschlecht und die Körperoberfläche. Bei geringeren Sollwerten sinken die Startbelastungen entsprechend, was eine Anpassung an die körperliche Verfassung des/der Proband*in ermöglicht (Wonisch et al., 2008).

Die Formel zur Berechnung der Körperoberfläche lautet:

$$KO (m_2) = 0.007184 \times KG^{0.425} \times L^{0.725}$$

Hierbei steht KG für das Körpergewicht in Kilogramm und L für die Körpergröße in Zentimeter (Wonisch et al., 2008).

Tabelle 1 zeigt die Sollwerte einer Fahrradergometrie für Männer und Frauen nach Körperoberfläche und Alter angegeben in Watt.

Tabelle 1: Sollwerte für die Fahrradergometrie (Mod. nach Wonisch et al. 2008)

Männer (n=244)									
KO (m ²)	Alter (Jahre)								
	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64
1,73	204	196	188	180	172	164	156	148	140
1,6–1,69	194	186	179	171	164	156	148	141	133
1,7–1,79	206	196	190	182	173	165	157	149	141
1,8–1,89	218	209	200	192	183	175	166	158	149
1,9–1,99	229	220	211	202	193	184	175	166	157
2,0–2,09	241	232	222	213	203	194	184	175	165
2,1–2,19	253	243	233	223	213	203	193	184	174
2,2–2,29	265	254	244	234	223	213	202	192	182
2,3–2,39	277	266	255	244	233	222	211	201	190
2,4–2,49	288	277	266	254	243	232	220	209	198
Frauen (n=99)									
KO (m ²)	Alter in Jahren								
	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64
1,73	138	135	132	129	126	123	120	117	114
1,2–1,29	99	97	95	93	91	89	86	84	82
1,3–1,39	107	106	103	100	98	96	93	91	89
1,4–1,49	115	113	110	108	105	103	100	98	95
1,5–1,59	123	121	118	115	113	110	107	104	102
1,6–1,69	131	128	126	123	120	117	114	111	108
1,7–1,79	139	136	133	130	127	124	121	118	115
1,8–1,89	147	144	141	138	134	131	128	125	122
1,9–1,99	155	152	148	145	142	138	135	132	128
2,0–2,09	163	160	156	152	149	145	142	138	135

Körperoberfläche (KO) in m²; Alter in Jahre; Leistung in W

Zusätzlich zu den Sollwerten können spezifische Formeln zur Berechnung der maximalen Leistung herangezogen werden. Diese Formeln berücksichtigen die Körperoberfläche (KO) und das Alter (A) der Person (Wonisch et al., 2008).

Für Männer lautet die Formel:

$$P_{max} = 6.773 + 136.141 \times KO - 0.916 \times KO \times A$$

Für Frauen lautet die Formel:

$$P_{max} = 3.933 + 86.641 \times KO - 0.346 \times KO \times A$$

Pmax wird in W angegeben, die Körperoberfläche in m² und das Alter in Jahre.

Befundung der Leistung

Nach Vollendung der Ergometrie, wird die Pmax bewertet. Dies geschieht anhand von Richtwerten. Hierzu muss jedoch zuerst die tatsächlich erreichte Leistung berechnet werden. Dies geschieht mit folgender Formel (Wonisch et al., 2008):

Erbrachte Leistung =

$$\text{Leistung der letzten vollendeten Stufe} + \left(\text{Inkrement} \times \frac{\text{Dauer der letzten Stufe}}{\text{vorgegebene Stufendauer}} \right)$$

Die Leistung wird dabei in Watt und die Dauer in Sekunden angegeben (Wonisch et al., 2008).

Die Befundung der erreichten Leistung während einer Ergometrie erfolgt häufig in W/kg KG, um die individuelle Leistungsfähigkeit des/der Proband*in zu bewerten. Diese Maßzahl ermöglicht eine standardisierte Beurteilung, die unabhängig von Körpergewicht ist. Um die relative Leistung in W/kg KG zu ermitteln, wird die erbrachte Leistung (siehe Formel) durch das Körpergewicht des/r Sportler*in geteilt (Wonisch et al., 2008).

Wissenschaftliche Analysen der Leistungsfähigkeit in W/kg KG zeigen typische Werte für verschiedene demografische Gruppen. Tabelle 2 zeigt die Sollwerte nach Allen & Coggan (2019) in W/kg KG.

Tabelle 2: Sollwerte in W/kg KG (Mod. nach Allen & Coggan, 2019)

	Männer (n=244)	Frauen (n=99)
Überragend	5.05 und höher	4.3 und höher
Ausgezeichnet	3.93 bis 5.04	3.33 bis 4.29
Gut	2.79 bis 3.92	2.36 bis 3.32
Ausreichend	2.23 bis 2.78	1.9 bis 2.35
Untrainiert	Unter 2.23	Unter 1.9

Daten werden in W/kg KG angegeben.

Für Männer gelten folgende Kategorien: Ein Wert von 5.1 und höher wird als überragend eingestuft, während Werte zwischen 3.9 und 5 als ausgezeichnet betrachtet werden. Gute Werte liegen im Bereich von 2.8 bis 3.9, während ein ausreichender Wert zwischen 2.2 und 2.8 liegt. Ein Wert unter 2.2 wird als untrainiert klassifiziert (Allen & Coggan, 2019).

Für Frauen lauten die Sollwerte: Ein Wert von 4.3 und höher ist überragend, während ausgezeichnete Werte im Bereich von 3.3 bis 4.3 liegen. Gute Werte liegen zwischen 2.4 und 3.3, und eine ausreichende Leistung wird mit 1.9 bis 2.4 angegeben. Auch hier wird ein Wert unter 1.9 als untrainiert betrachtet (Allen & Coggan, 2019).

Relevanz der Studie

Die rasante Entwicklung technischer Möglichkeiten führt zu einer konstanten Verbesserung der Genauigkeit von medizinischen Untersuchungen wie der Ergometrie. In Anbetracht dieser Fortschritte ist es entscheidend auch die Verfahren zur Auswertung der gemessenen Leistungsdaten weiterzuentwickeln. Obwohl die prognostizierte maximale Leistung relativ genau unter Berücksichtigung von Körperoberfläche, Alter und Geschlecht berechnet werden kann, erweist sich die nachfolgende Bewertung anhand allgemeiner Sollwerte oft als unzuverlässig. Problematisch ist, dass zu wenige relevante Parameter berücksichtigt werden, sodass es bei der Befundung zu Ungenauigkeiten kommt. Es gibt zahlreiche zusätzliche Faktoren, wie die praktizierende Sportart, die Leistungsfähigkeit beeinflussen, derzeit jedoch nicht berücksichtigt werden.

Es gilt, die Bewertung der Leistungsfähigkeit zu optimieren und spezifischer auf die Proband*innen abzustimmen, um eine präzisere und aussagekräftigere Analyse zu ermöglichen. Das Ziel sollte daher sein, die erreichte Leistung nicht mittels allgemeiner Sollwerte zu bewerten, sondern im direkten Vergleich mit anderen Proband*innen, die durch ähnliche Merkmale (wie Geschlecht, Altersgruppen, Sportart etc.) vergleichbare Ausgangssituationen aufweisen. Ein solches Modell wäre praxisnaher und aussagekräftiger. Durch das kontinuierliche Ausbauen der Sports Legend-Datenbank könnte eine umfangreiche Gesundheitsdatenbank erschaffen, durch welche die Befundung von Leistung zunehmend präziser und individueller gestaltet werden könnte.

Ein weiteres Ziel dieser Studie ist es, neben der Verbesserung der Befundung am ÖISM, eine solide Grundlage für zukünftige Forschungsprojekte zu schaffen, die sich mit der Leistungsfähigkeit und Gesundheit von Sportler*innen beschäftigen.

1.2 Problematik bei der Befundung

1.2.1 Undifferenziertheit

Entscheidende Komponenten der Ergometrie sind die Ausdauerleistungsfähigkeit sowie die Muskelkraft der unteren Extremitäten. Beide Faktoren unterliegen geschlechtsspezifischen und altersbedingten Einflüssen, die die Ergebnisse der Ergometrie maßgeblich beeinflussen können (Wonisch et al., 2008). Zudem spielt die Sportart der Proband*innen eine wesentliche Rolle, da die unterschiedlichen Anforderungsprofile spezifische Trainingsansätze sowie individuelle Stärken und Schwächen mit sich bringen (Pelliccia et al., 2021).

Geschlechterspezifische Unterschiede

Biologisch sind Männer in vielen sportlichen Disziplinen, die auf Muskelkraft, Geschwindigkeit und Ausdauer basieren, tendenziell leistungsfähiger als Frauen. Laut den in der Literatur dargestellten Richtwerten erreichen Leistungssportler eine Leistung von etwa 4 W/kg KG, während Spitzensportler im Ausdauerbereich Werte von 5 bis 6 W/kg KG anstreben. Bei Frauen liegen diese Werte typischerweise um 10 bis 15 Prozent niedriger (Weichenberger et al., 2023). Dies ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen. So weist die Ausdauerleistungsfähigkeit signifikante geschlechterspezifische Unterschiede auf, die durch verschiedene physiologische und biologische Faktoren bedingt sind (Millard-Stafford et al.,

2018). Im Durchschnitt haben Frauen eine geringere Lungenkapazität als Männer, was sich negativ auf die Sauerstoffaufnahme während intensiver körperlicher Aktivität auswirken kann. Während die durchschnittliche Lungenkapazität bei Männern etwa 6 bis 7 Liter beträgt, liegt sie bei Frauen typischerweise zwischen 4 und 5 Litern. Diese Unterschiede in der Lungenkapazität tragen zu den beobachteten Unterschieden in der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_2max) bei, die bei untrainierten Frauen etwa 25–30 Prozent niedriger ist als bei vergleichbaren Männern. Zusätzlich spielt das Blutvolumen eine entscheidende Rolle in der Ausdauerleistungsfähigkeit. Männer haben in der Regel ein höheres Blutvolumen, was zu einer besseren Sauerstofftransportkapazität führt. Bei Männern liegt das Blutvolumen durchschnittlich bei etwa 70 ml/kg Körpergewicht, während es bei Frauen nur etwa 60 ml/kg beträgt. Diese Unterschiede in der Blutvolumenverteilung und der Hämoglobin-Konzentration, die bei Männern höher ist, beeinflussen die Sauerstofftransportfähigkeit und somit die Ausdauerleistungsfähigkeit. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Muskelmasse. Männer haben im Durchschnitt einen höheren Anteil an Muskelmasse, der bei etwa 40–50 Prozent des Körpergewichts liegt, während dieser Anteil bei Frauen typischerweise zwischen 25 und 35 Prozent liegt. Diese Unterschiede in der Muskelmasse und Muskelzusammensetzung führen dazu, dass Frauen bei gleichem Trainingszustand in kraftdominierten Disziplinen benachteiligt sind, jedoch in Ausdauersportarten, wie dem Marathonlauf, unter bestimmten Bedingungen sehr gute Leistungen erbringen können (Wonisch et al., 2017). Diese Unterschiede resultieren hauptsächlich aus den unterschiedlichen Wirkungen von Sexualhormonen während der Pubertät: Männer erfahren einen signifikanten Anstieg des Testosterons, was zu einer erhöhten Muskelmasse führt, während Frauen einen Anstieg des Östrogens erleben, der weniger zur Steigerung der Muskelkraft beiträgt. Eine Analyse von 2019 zeigt, dass über 10.000 Männer schneller liefen als die schnellsten Frauen, was die Notwendigkeit geschlechtsspezifischer Kategorien in vielen Sportarten verdeutlicht. Die Leistungsunterschiede variieren jedoch je nach Sportart. In Disziplinen wie Bogenschießen oder Schießen, wo technische Fertigkeiten entscheidend sind, sind die Unterschiede minimal (Hunter et al., 2023).

Altersspezifische Unterschiede

Im Laufe des Lebens kommt es zu signifikanten Veränderungen der körperlichen Leistungsfähigkeit, insbesondere im Hinblick auf den Verlust von Muskelmasse und -kraft,

bekannt als Sarkopenie. Ab dem 30. Lebensjahr setzt ein schleichender Verlust der Muskelmasse ein, der sich ab dem 60. Lebensjahr beschleunigt. Schätzungen weisen darauf hin, dass Erwachsene im Alter von 70 Jahren bis zu 20 Prozent ihrer Muskelmasse im Vergleich zu ihrem Höchststand verlieren können. Darüber hinaus sinkt die Muskelkraft im Alter von 60 bis 70 Jahren um etwa 15 Prozent pro Jahrzehnt. Dass sich diese Veränderungen bereits ab dem 30. Lebensjahr bemerkbar machen, zeigt sich beispielsweise im Profifußball. Hierzu schreiben Sal de Rellán-Guerra et al. (2019) in der Studie *Age-related physical and technical match performance changes in elite soccer players*, dass professionelle Fußballspieler im Alter von Über-30 Jahren im Vergleich zu jüngeren Spielern signifikante Leistungseinbußen aufweisen. Beispielsweise wurde eine Verringerung der Gesamtdistanz um 3.4 Prozent, der Anzahl schneller Läufe um 12 Prozent und der Anzahl von Sprints um 21 Prozent bei älteren Spielern im Vergleich zu ihren jüngeren Kollegen festgestellt (Sal de Rellán-Guerra et al., 2019).

Die Ursachen für diesen Verlust sind vielfältig. Wichtige Faktoren sind die reduzierte Fähigkeit der Muskeln, auf anabole Stimuli wie körperliche Aktivität und eine angemessene Proteinzufuhr zu reagieren, sowie altersbedingte Veränderungen im Nervensystem, die die motorische Koordination beeinträchtigen. Hormonelle Veränderungen, wie der Rückgang von Wachstumshormonen und Testosteron, sowie chronische Entzündungen tragen ebenfalls zur Sarkopenie bei. Ein inaktiver Lebensstil und unzureichende Ernährung verstärken diese Veränderungen, was zu einem signifikanten Verlust an Muskelmasse und -kraft führt. Dies hat weitreichende Auswirkungen, wie eine erhöhte Anfälligkeit für Stürze und begleitende Erkrankungen, die die Lebensqualität älterer Menschen negativ beeinflussen (Tieland et al., 2018).

Ein weiteres bedeutendes Phänomen des Alterns ist der Rückgang der Ausdauerleistung, eng verbunden mit der Abnahme der $VO_2\text{max}$. Ab dem 25. Lebensjahr zeigt die Forschung, dass die $VO_2\text{max}$ im Durchschnitt jährlich um etwa ein Prozent sinkt (Herraiz-Adillo et al., 2024). Mendonca et al. (2016) schreibt, dass die Ausdauerleistungsfähigkeit zwischen dem 40. und 60. Lebensjahr um 20 Prozent abnimmt und ab dem 80. Lebensjahr ein linearer Rückgang von 0.3 Minuten pro Jahr zu verzeichnen ist, wobei "0.3 Minuten pro Jahr" den durchschnittlichen Rückgang der Zeit beschreibt, die ältere Erwachsene in der Lage sind, während dem Bruce-Treadmill-Test aktiv zu bleiben.

Diese Rückgänge werden durch altersbedingte Veränderungen, wie einen gesunkenen FEV1-Wert, der die Ventilationskapazität verringert, sowie durch Veränderungen im

kardiovaskulären System, insbesondere im maximalen Herzzeitvolumen, verursacht. Eine verminderte SV_{max} und eine niedrigere Herzfrequenz in höherem Alter beeinflussen ebenfalls die VO₂max negativ. Strukturelle Veränderungen, wie die Verdickung der linken Ventrikelwand, verminderte Compliance, erhöhte Fibrose und Verkalkung der Herzstrukturen sowie die Steifheit der Arterien, beeinträchtigen die Blutversorgung der Muskulatur und reduzieren die Sauerstoffversorgung. Diese Veränderungen wirken sich besonders bei älteren Erwachsenen negativ auf die Fähigkeit zur sympathischen Vasokonstriktion während der Belastung aus, wodurch die VO₂max weiter sinkt. Neuere Studien legen nahe, dass auch die Verformbarkeit der roten Blutkörperchen im Alter beeinträchtigt ist, was die vasodilatatorische Fähigkeit einschränkt (Herraiz-Adillo et al., 2024). Ein geringer Aktivitätsgrad führt häufig zu einem signifikanten Rückgang der VO₂max, wie Studien zeigen. Inaktive Teilnehmer verlieren im Durchschnitt 4.6 Prozent pro Jahr, aktive nur 0.3 Prozent. Diese Abnahme ist verbunden mit einem Verlust an Muskelmasse und einer reduzierten Kapillardichte, was die Ausdauerleistung weiter verringert. Regelmäßige körperliche Aktivität, insbesondere Ausdauertraining, ist entscheidend, um diesen Rückgang zu verlangsamen oder vorzubeugen. Spitzenathleten, die über Jahre hinweg ein hohes Trainingsniveau halten, zeigen VO₂max-Werte, die mit denen untrainierter, gesunder junger Personen vergleichbar sind (Valenzuela et al., 2019).

Während also die maximale Leistungsfähigkeit in den meisten Sportarten mit zunehmendem Alter abnimmt, variieren die spezifischen Abnahmegrade je nach Geschlecht und Sportart. So deuten Forschungsergebnisse darauf hin, dass Männer, da sie anatomisch eine höhere Muskelmasse und -kraft aufweisen, weniger stark von Sarkopenie betroffen sind als Frauen, was die Leistungseinbußen in Sportarten mit hohem Kraftanteil im Vergleich zu Frauen verlangsamt. Das bestätigt auch Anton et al. (2004), welcher die geschlechterspezifischen Unterschiede beim altersbedingten Leistungsverlust in Gewichtheben und Powerlifting untersuchte.

Frauen weisen jedoch eine geringere Abnahme der Ausdauerleistung auf, das vor allem in Sportarten wie dem Langstreckenlauf bemerkbar wird (Suominen et al., 2011). Eine Untersuchung von Korhonen et al. (2003) zeigt hierzu signifikante Unterschiede in der 100-Meter-Sprintleistung zwischen männlichen und weiblichen Spitzenathleten*innen. Während Männer eine durchschnittliche Leistungsabnahme von etwa 10 Prozent pro Jahrzehnt aufweisen, ist der Rückgang bei Frauen geringer, was auf eine höhere relative Leistungsfähigkeit im Alter hindeutet.

Sportartspezifische Unterschiede

Die unterschiedlichen Anforderungsprofile und körperlichen Komponenten, die in verschiedenen Sportarten relevant sind, sind vielfältig und komplex. Die körperliche Fitness wird durch fünf Hauptkomponenten charakterisiert, die morphologische, muskuläre, motorische, kardiovaskuläre und metabolische Komponente (Pelliccia et al., 2021).

Die morphologische Komponente umfasst Aspekte wie das Körpergewicht im Verhältnis zur Körpergröße, die Körperzusammensetzung sowie die Verteilung von subkutanem und viszeralem Fett, die Knochendichte und die Flexibilität. Die muskuläre Komponente bezieht sich auf verschiedene Aspekte wie Kraft, explosive Stärke, isometrische Stärke und muskuläre Ausdauer. In Bezug auf die motorische Komponente zählen Fähigkeiten wie Agilität, Gleichgewicht, Koordination und Bewegungsgeschwindigkeit dazu. Die kardiovaskuläre Komponente wird durch die Ausdauer, die submaximale Leistungsfähigkeit und die maximale aerobe Kapazität sowie die Funktion von Herz und Lunge definiert. Schließlich umfasst die metabolische Komponente die Glukosetoleranz, die Insulinsensitivität und den Lipid- und Lipoproteinmetabolismus (Pelliccia et al., 2021).

Verschiedene Sportarten erfordern unterschiedliche Kombinationen dieser Komponenten. Im Fußball sind beispielsweise hohe kardiovaskuläre Ausdauer, explosive Kraft und motorische Kontrolle entscheidend, um schnelle Richtungswechsel und präzise Bewegungen zu ermöglichen. Basketball verlangt eine Kombination aus Schnelligkeit, Sprungkraft, Agilität und Ausdauer, um offensiv und defensiv effektiv zu agieren. In Schwimmdisziplinen wird besonders Wert auf kardiovaskuläre Ausdauer und muskuläre Ausdauer gelegt, da über längere Zeiträume eine gleichmäßige Leistung erforderlich ist. Radfahren fokussiert sich auf die kardiovaskuläre Ausdauer und die muskuläre Ausdauer, insbesondere bei langen Strecken und Wettkämpfen. Gewichtheben betont die muskuläre Stärke und explosive Kraft, während die kardiovaskuläre Ausdauer eine geringere Rolle spielt. In der Leichtathletik variieren die Anforderungen je nach Disziplin: Sprints erfordern hohe Geschwindigkeit und explosive Kraft, während Langstreckenläufe ausdauernde Leistungsfähigkeit verlangen. Tennis erfordert Schnelligkeit, Agilität, Kraft und Ausdauer für schnelle Bewegungen und präzise Schläge. Die Vielfalt zwischen den Sportarten zeigt, dass die Berücksichtigung der unterschiedlichen körperlichen Komponenten und Anforderungsprofile entscheidend für die sportliche Leistungsfähigkeit ist (Pelliccia et al., 2021).

1.2.2 Möglichkeiten

Datenbanken bieten im Bereich der Sportwissenschaft ein erhebliches Potenzial und fungieren als leistungsstarke Werkzeuge zur Erfassung, Speicherung, Verwaltung und Analyse von Daten. Diese Technologien tragen entscheidend zur Optimierung der Leistungsanalyse und zur fundierten Entscheidungsfindung bei. Mit fortlaufenden technologischen Fortschritten ist zu erwarten, dass die Funktionalität von Datenbanken erweitert wird, wodurch sie für verschiedene Anwendungen in der Sportwissenschaft, einschließlich Leistungsüberwachung, Verletzungsprophylaxe und Analyse sportlicher Fähigkeiten, unverzichtbar sind (Vincent et al. 2009).

Die Sports Legend-Studie bietet am ÖISM eine detaillierte Erhebung und Sammlung von Leistungs- und Gesundheitsdaten, was eine präzisere Beurteilung der Leistungsfähigkeit gesunder, sportlich aktiver Personen ermöglicht. Durch die Bereitstellung umfangreicher Vergleichswerte vertieft die Studie das Verständnis für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit dieser Personen. Ein zentrales Ziel der Studie ist es, die Leistungsfähigkeit und Gesundheit von Sporttreibenden weiter zu erforschen, da Höchstleistungen nur bei optimalem Gesundheitszustand erbracht werden können.

1.3 Sports Legend-Studie

Unter der wissenschaftlichen Leitung von Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag wird am ÖISM in Wien die Sports Legend-Studie durchgeführt. Diese startete mit Anfang Jänner 2022 und wird seitdem laufend durchgeführt.

Prozessvorgang

Es ergibt sich ein jährliches Kollektiv von 700 Sporttauglichkeitsuntersuchungen. Untersucht werden Gesundheitssportler*innen, Wettkampf- und Kadersportler*innen sowie Schüler*innen diverser Sportschulen. Die Teilnehmer*innen bestehen aus Männern und Frauen, sind unterschiedlich alt, in verschiedenen Sportarten aktiv und besitzen unterschiedliche Leistungs- und Trainingsniveaus. (ÖISM, 2023)

Durch schriftliche Einverständniserklärungen und einem Ethik Votum können die aus den Sporttauglichkeitsuntersuchungen gewonnen Leistungs- und Gesundheitsdaten aus den ärztlichen Befunden entnommen und in eine externe Datenbank extrahiert werden. Die

Daten werden mit der Software Microsoft Excel gesammelt und aufbereitet. Im Zuge dessen werden sie verschlüsselt und pseudo anonymisiert.

Zu den erfassten Werten zählen demografische Informationen wie Geschlecht, Geburtsdatum und Alter, medizinische Vorgeschichte, körperliche Merkmale (Größe, Gewicht, BMI, Körperfettanteil) sowie Leistungswerte wie verwendetes Belastungsprotokoll und maximale Leistung. Darüber hinaus werden physiologische Parameter wie Blutdruck, Herzfrequenz und Ejektionsfraktion erfasst, ebenso wie sportartspezifische Daten zur Trainingsroutine und -intensität.

Zielsetzung der Sports Legend-Studie

Ziel der Sports Legend-Studie ist die Sammlung, Aufbereitung und weitere Erforschung der Leistungs- und Gesundheitsdaten, welche im Zuge der Sporttauglichkeitsuntersuchungen am ÖISM erhoben werden. Dies ist besonders relevant, da Untersuchungen, wie das Belastungs-EKG meist nur an Patient*innen durchgeführt werden und nicht an gesunden Sportler*innen. Daraus ergibt sich die Möglichkeit mehr über die Leistungsfähigkeit und Gesundheit eines gesunden sportlichen Kollektivs zu erfahren.

1.4 Ziel dieser Arbeit

Ziel dieser Masterarbeit ist es, zu untersuchen wie leistungsfähig das Kollektiv ist, welches zwischen Jänner 2022 und Februar 2024 am ÖISM untersucht wurde. Die maximal erreichte Leistung soll getrennt nach relevanten Merkmalen wie Geschlecht, praktizierender Sportart und Alter analysiert werden. Leistungsvergleiche zwischen den Stichproben verdeutlichen die Relevanz differenzierterer Bewertungen.

Durch die Ergebnisse dieser Arbeit soll in weiterer Folge die Befundung der Leistungsfähigkeit am ÖISM verbessert werden können. Dies soll erreicht werden, indem zusätzlich zur Einstufung anhand fachlicher Richtwerte, Leistungsvergleiche zu anderen Proband*innen mit gleichen Ausgangssituationen getätigt werden können.

2 Methodik

Im Rahmen dieser Masterarbeit wird die Leistungsfähigkeit einer Gruppe von Proband*innen, welche am ÖISM untersucht wurde, analysiert. Diese Daten wurden aus Sporttauglichkeitsuntersuchungen gewonnen. Der in dieser Arbeit berücksichtigte retrospektive Datensatz stammt aus dem Untersuchungszeitraum von Jänner 2022 bis inklusive Februar 2024. Im Zuge der vom Institut angemeldeten Sports Legend-Studie wurde eine wissenschaftliche Weiterverwendung der laufend gewonnenen Leistungs- und Gesundheitsdaten ermöglicht. Notwendig hierfür waren unter anderem unterschriebene Einverständniserklärungen aller untersuchten und für die Studie herangezogenen Personen. Außerdem wurde ein Ethikvotum bei der Universität Wien eingereicht.

2.1 Studiendesign

Sporttauglichkeitsuntersuchungen werden am ÖISM nach dem Standard Operating Procedures (SOP) des Österreichischen Instituts für Sportmedizin durchgeführt.

Datenschutz

Im Rahmen der Sports Legend-Studie haben alle Teilnehmer*innen eine Einverständniserklärung unterschrieben. Bei minderjährigen Proband*innen gaben die Erziehungsberechtigten ihre Zustimmung.

Während der Übertragung der erhobenen Daten aus den ärztlichen Dokumentationen in die Sports Legend-Datenbank erfolgte eine Pseudoanonymisierung der Daten in der Software Microsoft Excel. Die Identität der Teilnehmer*innen wurde dabei durch zugewiesene Nummern ersetzt. Neben dem Namen wurden auch das Geschlecht und diverse leistungs- und gesundheitsbezogene Daten durch Zahlen verschlüsselt, sodass es unbefugten Personen nicht möglich ist, die Datenbank zu lesen.

Das von der Universität Wien beantragte Ethikvotum garantierte die ethischen Standards und die ordnungsgemäße Durchführung der Sports Legend-Studie.

2.1.1 Labortestungen

Vorbereitungen

Die Durchführung der Ergometrien erfolgte nach einer standardisierten Arbeitsanweisung (siehe *1.1 Grundlagen der Ergometrie*). Zunächst wurde eine ausführliche Aufklärung der Teilnehmer*innen über den Ablauf der Ergometrie gewährleistet, die sowohl mündlich als auch schriftlich erfolgte. Anschließend wurden die klinischen Voraussetzungen überprüft, wozu die Anamnese, eine körperliche Untersuchung, sowie notwendige Voruntersuchungen und eine Blutdruckmessung gehören. Es wurde sichergestellt, dass alle räumlichen und apparativen Voraussetzungen, einschließlich der Verfügbarkeit eines geeigneten Ergometers und der Notfallausstattung, gegeben sind. Danach erfolgte die personenspezifische Anpassung, die die korrekte Einstellung der Sattelhöhe am Ergometer und das Anbringen von EKG-Klebelektroden umfasst (12-Kanal-Registrierung). Vor der Belastung wurde noch einmal sichergestellt, dass alle medizinischen und technischen Voraussetzungen vollständig erfüllt sind (Csajagi, 2020).

Ergometrie

Der Ablauf der Belastungsuntersuchung begann mit der Wahl eines individuell angepassten Belastungsprotokolls, welches auf der aktuellen Leistungsfähigkeit der Teilnehmer*innen basiert. Der Belastungsprozess startete mit einer für die Proband*innen passenden Anfangsbelastung, gefolgt von einer schrittweisen Erhöhung in definierten Intervallen, die jede Minute erfolgte. Dabei wurden gängige Protokolle wie Erhöhungen um 20, 25 oder 30 Watt angewendet, abhängig von den spezifischen Voraussetzungen. Während der Belastungsphase, die typischerweise 8 bis 12 Minuten dauert, sollte der/die Proband*in eine maximale kardiorespiratorische Ausbelastung erreichen, wobei er/sie eine gleichmäßige Trittfrequenz von etwa 60 bis 70 Umdrehungen pro Minute einhalten sollte. Während der gesamten Belastungsphase wurden Vitalzeichen wie Herzfrequenz und Blutdruck kontinuierlich überwacht. Zusätzlich wurde das subjektive Belastungsempfinden, mithilfe der 6-20-Skala nach BORG, erfasst. All diese Parameter wurden einmal in Ruhe, unmittelbar vor der Belastung, während der Belastung (am Ende jeder Stufe), und in der fünfminütigen Nachbelastungsphase protokolliert. Das EKG wurde konstant erhoben, um mögliche pathologische Veränderungen frühzeitig zu identifizieren. Zudem wurden klinische Symptome wie Angina pectoris, Luftnot oder Erschöpfung in Echtzeit dokumentiert. Die Pmax wurde nach Beendigung der Belastung in W/kg KG berechnet. (Csajagi, 2020).

Dokumentation

Abschließend wurden die Ergebnisse der Ergometrie umfassend dokumentiert, einschließlich der erbrachten Leistung, der beobachteten EKG-Veränderungen und des Blutdruckverhaltens. Die Ergebnisse wurden in einem gemeinsamen Gespräch mit den Teilnehmer*innen diskutiert, wobei gegebenenfalls weitere diagnostische Schritte oder therapeutische Maßnahmen in Betracht gezogen wurden (Csajagi, 2020).

2.1.2 Fahrradergometer

Das *Excalibur Sport Ergometer* (siehe Abbildung 1) ist international anerkannt und gilt als der „Goldstandard in der Ergometrie“ aufgrund seiner nachgewiesenen Genauigkeit und Zuverlässigkeit. Die Genauigkeit des Ergometers liegt bei zwei Watt für Lasten unter 100 W. Für Lasten zwischen 100 und 1500 W beträgt die Genauigkeit zwei Prozent. Bei Lasten zwischen 1500 und 3000 W beträgt die Genauigkeit fünf Prozent (Convident, 2017).

Die Mindestlast, die das Ergometer bereitstellen kann, beträgt zehn W, während die maximale Spitzenlast, die für kurze Zeit bereitgestellt werden kann, 3000 W beträgt. Das Ergometer ermöglicht die isokinetische Steuerung der Last. Die kleinsten Schritte, in denen die Last erhöht werden kann, betragen ein W (Convident, 2017).

Die Länge des Ergometers beträgt 200 cm, die Breite liegt bei 70 cm und die Höhe beträgt 100 cm. Das Gewicht beträgt 145 kg. Die Bildschirmdiagonale beträgt 17.8 cm (Convident, 2017).



Abbildung 1: Ergometer Exercise Bike Excalibur Sport (Convident, 2017)

2.1.3 Ganymed

Die Dokumentation der Anamnese erfolgte in der Ordinationssoftware *Ganymed*. Diese Software ist darauf ausgelegt, den Praxisalltag zu erleichtern und die Effizienz zu steigern. Zu den Funktionen gehören unter anderem elektronische Patientenakte, Rezeptmanagement, Befunddokumentation sowie Tools zur Unterstützung der medizinischen Fachkräfte bei der Patientenversorgung (GanyMED - Die Software für Ihre Arztpraxis in Österreich, 2017).

Für die Dokumentation wurden folgende Schritte befolgt: Zunächst wurde das Ganymed-Fenster auf dem Computer geöffnet. Anschließend wurde der/die betreffende Patient*in durch die Verwendung der Tastenkombination STRG-O aufgerufen. In der untersten Zeile des Softwarefensters erfolgte die Eingabe der Abkürzung "AL" (Anamnese Lang), nach der ein Leerzeichen eingefügt werden konnte, gefolgt von einem beliebig langen Text, der die anamnestischen Daten des/der Patient*in umfasste. Dieser eingegebene Text wurde durch Betätigung der Enter-Taste gespeichert und konnte jederzeit verändert werden.

2.2 Studienteilnehmer*innen

Im der Sports Legend-Studie wurden zwischen Anfang Jänner 2022 und Ende Februar 2024 insgesamt 552 Sporttauglichkeitsuntersuchungen durchgeführt. Im Sinne der Querschnittsstudie wurden im Zuge dieser Masterarbeit nur die Erstuntersuchungen berücksichtigt. Außerdem wurden nur Personen, welche mit einem einminütigen

Stufenprotokoll belastet wurden in die Analyse einbezogen. Teilnehmer*innen mit unvollständigen Angaben wurden aussortiert. Daraus ergibt sich eine Anzahl von 99 weiblichen und 244 männlichen Proband*innen, die getrennt in dieser Masterarbeit untersucht werden. Folgende Abbildung veranschaulicht die Details dieses Auswahlverfahrens.

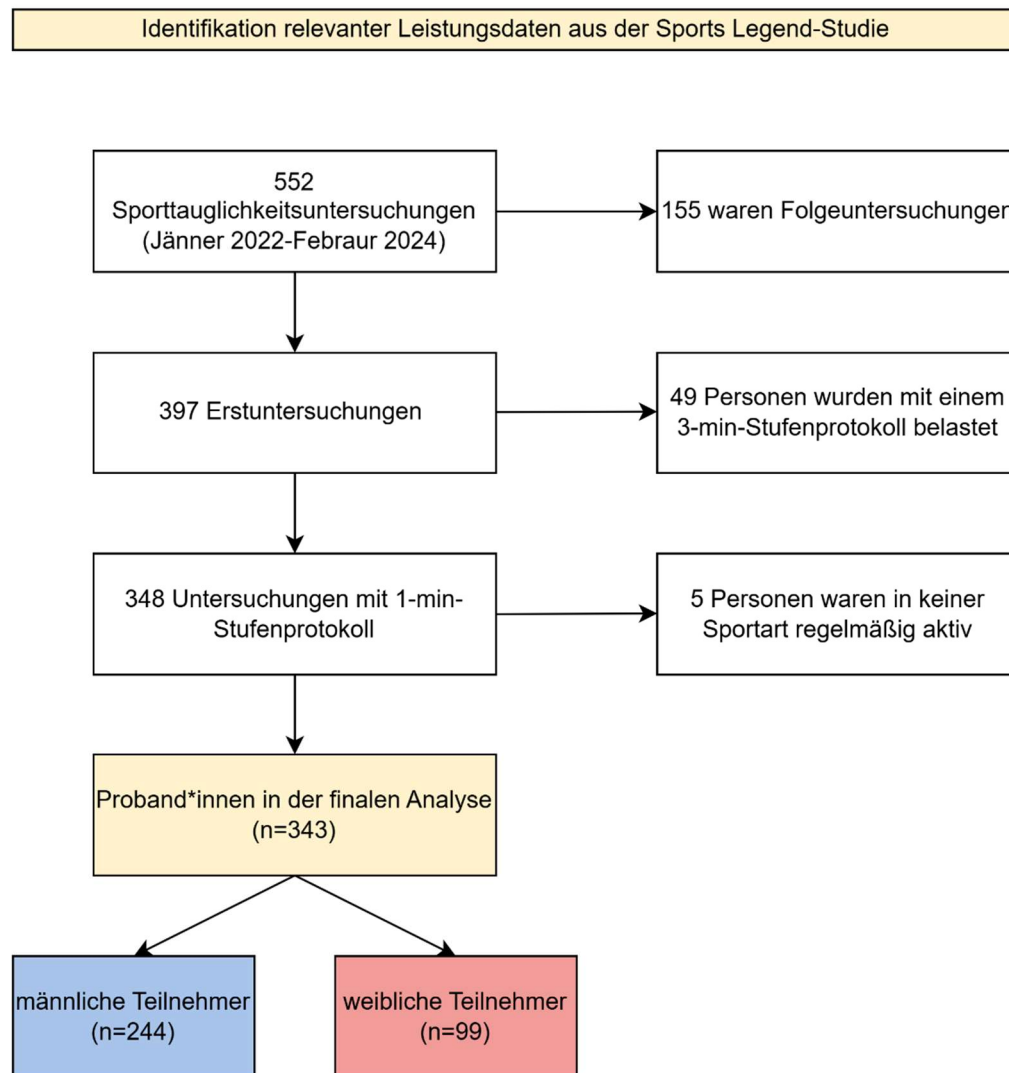


Abbildung 2: Details zur Planung der Studienteilnehmer*innen

Das durchschnittliche Alter der Teilnehmer*innen beträgt 23 Jahre, mit einer Altersspanne von 13 bis 57 Jahren. Die Körpergröße liegt im Durchschnitt bei 176 cm, variierend von 151 cm bis 198 cm. Das durchschnittliche Gewicht der Proband*innen beträgt 71 kg, mit einer Spannweite von 36 kg bis 118 kg. Der BMI beträgt im Mittelwert 23 kg/m², mit Werten zwischen 15.6 kg/m² und 36 kg/m².

2.2.1 Sportkategorien

Um statistische Vergleiche zu ermöglichen wurden die insgesamt 55 verschiedenen Sportarten in folgende vier Kategorien zusammengefasst: Ausdauer, Kraft, „Skill“ und Spiel.

Die Kriterien, die in dieser Masterarbeit für die Zuteilung verwendet wurden, stammen von Pelliccia et al. (2021). Folgende Tabellen veranschaulichen, wie sich die jeweiligen Kategorien zusammensetzen.

Tabelle 3 und 4 zeigen die Häufigkeiten der jeweiligen Sportarten sowie die Einteilung in die Sportkategorien für Männer (n=244) und Frauen (n=99).

Tabelle 3: Kategorisierung der Sportarten (Männer)

Männer (n=244)							
Ausdauer (n=82)		Kraft (n=28)		„Skill“ (n=19)		Spiel (n=115)	
Kanu	2	Crossfit	3	Golf	3	Basketball	7
Laufen	11	Fitnessstraining	3	Kitesurfen	1	Eishockey	5
Leichtathletik	3	HIIT	1	Kunstturnen	1	Feldhockey	1
Orientierungslauf	3	Judo	1	Motorsport	1	Floorball	1
Radfahren	27	Karate	1	Segeln	5	Fußball	67
Rudern	23	Kickboxen	9	Skibob	1	Handball	19
Schwimmen	6	Klettern	1	Teqball	1	Paddel-Tennis	1
Triathlon	7	Krafttraining	8	Tischtennis	1	Tennis	11
		Ringn	1	Trampolinspringen	1	Volleyball	3
				Turmspringen	4		

(n=82 Ausdauersportler; n=28 Kraftsportler; n=19 „Skill“-Sportler; n=115 Spilsportler)

Tabelle 3 zeigt, dass bei den männlichen Ausdauersportlern (n=82) Radfahren (n=27) und Rudern (n=23) am häufigsten ausgeübt wird. Im Kraftsport (n=28) ist Kickboxen (n=9) am populärsten während Segeln (n=5) in der Kategorie "Skill" (n=19) am häufigsten aufscheint. Fußball (n=67) ist die beliebteste Sportart in der Kategorie Spiel (n=115).

Tabelle 4 zeigt, dass die weiblichen Ausdauersportler (n=35) am häufigsten die Sportart Rudern (n=14) betreiben. In der kleinsten Sportkategorie Kraft (n=8), ist Kickboxen (n=3) die beliebteste Sportart. In der Kategorie „Skill“ (n=19) ist es Eiskunstlauf (n=4). Die Spportsportlerinnen (n=37) betreiben am häufigsten Handball (n=15).

2.2.2 Altersgruppen

Die Variable „Alter zum Testzeitpunkt“ wurde in folgende Untergruppen unterteilt:

13-15-Jährige, 16-17 -Jährige, 18-20 -Jährige, 21-24-Jährige, 25-29-Jährige und Über-30-Jährige.

Berücksichtigt wird hierbei das kalendarische Alter, welches die Proband*innen zum Zeitpunkt der Untersuchung hatten.

2.3 Statistik

Für die Auswertung der Daten kam die Statistiksoftware *IBM Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* Version 29 zum Einsatz.

Die absoluten Häufigkeiten in den jeweiligen Sportkategorien und Altersgruppen wurden durch eine Häufigkeitsanalyse ermittelt. Für die anthropometrischen Daten und die maximale Leistung wurden mittels deskriptiver Statistik die minimalen, maximalen und Durchschnittswerte inklusive Standardabweichung und Interquartilsabstand berechnet. Angegeben wurden die Daten als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand].

Die maximale Leistung wurde getrennt nach Geschlecht, Sportkategorie und Altersgruppe auf Normalverteilung untersucht. Hierfür wurde der Shapiro-Wilk-Test herangezogen ($p > 0.05$). Die Homogenität der Varianzen wurde für jede Stichprobe mit dem Levene-Test geprüft ($p > 0.05$).

Leistungsunterschiede zwischen Männern (n=244) und Frauen (n=99) wurde mit T-Test für unabhängige Stichproben ermittelt. Die Leistungsunterschiede zwischen Sportkategorien und Altersgruppen wurde mittels Kruskal-Wallis-Test untersucht.

Für alle Testverfahren wurde ein Signifikanzniveau von 0.05 angenommen.

Für die grafische Darstellung der Ergebnisse wurden Tabellen, Populationspyramiden mit Normalverteilungskurven, Kreis- und Balkendiagramme verwendet.

2.4 Untersuchte Parameter

Die leistungsphysiologischen und sportmedizinischen Parameter, die in dieser Masterarbeit untersucht wurden, sind: Alter, Körpergröße, Körpergewicht, BMI und Leistung.

Alter

Das kalendarische Alter wird in Jahren angegeben.

Körpergröße

Die Körpergröße wird in Zentimeter (cm) angegeben.

Körpergewicht

Das Gewicht wird in Kilogramm (kg) angegeben.

BMI

Der Body-Mass-Index (BMI) ist ein oft genutztes Maß zur Klassifizierung von Übergewicht und Adipositas bei Erwachsenen. Er berechnet sich, indem das Körpergewicht in Kilogramm durch das Quadrat der Körpergröße in Metern geteilt wird (kg/m^2). Laut der WHO-Klassifikation werden Erwachsene je nach BMI wie folgt eingestuft: Untergewicht ($\text{BMI} < 18.5$), Normalgewicht (18.5 bis 24.9), Übergewicht (25 bis 29.9) und Adipositas ($\text{BMI} \geq 30$) (Statistik Austria, 2023).

Leistung

Die Leistung (P), die auf dem Ergometer erzielt wird, wird in Watt (W) oder Watt pro Kilogramm (Watt/kg) angegeben.

Aus physikalischer Sicht wird Leistung in Watt als die verrichtete Arbeit pro Zeiteinheit definiert. (De Marées, 2017).

3 Ergebnisse

Es wird die ergometrische Leistungsfähigkeit getrennt nach Geschlecht, Sportartkategorie und Altersgruppe untersucht. Für die Analyse wird ein Signifikanzniveau (p-Wert) von 0.05 verwendet, was bedeutet, dass ein p-Wert unter 0.05 als signifikant betrachtet wird. Dies impliziert eine Fehlerwahrscheinlichkeit von 5 Prozent.

3.1 Geschlecht

Tabelle 5 veranschaulicht die anthropometrischen Daten, sowie die im Durchschnitt erreichte Leistung in Relation zum Körpergewicht der männlichen und weiblichen Studienteilnehmer*innen.

Tabelle 5: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), BMI (kg/m²) und Leistung (W/kg KG) nach Geschlecht

		Männer (n=244)	Frauen (n=99)
<i>Anthropometrische Daten</i>	Alter (Jahre)	25 ± 12 [20; 14]	21 ± 8 [18; 8]
	Größe (cm)	179.5 ± 8.5 [179; 10]	165.8 ± 6 [165; 7.1]
	Gewicht (kg)	74.8 ± 13.5 [75; 18]	60.9 ± 10.2 [61; 9.5]
	BMI (kg/m ²)	23 ± 3.2 [23; 4]	22.1 ± 3.2 [21.5; 3.2]
Pmax (W/kg KG)		4.1 ± 0.7 [4; 0.9]	3.6 ± 0.7 [3.6; 1.1]

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. BMI, Body-Mass-Index; (n=244 Männer; n=99 Frauen)

Männer

Das Alter der männlichen Teilnehmer (n=244) variierte von 13 bis 57 Jahren, während die Körpergröße zwischen 151 und 198 cm, das Gewicht zwischen 36 und 118 kg und der BMI zwischen 15.8 und 33.5 kg/m² lag. Die relative Leistung der Männer variierte zwischen 1.8 und 6.5 W/kg KG.

Frauen

Das Alter der weiblichen Teilnehmer (n=99) reichte von 13 bis 55 Jahren. Die Körpergröße der Frauen variierte zwischen 153 und 183 cm. Das Gewicht der weiblichen

Teilnehmerinnen variierte zwischen 37 und 104 kg. Der BMI der Frauen lag zwischen 15.6 und 36 kg/m². Die relative Leistung der Frauen reichte von 1.7 bis 5.6 W/kg KG.

Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Leistung zwischen Männer (n=244) und Frauen (n=99). Die männlichen Studienteilnehmer (4.1 W/kg KG) erreichten im Durchschnitt höhere Leistungswerte als Frauen (3.6 W/kg KG).



Abbildung 3: Verteilung der Leistung (W/kg KG) nach Geschlecht

Tabelle 6 veranschaulicht die statistisch signifikanten Unterschiede in der mittleren Leistung zwischen den männlichen und weiblichen Studienteilnehmer*innen.

Tabelle 6: Leistungsunterschied (W/kg KG) nach Geschlecht

Mittlere Leistung		Mittelwertgleichheit	
Männer (n=244)	Frauen (n=99)	Differenz	p-Wert
4.1	3.6	-0.5	< 0.001

Daten werden in W/kg KG angegeben (n=244 Männer; n=99 Frauen).

Die Leistung der Männer (n=244) war um durchschnittlich 0.5 (± 0.1) W/kg KG höher als die der Frauen (n=99). Die Ergebnisse sind statistisch signifikant ($p < 0.001$).

3.2 Sportart

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 *Sportkategorien* beschrieben, wurden die insgesamt 52 Sportarten in vier Kategorien eingeteilt. Die Häufigkeiten in den jeweiligen Kategorien werden in Abbildung 4 veranschaulicht.

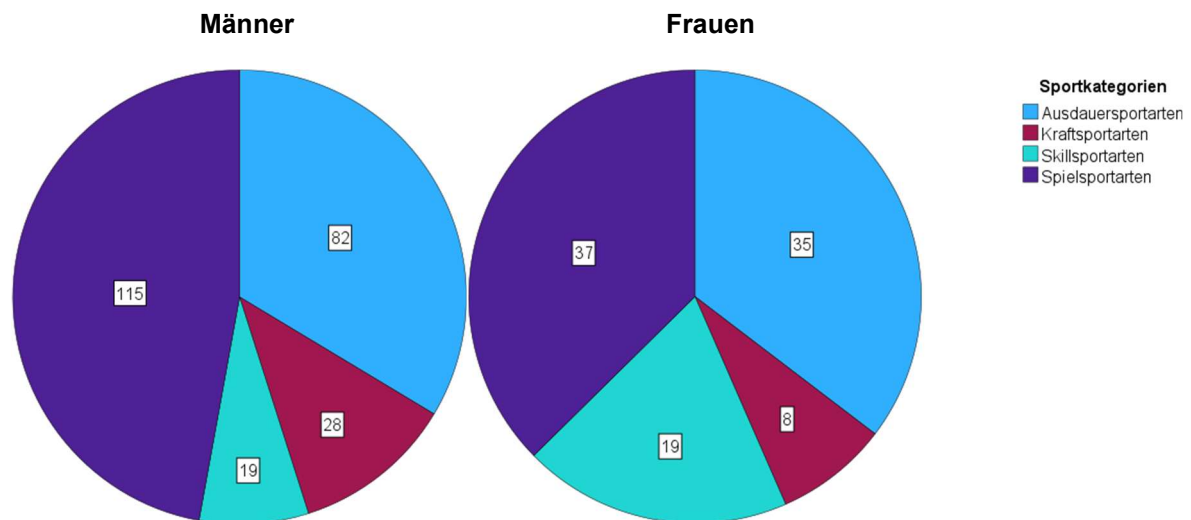


Abbildung 4: Häufigkeiten der Sportkategorien

Abbildung 4 zeigt, dass bei den männlichen Teilnehmern (links) die Spielsportarten (n=115) am stärksten vertreten sind, gefolgt von Ausdauersportarten (n=82), Kraftsportarten (n=28) und "Skill"-Sportarten (n=19).

Bei den weiblichen Probandinnen (rechts) überwiegen ebenfalls die Spielsportarten (n=37). Im Anschluss folgen die Ausdauersportarten (n=35), die „Skill“-Sportarten (n=19) und die Kraftsportarten (n=8).

Tabelle 7 veranschaulicht die anthropometrischen Daten, sowie die im Durchschnitt erreichte Leistung (W/kg KG) nach Sportkategorie.

Tabelle 7: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), BMI (kg/m²) und Leistung (W/kg KG) nach Sportkategorie

Männer (n=244)					
		Ausdauer (n=82)	Kraft (n=28)	„Skill“ (n=19)	Spiel (n=115)
Anthropometrische Daten	Alter (Jahre)	32 ± 14 [28; 23]	31 ± 11 [29; 20]	22. ± 8 [21; 8]	18 ± 6 [16; 5]
	Größe (cm)	182.1 ± 8.1 [181; 10.5]	179.6 ± 7 [180; 9]	176.3 ± 5.6 [178; 5]	178.3 ± 9.2 [179; 12]
	Gewicht (kg)	79.9 ± 11.9 [79.2; 17.5]	83.2 ± 13.6 [84.5; 20]	70.4 ± 13 [68; 17]	69.9 ± 12.4 [71; 18]
	BMI (kg/m ²)	24 ± 2.9 [24; 4.3]	25.7 ± 3.1 [25.7; 3.9]	22.7 ± 3.6 [22; 5.6]	21.8 ± 2.7 [21.8; 3.7]
Pmax (W/kg KG)		4.2 ± 0.1 [4.3; 1.5]	3.5 ± 0.1 [3.4; 1.2]	3.8 ± 0.1 [3.6; 0.9]	4,2 ± 0,04 [4,1; 0,6]
Frauen (n=99)					
		Ausdauer (n=35)	Kraft (n=8)	„Skill“ (n=19)	Spiel (n=37)
Anthropometrische Daten	Alter (Jahre)	22 ± 9 [19; 9]	28 ± 12 [27; 14]*	20 ± 6 [19; 9]	18 ± 5 [17; 4]
	Größe (cm)	167.6 ± 5.5 [168; 6.5]	164.9 ± 7.5 [164; 12.8]*	163.9 ± 5.2 [163; 8]	165.4 ± 6.5 [165; 6.8]
	Gewicht (kg)	60.7 ± 8.8 [61.3; 10]	61.1 ± 5.4 [62; 8.8]*	61.2 ± 13.2 [63; 13]	61 ± 10.9 [60; 10.5]
	BMI (kg/m ²)	21.5 ± 2.2 [21.7; 2.1]	22.6 ± 1.6 [22.5; 3]*	22.7 ± 4.3 [22; 5.6]	22.2 ± 3.7 [22; 4]
Pmax (W/kg KG)		4.1 ± 0.1 [4.3; 1]	3.3 ± 0.3 [3.4; 1.3]*	3.3 ± 0.1 [3.3; 0.5]	3,4 ± 0,1 [3,4; 0,7]

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt; *n<10; BMI, Body-Mass-Index; (n=82 Ausdauersportler; n=28 Kraftsportler; n=19 „Skill“-Sportler; n=115 Spielsportler; n=35 Ausdauersportlerinnen; n=8 Kraftsportlerinnen; n=19 „Skill“-Sportlerinnen; n=37 Spielsportlerinnen)

Männer

Das Alter der männlichen Ausdauersportler (n=82) reichte von 13 bis 57 Jahren. Die Körpergröße variierte zwischen 154 und 198 cm, während das Gewicht der Ausdauerathleten von 45 bis 103.4 kg reichte. Der BMI lag zwischen 18.3 und 33.5 kg/m². Die relative Leistung der Männer im Ausdauersport variierte zwischen 2.1 bis 6.5 W/kg KG.

Bei den männlichen Kraftsportlern (n=28) reicht das Alter von 16 bis 55 Jahren. Ihre Körpergröße variierte zwischen 167 und 195 cm, während das Gewicht zwischen 52 und 118 kg lag. Der BMI variierte zwischen 17.2 bis 33.3 kg/m². Die relative Leistung betrug zwischen 1.8 und 4.8 W/kg KG.

Im Bereich „Skill“ (n=19) lag das Alter der männlichen Teilnehmer zwischen 14 und 45 Jahren, die Körpergröße variierte von 161 bis 186 cm, und das Gewicht reichte von 49 bis 96.3 kg. Der BMI lag zwischen 17 und 30.1 kg/m², während die relative Leistung zwischen 2.6 und 4.8 W/kg KG variierte.

Die männlichen Sportsportler (n=115) hatten ein Alter, das von 14 bis 52 Jahren reichte. Ihre Körpergröße variierte zwischen 151 und 196 cm. Das Gewicht der Sportsportler variierte zwischen 36 bis 96 kg, während der BMI zwischen 15.8 und 32 kg/m² lag. Die relative Leistung dieser Gruppe reichte von 2.6 bis 5.2 W/kg KG.

Frauen

Bei den weiblichen Ausdauersportlern (n=35) reichte das Alter von 14 bis 55 Jahren. Die Körpergröße variierte zwischen 156 und 180 cm, das Gewicht lag zwischen 41 und 83 kg. Der BMI der Ausdauersportlerinnen lag zwischen 16.8 und 29.4 kg/m², und die relative Leistung variierte zwischen 2.5 bis 5.6 W/kg KG.

Die Kraftsportlerinnen (n=8) hatten ein Alter von 14 bis 52 Jahren. Ihre Körpergröße variierte zwischen 154 und 176 cm, während das Gewicht zwischen 52 und 68 kg lag. Der BMI reichte von 20.6 bis 25 kg/m², und die relative Leistung wies Werte von 2.1 bis 4.3 W/kg KG auf.

Die „Skill“-Sportlerinnen (n=19) erreichten ein Alter von 13 bis 31 Jahren. Die Körpergröße variierte zwischen 154 und 174 cm, während das Gewicht zwischen 43 und 104 kg lag. Der BMI der „Skill“-Sportlerinnen lag zwischen 17 und 36 kg/m². Die relative Leistung dieser Gruppe variierte von 1.7 bis 4.1 W/kg KG.

Bei den Sportlerinnen (n=37) lag das Alter zwischen 14 und 34 Jahren. Die Körpergröße variierte von 153 bis 183 cm und das Gewicht reichte von 37 bis 90 kg. Der BMI der Sportlerinnen lag zwischen 15.6 und 35 kg/m², und die relative Leistung variierte zwischen 2.3 bis 4.9 W/kg KG.

Abbildung 5 zeigt die Verteilung der Leistung (W/kg KG) getrennt nach Geschlecht (n=244 Männer; n=99 Frauen) zwischen den Sportkategorien (n=82 Ausdauersportler; n=28 Kraftsportler; n=19 „Skill“-Sportler; n=115 Spielsportler; n=35 Ausdauersportlerinnen; n=8 Kraftsportlerinnen; n=19 „Skill“-Sportlerinnen; n=37 Sportlerinnen).

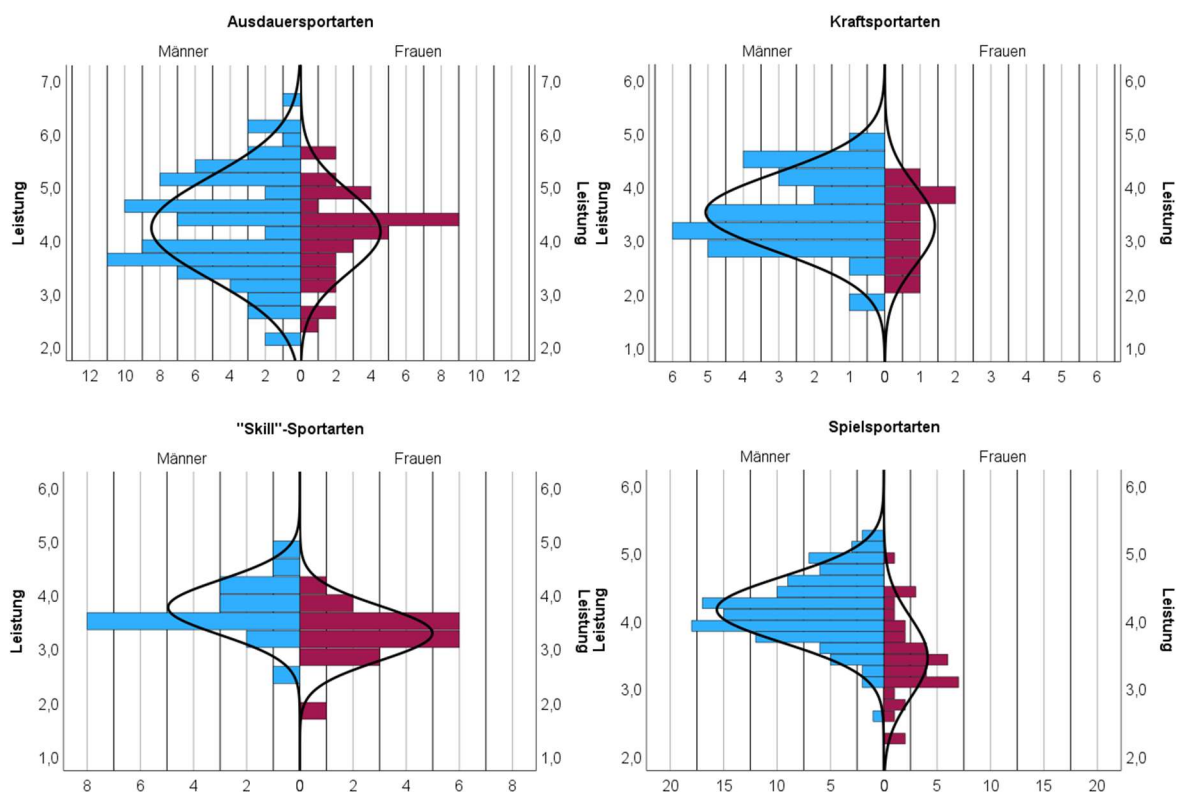


Abbildung 5: Verteilung der Leistung (W/kg KG) nach Sportkategorie

Tabelle 8 veranschaulicht die Leistungsunterschiede (W/kg KG) zwischen den Sportkategorien (n=82 Ausdauersportler; n=28 Kraftsportler; n=19 „Skill“-Sportler; n=115 Spielsportler; n=35 Ausdauersportlerinnen; n=8 Kraftsportlerinnen; n=19 „Skill“-Sportlerinnen; n=37 Sportlerinnen).

Tabelle 8: Leistungsunterschiede (W/kg KG) nach Sportkategorie

	Männer (n=244)		Frauen (n=99)	
	Differenz	p-Wert	Differenz	p-Wert
Ausdauer vs. Kraft	+0.7	< 0.001	+0.8	0.006*
Ausdauer vs. „Skill“	+0.4	0.014	+0.8	< 0.001
Ausdauer vs. Spiel	+0.01	0.883	+0.7	< 0.001
Kraft vs. Spiel	-0.7	< 0.001	-0.1	0.687*
Kraft vs. „Skill“	-0.3	0.476	-0.01	0.917*
„Skill“ vs. Spiel	-0.4	0.009	-0.1	0.476

Daten werden in W/kg KG angegeben. *n<10; (n=82 Ausdauersportler; n=28 Kraftsportler; n=19 „Skill“-Sportler; n=115 Spielsportler; n=35 Ausdauersportlerinnen; n=8 Kraftsportlerinnen; n=19 „Skill“-Sportlerinnen; n=37 Spielsportlerinnen)

Männer

Tabelle 8 zeigt, dass die Männer in den Ausdauersportarten (n=82) eine durchschnittlich höhere Leistung (W/kg KG) im Vergleich zu den Kraftsportlern (n=28) aufweisen, mit einem signifikanten Leistungsunterschied von 0.7 W/kg KG ($p < 0.001$). Zudem erwiesen sich die Ausdauerathleten (n=82) als leistungstärker als die Männer in den „Skill“-Sportarten (n=19; 0.4 W/kg KG; $p = 0.014$). Im Vergleich zu den Spielsportlern (n=115) war der Leistungsunterschied zwischen Ausdauersport (n=82) und Spielsport (n=115) jedoch minimal und lag nur bei 0.01 W/kg KG ($p = 0.883$), was auf keinen signifikanten Unterschied hinweist. Der Vergleich zwischen den Kraftsportlern (n=28) und den Spielsportlern (n=115) ergab einen signifikanten Nachteil für die Kraftsportler, die im Durchschnitt um 0.7 W/kg KG schlechter abschnitten ($p < 0.001$). Auch im Vergleich zu den „Skill“-Sportarten (n=19) zeigten die Kraftsportler (n=28) eine geringere Leistung (0.3 W/kg KG; $p = 0.476$). Dieser war jedoch nicht signifikant. Zusätzlich zeigt der Vergleich zwischen den „Skill“- (n=19) und den Spielsportlern (n=115), dass die „Skill“-Sportler eine geringere Leistung erbrachten, mit einem signifikanten Unterschied von 0.4 W/kg KG ($p = 0.009$).

Frauen

Tabelle 8 zeigt, dass die Ausdauersportlerinnen (n=35) eine signifikant höhere Leistung aufweisen als die Frauen in den Kraftsportarten (n=8), mit einem durchschnittlichen Unterschied von 0.8 W/kg KG ($p = 0.006$). Da die Gruppe der Kraftsportlerinnen nur eine Gruppengröße von 8 aufweist, können statistische Aussage und Vergleiche mit dieser nur

als Trend angesehen werden. Im Vergleich zu den „Skill“-Sportlerinnen (n=19) erweist sich die Leistungsfähigkeit der Athletinnen aus dem Ausdauersport (n=35) als überlegen, wobei der Leistungsunterschied hier 0.8 W/kg KG beträgt ($p < 0.001$). Ebenso sind Frauen im Ausdauersport (n=35) leistungstärker als die Spielsportlerinnen (n=37), mit einer Differenz von 0.7 W/kg KG ($p < 0.001$). Im Gegensatz dazu zeigen die Kraftsportlerinnen (n=8) einen geringeren Leistungswert im Vergleich zu den Spielsportlerinnen (n=37). Dieser Unterschied ist nicht signifikant (0.1 W/kg KG; $p = 0.687$). Auch zwischen den Kraftsportlerinnen (n=8) und den „Skill“-Sportlerinnen (n=19; $p = 0.917$) wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt. Ebenso nicht zwischen den „Skill“- und Spielsportlerinnen ($p = 0.476$).

Abbildung 6 veranschaulicht die Leistungsunterschiede (W/kg KG) zwischen den Sportkategorien (n=82 Ausdauersportler; n=28 Kraftsportler; n=19 „Skill“-Sportler; n=115 Spielsportler; n=35 Ausdauersportlerinnen; n=8 Kraftsportlerinnen; n=19 „Skill“-Sportlerinnen; n=37 Spielsportlerinnen).

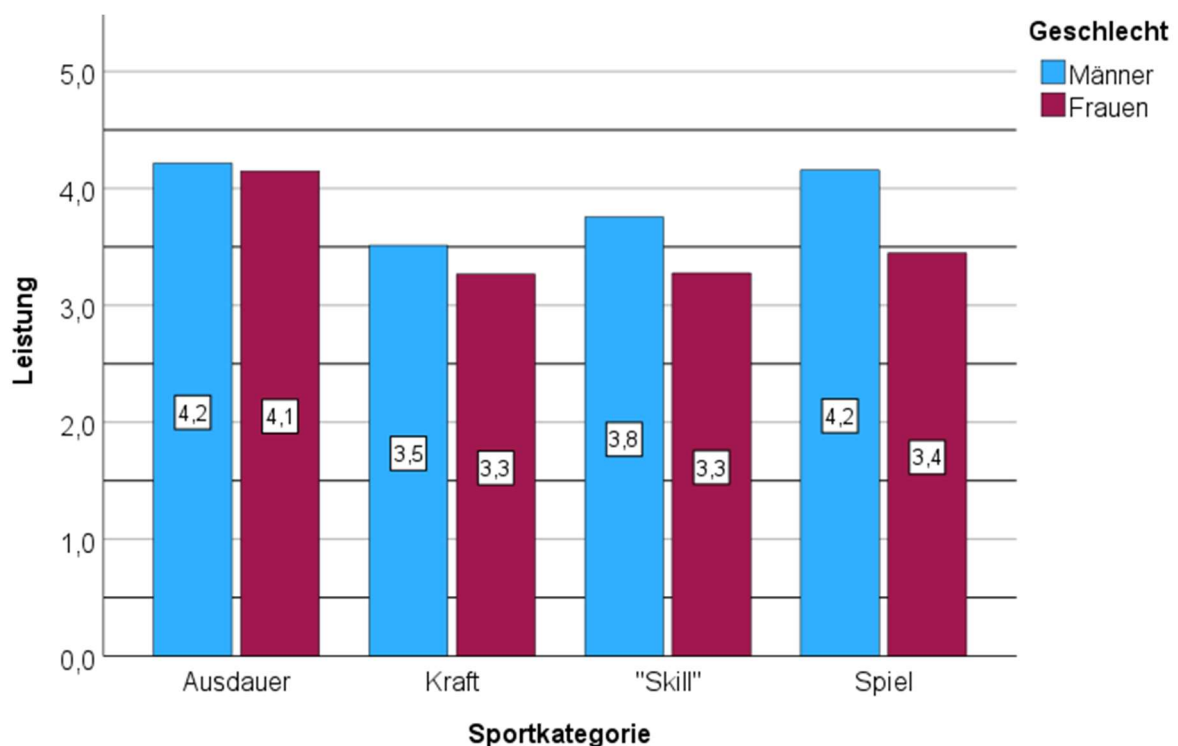


Abbildung 6: Leistungsunterschiede (W/kg KG) nach Sportkategorie

3.3 Alter

Wie bereits in Kapitel 2.2.2 *Altersgruppen* beschrieben, wurde die Variable *Alter zum Testzeitpunkt* in sechs Gruppen aufgeteilt. Folgende Abbildung 7 veranschaulicht die Häufigkeiten in den jeweiligen Gruppen.

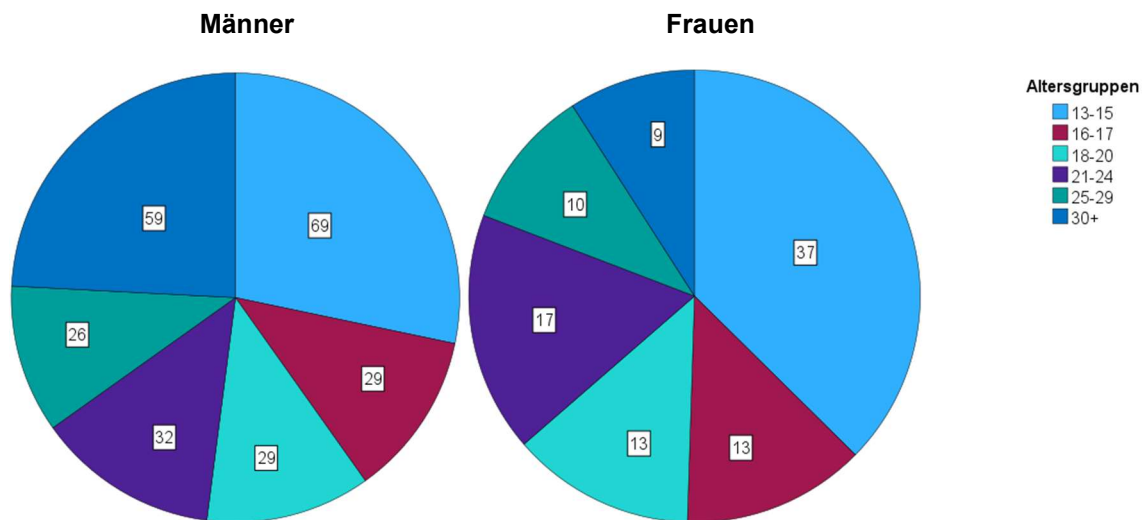


Abbildung 7: Häufigkeiten der Altersgruppen

Abbildung 7 zeigt die Häufigkeit der Teilnehmer*innen in den Altersgruppen, getrennt nach Geschlecht. Bei den männlichen Teilnehmern bildet die Altersgruppe der 13-15-Jährigen (n=69) die größte Gruppe, gefolgt von den Über-30-Jährigen (n=59) und den 21-24-Jährigen (n=32). Die Gruppe der 18-20-Jährigen und die Gruppe der 16-17-Jährigen folgen danach (n=29). Die Gruppe der 25-29-Jährigen (n=26) bildet die kleinste Gruppe.

Bei den weiblichen Teilnehmern ist die Altersgruppe der 13-15-Jährigen (n=37) die größte Gruppe, gefolgt von den 21-24-Jährigen (n=17). Im Anschluss folgen die Gruppen der 18-20-Jährigen (n=13) und 16-17-Jährigen (n=13), sowie die Gruppe der 25-29-Jährigen (n=10). Die kleinste Gruppe bilden die Über-30-Jährigen (n=9).

Tabelle 9 veranschaulicht die anthropometrischen Daten, sowie die im Durchschnitt erreichte Leistung (W/kg KG) nach Sportkategorie.

Tabelle 9: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), BMI (kg/m²) und Leistung (W/kg KG) nach Altersgruppe

		Männer (n=244)					
		13-15 (n=69)	16-17 (n=29)	18-20 (n=29)	21-24 (n=32)	25-29 (n=26)	30+ (n=59)
Anthropometrische Daten	Alter (Jahre)	15 ± 0.1 [14; 1]	17 ± 0.1 [17.2; 1]	20 ± 0.2 [20; 2]	23 ± 0.2 [23; 1]	27 ± 0.3 [27; 3]	43 ± 1 [43; 17]
	Größe (cm)	174.2 ± 1.1 [175; 2]	181.6 ± 1.2 [181; 9]	181.2 ± 1.6 [181; 5]	182 ± 1.4 [179.5; 12]	182.5 ± 1.4 [180; 8]	181.2 ± 0.9 [179.5; 12]
	Gewicht (kg)	62.9 ± 2 [64; 14.3]	75 ± 1.8 [74; 3.8]	76.9 ± 3.7 [76.5; 9]	79.7 ± 1.8 [79; 5]	81.4 ± 2.3 [80; 6]	84 ± 1.3 [82; 5]
	BMI (kg/m ²)	21.5 ± 0.6 [20.6; 3.1]	24.6 ± 1.2 [24.3; 2]	24.4 ± 1.9 [243; 2]	24.1 ± 0.4 [24.3; 1]	24.4 ± 1.9 [24.3; 3]	25.6 ± 0.4 [25.4; 3.4]
Pmax (W/kg KG)		4.3 ± 0.1 [4.2; 0.7]	4.1 ± 0.1 [4.1; 0.9]	4.1 ± 0.1 [4.1; 0.7]	4.2 ± 0.1 [4.2; 1.3]	4.4 ± 0.2 [4.3; 1.5]	3.6 ± 0.1 [3.6; 0.9]
		Frauen (n=99)					
		13-15 (n=37)	16-17 (n=13)	18-20 (n=13)	21-24 (n=17)	25-29 (n=10)	30+ (n=9)
Anthropometrische Daten	Alter (Jahre)	15 ± 0.1 [15; 1]	17 ± 0.2 [17; 1]	19 ± 0.2 [19; 1]	23 ± 0.2 [23; 2]	28 ± 0.5 [28; 2]	39 ± 4 [34; 22]*
	Größe (cm)	164.7 ± 1.2 [163; 9]	164 ± 1.2 [165; 3.8]	165.3 ± 1.1 [164.5; 5.5]	166.9 ± 1.7 [166; 10.8]	167.7 ± 1.2 [168.5; 5]	169.4 ± 2 [169; 11.5]*
	Gewicht (kg)	58.6 ± 2 [57; 14.7]	61.1 ± 5.4 [62; 8.8]	56.9 ± 1.6 [58; 7.3]	63.4 ± 1.8 [63; 5]	61.1 ± 1.2 [61.5; 4.3]	70.4 ± 4.6 [68; 13]*
	BMI (kg/m ²)	21.5 ± 0.6 [20.6; 3.1]	22.7 ± 4.3 [22; 5.6]	22.8 ± 0.5 [21.8; 3.2]	24.1 ± 0.4 [24.3; 1]	21.7 ± 0.4 [21.8; 1.3]	25.6 ± 0.4 [25.4; 3.4]*
Pmax (W/kg KG)		3.6 ± 0.1 [3.6; 1.2]	3.7 ± 0.2 [3.5; 1.1]	3.8 ± 0.2 [3.8; 0.8]	3.9 ± 0.2 [3.6; 1.2]	3.7 ± 0.3 [3.6; 0.9]	3.1 ± 0.3 [3.3; 1.4]*

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. BMI, Body-Mass-Index; *n<10; (Männer: n=69 13-15-Jährige; n=29 16-17-Jährige; n=29 18-20-Jährige; n=32 21-24-Jährige; n=26 25-29-Jährige; n=59 Über-30-Jährige; Frauen: n=37 13-15-Jährige; n=13 16-17-Jährige; n=13 18-20-Jährige; n=17 21-24-Jährige; n=10 25-29-Jährige; n=9 Über-30-Jährige)

Männer

In der Altersgruppe der 13- bis 15-Jährigen (n=69) lag das Durchschnittsalter bei 15 Jahren. Die Körpergröße variierte zwischen 151 cm und 191 cm, während das Gewicht zwischen 36 und 90 kg lag. Der BMI in dieser Altersgruppe variierte zwischen 15.8 bis 32 kg/m². Die relative Leistung reichte von 2.6 bis 5.6 W/kg KG.

In der Altersgruppe der 16- bis 17-Jährigen (n=29) lag das Durchschnittsalter bei 17 Jahren. Die Körpergröße variierte von 167 cm bis 194 cm, und das Gewicht der Teilnehmer reichte von 51 kg bis 92 kg. Der BMI lag zwischen 17.2 und 26.8 kg/m², während die relative Leistung von 2.8 bis 5.3 W/kg KG reichte.

In der Altersgruppe der 18- bis 20-Jährigen (n=29) lag das Durchschnittsalter bei 20 Jahren, während die Körpergröße zwischen 166 cm und 196 cm lag. Das Gewicht variierte von 51 kg bis 96.3 kg, und der BMI variierte zwischen 17 bis 30.1 kg/m². Die relative Leistung wies Werte von 2.6 bis 6.5 W/kg KG auf.

In der Altersgruppe der 21- bis 24-Jährigen (n=32) lag das Durchschnittsalter bei 23 Jahren. Die Körpergröße der Teilnehmer variierte von 171 cm bis 198 cm, und das Gewicht reichte von 62 kg bis 103.4 kg. Der BMI variierte zwischen 19.5 und 29 kg/m² und die relative Leistung lag zwischen 2.8 und 5.8 W/kg KG.

In der Altersgruppe der 25- bis 29-Jährigen (n=26) lag das Durchschnittsalter bei 27 Jahren. Die Körpergröße lag zwischen 173 cm und 198 cm, während das Gewicht von 65 kg bis 104 kg variierte. Der BMI variierte zwischen 19.6 und 29 kg/m², und die relative Leistung reichte von 2.7 bis 6 W/kg KG.

In der Altersgruppe der Über-30-Jährigen (n=59) lag das Durchschnittsalter bei 43 Jahren, während die Körpergröße zwischen 167 cm und 197 cm variierte. Das Gewicht dieser Gruppe variierte zwischen 65 kg bis 118 kg, und der BMI lag zwischen 19.3 und 33.5 kg/m². Die relative Leistung reichte von 1.8 bis 5.4 W/kg KG.

Frauen

In der Altersgruppe der 13- bis 15-Jährigen (n=37) lag das Durchschnittsalter bei 15 Jahren. Die Körpergröße variierte von 154 cm bis 183 cm, während das Gewicht zwischen 37 kg und 90 kg lag. Der BMI variierte zwischen 15.6 bis 30.7 kg/m², und die relative Leistung reichte von 2.3 bis 4.9 W/kg KG.

In der Altersgruppe der 16- bis 17-Jährigen (n=13) lag das Durchschnittsalter bei 17 Jahren. Die Körpergröße variierte von 153 cm bis 170 cm, während das Gewicht zwischen 51 kg und 82 kg lag. Der BMI variierte zwischen 18 und 35 kg/m², während die relative Leistung von 2.9 bis 5 W/kg KG reichte.

In der Altersgruppe der 18- bis 20-Jährigen (n=13) lag das Durchschnittsalter bei 19 Jahren. Die Körpergröße variierte zwischen 161 cm und 172 cm, und das Gewicht lag zwischen 45 kg und 65 kg. Der BMI variierte zwischen 17 bis 24 kg/m², während die relative Leistung Werte von 2.7 bis 5 W/kg KG aufwies.

In der Altersgruppe der 21- bis 24-Jährigen (n=17) lag das Durchschnittsalter bei 23 Jahren. Die Körpergröße der Teilnehmer variierte von 154 cm bis 180 cm, und das Gewicht reichte von 52 kg bis 74.9 kg. Der BMI variierte zwischen 21.2 und 25.8 kg/m², während die relative Leistung zwischen 2.6 und 5.6 W/kg KG lag.

In der Altersgruppe der 25- bis 29-Jährigen (n=10) lag das Durchschnittsalter bei 28 Jahren. Die Körpergröße lag zwischen 162 cm und 174 cm, während das Gewicht von 56 kg bis 69 kg variierte. Der BMI variierte zwischen 20 und 23 kg/m², und die relative Leistung reichte von 2.5 bis 5.6 W/kg KG.

In der Altersgruppe der Über-30-Jährigen (n=9) wiesen ein Durchschnittsalter von 39 Jahren auf. Die Körpergröße variierte zwischen 161.5 cm und 177 cm. Das Gewicht der Teilnehmerinnen lag zwischen 60 kg und 104 kg. Der BMI variierte zwischen 20.6 bis 36 kg/m². Die relative Leistung reichte von 1.7 bis 4.3 W/kg KG.

Abbildung 8 veranschaulicht die Verteilung der Leistung (W/kg KG) getrennt nach Geschlecht (n=244 Männer; n=99 Frauen) zwischen den Altersgruppen (Männer: n=69 13-15-Jährige; n=29 16-17-Jährige; n=29 18-20-Jährige; n=32 21-24-Jährige; n=26 25-29-Jährige; n=59 Über-30-Jährige; Frauen: n=37 13-15-Jährige; n=13 16-17-Jährige; n=13 18-20-Jährige; n=17 21-24-Jährige; n=10 25-29-Jährige; n=9 Über-30-Jährige).

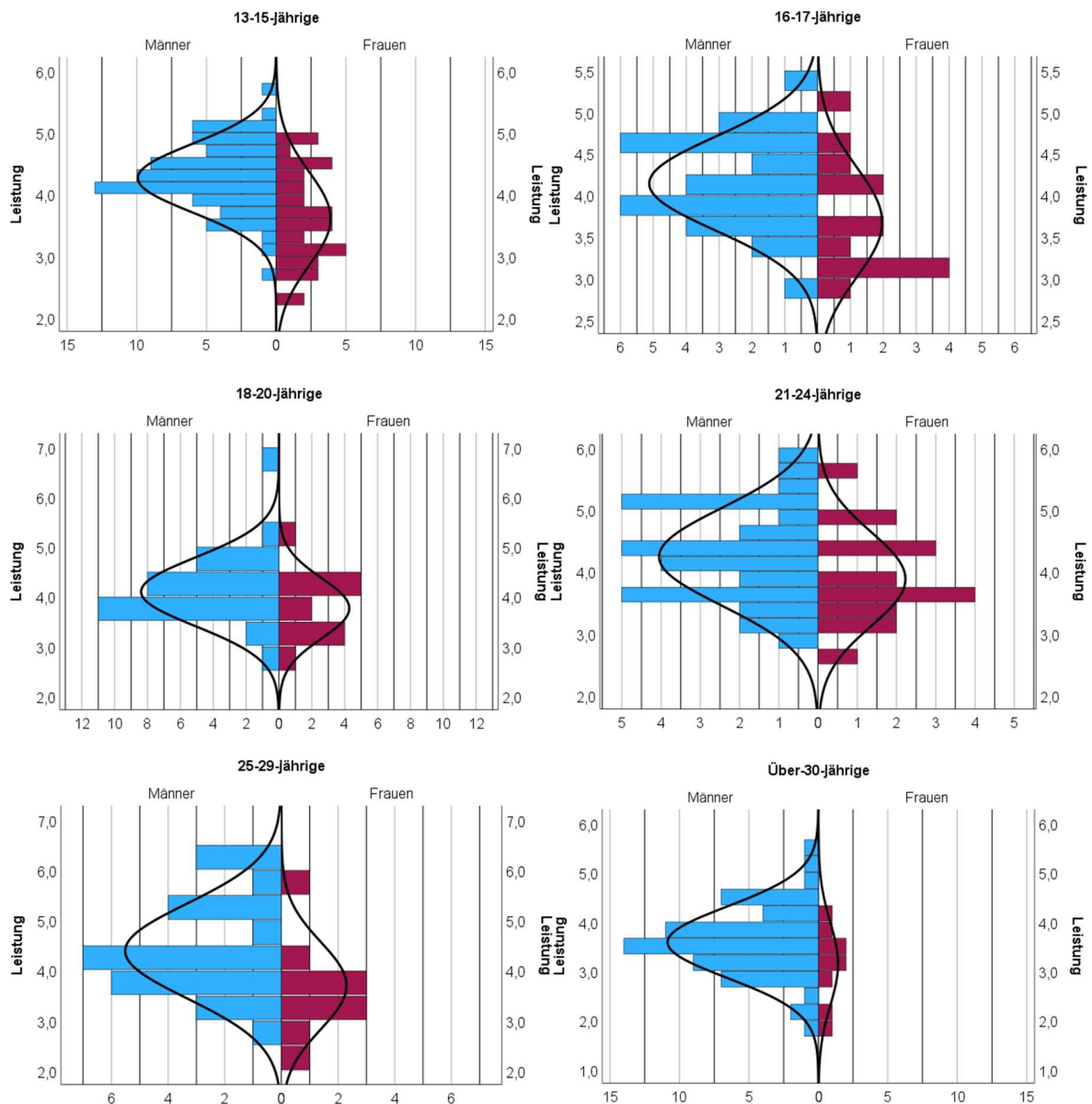


Abbildung 8: Verteilung der Leistung (W/kg KG) nach Altersgruppe

Tabelle 10 veranschaulicht die Leistungsunterschiede (W/kg KG) zwischen den Altersgruppen (Männer: n=69 13-15-Jährige; n=29 16-17-Jährige; n=29 18-20-Jährige; n=32 21-24-Jährige; n=26 25-29-Jährige; n=59 Über-30-Jährige; Frauen: n=37 13-15-Jährige; n=13 16-17-Jährige; n=13 18-20-Jährige; n=17 21-24-Jährige; n=10 25-29-Jährige; n=9 Über-30-Jährige).

Tabelle 10: Leistungsunterschiede (W/kg KG) nach Altersgruppen

	Männer (n=244)		Frauen (n=99)	
	Differenz	p-Wert	Differenz	p-Wert
30+ vs. 13-15	-0.7	< 0.001	-0.5	0.234*
30+ vs. 16-17	-0.5	< 0.001	-0.6	0.256*
30+ vs. 25-29	-0.8	< 0.001	-0.6	0.270*
30+ vs. 18-20	-0.5	0.004	-0.7	0.122*
30+ vs. 21-24	-0.6	< 0.001	-0.8	0.055*
13-15 vs. 16-17	+0.2	0.234	-0.1	0.875
13-15 vs. 25-29	-0.1	0.857	-0.1	0.857
13-15 vs. 18-20	+0.1	0.156	-0.2	0.478
13-15 vs. 21-24	+0.1	0.236	-0.3	0.236
16-17 vs. 25-29	-0.3	0.519	-0.01	0.974
16-17 vs. 18-20	+0.01	0.650	-0.1	0.650
16-17 vs. 21-24	-0.1	0.420	-0.2	0.420
25-29 vs. 18-20	+0.3	0.696	-0.1	0.696
25-29 vs. 21-24	+0.2	0.478	-0.2	0.478
18-20 vs. 21-24	-0.1	0.747	-0.1	0.747

Daten werden in W/kg KG angegeben. *n<10; (Männer: n=69 13-15-Jährige; n=29 16-17-Jährige; n=29 18-20-Jährige; n=32 21-24-Jährige; n=26 25-29-Jährige; n=59 Über-30-Jährige; Frauen: n=37 13-15-Jährige; n=13 16-17-Jährige; n=13 18-20-Jährige; n=17 21-24-Jährige; n=10 25-29-Jährige; n=9 Über-30-Jährige)

Männer

Im Vergleich zwischen den Über-30-Jährigen (n=59) und der Altersgruppe der 13-15-Jährigen (n=69) ergibt sich eine Mittelwertdifferenz von 0.7 W/kg KG ($p < 0.001$), das darauf hinweist, dass die Männer in der älteren Altersgruppe signifikant geringere Leistungen aufweisen. Ebenso zeigt der Vergleich mit der Altersgruppe der 16-17-Jährigen (n=29) eine Mittelwertdifferenz von -0.5 W/kg KG ($p < 0.001$). Weiterhin ist die Leistungsdifferenz zwischen den Über-30-Jährigen (n=59) und den 18-20-Jährigen (n=29) -0.5 W/kg KG ($p = 0.004$), sowie der Vergleich mit der Altersgruppe der 21-24-Jährigen (n=32) -0.6 W/kg KG ($p < 0.001$). Die 25-29-Jährigen erreichten im Durchschnitt sogar 0.8 W/kg KG ($p < 0.001$) mehr. Damit sind die Männer der Über-30-jährigen (n=59) im Vergleich signifikant

weniger leistungsfähig als alle anderen Altersgruppen. Die anderen Gruppenvergleiche waren nicht statistisch signifikant.

Frauen

Die Vergleiche zwischen den Altersgruppen der weiblichen Teilnehmer (n=99) zeigen bei einem Signifikanzniveau von 0.05 keine signifikanten Unterschiede. Folgende Tendenzen lassen sich jedoch erkennen: Der Vergleich zwischen den Über-30-Jährigen (n=9) und den 21- bis 24-Jährigen (n=17) ergibt einen Leistungsunterschied von -0.8 W/kg KG (p=0.055). Der Vergleich der Über-30-Jährigen (n=9) mit den 18- bis 20-Jährigen (n=13) zeigt einen Leistungsunterschied von -0.7 W/kg KG (p=0.122). In der Gegenüberstellung der Über-30-Jährigen (n=9) mit der 16- bis 17-Jährigen (n=13) beträgt der Leistungsunterschied -0.6 W/kg KG (p=0.256). Schließlich weist der Vergleich der Über-30-Jährigen (n=9) mit den 25- bis 29-Jährigen (n=10) ebenfalls einen Leistungsunterschied von -0.6 W/kg KG (p=0.270) auf. Die Ergebnisse sind nicht statistisch signifikant und können auch aufgrund der kleinen Gruppengröße der Kraftsportlerinnen (n=8) nur als Trend betrachtet werden.

Abbildung 9 veranschaulicht die Leistungsunterschiede (W/kg KG) zwischen den Altersgruppen (Männer: n=69 13-15-Jährige; n=29 16-17-Jährige; n=29 18-20-Jährige; n=32 21-24-Jährige; n=26 25-29-Jährige; n=59 Über-30-Jährige; Frauen: n=37 13-15-Jährige; n=13 16-17-Jährige; n=13 18-20-Jährige; n=17 21-24-Jährige; n=10 25-29-Jährige; n=9 Über-30-Jährige).

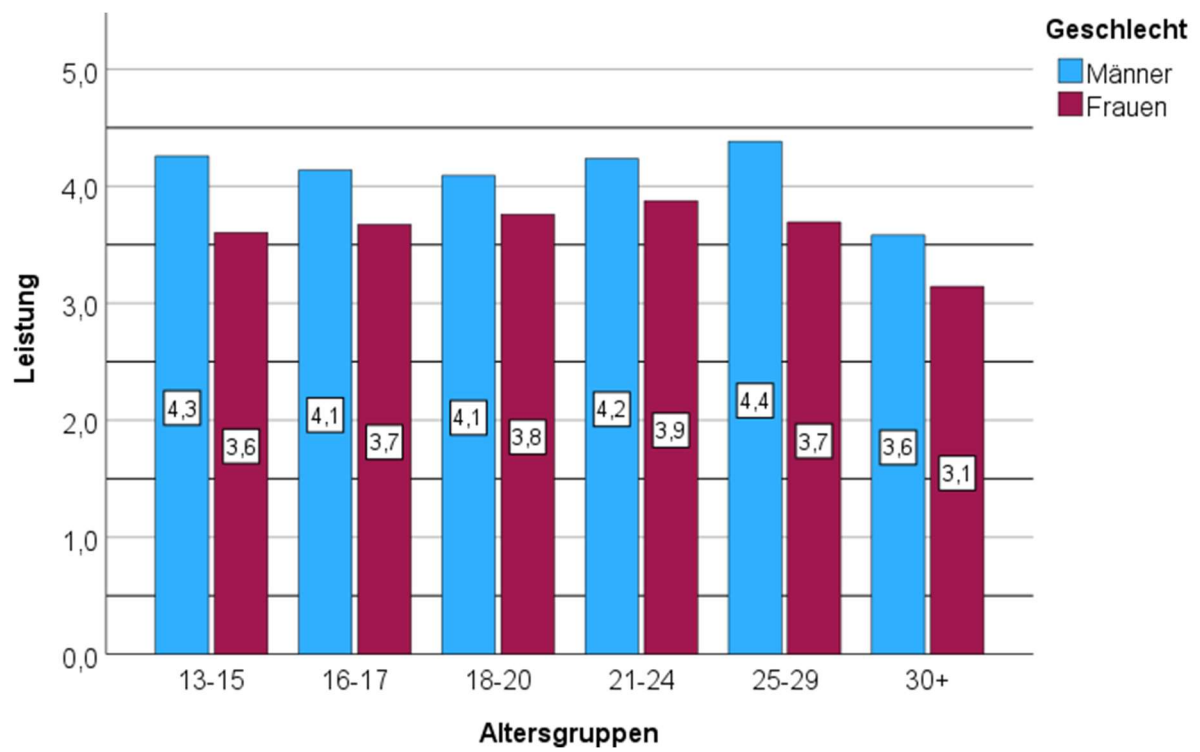


Abbildung 9: Leistungsunterschiede nach Altersgruppe

4 Diskussion

Leistung nach Geschlecht

In dieser Studie wurde die ergometrische Leistungsfähigkeit von Athlet*innen unter Berücksichtigung des Geschlechts eingehend untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die durchschnittliche Pmax der Männer bei 4.1 W/kg KG und die der Frauen bei 3.6 W/kg KG liegt. Stellt man die relative Pmax der Männer und Frauen den Richtwerten gegenüber, so zeigt sich, dass beide Stichproben eine „ausgezeichnete“ Leistungsfähigkeit aufweisen. Für die Kategorie „ausgezeichnet“ gemäß den Sollwerten nach Allen und Coggan (2019) liegt die Grenze für Männer zwischen 3.9 und 5 W/kg KG und für Frauen zwischen 3.3 und 4.3 W/kg KG (siehe Tabelle 2, S. 13).

Des Weiteren bestätigen die Ergebnisse bestätigen, die in der Fachliteratur dokumentierten, geschlechtsspezifischen Unterschiede in der sportlichen Leistungsfähigkeit. Im Durchschnitt zeigen Männer eine höhere Leistungsfähigkeit als Frauen, das sich in den ermittelten Werten deutlich widerspiegelt. In dieser Untersuchung erreichten Männer im Durchschnitt eine um 13.9 Prozent bessere Leistung als Frauen, das zu dem in der Literatur häufig zitierten Wert von 10-15 Prozent passt (Weichenberger et al., 2023). Diese Unterschiede sind biologisch bedingt und resultieren aus verschiedenen physiologischen Faktoren (Millard-Stafford et al., 2018), insbesondere den unterschiedlichen Auswirkungen von Sexualhormonen während der Pubertät. Während Männer einen signifikanten Anstieg von Testosteron erfahren, das zu einer erhöhten Muskelmasse und -kraft führt, erleben Frauen einen Anstieg des Östrogens, der weniger zur Steigerung der Muskelkraft beiträgt (Hunter et al., 2023).

Diese Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, Leistung getrennt nach Geschlecht zu bewerten und zu analysieren, wie es bereits gemäß den SOPs am ÖISM praktiziert wird.

Leistung nach Sportkategorie

Die durchschnittliche Pmax in W/kg KG variiert je nach Sportart und Geschlecht. Bei den Männern betrug die Pmax in der Gruppe der Ausdauersportler 4.2 W/kg KG, während die Kraftsportler eine durchschnittliche Pmax von 3.5 W/kg KG erreichten. Die „Skill“-Sportler wiesen eine durchschnittliche Pmax von 3.8 W/kg KG auf, und die Sportsportler erzielten ebenfalls 4.2 W/kg KG.

Bei den Frauen lagen die Werte natürlicherweise etwas niedriger. Die Ausdauersportlerinnen erreichten eine durchschnittliche P_{max} von 4.1 W/kg KG. In der Kraftsportgruppe war die durchschnittliche P_{max} mit 3.3 W/kg KG vergleichbar, während die „Skill“-Sportlerinnen ebenfalls 3.3 W/kg KG erreichten. Die Sportsportlerinnen wiesen eine durchschnittliche P_{max} von 3.4 W/kg KG auf.

Verdeutlichen lassen sich diese geschlechter- und sportartspezifischen Unterschiede anhand einer Gegenüberstellung mit den Sollwerten nach Allen und Coggan (2019) (siehe Tabelle 2, S. 13). Die männlichen Ausdauer- und Sportsportler wären demnach als „ausgezeichnet“ einzustufen. Kraft- und „Skill“-Sportler wären jeweils als „gut“ zu bewerten. In den Sportkategorien der Frauen wären sogar alle vier Gruppen mit „ausgezeichnet“ zu befunden.

Im gruppeninternen Vergleich zeigen die Ergebnisse deutlich, dass sowohl männliche als auch weibliche Ausdauersportler signifikant bessere Leistungen erbringen als die Proband*innen aus den Kraft- und „Skill“-Sportarten.

Bei den Männern ($n=244$) wurde festgestellt, dass Ausdauersportler im Vergleich zu Kraftsportlern eine durchschnittlich höhere Leistung aufweisen, mit einem signifikanten Unterschied von 0.7 W/kg KG ($p<0.001$). Auch im Vergleich zu den „Skill“-Sportlern waren die Ausdauerathleten leistungsstärker, mit einer Differenz von 0.4 W/kg KG, was als statistisch signifikant gilt ($p=0.014$). Im Vergleich zu den Sportsportlern zeigte sich hingegen nur ein minimaler Unterschied von 0.01 W/kg KG ($p=0.883$), was darauf hindeutet, dass die Anforderungen in den Sportsportarten einige Überschneidungen mit den Ausdauersportarten aufweisen könnten (Pelliccia et al., 2021). Der Vergleich zwischen Kraftsportlern und Sportsportlern ergab einen signifikanten Nachteil für die Kraftsportler, die im Durchschnitt um 0.7 W/kg KG schlechter abschnitten ($p<0.001$). Im Gegensatz dazu war der Leistungsunterschied zwischen den Kraftsportlern und den „Skill“-Sportlern mit -0.3 W/kg KG nicht signifikant ($p=0.476$). Schließlich zeigten die „Skill“-Sportler im Vergleich zu den Sportsportlern eine signifikante geringere Leistung, mit einer Differenz von 0.4 W/kg KG ($p=0.009$).

Bei den Frauen ($n=99$) wiesen die Ausdauersportlerinnen eine signifikant höhere Leistung auf als die Kraftsportlerinnen, mit einer durchschnittlichen Differenz von 0.8 W/kg KG ($p=0.006$). Im Vergleich zu den „Skill“-Sportlerinnen war der Leistungsunterschied ebenfalls signifikant, mit einer Differenz von 0.8 W/kg KG ($p<0.001$), was darauf hinweist,

dass Ausdauersportlerinnen in dieser Gruppe überlegen waren. Auch im Vergleich zu den Sportsportlerinnen war die Leistung der Ausdauersportlerinnen signifikant höher, mit einer Differenz von 0.7 W/kg KG ($p < 0.001$). Im Gegensatz dazu zeigte sich für die Kraftsportlerinnen im Vergleich zu den Sportsportlerinnen kein signifikanter Unterschied, da die Differenz nur -0.1 W/kg KG betrug ($p = 0.687$). Ähnlich war auch der Vergleich zwischen den Kraftsportlerinnen und den „Skill“-Sportlerinnen, bei dem kein signifikanter Unterschied festgestellt wurde (-0.01 W/kg KG; $p = 0.917$). Schließlich gab es auch keinen signifikanten Unterschied zwischen den „Skill“- und den Sportsportlerinnen, die eine Differenz von -0.1 W/kg KG aufwiesen ($p = 0.476$).

Die überlegene Leistung der Ausdauersportler*innen lässt sich durch mehrere Faktoren erklären, die sowohl physiologische als auch trainingsspezifische Dimensionen umfassen. Ausdauersportler*innen entwickeln durch kontinuierliches Training eine höhere aerobe Kapazität, das sich direkt auf ihre Ausdauerleistungsfähigkeit auswirkt. Die Anpassungen des Herz-Kreislauf-Systems, wie eine erhöhte VO_{2max} und eine verbesserte Effizienz im Energiestoffwechsel, spielen dabei eine entscheidende Rolle. Darüber hinaus führt das spezifische Training in Ausdauersportarten zu einem signifikanten Anstieg der ermüdungsresistenten Typ-I-Muskelfasern, das den Athlet*innen ermöglicht, über längere Zeiträume mit höherer Intensität zu arbeiten (Wonisch et al., 2017). Im Gegensatz dazu konzentrieren sich Kraftsportler*innen auf Maximalkraft und explosive Bewegungen, welche vorrangig Typ-II-Muskelfasern trainiert, welche deutlich weniger ermüdungswiderständig sind als Typ-I-Muskelfasern (Anton et al., 2004). Speziell in den „Skill“-Sportarten, wo technische Fertigkeiten und Taktik im Vordergrund stehen (Pelliccia et al., 2021), ist es nicht überraschend, dass diese Sportler*innen im Vergleich zu Ausdauersportler*innen geringere W/kg KG-Werte aufweisen.

Leistung nach Altersgruppe

Die durchschnittliche P_{max} in W/kg KG variiert bei Männern und Frauen je nach Altersgruppe.

Bei den Männern zeigt sich, dass die 13- bis 15-Jährigen eine durchschnittliche P_{max} von 4.3 W/kg KG erreichen. Die 16- bis 17-Jährigen erreichen eine durchschnittliche P_{max} von 4.1 W/kg KG und die 18- bis 20-Jährigen einen Wert auf 4.1 W/kg KG. Die 21- bis 24-Jährigen erzielen ebenfalls eine durchschnittliche P_{max} von 4.2 W/kg KG. Die nächste Altersgruppe, die 25- bis 29-Jährigen, weist mit 4.4 W/kg KG die höchste durchschnittliche

P_{max} auf. Bei den Männern ab 30 Jahren fällt die durchschnittliche P_{max} jedoch auf 3.6 W/kg KG, was den niedrigsten Wert unter den Altersgruppen darstellt.

Im Vergleich dazu zeigen die Frauen ähnliche Trends, jedoch sind die Werte insgesamt niedriger. Die 13- bis 15-Jährigen Frauen erreichen eine durchschnittliche P_{max} von 3.6 W/kg KG, während die 16- bis 17-Jährigen einen Wert von 3.7 W/kg KG erreichen. In der Altersgruppe der 18- bis 20-Jährigen liegt die durchschnittliche P_{max} bei 3.8 W/kg KG, und bei den 21- bis 24-Jährigen erhöht sich der Wert leicht auf 3.9 W/kg KG. Die 25- bis 29-Jährigen Frauen erreichen eine durchschnittliche P_{max} von 3.7 W/kg KG, während die Frauen Über-30 Jahre den niedrigsten Wert mit 3.1 W/kg KG aufweisen.

Stellt man auch diese Ergebnisse mit den Sollwerten nach Allen und Coggan (2019) (siehe Tabelle 2, S. 13) gegenüber, so lassen sich folgende Einteilungen vornehmen: Die Männer in den Gruppen 13-15-Jährige, 16-17-Jährige, 18-20-Jährige, 21-24-Jährige und 25-29-Jährige wären mit „ausgezeichnet“ zu bewerten. Die Gruppe der Über-30-Jährigen wäre mit „gut“ zu befunden. Bei den Frauen wären alle Altersgruppen mit „ausgezeichnet“ zu bewerten.

Beim Vergleich der Altersgruppen untereinander gab es signifikante Unterschiede auf Seite der Männer und Tendenzen auf Seite der Frauen.

Bei den Männern (n=244) zeigten die Über-30-Jährigen im Vergleich zu den 13- bis 15-Jährigen eine signifikant niedrigere Leistung, mit einer Differenz von -0.7 W/kg KG ($p < 0.001$). Auch die Leistung der Über-30-Jährigen war gegenüber den 16- bis 17-Jährigen signifikant geringer, mit einer Differenz von -0.5 W/kg KG ($p < 0.001$). Zudem hatten die Über-30-Jährigen eine signifikant niedrigere Leistung im Vergleich zu den 25- bis 29-Jährigen, mit einer Differenz von -0.8 W/kg KG ($p < 0.001$). Der Vergleich mit den 18- bis 20-Jährigen ergab ebenfalls einen signifikanten Nachteil, mit -0.5 W/kg KG ($p = 0.004$). Außerdem war die Leistung der Über-30-Jährigen signifikant niedriger als die der 21- bis 24-Jährigen mit -0.6 W/kg KG ($p < 0.001$). Diese Befunde deuten darauf hin, dass die Männer der Über-30-Jährigen Gruppe im Vergleich zu allen anderen Altersgruppen signifikant weniger leistungsfähig sind. Diese Ergebnisse stimmen mit dem aktuellen Stand der Forschung überein. Sie bestätigen, dass es bereits ab dem 25. Lebensjahr einen messbaren Rückgang der VO₂max gibt, der sich mit zunehmendem Alter verstärkt (Herraiz-Adillo et al., 2024) und auch, dass es ab dem 30. Lebensjahr einen evaluierbaren Verlust an Muskelmasse und -kraft gibt (Tieland et al., 2018). Der signifikante Unterschied in der

Leistung im Vergleich zu den jüngeren Altersgruppen könnte auch auf unterschiedliche Trainingsumfänge, -intensitäten und -fokuse hinweisen, die im Laufe des Lebens variieren (Valenzuela et al., 2019). Alle anderen Altersgruppenvergleiche waren nicht statistisch signifikant.

Bei den weiblichen Teilnehmern ($n=99$) hingegen zeigen die Vergleiche zwischen den Altersgruppen keine signifikanten Unterschiede ($p>0.05$). Es lassen sich jedoch einige Tendenzen erkennen, die für die Über-30-Jährigen ($n=9$) interessant sind. So wiesen die Frauen in der Gruppe der Über-30-Jährigen einen Leistungsunterschied von -0.8 W/kg KG zu den 21- bis 24-Jährigen auf ($p=0.055$). Im Vergleich zu den 25- bis 29-Jährigen war der Unterschied mit -0.6 W/kg KG ($p=0.270$) ebenfalls bemerkenswert, allerdings nicht signifikant. Bei den weiblichen Teilnehmerinnen sind die Unterschiede weniger ausgeprägt, was möglicherweise auf die geringe Größe der Gruppen und die entsprechenden Schwankungen im Datenmaterial zurückzuführen ist. Es könnte jedoch auch darauf hindeuten, dass Frauen im Alter nicht die gleiche Leistungseinbuße erfahren wie Männer, was mit den Ergebnissen von Korhonen et al. (2003) übereinstimmen würde. Demnach würden Frauen in Bezug auf die $VO_2\text{max}$ relativ geringere Leistungseinbußen im Alter erfahren als Männer (Suominen et al., 2011; Korhonen et al. 2003).

4.1 Limitationen

Stichprobengröße

Diese Arbeit umfasst ein Kollektiv von 243 Studienteilnehmer*innen, was als repräsentative Stichprobe betrachtet werden kann. Die Auswertung erforderte die Bildung mehrerer Gruppen und Kategorien. Dies führte zu einer Reduzierung der effektiven Stichproben in den einzelnen Kategorien. Die Unterteilung nach Geschlecht (Männer: $n=144$; Frauen: $n=99$) war unproblematisch. Bei der zusätzlichen Differenzierung nach Sportkategorie (Ausdauersportler: $n=82$; Kraftsportler: $n=28$; „Skill“-Sportler: $n=19$; Sportsportler: $n=115$; Ausdauersportlerinnen: $n=35$; Kraftsportlerinnen: $n=8$; „Skill“-Sportlerinnen: $n=19$; Sportsportlerinnen: $n=37$) wird jedoch eine Limitation bei der Analyse der weiblichen Teilnehmenden deutlich. Die Gruppe der Kraftsportlerinnen besteht lediglich aus acht Teilnehmerinnen, was valide statistische Aussagen unmöglich macht und eine Auswertung mittels einfaktorieller Varianzanalyse ausschließt.

Auch die Unterteilung nach Altersgruppen (Männer: n=69 für 13-15 Jahre; n=29 für 16-17 Jahre; n=29 für 18-20 Jahre; n=32 für 21-24 Jahre; n=26 für 25-29 Jahre; n=59 für +30 Jahre; Frauen: n=37 für 13-15 Jahre; n=13 für 16-17 Jahre; n=13 für 18-20 Jahre; n=17 für 21-24 Jahre; n=10 für 25-29 Jahre; n=9 für +30 Jahre) stellte eine weitere Limitation dar. Die Gruppe der Über-30-Jährigen Frauen umfasst nur neun Probandinnen, was keine einfaktorielle Varianzanalyse ermöglicht. Die Ergebnisse dieser Altersgruppe sind demnach nicht statistisch valide, sodass sie nur als Trends interpretiert werden können.

Heterogene Belastungsprotokolle

Wie in Kapitel 2 *Methodik* beschrieben, werden Sporttauglichkeitsuntersuchungen am ÖISM gemäß den SOPs durchgeführt. Diese umfasst standardisierte Untersuchungen am Fahrradergometer. Die Belastungsprotokolle sind jedoch individuell an den Fitness- und Gesundheitszustand der Teilnehmer*innen angepasst und basieren auf der geschätzten bzw. berechneten maximalen Leistung. Dies beinhaltet verschiedene Anfangsbelastungen und Inkremente (Wonisch et al. 2008). Die Anfangsbelastungen variieren zwischen 25, 30, 35, 40, 50, 60, 75, 80, 90, 95, 100 und 125 Watt, während die Inkremente entweder 15, 20, 25 oder 30 Watt betragen. Diese Anpassungen verbessern die individuelle Genauigkeit, verringern jedoch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Proband*innen (Weichenberger et al., 2023).

Dank einheitlicher Ergometertypen und Stufendauern sind interdisziplinäre Vergleiche möglich, dennoch stellen die unterschiedlichen Inkremente und Anfangsbelastungen bedeutende Limitationen dar.

Einteilung in Sportkategorien

Pelliccia et al. (2021) beschreiben mehrere Limitationen in Bezug auf die Einteilung der Sportarten in die Kategorien Ausdauer, Kraft, „Skill“ und Spiel. Eine wesentliche Herausforderung ist die Vielfalt der Muskelarbeit, da viele Sportarten unterschiedliche Arten von Muskelanstrengung kombinieren. So erfordern einige Sportarten sowohl Geschicklichkeit, Kraft und Ausdauer, was eindeutige Zuordnungen erschwert (Pelliccia et al., 2021).

Darüber hinaus können auch die physiologischen Anforderungen innerhalb einer Sportart durch verschiedene Disziplinen, Positionen etc. variieren. Eine individuelle

Herangehensweise wäre daher notwendig, um alle Aspekte und Fähigkeiten berücksichtigen zu können (Pelliccia et al., 2021).

Dies verdeutlicht, dass eine Kategorisierung von Sportarten häufig die tatsächlichen Anforderungen und Merkmale der Sportarten nicht adäquat erfasst.

4.2 Schlussfolgerungen

Nach zwei Jahren Laufzeit verzeichnet die Sports Legend-Studie die ersten leistungsphysiologischen und sportmedizinischen Ergebnisse. Wie erwartet bestätigt sich der Leistungsunterschied zwischen den männlichen und weiblichen Probanden*innen. Es zeigen sich signifikante Leistungsunterschiede zwischen den Sportkategorien, welche nach Pelliccia et al. (2021) eingeteilt wurden. Insbesondere zeigen Ausdauersportarten sowohl bei Männern als auch bei Frauen eine deutlich bessere Leistung im Vergleich zu Kraft- und „Skill“-Sportarten. Spielsportarten erreichen ebenfalls weniger Leistung, allerdings weniger stark ausgeprägt und bei der männlichen Stichprobe auch nicht signifikant. Dies darauf hin, dass Ausdauersportler*innen in der Ergometrie tendenziell bessere Ergebnisse erzielen als Kraftsportler*innen und „Skill“-Sportler*innen.

Signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen sind lediglich bei den männlichen Studienteilnehmern festzustellen. Probanden über 30 Jahre erzielten signifikant geringere Leistungen als die anderen Gruppen, was mit den Ergebnissen der aktuellen Forschung übereinstimmt. Bei den weiblichen Teilnehmern konnten keine signifikanten Unterschiede erkannt werden, was auf die geringe Gruppengröße in den Über-30-Jährigen zurückgeführt werden könnte, oder aber die Forschungslage bestätigt, dass Frauen in Bezug auf die Ausdauerleistungsfähigkeit im Alter geringere Leistungseinbußen erfahren als Männer.

In Bezug auf die Sollwerte konnte festgestellt werden, dass die Mehrheit der Stichproben als „ausgezeichnet“ zu bewerten wäre, was nach nach Allen und Coggan (2019) die zweitbeste Kategorie ist. Hierbei stellt sich die Frage, ob die Sollwerte passende gewählt sind, oder eventuell zu niedrig angesetzt. Es könnte auch darauf hindeuten, dass eine Befundung anhand allgemeiner Sollwerte nicht individuell genug ist oder die Grenzwerte zu breit angesetzt sind.

4.3 Forschungsausblick

Ein wesentliches Ziel künftiger Studien sollte die Erweiterung der Stichprobengröße sein. Untersuchungen mit mehreren Tausend Proband*innen würden aussagekräftigere Ergebnisse ermöglichen. Durch umfangreichere Datenbestände könnten die Sportarten sowie Altersgruppen präziser differenziert werden, sodass einzelne Sportarten getrennt analysiert werden können, anstatt sie in übergeordneten Kategorien zusammenzufassen. Zudem wäre es sinnvoll, die Altersgruppen straffer zu definieren oder sogar jahrgangsweise zu untersuchen. Ein solches Vorgehen würde dazu beitragen, die Entwicklungsunterschiede innerhalb spezifischer Altersabschnitte besser zu verstehen. Auch eine Analyse anhand des biologischen Alters könnte dazu beitragen fairere und genauere Ergebnisse zu erhalten. Darüber hinaus könnten die Merkmale Geschlecht, Sportart und Alter kombiniert betrachtet werden. Dies würde es ermöglichen, Leistungsperzentile basierend auf mehreren Attributen zu erstellen, was die Analyse deutlich verfeinern würde. Ein weiterer Aspekt für zukünftige Forschung ist die Einbeziehung zusätzlicher physiologischer Merkmale, die die Leistungsfähigkeit beeinflussen. Beispielsweise könnte die Körperoberfläche als relevanter Faktor in die Untersuchung einfließen, um ein noch umfassenderes Bild der Leistungsunterschiede zu erhalten.

Insgesamt eröffnet diese Arbeit viele Möglichkeiten, die Analysemethoden und -ergebnisse in der Sportwissenschaft zu optimieren und weiterführende Erkenntnisse zu gewinnen.

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Sollwerte für die Fahrradergometrie (Mod. nach Wonisch et al. 2008)</i>	<i>11</i>
<i>Tabelle 2: Sollwerte in W/kg KG (Mod. nach Allen & Coggan, 2019)</i>	<i>13</i>
<i>Tabelle 3: Kategorisierung der Sportarten (Männer)</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 4: Kategorisierung der Sportarten (Frauen)</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 5: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), BMI (kg/m²) und Leistung (W/kg KG) nach Geschlecht</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 6: Leistungsunterschied (W/kg KG) nach Geschlecht</i>	<i>32</i>
<i>Tabelle 7: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), BMI (kg/m²) und Leistung (W/kg KG) nach Sportkategorie</i>	<i>34</i>
<i>Tabelle 8: Leistungsunterschiede (W/kg KG) nach Sportkategorie</i>	<i>37</i>
<i>Tabelle 9: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), BMI (kg/m²) und Leistung (W/kg KG) nach Altersgruppe</i>	<i>40</i>
<i>Tabelle 10: Leistungsunterschiede (W/kg KG) nach Altersgruppen</i>	<i>44</i>

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Ergometer Exercice Bike Excalibur Sport (Convident, 2017)</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 2: Details zur Planung der Studienteilnehmer*innen</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 3: Verteilung der Leistung (W/kg KG) nach Geschlecht.....</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 4: Häufigkeiten der Sportkategorien</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 5: Verteilung der Leistung (W/kg KG) nach Sportkategorie.....</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 6: Leistungsunterschiede (W/kg KG) nach Sportkategorie.....</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 7: Häufigkeiten der Altersgruppen</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 8: Verteilung der Leistung (W/kg KG) nach Altersgruppe.....</i>	<i>43</i>
<i>Abbildung 9: Leistungsunterschiede nach Altersgruppe.....</i>	<i>46</i>

Literaturverzeichnis

- Allen, H., & Coggan, A. R. (2019). *Training and racing with a power meter: Third edition* (3. Aufl.). VeloPress.
- Anton, M. M., Spirduso, W. W., & Tanaka, H. (2004). Age-related declines in anaerobic muscular performance: Weightlifting and powerlifting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(1), 143–147.
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000106283.34742.be>.
- Convident. (2017, September 5). Manufacturer of high quality medical ergometers. Lode. Abgerufen am 10. Dezember 2024. <https://lode-ergometry.com>.
- Csajagi, E. (2020). *SOP Ergometrie*. Österreichisches Institut für Sportmedizin. Stand: April 2020.
- De Marées, H. (2017). Sportphysiologie: Bearb. v. Hermann Heck und Ulrich Bartmus. Sportverlag Strauß.
- GanyMED - Die Software für Ihre Arztpraxis in Österreich. (2017, September 29). Abgerufen am 10. Dezember 2024. <https://www.ganymed.at>.
- Herraiz-Adillo, Á., Ahlqvist, V. H., Higuera-Fresnillo, S., Hedman, K., Hagström, E., Fortuin-de Smidt, M., Daka, B., Lenander, C., Berglind, D., Östgren, C. J., Rådholm, K., Ortega, F. B., & Henriksson, P. (2024). Physical fitness in male adolescents and atherosclerosis in middle age: a population-based cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 58(8), 411–421.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-107663>.
- Hunter, S. K., S. Angadi, S., Bhargava, A., Harper, J., Hirschberg, A. L., D. Levine, B., L. Moreau, K., J. Nokoff, N., Stachenfeld, N. S., & Bermon, S. (2023). The Biological basis of sex differences in athletic performance: Consensus statement for the American college of sports medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 55(12), 2328–2360. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000003300>.
- Korhonen, M. T., Mero, A., & Suominen, H. (2003). Age-related differences in 100-m sprint performance in male and female master runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(8), 1419-1428.

- Mendonca, G. V., Pezarat-Correia, P., Vaz, J. R., Silva, L., & Heffernan, K. S. (2017). Impact of aging on endurance and neuromuscular physical performance: The role of vascular senescence. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 47(4), 583–598. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0596-8>.
- Millard-Stafford, M., Swanson, A. E., & Wittbrodt, M. T. (2018). Nature versus nurture: Have performance gaps between men and women reached an asymptote? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4), 530–535. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0866>.
- ÖISM. (2024, Dezember 5). Abgerufen am 16. Dezember 2024. <https://sportmedizin.or.at/home.html>.
- Pelliccia, A., Sharma, S., Gati, S., Bäck, M., Börjesson, M., Caselli, S., Collet, J.-P., Corrado, D., Drezner, J. A., Halle, M., Hansen, D., Heidbuchel, H., Myers, J., Niebauer, J., Papadakis, M., Piepoli, M. F., Prescott, E., Roos-Hesselink, J. W., Graham Stuart, A., ... Rakhit, D. (2021). 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. *European Heart Journal*, 42(1), 17–96. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa605>.
- Sal de Rellán-Guerra, A., Rey, E., Kalén, A., & Lago-Peñas, C. (2019). Age-related physical and technical match performance changes in elite soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(9), 1421–1427. <https://doi.org/10.1111/sms.13463>.
- Schreinicke, G. (2004). Die Ergometrie in der betriebsärztlichen Praxis (Kap. 10.2.2.1). In F. Hofmann & N. Kralj (Hrsg.), *Handbuch der betriebsärztlichen Praxis*. Landsberg/Lech: Ecomed Medizin. Aus einer Verlags-Leseprobe abgerufen am 18. Dezember 2024 von http://www.huethig-jehle-rehm.de/imperia/md/content/ecomed_medicin/leseproben/lp1_betriebs_rztl.praxis.pdf.
- Statistik Austria [Website]. (2019). Übergewicht und Adipositas. Abgerufen 17. Dezember 2024, von <https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/gesundheit/gesundheitsverhalten/uebergewicht-und-adipositas>.
- Stockhausen, W., Grathwohl, D., Borklin, C., Spranz, P., & Keul, J. (1997). Stage duration and increase of work load in incremental testing on a cycle ergometer. *European*

- journal of applied physiology, 76(4), 295–301.
<https://doi.org/10.1007/s004210050251>.
- Suominen, H. (2011). Ageing and maximal physical performance. *Eur Rev Aging Phys Act* 8, 37–42. <https://doi.org/10.1007/s11556-010-0073-6>.
- Tieland, M., Trouwborst, I., & Clark, B. C. (2018). Skeletal muscle performance and ageing. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 9(1), 3–19.
<https://doi.org/10.1002/jcsm.12238>.
- Valenzuela, P. L., Maffiuletti, N. A., Joyner, M. J., Lucia, A., & Lepers, R. (2020). Lifelong endurance exercise as a countermeasure against age-related $\dot{V}_{O_{2\max}}$ decline: Physiological overview and insights from masters athletes. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(4), 703–716.
<https://doi.org/10.1007/s40279-019-01252-0>.
- Vincent, J., Stergiou, P., & Katz, L. (2009). The role of databases in sport science: Current practice and future potential. *Ucalgary.ca*. Abgerufen 19. Juli 2024, von https://kinesiology.ucalgary.ca/sites/default/files/teams/12/ijcss-volume8_edition2_vincent.pdf.
- Weichenberger, M., Esefeld, K., & Müller, S. (2023). Exercise testing in top athletes. *Herzschrittmachertherapie & Elektrophysiologie*, 34(1), 19–25.
<https://doi.org/10.1007/s00399-022-00916-1>.
- Wonisch M, Berent R, Klicpera M, Laimer H Marko C, Pokan R, Schmid P, Schwann H. (2008) *Journal für Kardiologie - Austrian Journal of Cardiology*; 15 (Supplementum A - Praxisleitlinien Ergometrie), 3-17.
- Wonisch, M., Hofmann, P., Förster, H., Hörtnagl, H., Ledl-Kurkowski, E., & Pokan, R. (Eds.). (2017). Kompendium der Sportmedizin. [doi:10.1007/978-3-211-99716-1](https://doi.org/10.1007/978-3-211-99716-1).