

Aus der
Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik Tübingen
Abteilung V, Sportmedizin
(Schwerpunkt: Leistungsmedizin, spezielle Prävention, spezielle
Rehabilitation)

**Zusammenhang von Herzvolumen und
Ausdauerleistungsfähigkeit**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

**vorgelegt von
Marckmann, Tamina Chiara Elisabeth
2023**

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. C. Burgstahler

2. Berichterstatter: Professor Dr. R. Kaulitz

Tag der Disputation: 27.11.2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis.....	5
1 Einleitung.....	6
1.1 Physiologische Anpassung des Herzens an Ausdauersport.....	6
1.2 Sportherz.....	6
1.3 Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Leistungsfähigkeit.....	7
1.4 Fragestellung der Arbeit.....	8
2 Probanden und Methoden.....	9
2.1 Aufbau der Studie.....	9
2.2 Probanden.....	9
2.3 Untergruppen	10
2.4 Datenerhebung.....	11
2.4.1 Leistungsdiagnostik.....	11
2.4.2 Echokardiographie	13
2.4.3 Statistische Auswertung.....	13
3 Ergebnisse.....	15
3.1 Probandencharakteristika.....	15
3.1.1 Geschlechterverteilung	16
3.1.2 Altersverteilung	16
3.1.3 Herzvolumen	20
3.1.4 Leistung.....	23
3.1.5 Body-Mass-Index (BMI)	26
3.2 Zusammenhang von Herzgröße und Ausdauerleistungsfähigkeit.....	27

3.2.1	Gesamtkollektiv	27
3.2.2	Jugendliche	31
3.2.3	Auswertung nach Geschlecht	34
3.2.4	Auswertung nach Sportart.....	45
3.2.5	Probanden mit vergrößertem Herzvolumen	51
4	Diskussion	58
4.1	Probandenkollektiv	58
4.2	Zusammenhang von Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit ..	59
4.3	Einfluss des Geschlechts	62
4.4	Einfluss des Alters.....	63
4.5	Einfluss der Sportart.....	65
4.6	Probanden mit vergrößertem Herzvolumen	67
4.7	Limitationen der Studie.....	68
5	Zusammenfassung	70
6	Literaturverzeichnis	73
6.1	Literaturverzeichnis	73
6.2	Abbildungsverzeichnis.....	75
6.3	Tabellenverzeichnis.....	78
7	Erklärung zum Eigenanteil.....	81
8	Danksagung	82

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	-	absolut
BMI	-	Body-Mass-Index
FE	-	Fahrradergometrie
HF	-	Herzfrequenz
HV	-	Herzvolumen
IAS	-	individuelle anaerobe Schwelle
KG	-	Körpergewicht
LE	-	Laufbandergometrie
rel.	-	relativ
vergr.	-	vergrößert
VO _{2max}	-	maximale Sauerstoffaufnahme
WP	-	Walkingprotokoll

Anmerkung:

In dieser Arbeit wird zur besseren Lesbarkeit auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Es wird das generische Maskulinum verwendet, mit dem alle Geschlechtsausprägungen gleichermaßen gemeint sind, wenn die verschiedenen Geschlechter nicht ausdrücklich im Vergleich betrachtet werden.

1 Einleitung

1.1 Physiologische Anpassung des Herzens an Ausdauersport

Sport wirkt sich positiv auf das Herz-Kreislauf-System aus und geht mit einer erhöhten Lebenserwartung einher, das ist unumstritten [1-3]. Aber wie genau reagiert unser Herz auf regelmäßigen Ausdauersport? Durch regelmäßiges aerobes Training kommt es sowohl zu regulativen als auch zu strukturellen Anpassungen, deren Ausmaß individuell sehr unterschiedlich sein kann und einem genetischen Einfluss unterliegt [4].

Bereits nach einigen Wochen regelmäßigen Ausdauersports zeigt sich eine funktionelle Adaptation: die Herzfrequenz sinkt, wodurch eine bessere Füllung des Herzens ermöglicht wird und das enddiastolische Volumen steigt [4]. In Zusammenhang mit einer gesteigerten Compliance und der Abnahme des peripheren Widerstandes steigt das Schlagvolumen. Das Zusammenspiel von verringerter Herzfrequenz und erhöhtem Schlagvolumen ökonomisiert die Arbeit des Herzens, es kommt zu einem erhöhten maximalen Herzzeitvolumen [3] und damit zu einer gesteigerten maximalen Sauerstoffaufnahme. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Herzvolumen (HV) und maximaler Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) wurde bereits sowohl bei Athleten und Jugendlichen als auch bei Normalpersonen, die nicht regelmäßig trainieren, nachgewiesen [5]. Die maximale Sauerstoffaufnahme kann unter anderem durch die beschriebenen Anpassungen des Herzens unter Belastung bei hochtrainierten Ausdauersportlern bis auf das 20-fache gesteigert werden, während bei Untrainierten nur eine Steigerung auf das bis zu 12-fache möglich ist [3].

1.2 Sporthertz

Das Sporthertz wurde lange Zeit kontrovers diskutiert. Es gab unterschiedliche Meinungen darüber, ob die Vergrößerung des Herzens in Zusammenhang mit extensivem Ausdauersport eine physiologische Anpassungsreaktion ist, oder ob das vergrößerte Herzvolumen eher einer pathologischen Herzerkrankung

gleichkommt. In heutigen Studien wird jedoch eher belegt, dass es sich hauptsächlich um einen positiven Effekt handelt, der sich von pathologischen Herzmuskelveränderungen abgrenzen lässt [3]. Eine Sportherausbildung wird vor allem bei Ausdauersportlern und in etwas geringerem Maße bei Ballspielsportlern mit viel Laufanteil beobachtet [6] und kaum bei Personen, die in erster Linie Kraftsport betreiben [4]. Die strukturelle Anpassungsreaktion beginnt bei der Überschreitung einer individuellen Belastungsgrenze [3] und umfasst sowohl eine Dilatation der Ventrikel als auch einen Anstieg der ventrikulären Muskelmasse. Dabei handelt es sich im Gegensatz zu pathologischen Herzveränderungen um eine harmonische und exzentrische Herzhypertrophie, die alle vier Herzhöhlen betrifft. Dies führt zu einem deutlich vergrößerten Schlagvolumen und einer kraftvolleren Kontraktion, was die Ausdauerleistung steigert [2, 4]. Damit es zu einer solchen sportbedingten Hypertrophie kommt, bedarf es mindestens 3-4 h Ausdauertraining pro Woche. Ob sich ein Sportherausbildet, unterliegt jedoch starken individuellen Schwankungen. So lässt sich bei manchen Hochleistungssportlern mit hohem Trainingsumfang keine Herzhypertrophie feststellen, wohingegen andere Ausdauersportler mit einem geringeren Trainingsumfang schon eine Vergrößerung des Herzvolumens aufweisen [4]. Der Normbereich von Herzvolumina liegt bei Männern bei 10-12 ml/kg Körpergewicht (KG) und bei Frauen bei etwa 9-11 ml/kg KG [7]. Ein Sportherausbildet kann dagegen bei Männern bis zu 20 ml/kg KG betragen und bei Frauen bis zu 19 ml/kg KG [3, 4]. Kommt es zu einem Trainingsstopp, bildet sich das Sportherausbildet teilweise zurück, es ist also bedingt reversibel [3].

1.3 Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Leistungsfähigkeit

Der Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Leistungsfähigkeit ist bis jetzt nicht sehr umfangreich untersucht, jedoch wird bei einem aufgrund von Ausdauersport vergrößerten Herz auch von einer besonders hohen Leistungsfähigkeit ausgegangen [4]. Die beobachteten Veränderungen wie zum Beispiel die Ventrikeldilatation und die Zunahme der Herzmuskelmasse führen

wie bereits oben beschrieben zu einem vergrößerten Schlagvolumen und dadurch auch, neben anderen körperlichen Anpassungsprozessen, zu einer gesteigerten Sauerstoffaufnahme, was die Ausdauerleistungsfähigkeit verbessert. Der Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit bei untrainierten Personen wurde beispielsweise von Roskamm et al. 1961 im Vergleich zu Ausdauersportlern untersucht. 100 Normalpersonen wurden 237 Sportlern gegenübergestellt und unter anderem ihr Herzvolumen röntgenologisch und ihre Ausdauerleistung über die maximale Sauerstoffaufnahme ermittelt. Die Ergebnisse zeigten nicht nur einen signifikanten Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit bei den männlichen Sportlern, sondern auch bei den untrainierten männlichen Probanden, jedoch etwas weniger stark. Auch bei den weiblichen Sportlern ließ sich ein signifikanter Zusammenhang feststellen, bei den weiblichen Normalpersonen konnte der Zusammenhang nur schwach signifikant gesichert werden ($r=0,28$) [8]. Weitere Studien, bei denen auch bei untrainierten Personen der Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit geprüft wurde, gibt es bisher kaum, der Zusammenhang wird meist auf Ausdauersportler oder auch pathologische Herzveränderungen bezogen.

1.4 Fragestellung der Arbeit

Bisher gibt es vor allem Studien zur Herzgröße in Bezug auf eine Anpassungsreaktion durch Ausdauersport, jedoch sehr wenige zum generellen Zusammenhang von Herzgröße und Leistungsfähigkeit. Deshalb soll in dieser Arbeit der Zusammenhang von Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit anhand von sportmedizinischen Routinedaten untersucht werden und somit die Frage beantwortet werden, ob ohne Berücksichtigung des Trainingsstandes ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern nachzuweisen ist.

2 Probanden und Methoden

2.1 Aufbau der Studie

Bei dieser Studie handelt es sich um eine retrospektive Analyse von anonymisierten Routinedaten aus der Abteilung für Sportmedizin der Medizinischen Klinik am Universitätsklinikum Tübingen. Anhand dieser Daten soll der Zusammenhang von Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit untersucht werden. Bei den Probanden handelt es sich um das gemischte Klientel der Sportmedizin Tübingen, die alle im Rahmen einer sportmedizinischen Diagnostik eine echokardiographische Herzvolumenbestimmung und eine Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit mittels Laktatdiagnostik bekommen haben. Die Daten wurden gesichtet und unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht statistisch ausgewertet. Anschließend wurden die Ergebnisse interpretiert und diskutiert.

Da die Daten für die Studie vollständig anonymisiert wurden, ist nach Rücksprache mit der Ethikkommission kein Ethikvotum erforderlich.

2.2 Probanden

Bei der vorliegenden retrospektiven Analyse werden Daten von gesunden und erkrankten Personen ausgewertet, die in der Sportmedizin im Rahmen einer sportmedizinischen Untersuchung eine Leistungsdiagnostik und eine Echokardiographie bekommen haben. Dabei handelt es sich um ein gemischtes Kollektiv, das unter anderem aus Kadersportlern, Patienten der Sportmedizin und (Freizeit-)Sportlern besteht. Einige wenige Probanden, die ein besonders großes Herzvolumen in Verbindung mit einer sehr geringen Ausdauerleistungsfähigkeit aufwiesen, wurden aus der Studie ausgeschlossen, da anzunehmen ist, dass die Probanden eine pathologische Herzvolumenvergrößerung aufgrund einer Herzerkrankung haben.

Insgesamt wurden Daten von 7763 Probanden ausgewertet. Bei Probanden, die im entsprechenden Zeitraum mehrere Untersuchungen hatten, wurde jeweils nur der erste Termin in die Auswertung eingeschlossen.

Für die Auswertung wurden die Daten in drei unabhängige Gruppen aufgeteilt, entsprechend der Art der Ergometrie, mit der die Daten erhoben wurden (Fahrradergometrie, Laufbandergometrie, Walkingprotokoll), da die Daten nicht direkt miteinander vergleichbar sind.

2.3 Untergruppen

Für eine bessere Analyse der Einflussfaktoren wurden mehrere Untergruppen des Probandenkollektivs gesondert ausgewertet. So wurden die Daten nach Geschlecht (weiblich/männlich) aufgeteilt und auch die erhobenen Daten der Jugendlichen (≤ 18 Jahre) wurden getrennt ausgewertet. Bei einem Teil der Probanden wurde außerdem bei ihrer Vorstellung in der Sportmedizin Tübingen dokumentiert, welche Sportart sie in erster Linie ausüben. Diese Sportarten wurden den drei Gruppen Ausdauersport, Kraftsport/Techniksport und Spielsport zugeordnet und die Daten entsprechend der jeweiligen Ergometrieart ausgewertet.

Zuordnung der Sportarten:

Ausdauersport: Triathlon, Ski-Nordisch, Radsport, Leichtathletik, Inline-Skating, Schwimmen, Rollkunstlauf

Kraftsport/Techniksport: Taekwondo, Karate, Judo, Jiu-Jitsu, Klettern, Gewichtheben, Trampolin, Schießen, Reiten, Kunstturnen, Golf, Sportakrobatik, Segeln, Tanzen, Snowboard, Ski-Alpin, Rhythmische Sportgymnastik

Spielsport: Volleyball, Wasserball, Tischtennis, Tennis, Radball, Sitzvolleyball, Badminton, Handball, Fußball, Faustball, Eishockey

Eine weitere Untergruppe stellt die Gruppe der Probanden dar, die ein vergrößertes Herzvolumen in der Echokardiographie aufweisen. In diese Gruppe eingeschlossen wurden alle Personen, bei denen ein Herzvolumen gemessen

wurde, das größer ist als der Normwert. Bei den Frauen entspricht das allen Probanden mit einem Herzvolumen >11 ml/kg KG (Normwert 9-11 ml/kg KG), bei den Männern allen Probanden mit einem Herzvolumen >12 ml/kg KG (Normwert 10-12 ml/kg KG) [7].

Aufgrund der geringen Probandenanzahl wurden bei den Untergruppen nach Sportart und der Untergruppe Jugendliche diejenigen Daten, die mittels Walkingprotokoll erhoben wurden, nicht analysiert, ebenso bei der Untergruppe Spisportler diejenigen Daten, die mittels Fahrradergometrie erhoben wurden.

2.4 Datenerhebung

Alle Daten wurden im Rahmen einer sportmedizinischen Untersuchung zwischen dem 15.01.2008 und dem 21.01.2019 in der Abteilung für Sportmedizin am Universitätsklinikum Tübingen erhoben. Alle eingeschlossenen Probanden erhielten sowohl eine Laktat-Leistungsdiagnostik als auch eine Echokardiographie zur Bestimmung des Herzvolumens. Diese beiden Untersuchungen sollen im Folgenden genauer beschrieben werden.

2.4.1 Leistungsdiagnostik

Eine gängige Methode zur Erfassung der Ausdauerleistungsfähigkeit ist die Laktat-Leistungsdiagnostik [9]. Dabei durchläuft der Proband einen Ausdauerbelastungstest, typischerweise entweder auf dem Fahrradergometer oder auf dem Laufband. Prinzipiell ist auch eine Leistungsdiagnostik auf dem Ruderergometer möglich, diese wird jedoch an der Sportmedizin in Tübingen nicht vorgehalten. Die Art der Ergometrie wird nach Sportart, Vorliebe und klinischer Fragestellung des Probanden ausgewählt. Die Belastung wird nach standardisierten Protokollen in gleichmäßigen Abständen von 3 Minuten gesteigert und auf jeder Belastungsstufe wird für die Laktatmessung mit einem Kapillarröhrchen am Ohr des Sportlers Blut abgenommen. Die Belastung wird bis zur subjektiven Ausbelastung gesteigert und/oder auf Wunsch des Probanden bzw. beim Auftreten von Abbruchkriterien (z.B. erhöhter Blutdruck, Herzrhythmusstörungen) beendet. Mit den Ergebnissen der Laktatmessung wird

bei jedem Probanden die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) bestimmt, die als Maß für die Ausdauerleistungsfähigkeit verwendet werden kann. Gleichzeitig wird zur Überwachung des Probanden in regelmäßigen Abständen der Blutdruck gemessen und ein Belastungs-EKG aufgezeichnet, um Pathologien, die unter Belastung auftreten, zu erkennen. Blutdruck und EKG sind für die hier diskutierte Fragestellung nicht von Bedeutung und werden deshalb nicht in die Auswertung einbezogen.

2.4.1.1 Fahrradergometrie

Bei einer Leistungsdiagnostik auf dem Fahrrad gibt es verschiedene Belastungsprotokolle zur Auswahl, die je nach Trainingsstand und erwarteter maximaler Ausdauerleistung ausgewählt werden. Es wird beispielsweise mit einer Belastung von 50 Watt begonnen und alle 3 Minuten eine Steigerung um 25 oder 30 Watt vorgenommen. Die IAS wird hier also in Watt angegeben. Da der absolute Wert der IAS auch vom Körpergewicht abhängig ist, wird bei der Fahrradergometrie die Leistung als relative Leistung (pro kg KG) in die Auswertung miteingeschlossen.

2.4.1.2 Laufbandergometrie

Bei der Laufbandergometrie wird die Belastung je nach Trainingszustand mit 4, 6 oder 8 km/h gestartet und dann im Abstand von 3 Minuten um je 2 km/h gesteigert. Hier wird die IAS in km/h angegeben und nicht auf das Körpergewicht bezogen.

2.4.1.3 Walkingprotokoll

Im Schrittempo wird auf dem Laufband ebenfalls mit einer geringen Geschwindigkeit gestartet, die stufenweise erhöht wird. Beim Walkingprotokoll wird die Leistung in Watt gemessen und kann als absolute Leistung in der Auswertung verwendet werden. Hierbei errechnet sich die Leistung mittels Körpergewichts, Laufbandsteigung und Laufbandgeschwindigkeit (Leistung = Körpergewicht x Erdbeschleunigung x Laufbandsteigung x Laufbandgeschwindigkeit).

2.4.2 Echokardiographie

Die Echokardiographie ist als nicht-invasives und gut verfügbares Verfahren eine der wichtigsten Methoden zur kardialen Bildgebung [10] und wird in der Sportmedizin regelmäßig angewendet, um beispielsweise das Herzvolumen zu bestimmen und eventuelle Pathologien zu diagnostizieren wie Klappenvitien oder strukturelle Herzerkrankungen. Alle Probanden haben eine transthorakale echokardiographische Untersuchung des Herzens bekommen, bei der das Herzvolumen mittels modifizierter Simpson-Regel aus enddiastolischem linksventrikulären Quer- und Längsdurchmesser bestimmt wird [11]. Das Herzvolumen wird in ml/kg Körpergewicht angegeben.

2.4.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm IBM SPSS Statistics (Software Version 25, Home-Use Student).

Die Normalverteilung der Daten wurde mittels Histogramms, Q-Q-Plot, Box-Plot und Schiefe und Kurtosis geprüft, außerdem wurde eine Multikollinearität ausgeschlossen.

Da in erster Linie der Effekt des Herzvolumens auf die Ausdauerleistungsfähigkeit geprüft werden soll, wurde die Analyse zunächst mit einer einfachen, dann mit einer multiplen Regression durchgeführt, um auch den Einfluss weiterer Variablen wie Alter und Geschlecht betrachten zu können. Der Mittelwert beschreibt dabei den statistischen Durchschnittswert, die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Messwerte um den Mittelwert. Bei einer geringen Standardabweichung sammeln sich die Messwerte eher eng um den Mittelwert, bei einer größeren Standardabweichung ist die Verteilung um den Mittelwert deutlich breiter. Bei normalverteilten Daten liegen etwa 68% der Daten innerhalb einer Standardabweichung um den Mittelwert [12].

Das relative Herzvolumen und die Leistungsfähigkeit (absolut bzw. relativ) des Gesamtkollektivs und auch der Untergruppen wurden zunächst in einem Streudiagramm gegeneinander aufgetragen mit Berechnung einer Regressionsgeraden. Anschließend wurde eine einfache lineare Regression gerechnet, um den Einfluss des Herzvolumens auf die Leistungsfähigkeit zu

prüfen. In einer weiteren Analyse wurden je nach Gruppe noch weitere Einflussfaktoren eingeschlossen und eine multiple lineare Regression gerechnet. Mögliche weitere Einflussfaktoren waren das Geschlecht und das Alter. Bei der einfachen linearen Regression wurde das unkorrigierte Bestimmtheitsmaß R^2 verwendet, während bei der multiplen linearen Regression das korrigierte Bestimmtheitsmaß R^2 verwendet wurde.

Das Signifikanzniveau wurde auf $p \leq 0,05$ festgelegt.

Die Analyse wurde von Frau Lina Maria Serna Higuera vom Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie (IKEaB) der Universität Tübingen unterstützt.

3 Ergebnisse

3.1 Probandencharakteristika

Insgesamt wurden 7763 Probanden in die Studie eingeschlossen. Es konnte eine Untergruppe von 1873 Jugendlichen im Alter von bis zu 18 Jahren ausgewertet werden. Von insgesamt 398 Probanden lagen Daten zu ihrer hauptsächlich ausgeübten Sportart vor. Da bei den Probanden, bei denen die Ausdauerleistungsfähigkeit mittels Walkingprotokoll erfasst wurde, keine Probanden mit bekannter Sportart vorhanden waren, wurde diese Gruppe von der sportartspezifischen Auswertung ausgeschlossen, ebenso wie die Gruppe der Probanden, die eine Spielsportart angegeben hatten und deren Ausdauerleistungsfähigkeit mittels Fahrradergometrie erhoben wurde, bei der zwar Probanden mit bekannter Sportart vorhanden waren, jedoch nicht ausreichend viele (n=12 von 2792). Bei insgesamt 2204 Probanden wurde ein Herzvolumen gemessen, das über dem Normwert lag, diese wurden als weitere Untergruppe analysiert.

Tabelle 1: Übersicht der Auswertungsgruppen mit Probandenanzahl

	Fahrradergometrie		Laufbandergometrie		Walkingprotokoll	
Gesamtkollektiv	2792		3556		1415	
...davon w/m	807	1985	1253	2303	915	500
Jugendliche	591		1282		28	
...davon w/m	237	354	607	675	16	12
Ausdauersportler	77		131		0	
Kraft- /Techniksportler	52		53		0	
Spielsportler	12		85		0	
Vergrößertes HV (w/m)	266	502	585	739	76	36

w = weiblich, m = männlich, HV = Herzvolumen

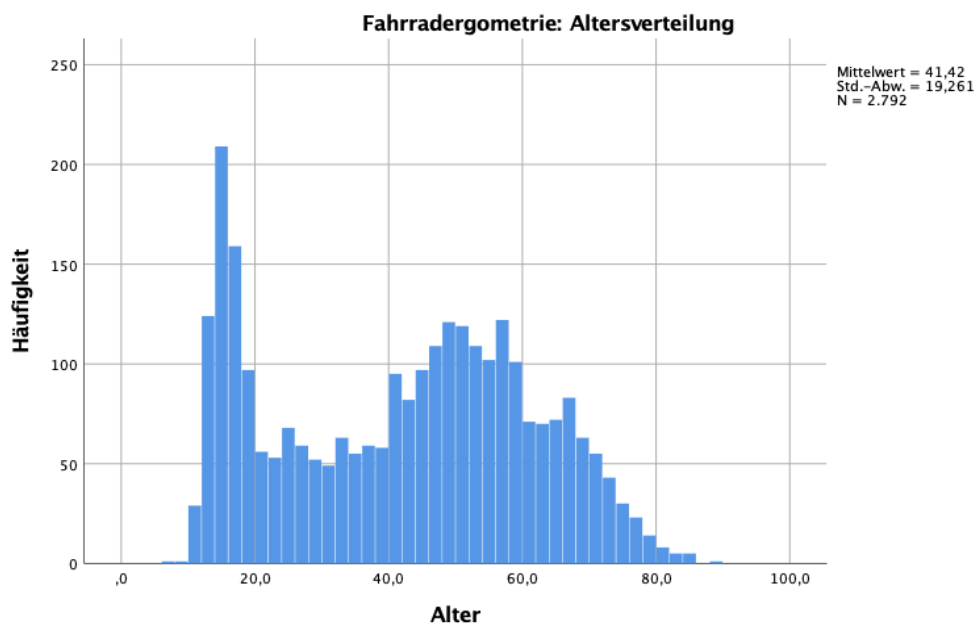
3.1.1 Geschlechterverteilung

Von den insgesamt 7763 Probanden waren 38,3 % weiblich und 61,7 % männlich. Zugeordnet zu den verschiedenen Arten der Leistungsdiagnostik ergaben sich bei der Fahrradergometrie 28,9 % weibliche und 71,1 % männliche Probanden, bei der Laufbandergometrie 35,2 % weibliche und 64,8 % männliche Probanden und beim Walkingprotokoll 64,7 % weibliche und 35,3 % männliche Probanden. Bei den Jugendlichen fiel die Geschlechterverteilung weniger ungleich aus, bei der Fahrradergometrie waren die Daten in 40,1 % von Mädchen und in 59,9 % von Jungen und bei der Laufbandergometrie war das Geschlechterverhältnis mit 47,3 % Mädchen und 52,7 % Jungen fast ausgeglichen.

3.1.2 Altersverteilung

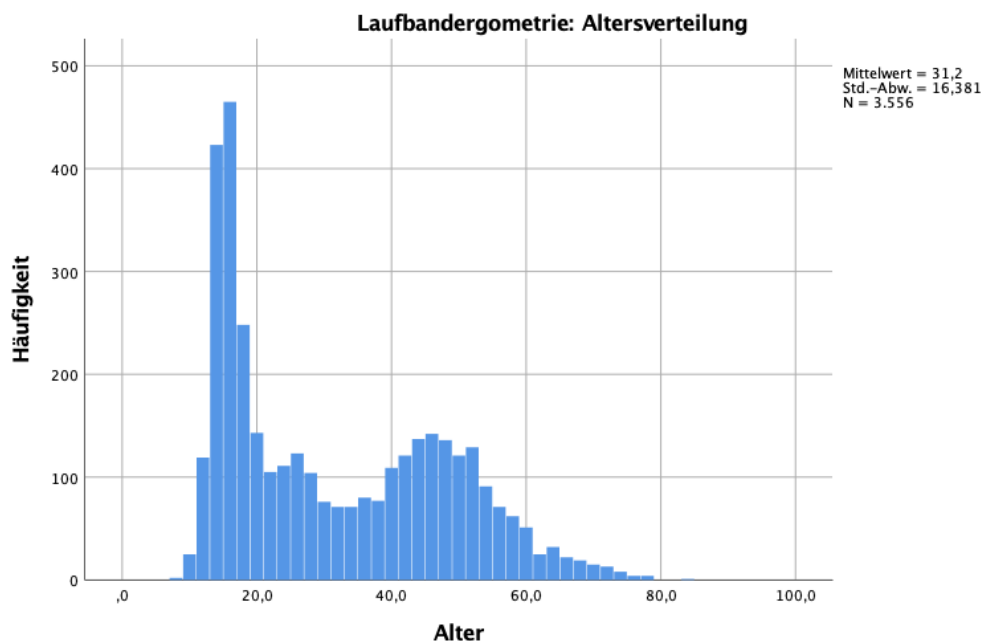
Bei den Probanden, bei denen die Ausdauerleistung mittels Fahrradergometrie erfasst wurde, war das durchschnittliche Alter 41 Jahre mit einer Standardabweichung von 19 Jahren. Es zeigten sich bei der Fahrradergometrie und der Laufbandergometrie jeweils zwei Peaks, einer im mittleren Alter zwischen 40 und 60 Jahren, ein anderer im Bereich der Jugendlichen, aufgrund der Kadersportler, die in der Sportmedizin Tübingen angebunden sind.

Abbildung 1: Altersverteilung Kollektiv Fahrradergometrie



Bei der Laufbandergometrie-Gruppe betrug das Alter im Durchschnitt 31 +/- 16 Jahre.

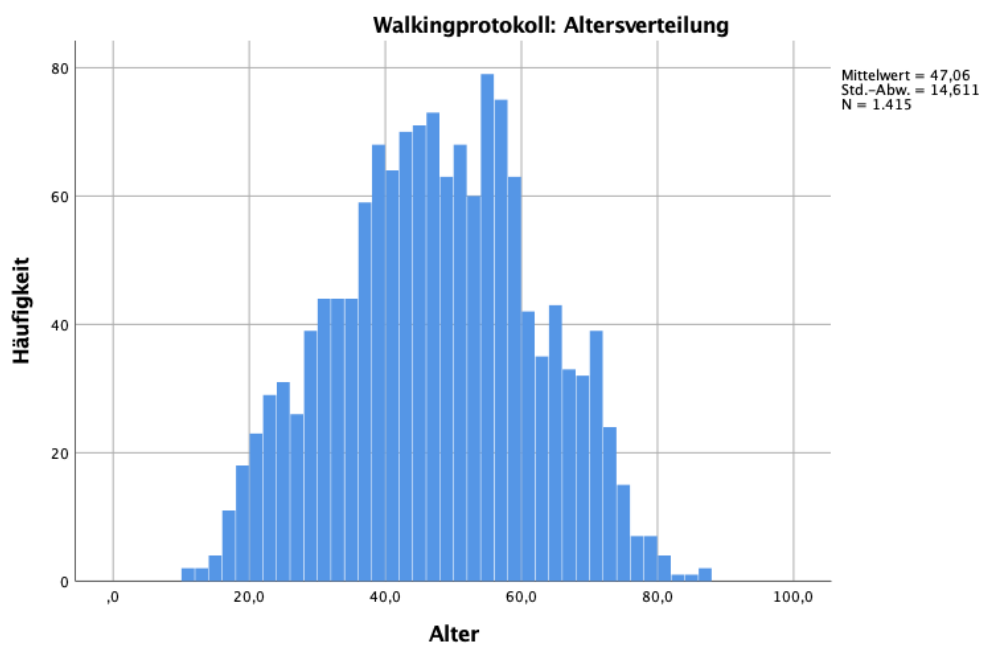
Abbildung 2: Altersverteilung Kollektiv Laufbandergometrie



Bei den Probanden, bei denen die Ausdauerleistungsfähigkeit auf dem Laufband mit Walkingprotokoll erfasst wurde, war der Altersdurchschnitt mit 47 Jahren höher, die Standardabweichung betrug 15 Jahre. Außerdem fällt hier auf, dass

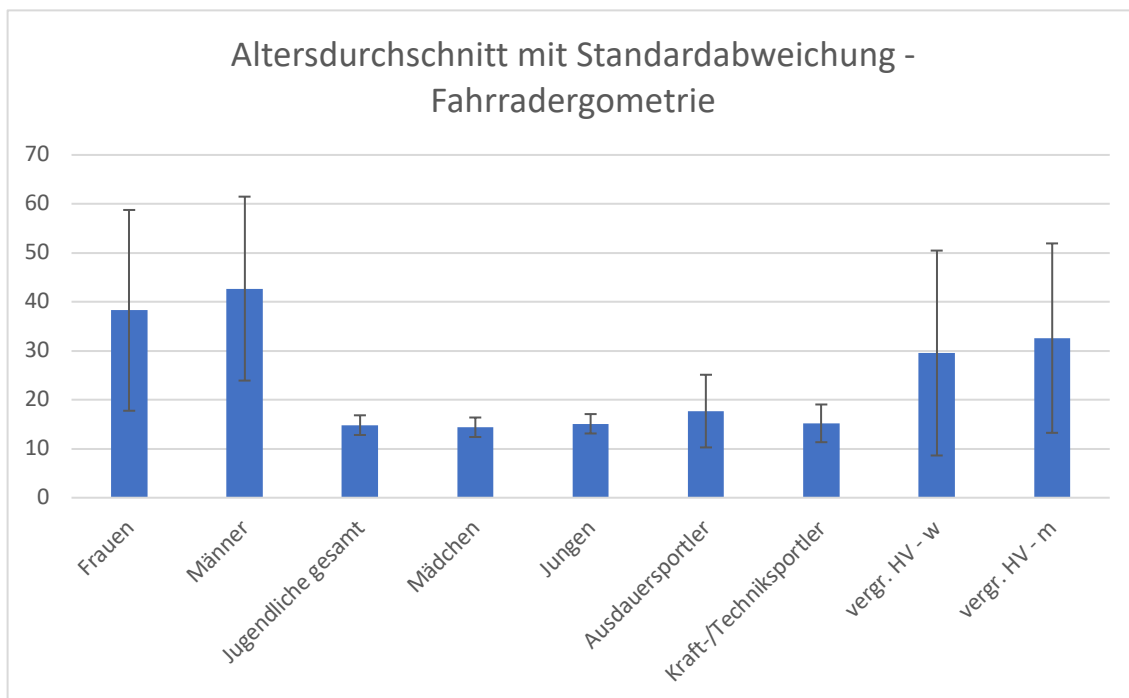
der erste Peak im Bereich der Jugendlichen nicht vorhanden ist, da es sich im jugendlichen Bereich in erster Linie um Leistungssportler handelt, deren Ausdauerleistung nicht mittels Walkingprotokoll ermittelt wird.

Abbildung 3: Altersverteilung Kollektiv Walkingprotokoll



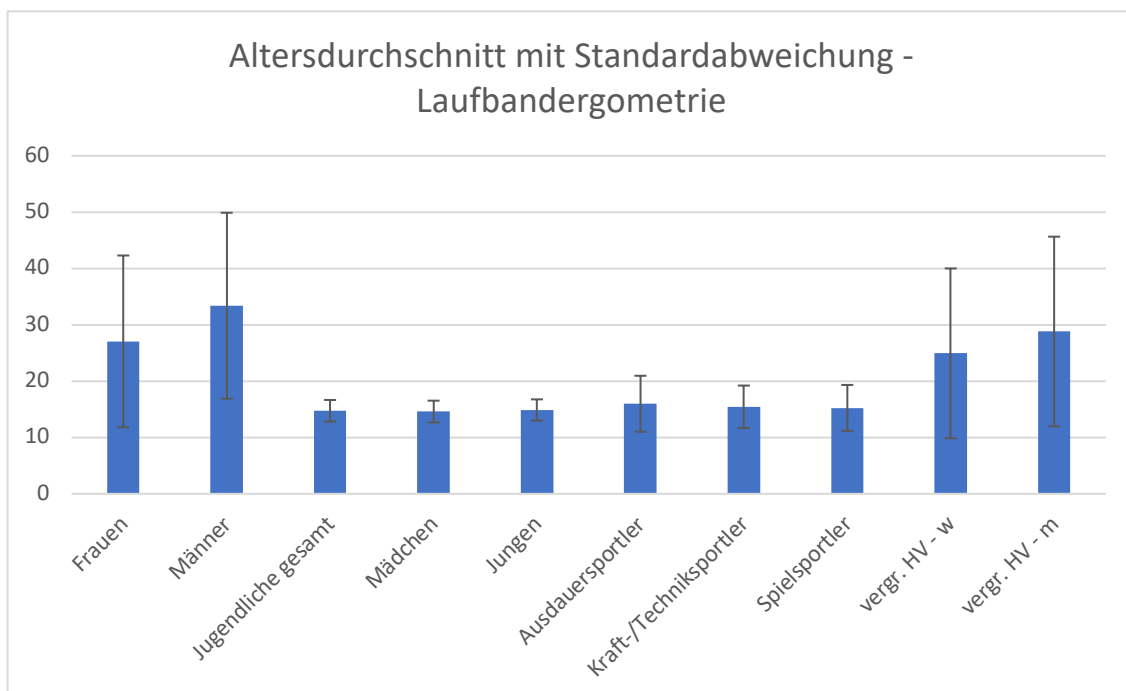
Die Altersverteilung in den Untergruppen ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 4: Altersdurchschnitt der Untergruppen - Fahrradergometrie (Alter in Jahren)



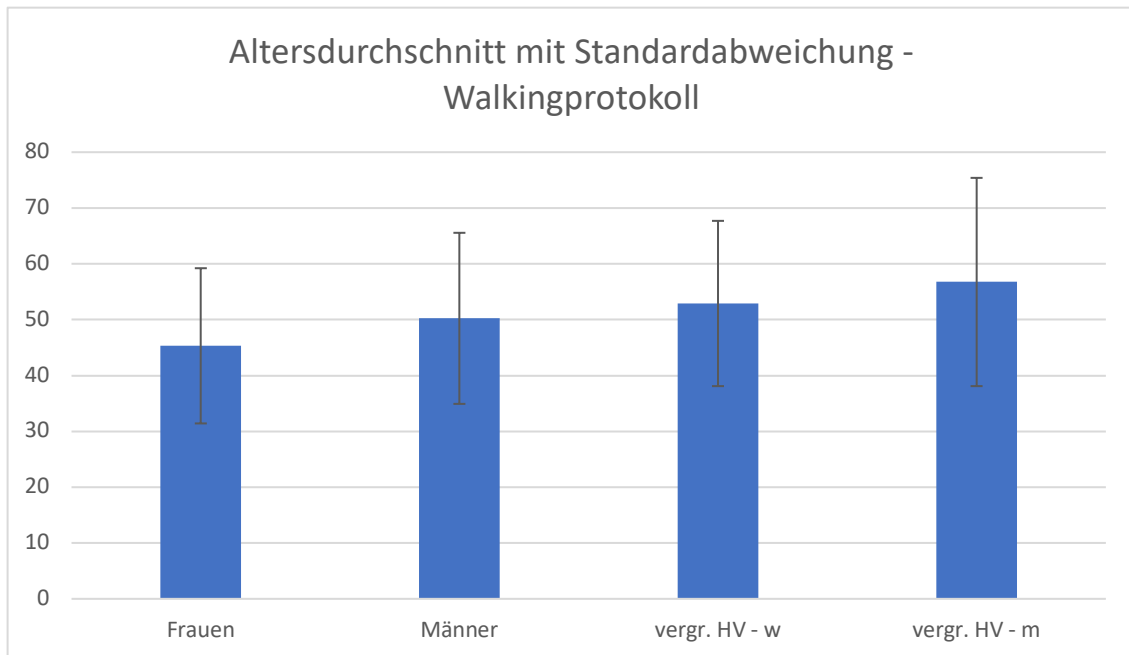
w = weiblich, m = männlich, HV = Herzvolumen, vergr. = vergrößert

Abbildung 5: Altersdurchschnitt der Untergruppen – Laufbandergometrie (Alter in Jahren)



w = weiblich, m = männlich, HV = Herzvolumen, vergr. = vergrößert

Abbildung 6: Altersdurchschnitt der Untergruppen - Walkingprotokoll (Alter in Jahren)

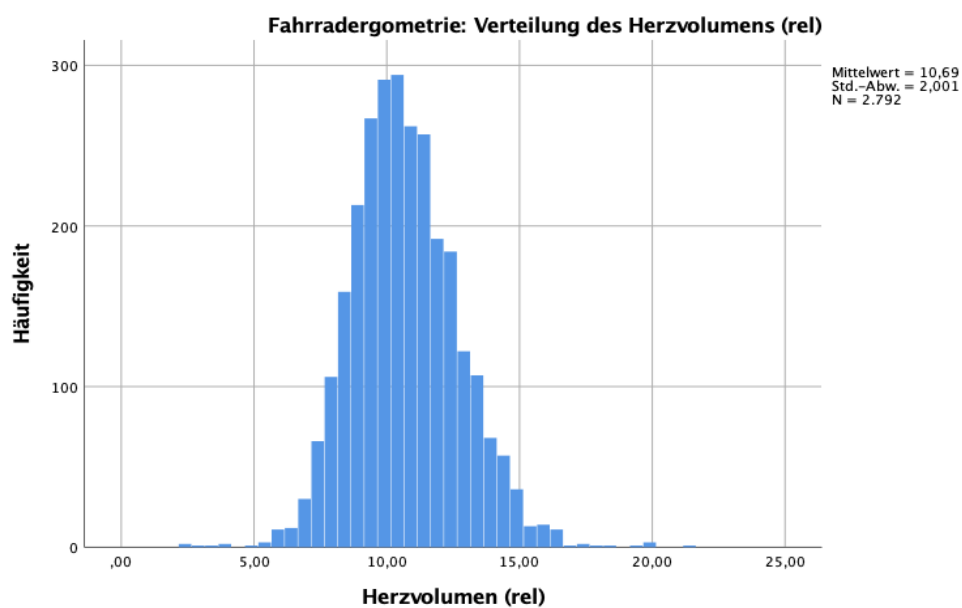


w = weiblich, m = männlich, HV = Herzvolumen, vergr. = vergrößert

3.1.3 Herzvolumen

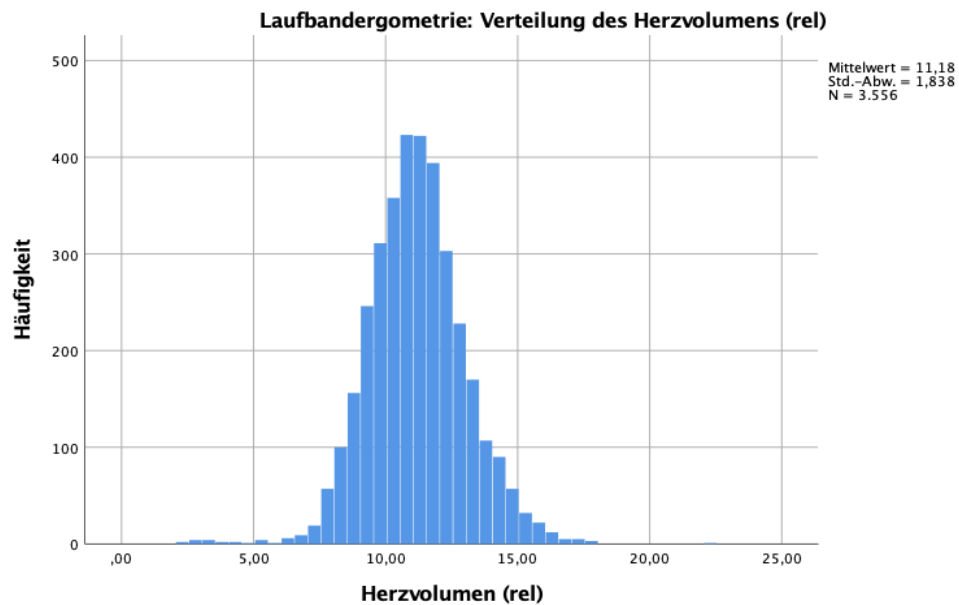
Das relative Herzvolumen in der Gruppe Fahrradergometrie lag im Mittel bei 10,7 ml/kg KG mit einer Standardabweichung von 2 ml/kg KG.

Abbildung 7: Verteilung des Herzvolumens – Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG)



Bei den Probanden der Gruppe Laufbandergometrie lag das relative Herzvolumen im Mittel bei 11,2 ml/kg KG mit einer Standardabweichung von 1,8 ml/kg KG.

Abbildung 8: Verteilung des Herzvolumens – Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG)



Der Mittelwert des relativen Herzvolumens beträgt bei den Probanden des Walkingprotokolls 8,2 ml/kg KG mit einer Standardabweichung von 2,1 ml/kg KG.

Abbildung 9: Verteilung des Herzvolumens – Walkingprotokoll (HV in ml/kg KG)

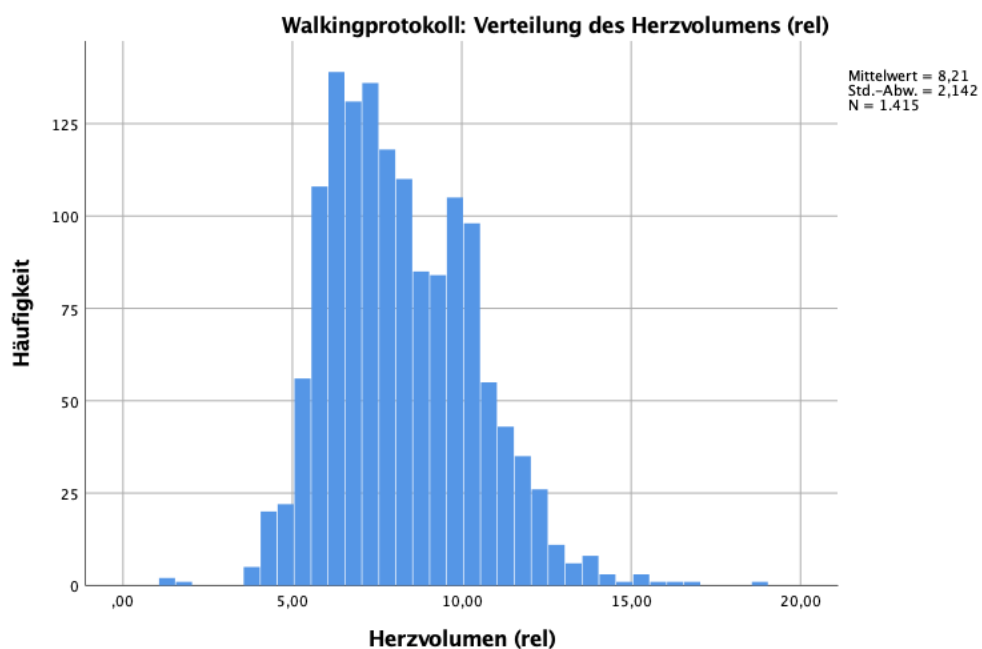
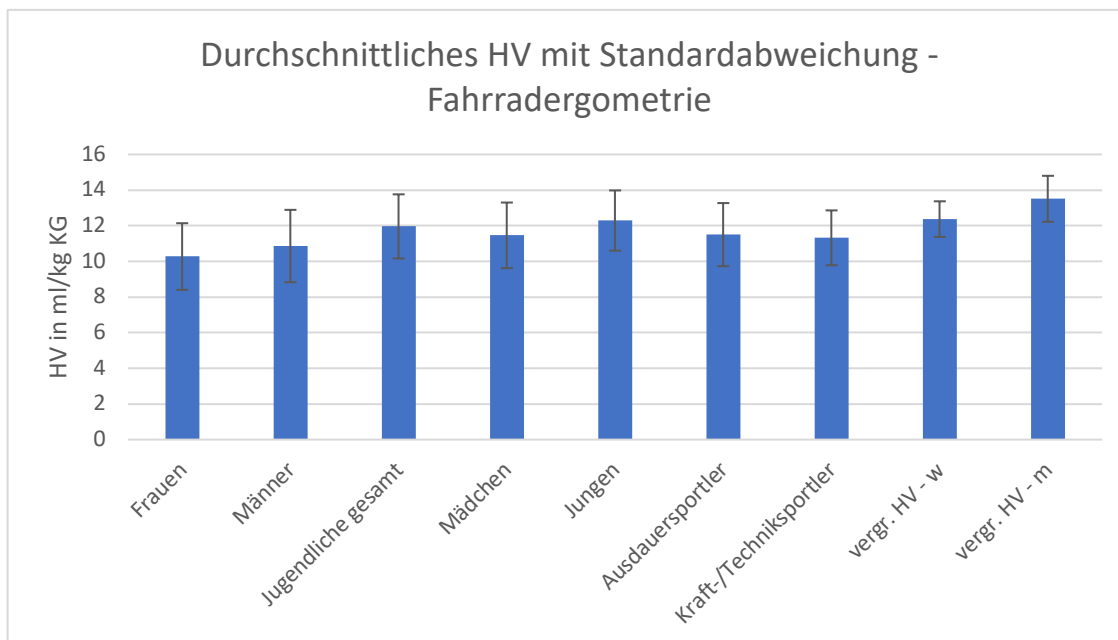
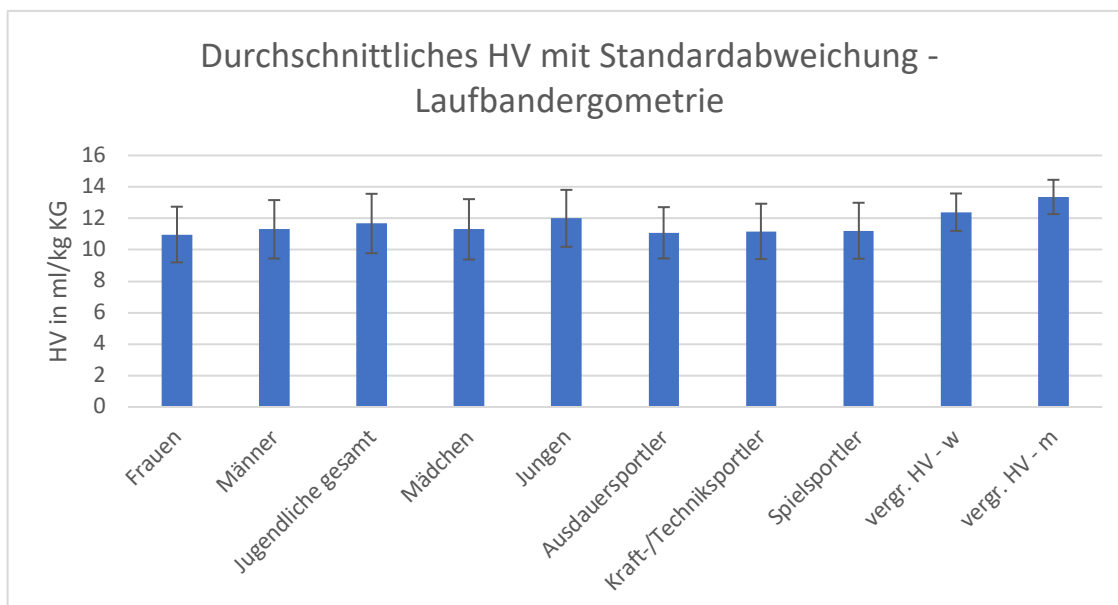


Abbildung 10: Verteilung des Herzvolumens der Untergruppen - Fahrradergometrie



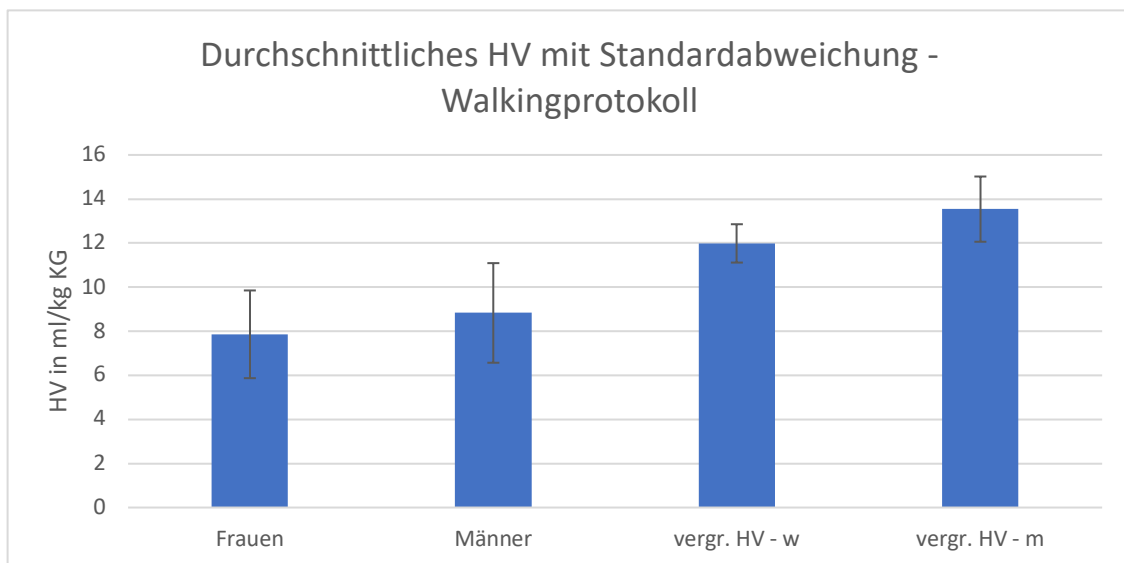
w = weiblich, m = männlich, HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht, vergr. = vergrößert

Abbildung 11: Verteilung des Herzvolumens der Untergruppen - Laufbandergometrie



w = weiblich, m = männlich, HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht, vergr. = vergrößert

Abbildung 12: Verteilung des Herzvolumens der Untergruppen - Walkingprotokoll

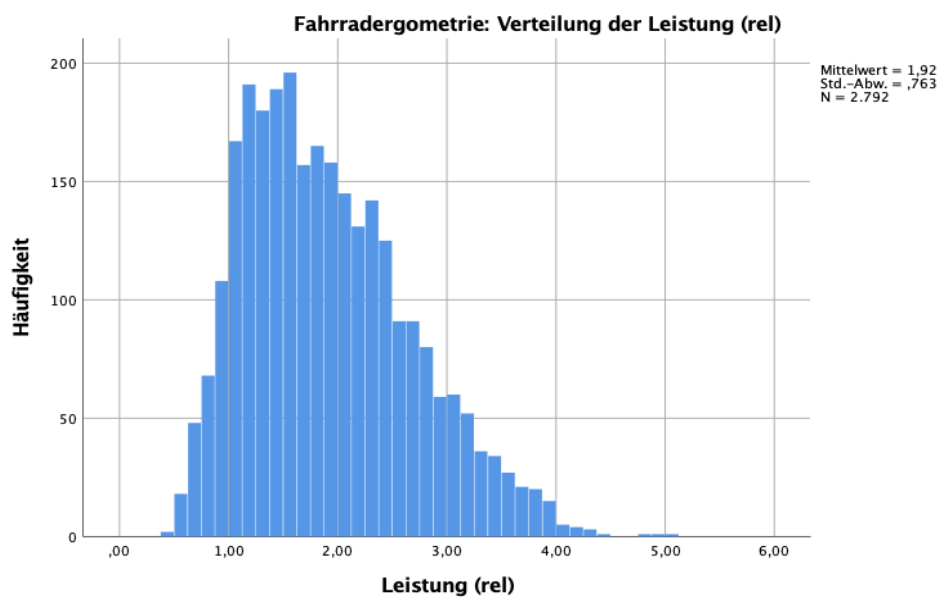


w = weiblich, m = männlich, HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht, vergr. = vergrößert

3.1.4 Leistung

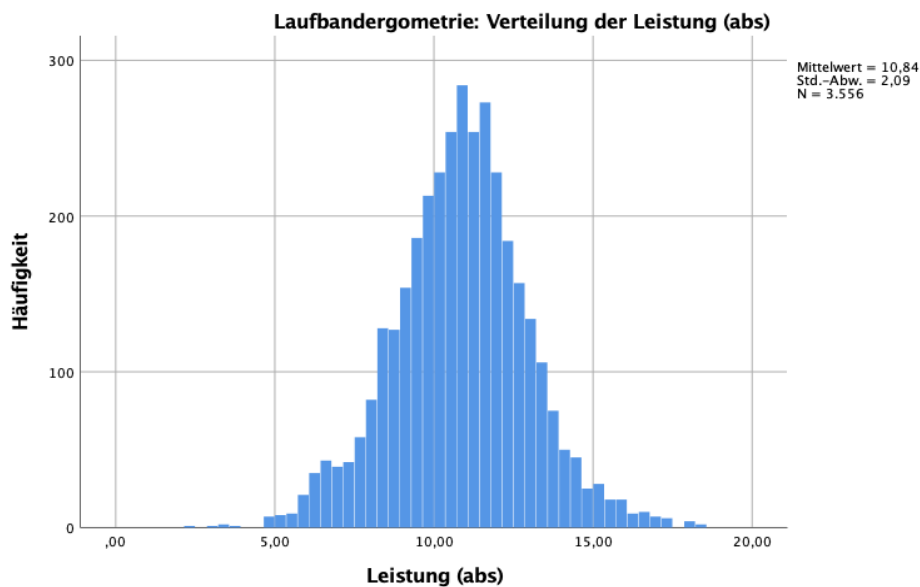
In der Gruppe Fahrradergometrie betrug die mittlere Leistung an der individuellen anaeroben Schwelle 1,9 Watt/kg Körpergewicht (KG) mit einer Standardabweichung von 0,8 Watt/kg KG.

Abbildung 13: Verteilung der Leistung – Fahrradergometrie (Leistung in Watt/kg Körpergewicht)



Bei der mittels Laufbandergometrie erhobenen Leistung lag der Mittelwert bei 10,8 km/h und die Standardabweichung bei 2,0 km/h.

Abbildung 14: Verteilung der Leistung – Laufbandergometrie (Leistung in km/h)



Bei den Probanden, bei denen die Leistung mittels Walkingprotokoll auf dem Laufband erfasst wurde, betrug die durchschnittliche Leistung 81,0 Watt mit einer Standardabweichung von 22,7 Watt.

Abbildung 15: Verteilung der Leistung - Walkingprotokoll (Leistung in Watt)

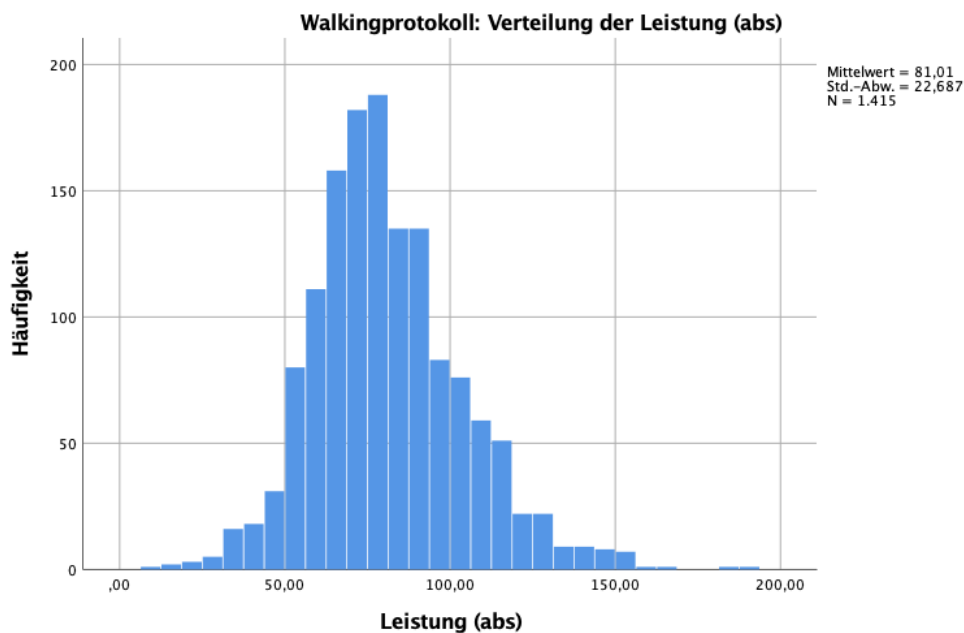
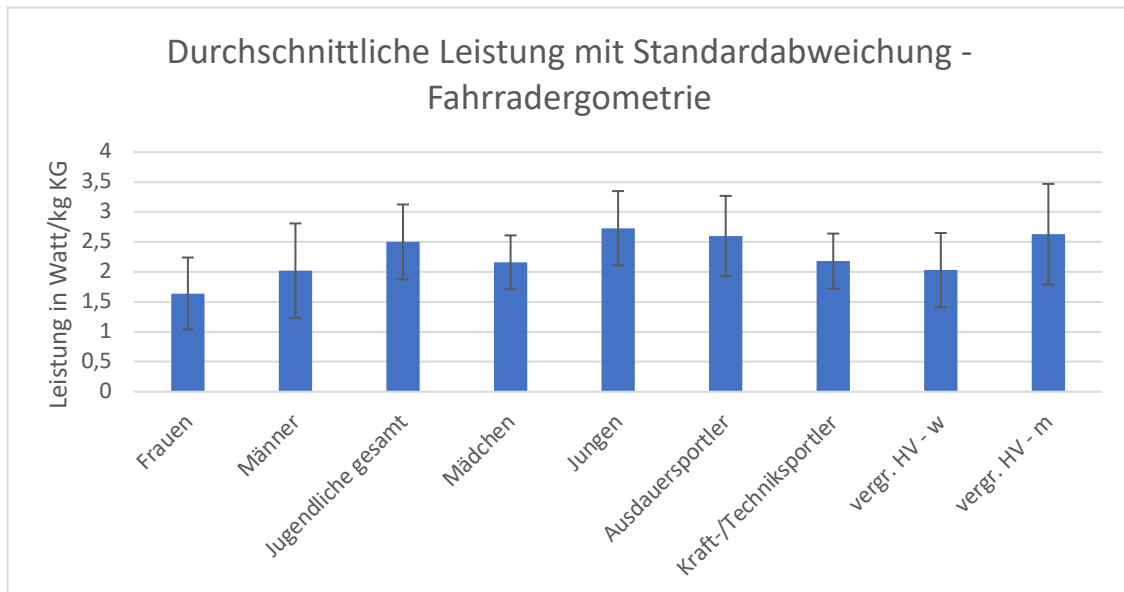
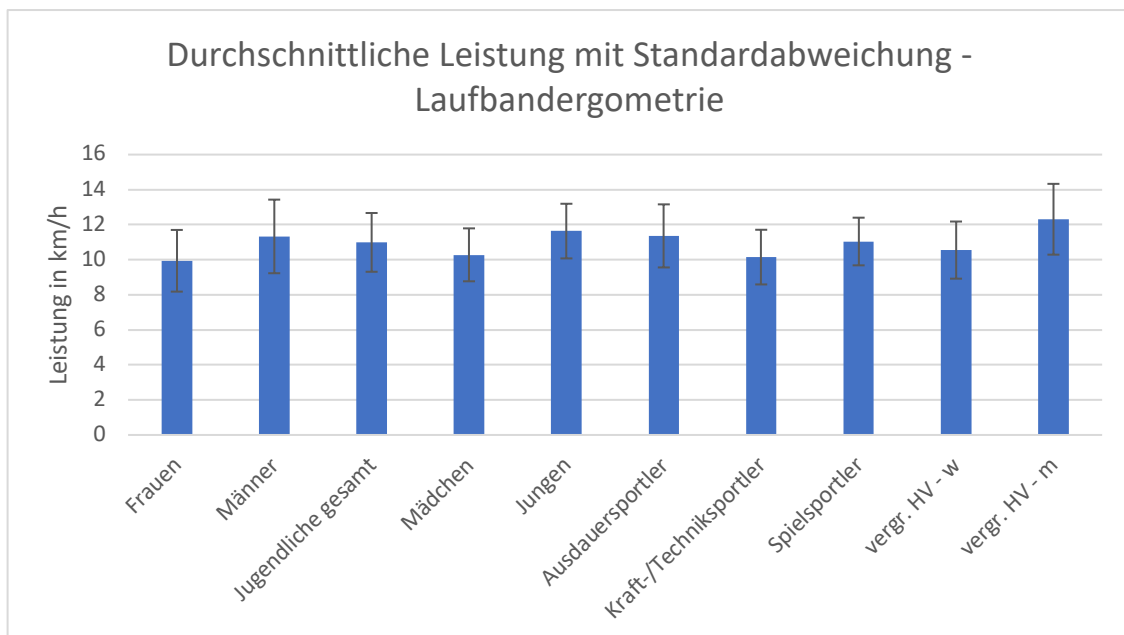


Abbildung 16: Verteilung der Leistung der Untergruppen - Fahrradergometrie

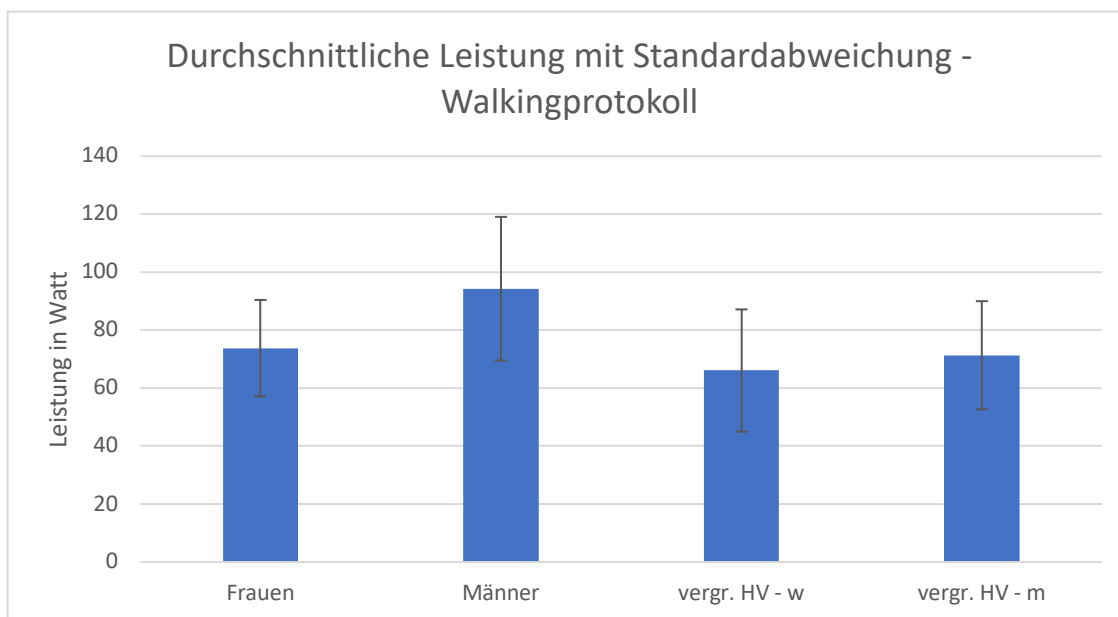


w = weiblich, m = männlich, HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht, vergr. = vergrößert

Abbildung 17: Verteilung der Leistung der Untergruppen - Laufbandergometrie



w = weiblich, m = männlich, HV = Herzvolumen, vergr. = vergrößert

Abbildung 18: Verteilung der Leistung der Untergruppen - Walkingprotokoll

w = weiblich, m = männlich, HV = Herzvolumen, vergr. = vergrößert

3.1.5 Body-Mass-Index (BMI)

Tabelle 2: BMI des Gesamtkollektivs (BMI in kg/m²)

Ergometrieart	Durchschnitt	Standardabweichung
Fahrradergometrie	24,1	+/- 4,4
Laufbandergometrie	22,1	+/- 3,3
Walkingprotokoll	34,7	+/- 10,4

3.2 Zusammenhang von Herzgröße und Ausdauerleistungsfähigkeit

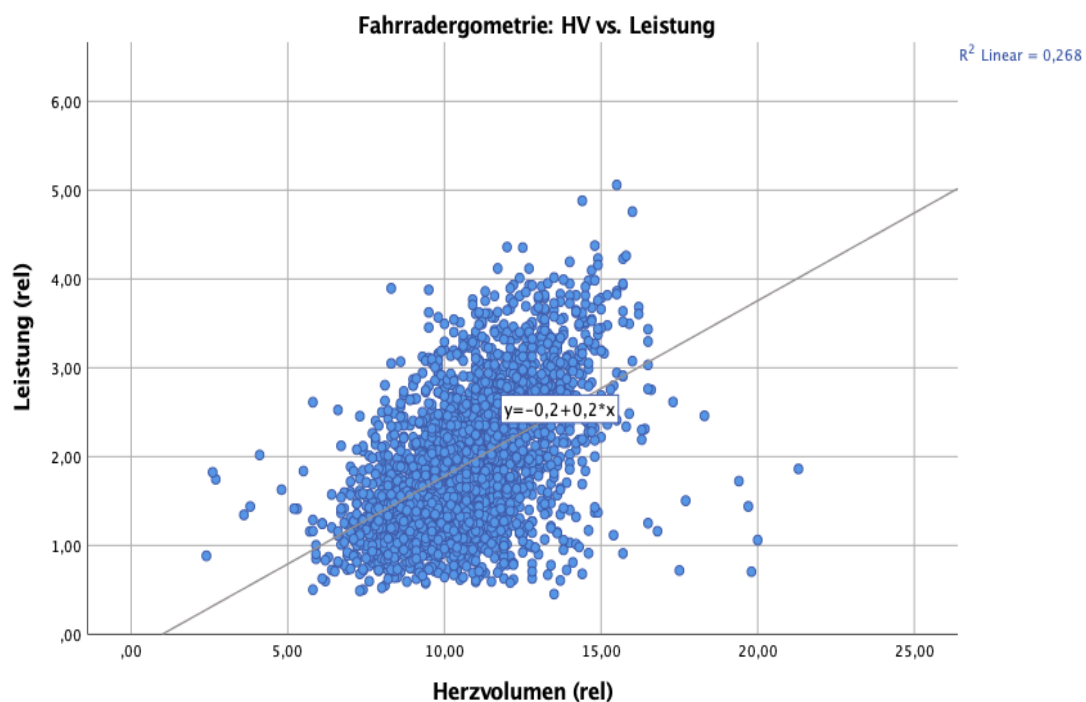
Die relevanten Ergebnisse der statistischen Analyse werden im Folgenden dargestellt.

3.2.1 Gesamtkollektiv

3.2.1.1 Fahrradergometrie

n=2792

Abbildung 19: HV vs. Leistung - Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 3: Fahrradergometrie: Einfache lineare Regression Herzvolumen vs. Leistung - Gesamtkollektiv

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,518	0,268	0,268	1023,44	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	-0,197			
HV	0,198	0,006	31,99	<0,01

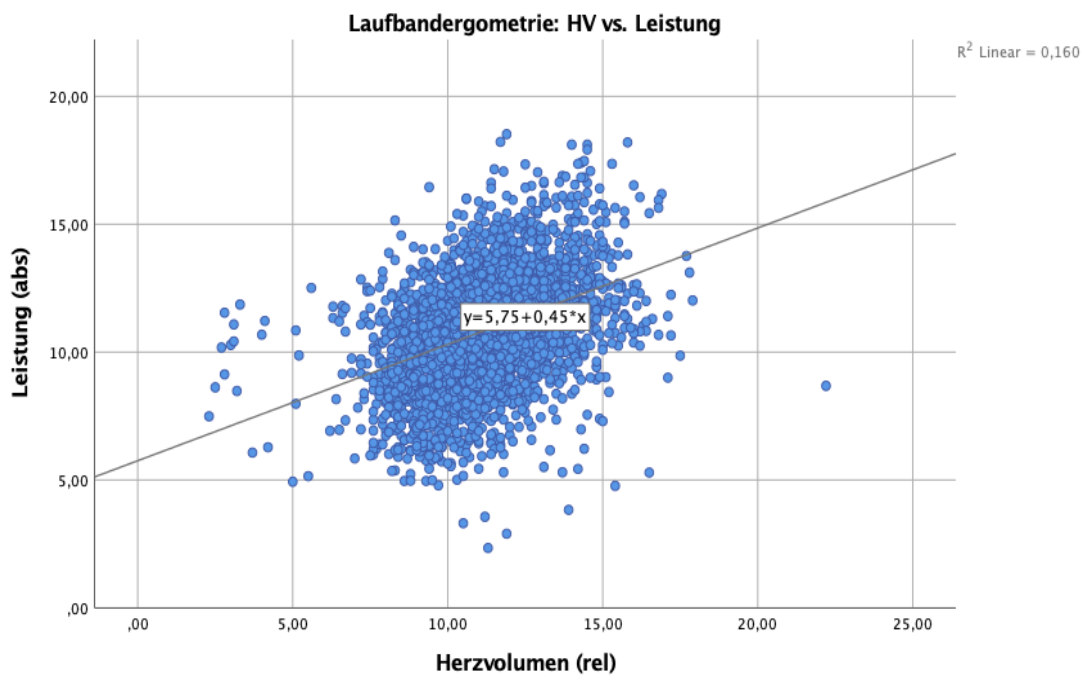
Tabelle 4: Fahrradergometrie: Multiple lineare Regression Herzvolumen vs. Leistung-Gesamtkollektiv

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,689	0,475	0,475	842,16	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	1,32					
HV	0,135	0,006	24,27	<0,01	0,885	1,130
Geschlecht	-0,387	0,024	-16,41	<0,01	0,960	1,042
Alter	-0,018	0,001	-30,983	<0,01	0,891	1,123

3.2.1.2 Laufbandergometrie

n=3556

Abbildung 20: HV vs. Leistung - Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 5: Laufbandergometrie: Einfache lineare Regression - Gesamtkollektiv

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,400	0,160	0,160	677,55	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	5,753			
HV	0,455	0,017	26,03	<0,01

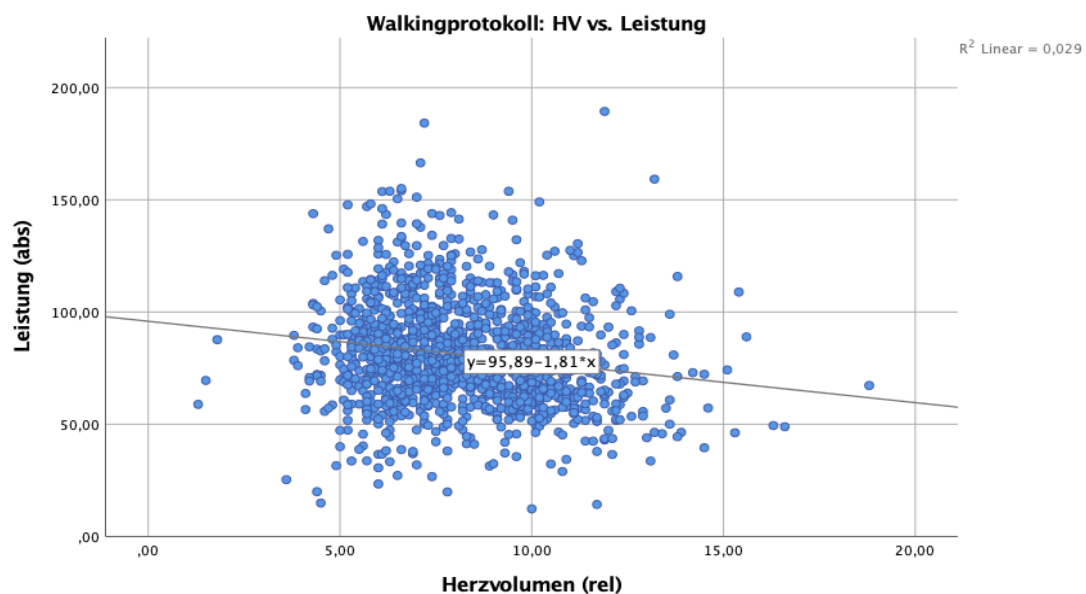
Tabelle 6: Laufbandergometrie: Multiple lineare Regression - Gesamtkollektiv

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,527	0,278	0,277	455,33	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	7,836					
HV	0,384	0,017	23,107	<0,01	0,954	1,048
Geschlecht	-1,431	0,064	- 22,376	<0,01	0,951	1,052
Alter	-0,025	0,002	- 13,226	<0,01	0,928	1,078

3.2.1.3 Walkingprotokoll

n=1415

Abbildung 21: HV vs. Leistung - Walkingprotokoll (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 7: Walkingprotokoll: Einfache lineare Regression - Gesamtkollektiv

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,171	0,029	0,029	42,649	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	95,890			
HV	-1,813	0,278	-6,531	<0,01

Tabelle 8: Walkingprotokoll: Multiple lineare Regression - Gesamtkollektiv

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,550	0,302	0,301	203,771	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	129,294					
HV	-1,965	0,264	-7,453	<0,01	0,798	1,253
Geschlecht	-24,151	1,084	-22,279	<0,01	0,947	1,056
Alter	-0,351	0,038	-9,192	<0,01	0,816	1,226

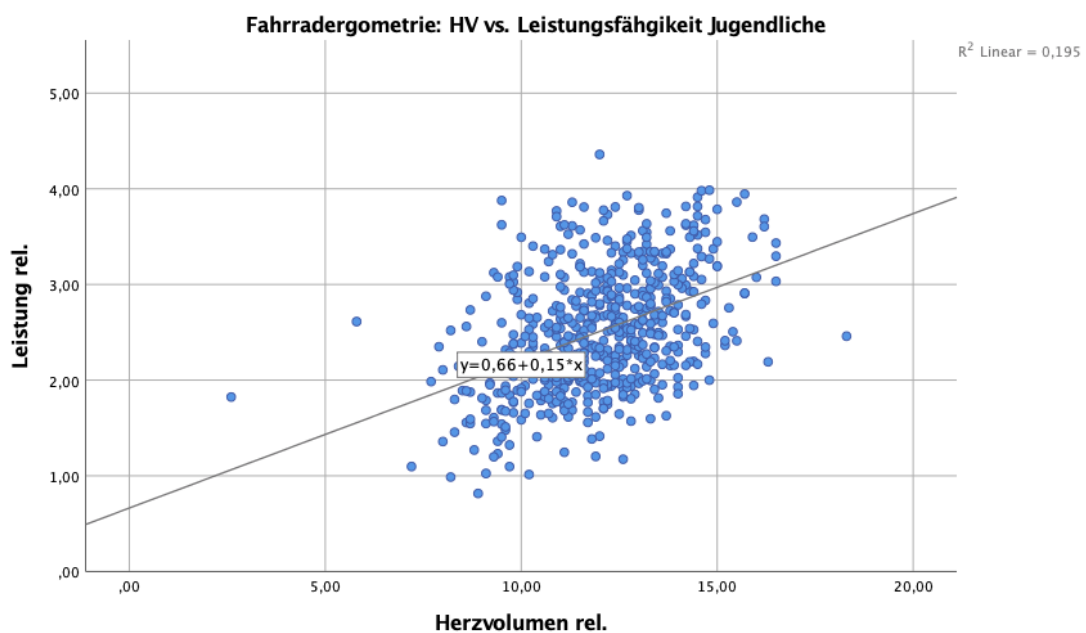
Bei allen drei Ergometriearten konnte man bereits im Streudiagramm des Gesamtkollektivs einen linearen Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit sehen, der bei der Gruppe der Fahrrad- und der Laufbandergometrie positiv ausfällt, bei der Gruppe des Walkingprotokolls jedoch negativ. Bei zunehmendem Herzvolumen zeigte sich hier also eine abnehmende Ausdauerleistungsfähigkeit. Der Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit ist signifikant ($p < 0,01$). Sowohl bei der einfachen linearen Regression als auch bei der multiplen linearen Regression war bei der Gruppe Fahrradergometrie mit einem R² von 0,268 (einfache Regression) beziehungsweise einem R² von 0,475 (multiple Regression) der stärkste Einfluss auf die Ausdauerleistungsfähigkeit zu sehen. Bei der multiplen linearen Regression hatte bei allen drei Gruppen das Geschlecht (insbesondere das weibliche) den größten Regressionskoeffizienten, der in allen drei Gruppen negativ ist.

3.2.2 Jugendliche

3.2.2.1 Fahrradergometrie

n=591

Abbildung 22: HV vs. Leistung - Jugendliche Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 9: FE: Einfache lineare Regression - Jugendliche

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,441	0,195	0,193	142,458	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	0,663			
HV	0,154	0,013	11,936	<0,01

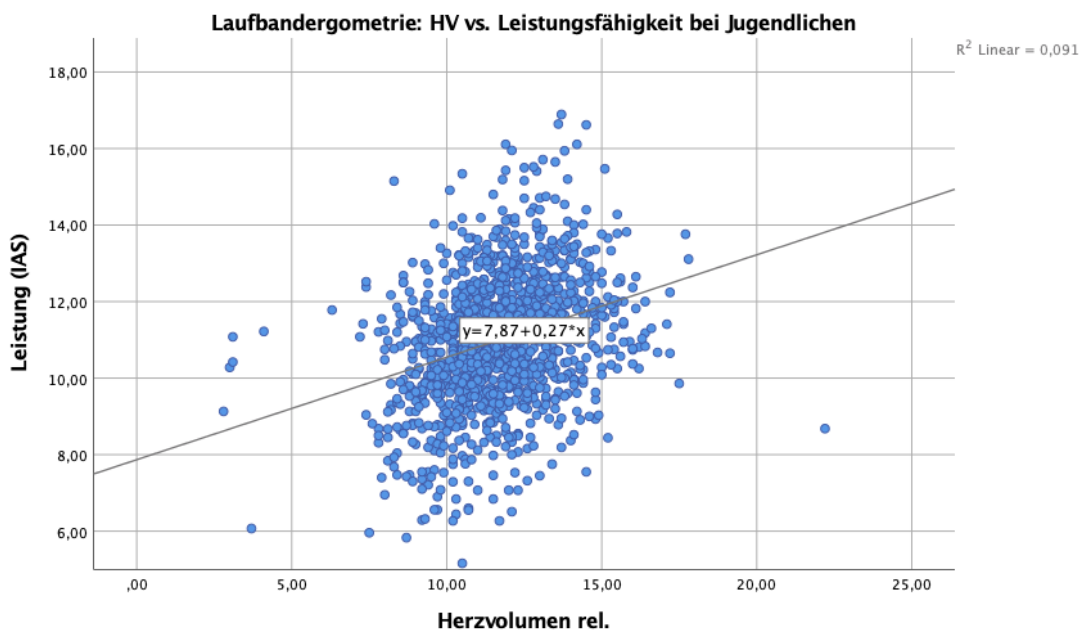
Tabelle 10: FE: Multiple lineare Regression - Jugendliche

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,591	0,350	0,346	105,136	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	0,177					
HV	0,140	0,012	11,395	<0,01	0,893	1,120
Geschlecht	-0,414	0,045	-9,219	<0,01	0,898	1,113
Alter	0,055	0,011	5,085	<0,01	0,913	1,095

3.2.2.2 Laufbandergometrie

n=1282

Abbildung 23: Herzvolumen vs. Leistung - Jugendliche Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 11: LE: Einfache lineare Regression - Jugendliche

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,302	0,091	0,090	128,443	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	7,868			
HV	0,268	0,024	11,333	<0,01

Tabelle 12: LE: Multiple lineare Regression - Jugendliche

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,488	0,238	0,236	133,14	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	6,404					
HV	0,261	0,024	11,038	<0,01	0,841	1,190
Geschlecht	-1,132	0,084	-13,424	<0,01	0,946	1,057
Alter	0,141	0,023	6,141	<0,01	0,876	1,154

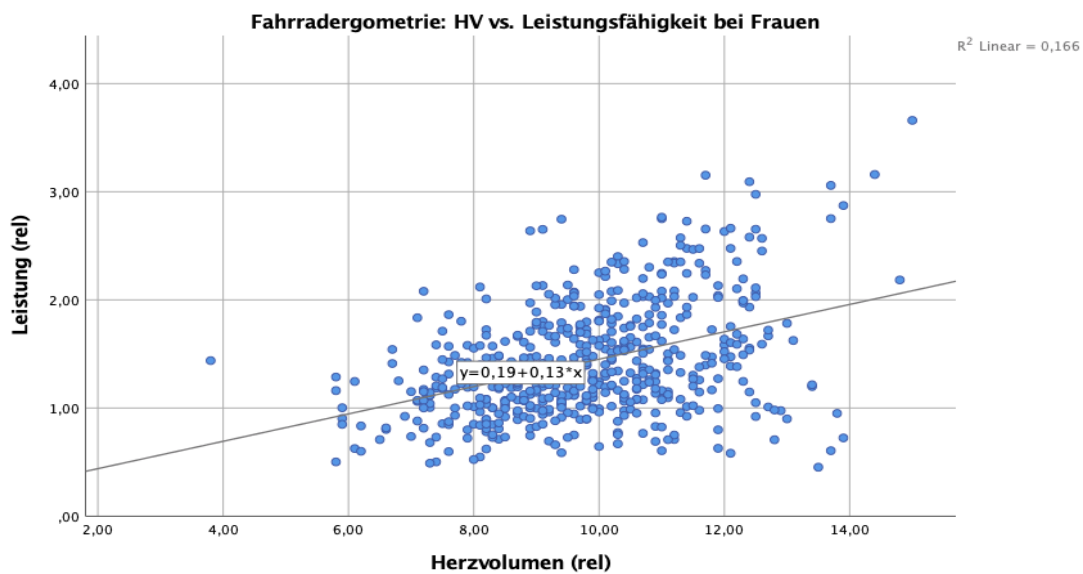
Auch bei den Jugendlichen konnte ein signifikanter Zusammenhang von Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit gezeigt werden ($p < 0,01$), der wie schon beim Gesamtkollektiv bei der Gruppe der Fahrradergometrie mit einem R^2 von 0,195 (einfache Regression) beziehungsweise 0,346 (multiple Regression) stärker ausgeprägt war als bei der Gruppe der Laufbandergometrie, bei der das R^2 0,091 (einfache Regression) beziehungsweise 0,236 (multiple Regression) betrug. Der Regressionskoeffizient war auch hier für das Geschlecht am größten.

3.2.3 Auswertung nach Geschlecht

3.2.3.1 Fahrradergometrie

Frauen (n=570)

Abbildung 24: Herzvolumen vs. Leistung - Frauen Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 13: FE: Einfache lineare Regression - Frauen

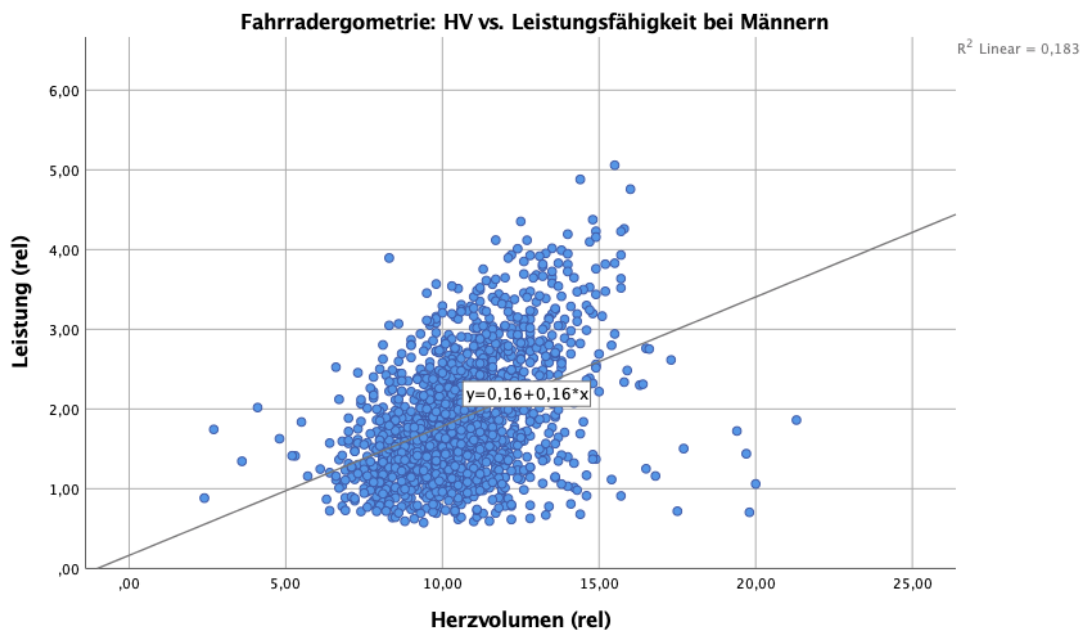
R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,408	0,166	0,165	113,177	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	0,186			
HV	0,127	0,012	10,64	<0,01

Tabelle 14: FE: Multiple lineare Regression - Frauen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,559	0,313	0,31	128,999	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	0,845					
HV	0,123	0,011	11,377	<0,01	0,999	1,001
Alter	-0,013	0,001	-10,997	<0,01	0,999	1,001

Männer (n=1631)

Abbildung 25: Herzvolumen vs. Leistung - Männer Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 15: FE: Einfache lineare Regression - Männer

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,427	0,183	0,182	364,048	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	0,165			
HV	0,162	0,008	19,08	<0,01

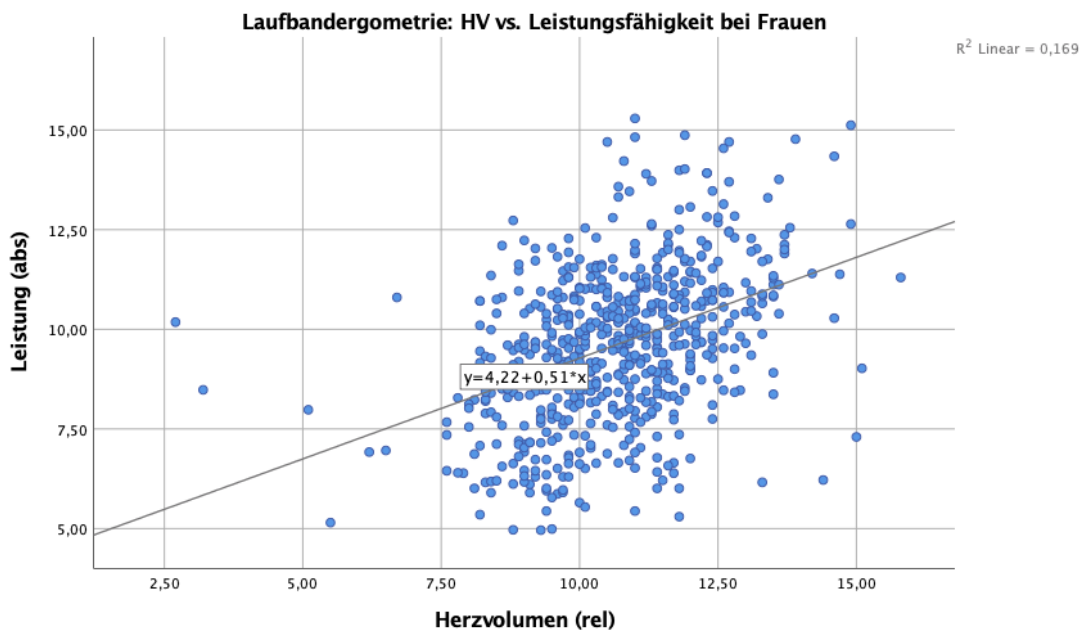
Tabelle 16: FE: Multiple lineare Regression - Männer

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,598	0,357	0,357	452,780	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	1,385					
HV	0,142	0,008	18,72	<0,01	0,984	1,016
Alter	-0,021	0,001	-21,0	<0,01	0,984	1,016

3.2.3.2 Laufbandergometrie

Frauen (n=646)

Abbildung 26: Herzvolumen vs. Leistung - Frauen Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 17: LE: Einfache lineare Regression - Frauen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,411	0,169	0,168	130,794	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	4,221			
HV	0,506	0,044	11,437	<0,01

Tabelle 18: LE: Multiple lineare Regression - Frauen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,495	0,245	0,242	104,159	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	5,801					
HV	0,508	0,042	12,033	<0,01	1,00	1,00
Alter	-0,041	0,005	-8,038	<0,01	1,00	1,00

Männer (n=1682)

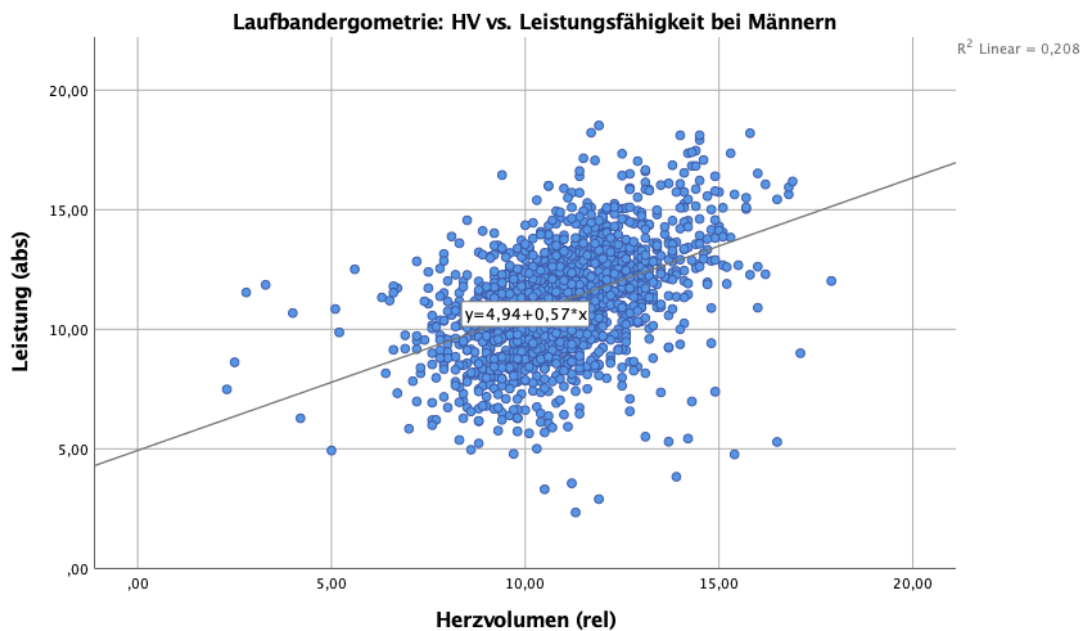


Abbildung 27: Herzvolumen vs. Leistung - Männer Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)

HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 19: LE: Einfache lineare Regression - Männer

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,456	0,208	0,207	426,671	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	4,936			
HV	0,570	0,028	20,656	<0,01

Tabelle 20: LE: Multiple lineare Regression - Männer

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,552	0,304	0,304	355,608	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	7,248					
HV	0,554	0,026	21,404	<0,01	0,998	1,002
Alter	-0,052	0,003	-15,02	<0,01	0,998	1,002

3.2.3.3 Walkingprotokoll

Frauen (n=899)

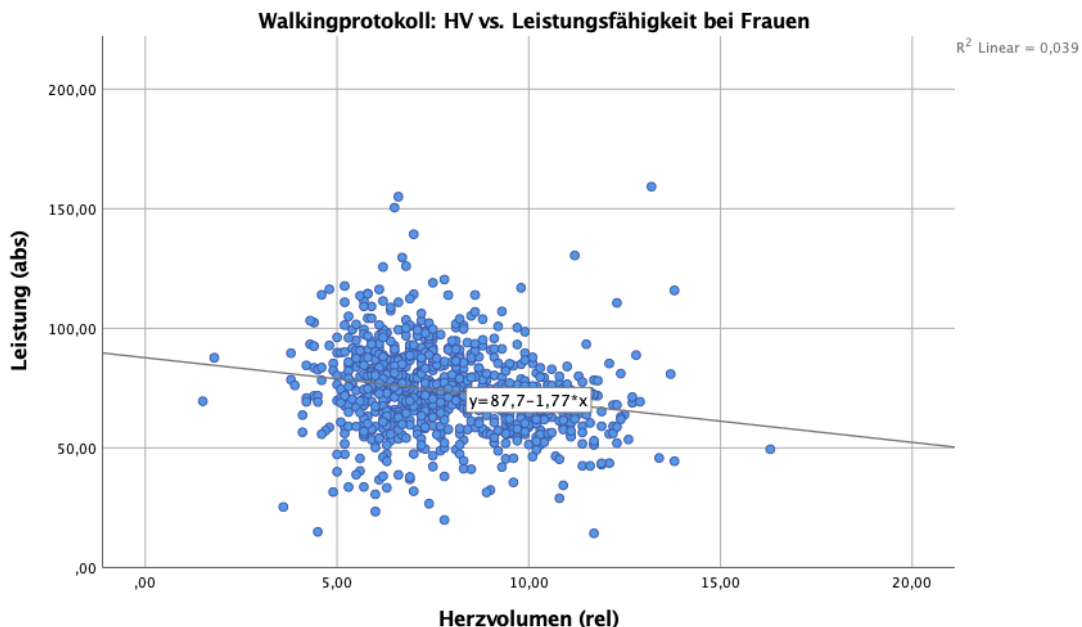


Abbildung 28: Herzvolumen vs. Leistung - Frauen Walkingprotokoll (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt)

HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 21: WP: Einfache lineare Regression - Frauen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,199	0,039	0,038	36,831	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	87,699			
HV	-1,769	0,292	-6,069	<0,01

Tabelle 22: WP: Multiple lineare Regression - Frauen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,369	0,136	0,134	70,466	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	97,798					

HV	-0,454	0,308	-1,221	0,185	0,805	1,24
Alter	-0,454	0,045	-9,242	<0,01	0,805	1,24

Männer (n=488)

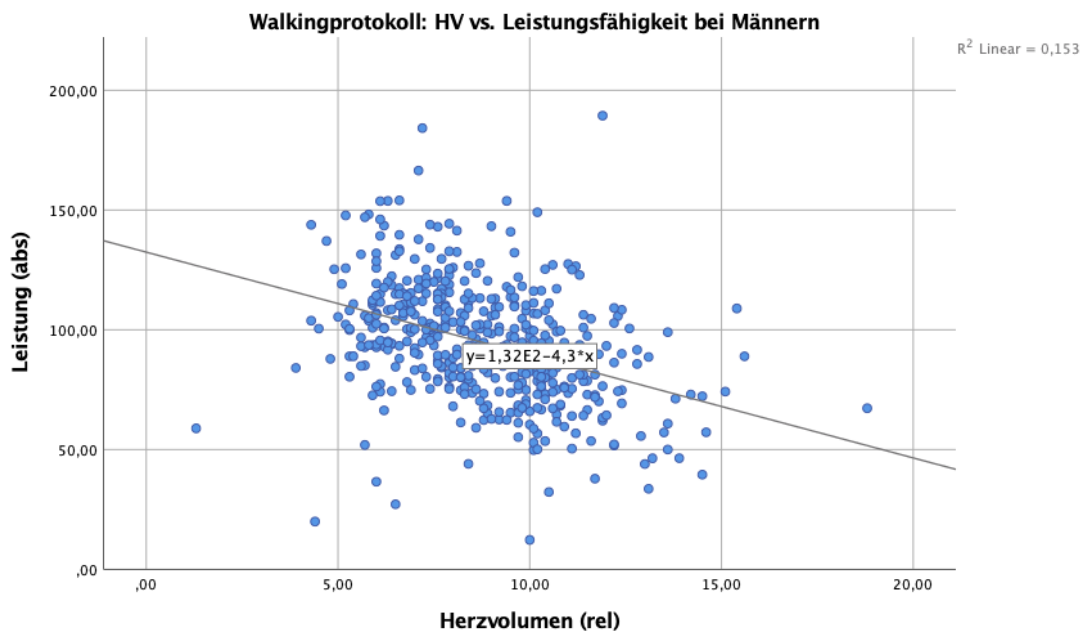


Abbildung 29: Herzvolumen vs. Leistungsfähigkeit - Männer Walkingprotokoll (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt)

HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 23: WP: Einfache lineare Regression - Männer

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,391	0,153	0,151	87,761	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	132,428			
HV	-4,295	0,459	-9,368	<0,01

Tabelle 24: WP: Multiple lineare Regression - Männer

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,454	0,206	0,203	62,984	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	142,871					
HV	-2,892	0,508	-5,693	<0,01	0,765	1,307
Alter	-0,446	0,078	-5,702	<0,01	0,765	1,307

3.2.3.4 Jugendliche – Fahrradergometrie

Mädchen (n=237)

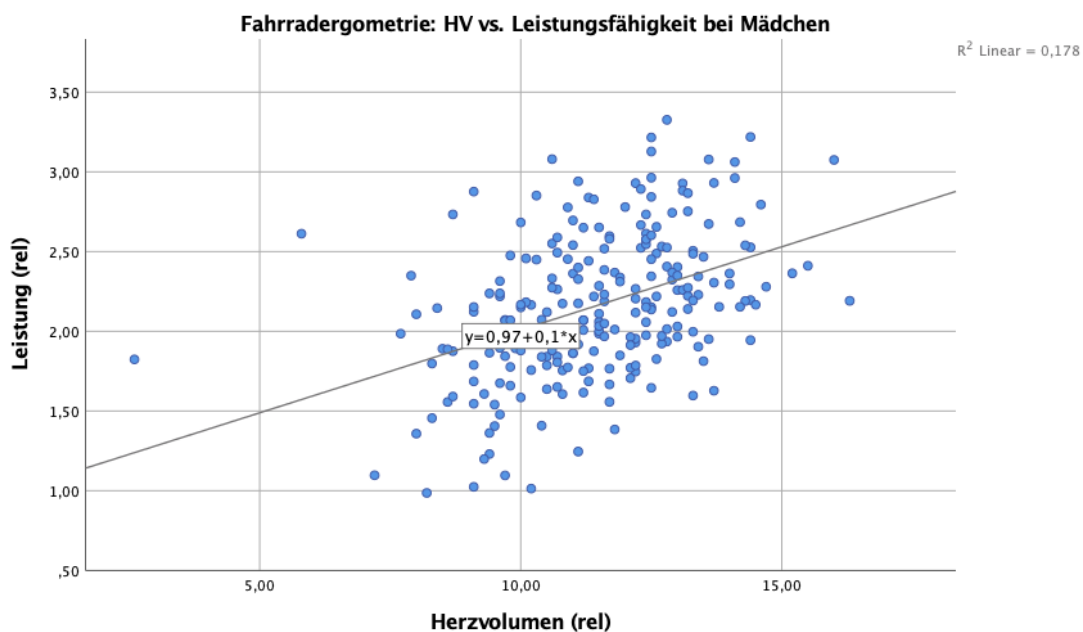


Abbildung 30: Herzvolumen vs. Leistung - Mädchen Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)

HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 25: FE: Einfache lineare Regression - Mädchen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,422	0,178	0,175	50,935	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	0,968			
HV	0,104	0,015	7,137	<0,01

Tabelle 26: FE: Multiple lineare Regression - Mädchen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,427	0,182	0,175	26,112	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	0,654					

HV	0,111	0,016	7,004	<0,01	0,846	1,182
Alter	0,016	0,015	1,112	0,267	0,846	1,182

Jungen (n=354)

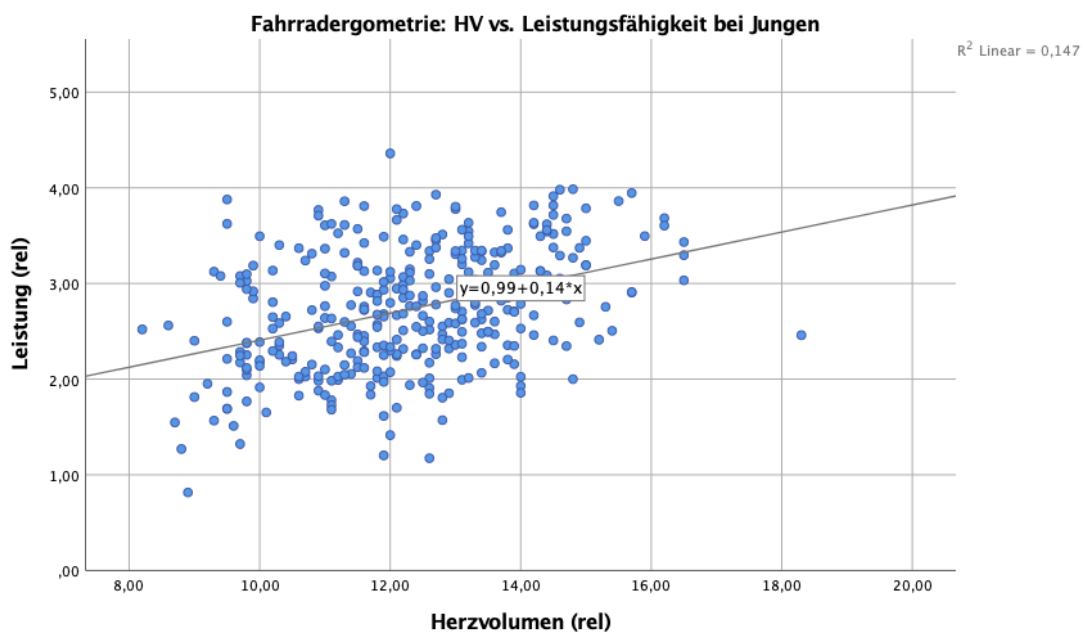


Abbildung 31: Herzvolumen vs. Leistung - Jungen Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)

HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 27: FE: Einfache lineare Regression - Jungen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,384	0,147	0,145	60,734	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	0,994			
HV	0,141	0,018	7,793	<0,01

Tabelle 28: FE: Multiple lineare Regression - Jungen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,452	0,204	0,200	45,014	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	-0,293					
HV	0,153	0,018	8,638	<0,01	0,983	1,017
Alter	0,076	0,015	5,013	<0,01	0,983	1,017

3.2.3.5 Jugendliche – Laufbandergometrie

Mädchen (n=607)

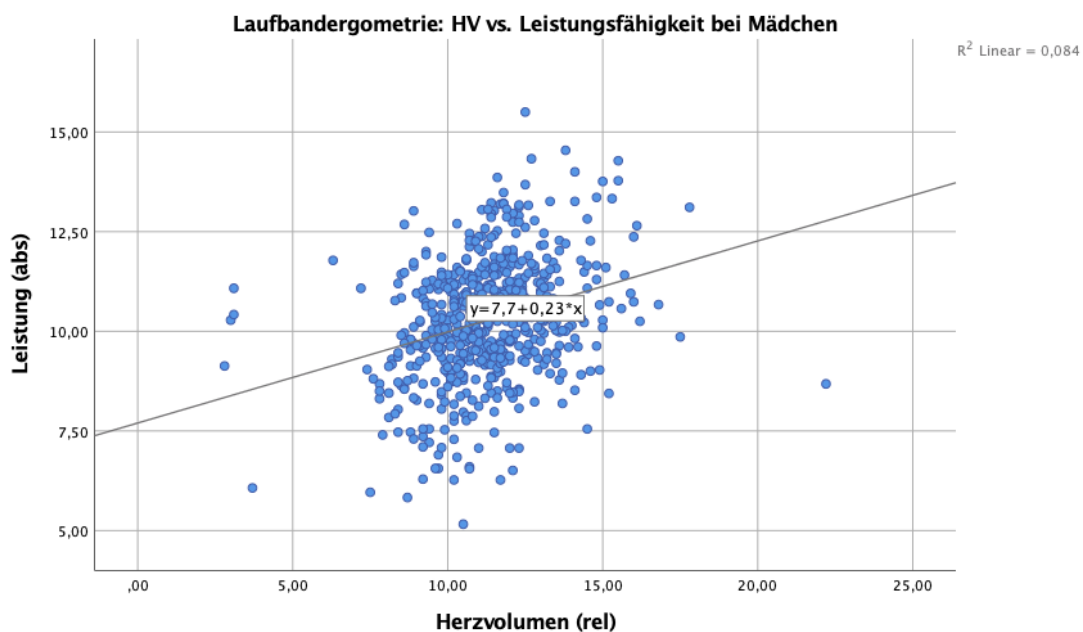


Abbildung 32: Herzvolumen vs. Leistung - Mädchen Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)

HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

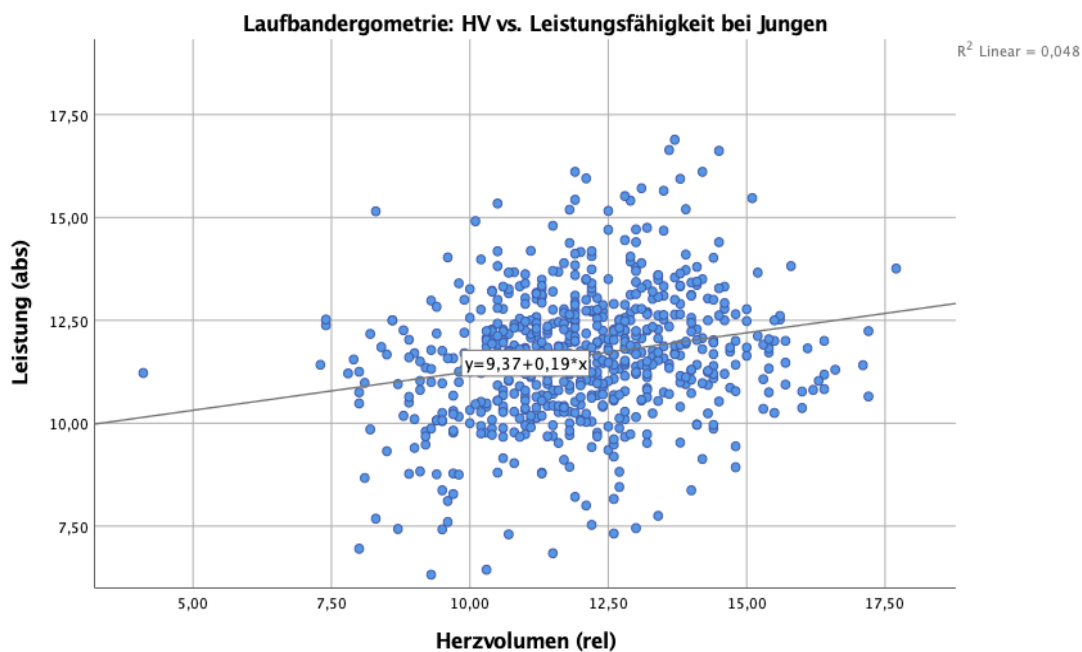
Tabelle 29: LE: Einfache lineare Regression - Mädchen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,290	0,084	0,083	55,610	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	7,700			
HV	0,228	0,031	7,46	<0,01

Tabelle 30: LE: Multiple lineare Regression - Mädchen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,298	0,089	0,086	29,504	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	6,603					
HV	0,250	0,033	7,605	<0,01	0,865	1,156

Alter 0,058 0,033 1,788 <0,01 0,865 1,156



Jungen (n=675)

Abbildung 33: Herzvolumen vs. Leistung - Jungen Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)

HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 31: LE: Einfache lineare Regression - Jungen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,218	0,048	0,046	33,622	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	9,373			
HV	0,188	0,032	5,798	<0,01

Tabelle 32: LE: Multiple lineare Regression - Jungen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,330	0,109	0,106	40,967	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	5,170					

HV	0,269	0,034	7,995	<0,01	0,876	1,141
Alter	0,218	0,032	6,787	<0,01	0,876	1,141

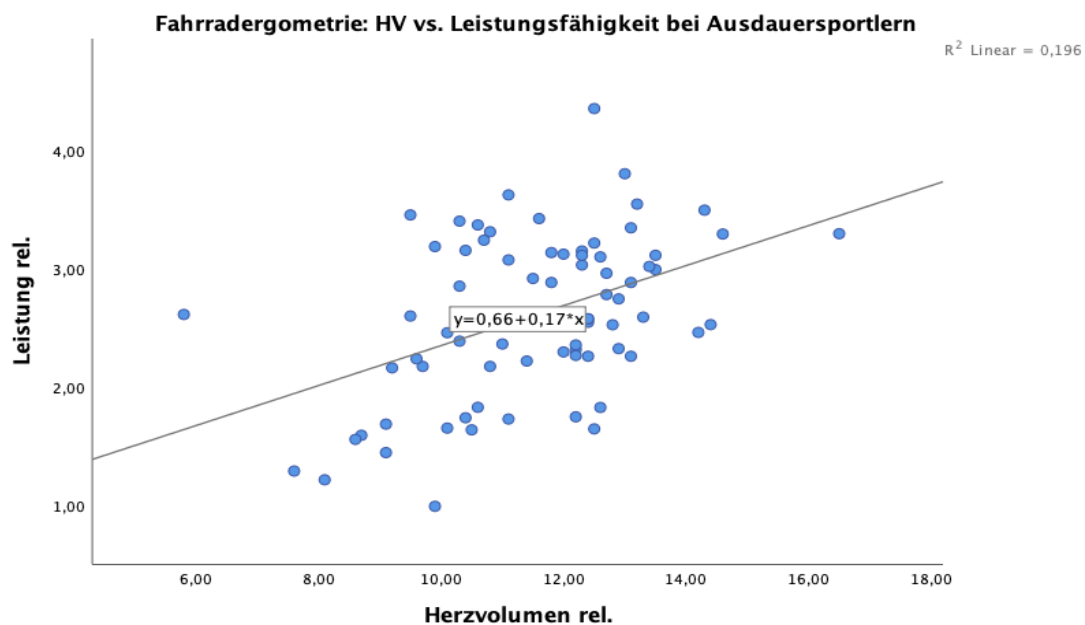
Auch bei der nach Geschlechtern aufgeteilten Auswertung ließ sich ein signifikanter Zusammenhang von Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit feststellen. Nur bei der Gruppe der Frauen, bei denen die Ausdauerleistungsfähigkeit mittels Walkingprotokoll bestimmt wurde, zeigte sich bei der multiplen Regression kein signifikanter Einfluss des Herzvolumens auf die Ausdauerleistungsfähigkeit. Außerdem hat das Alter bei den Mädchen der Gruppe Fahrradergometrie ($p=0,267$) keinen signifikanten Einfluss auf die Ausdauerleistungsfähigkeit. Das höchste Bestimmtheitsmaß R^2 in der Auswertung nach Geschlecht konnte bei den Männern der Gruppe Fahrradergometrie bei der multiplen Regression mit $R^2=0,357$ erzielt werden und auch die Männer der Gruppe Laufbandergometrie zeigten mit einem R^2 von 0,304 bei der multiplen Regression einen relativ starken Einfluss von Herzvolumen und Alter auf die Ausdauerleistungsfähigkeit. Die Regressionskoeffizienten betragen dabei 0,142 für das Herzvolumen und -0,021 für das Alter (Männer, Fahrradergometrie) beziehungsweise 0,552 für das Herzvolumen und -0,052 für das Alter (Männer, Laufbandergometrie). Auch bei den Frauen konnte bei der multiplen Regression der Gruppe Fahrradergometrie ein vergleichsweise hohes R^2 mit 0,31 festgestellt werden. Die Regressionskoeffizienten betragen dabei für das Herzvolumen 0,123 und für das Alter -0,013.

3.2.4 Auswertung nach Sportart

3.2.4.1 Fahrradergometrie

Ausdauersportler (n=77)

Abbildung 34: Herzvolumen vs. Leistung - Ausdauersportler Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 33: FE: Einfache lineare Regression - Ausdauersportler

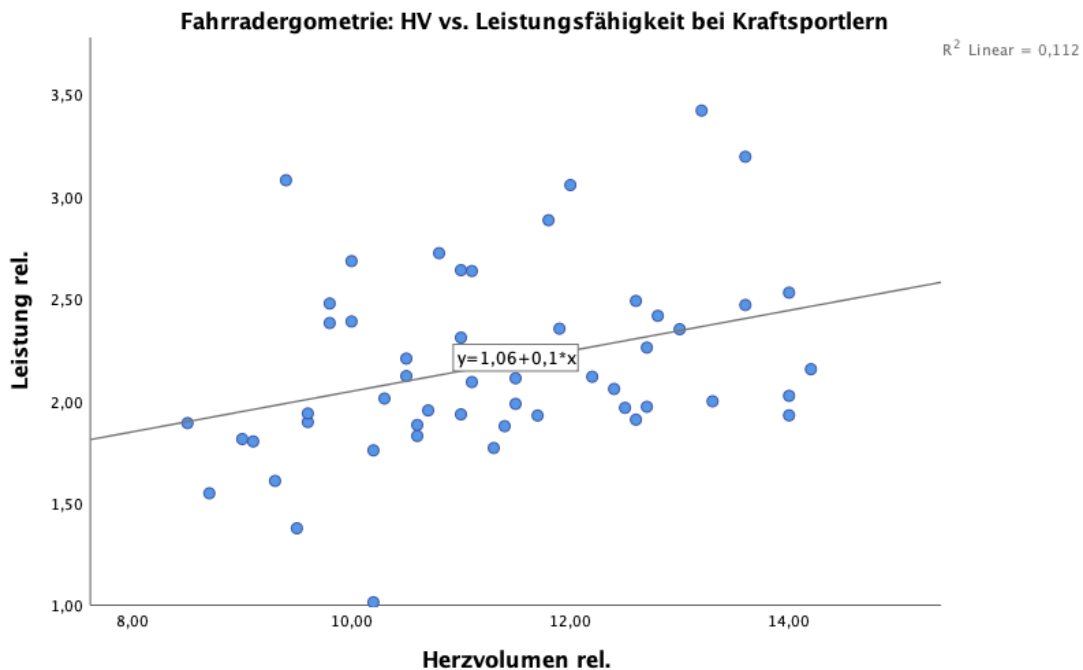
R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,443	0,196	0,186	18,340	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	0,659			
HV	0,169	0,039	4,283	<0,01

Tabelle 34: FE: Multiple lineare Regression - Ausdauersportler

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,656	0,431	0,408	18,431	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	2,073					
HV	0,110	0,036	3,012	<0,01	0,856	1,169
Geschlecht	-0,608	0,124	-4,885	<0,01	0,962	1,039
Alter	-0,028	0,009	-3,264	<0,01	0,853	1,172

Kraftsportler (n=52)

Abbildung 35: Herzvolumen vs. Leistung - Kraftsportler Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 35: FE: Einfache lineare Regression - Kraftsportler

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,334	0,112	0,094	6,287	0,015
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	1,056			
HV	0,099	0,039	2,507	0,015

Tabelle 36: FE: Multiple lineare Regression - Kraftsportler

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,541	0,293	0,248	6,620	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	2,073					
HV	0,054	0,039	1,377	0,175	0,847	1,181
Geschlecht	-0,361	0,113	-3,194	<0,01	0,946	1,057

Alter -0,021 0,015 -1,396 0,169 0,887 1,127

3.2.4.2 Laufbandergometrie

Ausdauersportler (n=131)

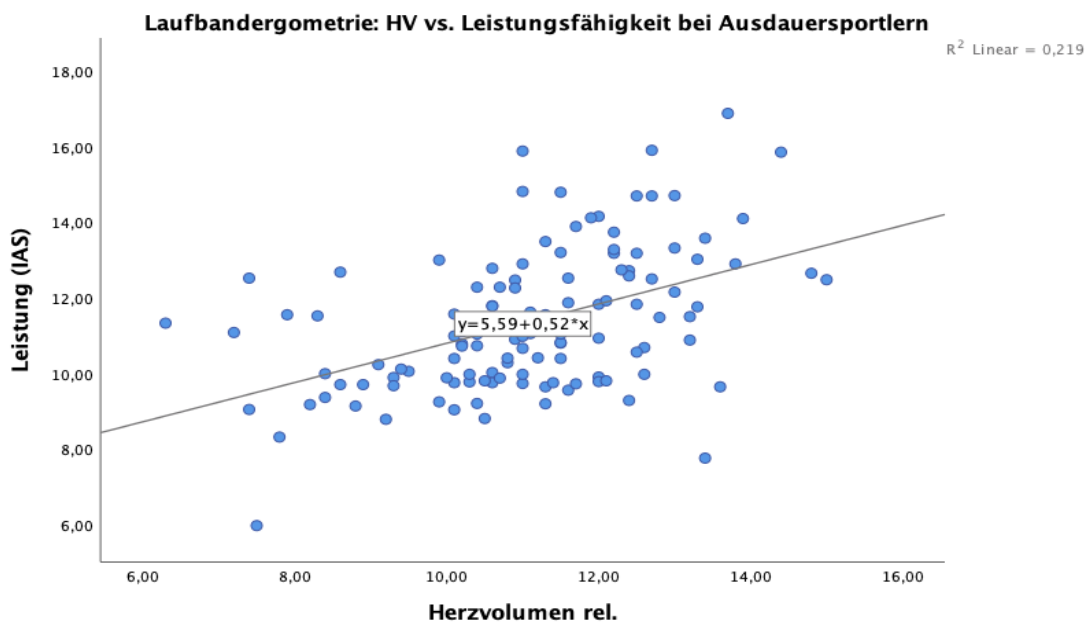


Abbildung 36: Herzvolumen vs. Leistung - Ausdauersportler Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)

HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht, IAS = Individuelle anaerobe Schwelle

Tabelle 37: LE: Einfache lineare Regression - Ausdauersportler

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,468	0,219	0,313	36,266	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	5,590			
HV	0,521	0,086	6,022	<0,01

Tabelle 38: LE: Multiple lineare Regression - Ausdauersportler

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,631	0,398	0,383	27,951	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	7,014					
HV	0,399	0,081	4,926	<0,01	0,895	1,117

Geschlecht	-1,455	0,265	-5,481	<0,01	0,887	1,127
Alter	0,047	0,025	1,846	0,067	0,969	1,032

Kraftsportler (n=53)

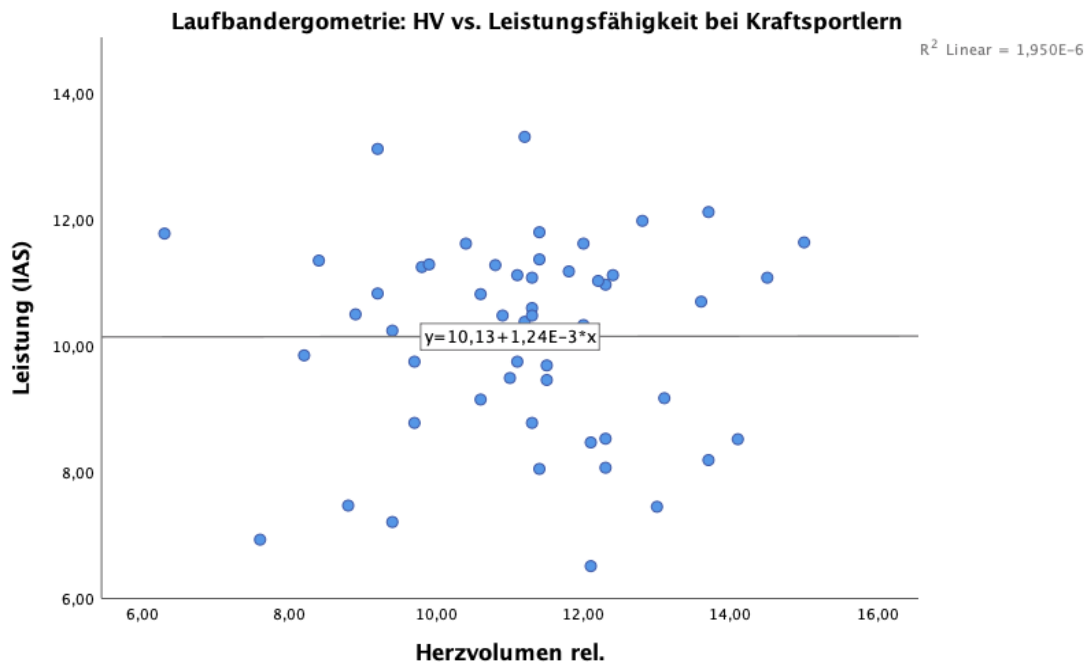


Abbildung 37: Herzvolumen vs. Leistung - Kraftsportler Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)

HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht, IAS = Individuelle anaerobe Schwelle

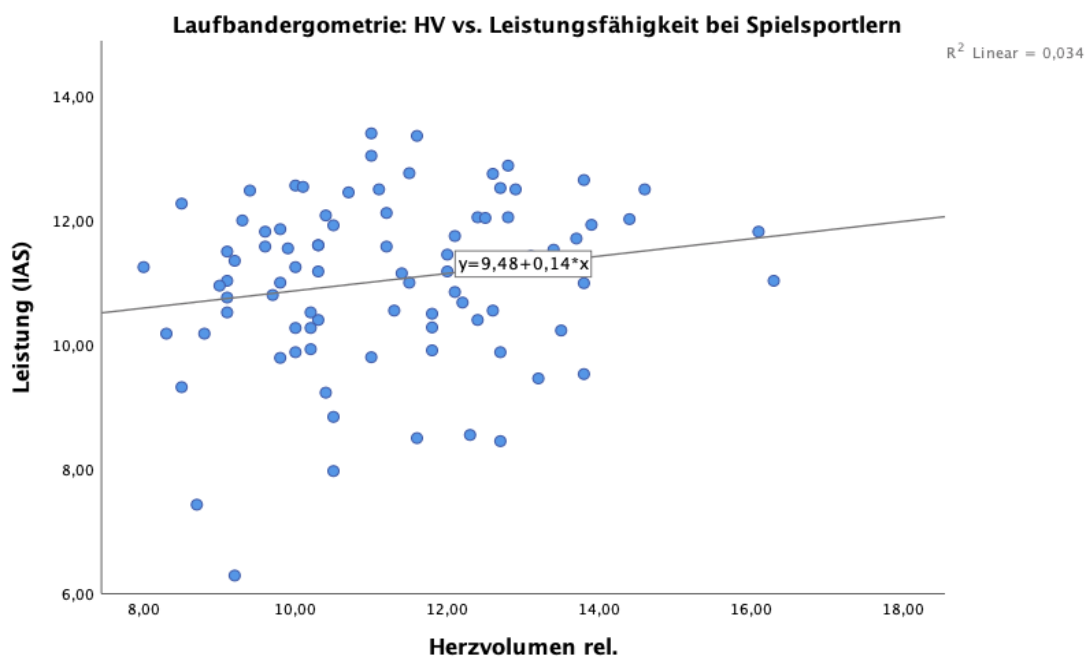
Tabelle 39: LE: Einfache lineare Regression - Kraftsportler

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,001	0,000		0	0,992
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	10,134			
HV	0,001	0,125	0,010	0,992

Tabelle 40: LE: Multiple lineare Regression - Kraftsportler

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,334	0,112	0,112	2,051	0,119		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	8,720					
HV	0,069	0,125	0,554	0,585	0,927	1,079

Geschlecht	-0,858	0,425	-2,018	<0,05	0,981	1,019
Alter	0,074	0,058	1,271	0,210	0,927	1,079



Spielsportler (n=85)

Abbildung 38: Herzvolumen vs. Leistung - Spielsportler Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)

HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht, IAS = Individuelle anaerobe Schwelle

Tabelle 41: LE: Einfache lineare Regression - Spielsportler

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,183	0,034	0,022	2,883	0,093
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	9,477			
HV	0,139	0,082	1,698	0,093

Tabelle 42: LE: Multiple lineare Regression - Spielsportler

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,359	0,129	0,097	4,006	0,010		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	9,087					

HV	0,125	0,085	1,478	0,143	0,865	1,156
Geschlecht	-0,777	0,299	-2,597	0,011	0,941	1,062
Alter	0,054	0,036	1,508	0,135	0,912	1,097

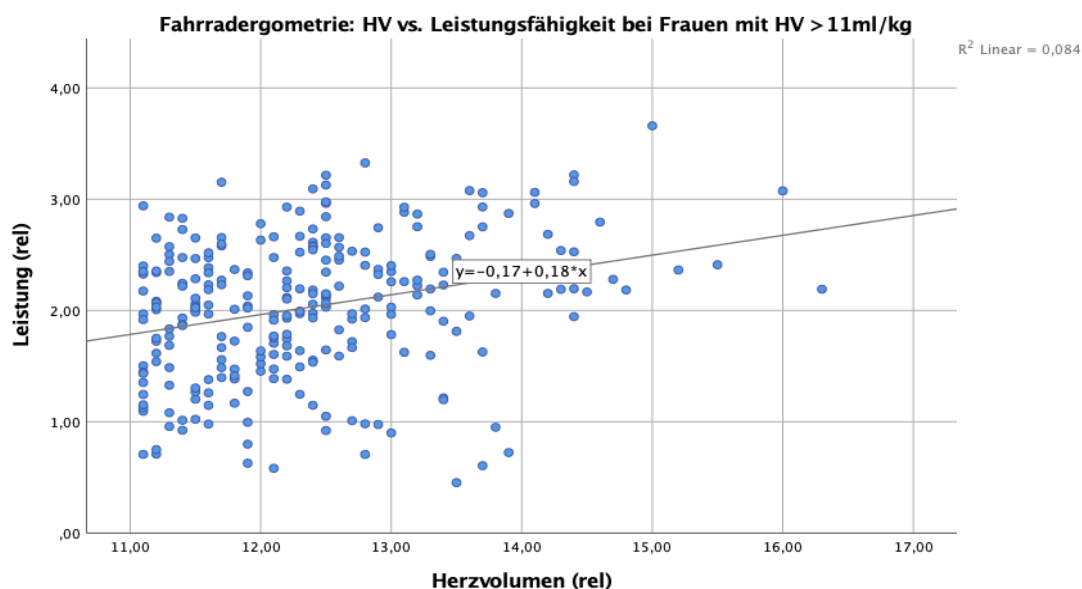
Bei der Analyse der Daten, die den drei Sportartgruppen zugeordnet werden konnten, konnte bei der Gruppe der Spielsportler kein signifikanter Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Leistungsfähigkeit festgestellt werden. In der multiplen Regression zeigte lediglich die unabhängige Variable „Geschlecht“ einen signifikanten Einfluss ($p < 0,05$). Bei den Kraftsportlern ist die Analyse der Gruppe Laufbandergometrie nicht signifikant, auch das Streudiagramm zeigt keinen klaren linearen Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit. Lediglich bei der einfachen linearen Regression der Kraftsportler der Gruppe Fahrradergometrie konnte mit einem $p < 0,05$ ein signifikanter Zusammenhang von Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit festgestellt werden, der Regressionskoeffizient beträgt dabei 0,099. Bei der multiplen Regression derselben Gruppe zeigten sich die unabhängigen Variablen Herzvolumen und Alter nicht signifikant. Bei den Ausdauersportlern wurde dagegen sowohl bei der Gruppe der Fahrradergometrie als auch bei der Laufbandergometrie ein signifikanter Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit festgestellt mit dem höchsten R^2 bei der Fahrradergometrie mit 0,408. Die Regressionskoeffizienten betragen dabei für das HV 0,11 für das Alter -0,028 und für das Geschlecht (weiblich) -0,608.

3.2.5 Probanden mit vergrößertem Herzvolumen

3.2.5.1 Fahrradergometrie

Frauen mit vergrößertem Herzvolumen (>11 ml/kg KG; n=266)

Abbildung 39: Herzvolumen vs. Leistung - Frauen mit HV >11ml/kg KG
Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 43: FE: Einfache lineare Regression - Frauen mit vergr. Herzvolumen

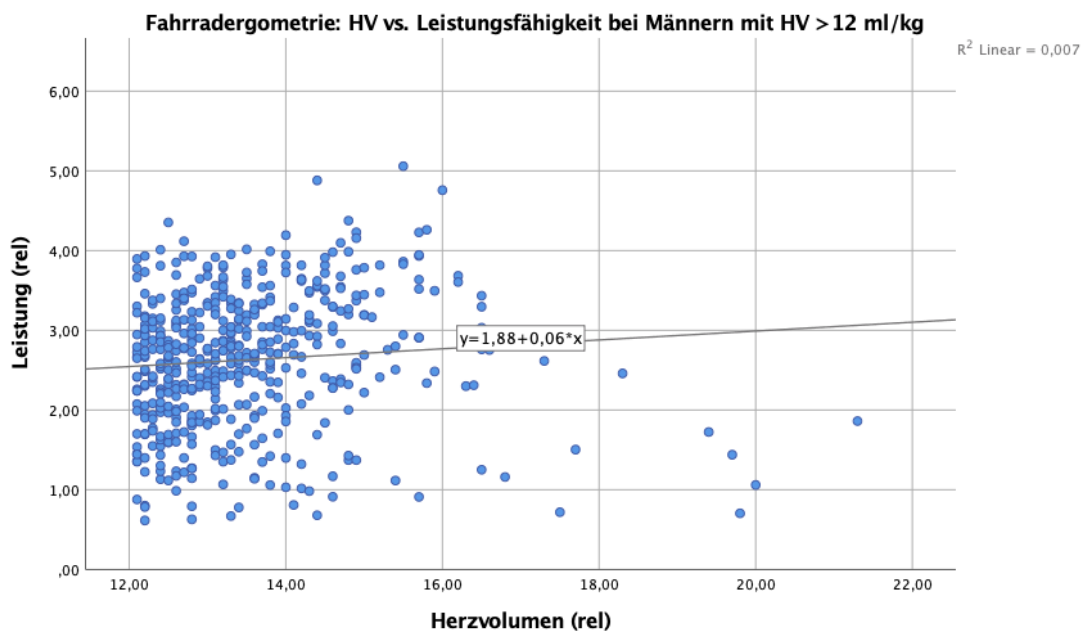
R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,290	0,084	0,080	24,197	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	-0,174			
HV	0,178	0,036	4,919	<0,01

Tabelle 44: FE: Multiple lineare Regression - Frauen mit vergr. Herzvolumen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,646	0,418	0,414	94,426	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	1,315					
HV	0,099	0,30	3,354	<0,01	0,953	1,049
Alter	-0,017	0,001	-	<0,01	0,953	1,049
			12,285			

Männer mit vergrößertem Herzvolumen (>12 ml/kg KG; n=502)

Abbildung 40: Herzvolumen vs. Leistung - Männer mit HV >12ml/kg KG
Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 45: FE: Einfache lineare Regression - Männer mit vergr. Herzvolumen

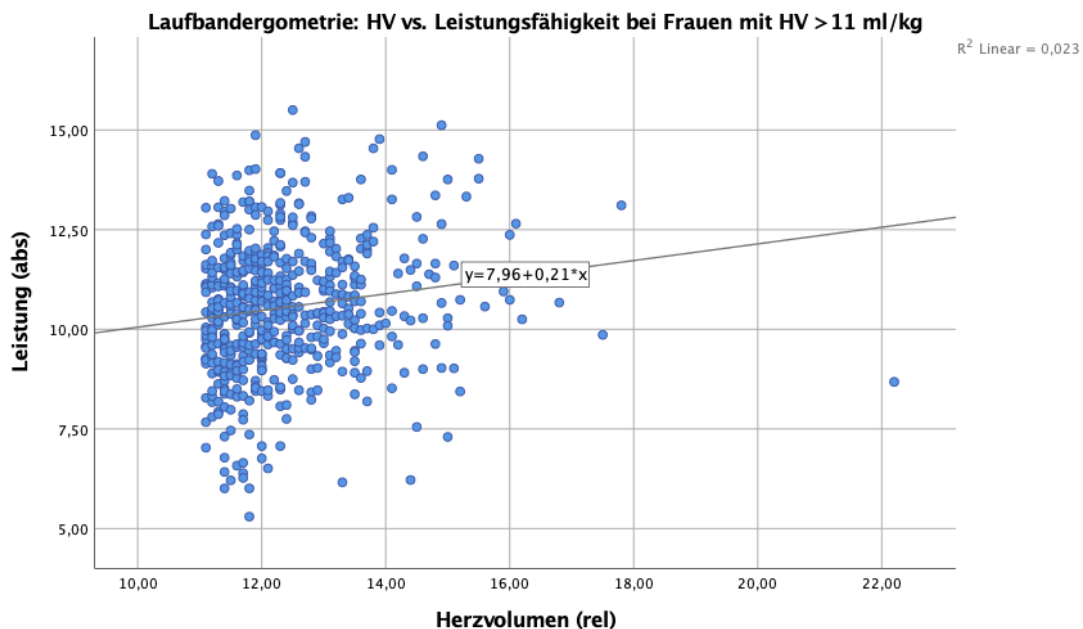
R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,086	0,007	0,005	3,706	0,055
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	1,878			
HV	0,056	0,029	1,925	0,055

Tabelle 46: FE: Multiple lineare Regression - Männer mit vergr. Herzvolumen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,534	0,286	0,283	99,758	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	2,615					
HV	0,056	0,025	2,285	0,023	1,0	1,0
Alter	-0,023	0,002	-13,942	<0,01	1,0	1,0

3.2.5.2 Laufbandergometrie

Frauen mit vergrößertem Herzvolumen (> 11 ml/kg KG; n=585)

Abbildung 41: Herzvolumen vs. Leistung - Frauen mit HV >11ml/kg KG
Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)

HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 47: LE: Einfache lineare Regression - Frauen mit vergr. Herzvolumen

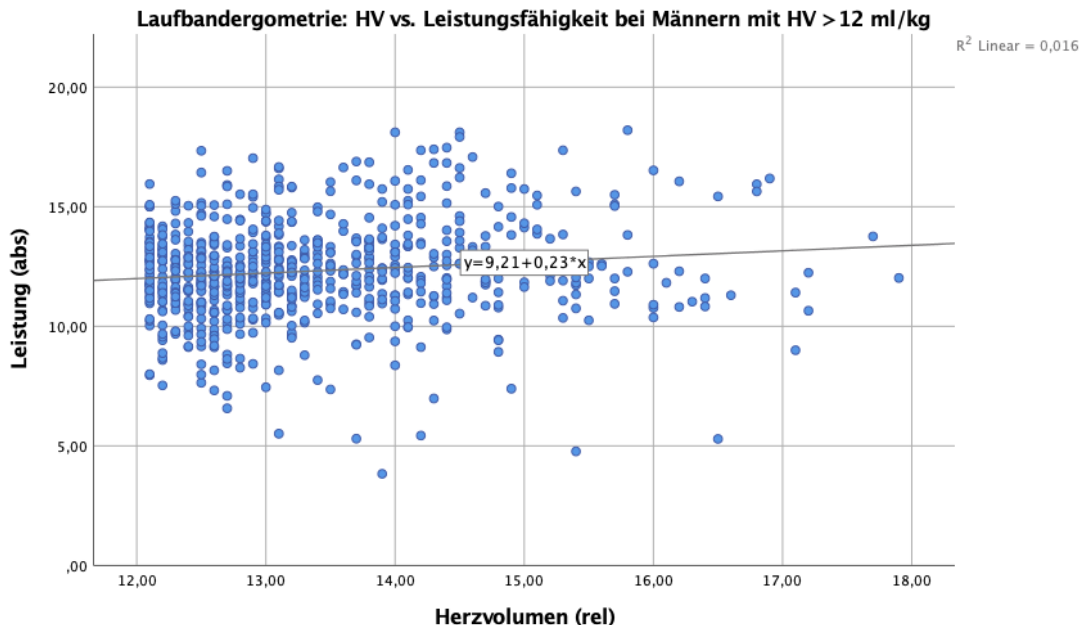
R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,152	0,023	0,022	13,869	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	7,965			
HV	0,209	0,056	3,724	<0,01

Tabelle 48: LE: Multiple lineare Regression - Frauen mit vergr. Herzvolumen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,232	0,054	0,050	16,528	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	8,964					
HV	0,167	0,056	2,974	<0,01	0,97	1,031
Alter	-0,019	0,004	-4,332	<0,01	0,97	1,031

Männer mit vergrößertem Herzvolumen (> 12 ml/kg KG; n=739)

**Abbildung 42: Herzvolumen vs. Leistung - Männer mit HV >12ml/kg KG
Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)**



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 49: LE: Einfache lineare Regression - Männer mit vergr. Herzvolumen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,126	0,016	0,014	11,834	<0,01
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	9,212			
HV	0,232	0,067	3,440	<0,01

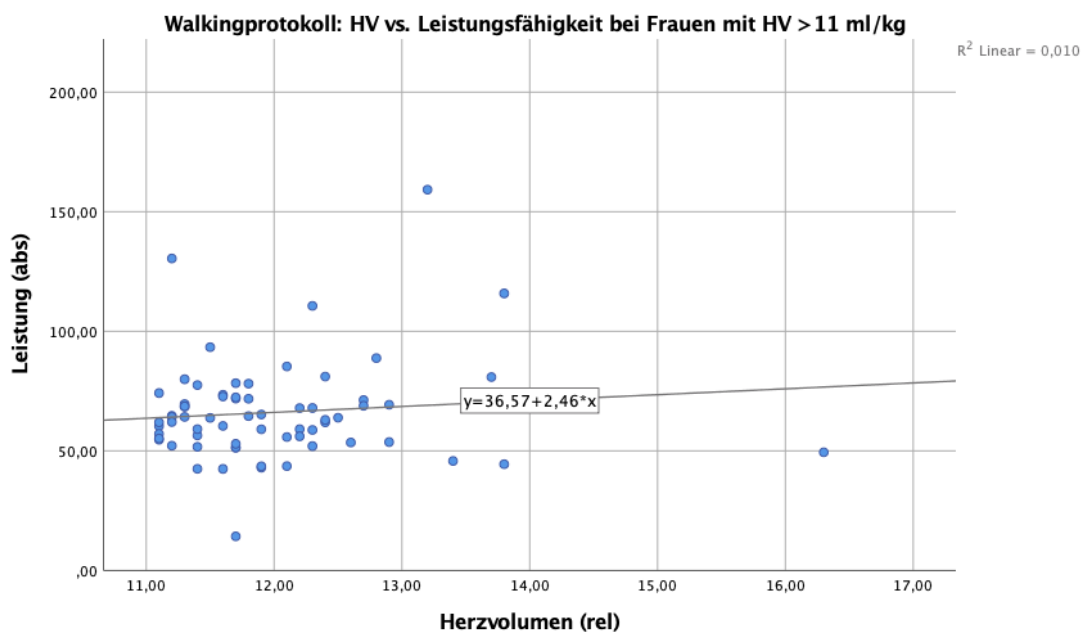
Tabelle 50: LE: Multiple lineare Regression - Männer mit vergr. Herzvolumen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,153	0,023	0,021	8,785	<0,01		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	9,750					
HV	0,214	0,068	3,167	<0,01	0,988	1,012
Alter	-0,01	0,004	-2,379	0,018	0,988	1,012

3.2.5.3 Walkingprotokoll

Frauen mit vergrößertem Herzvolumen (> 11 ml/kg KG; n=67)

Abbildung 43: Herzvolumen vs. Leistung - Frauen mit HV >11ml/kg KG Walkingprotokoll (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 51: WP: Einfache lineare Regression - Frauen mit vergr. Herzvolumen

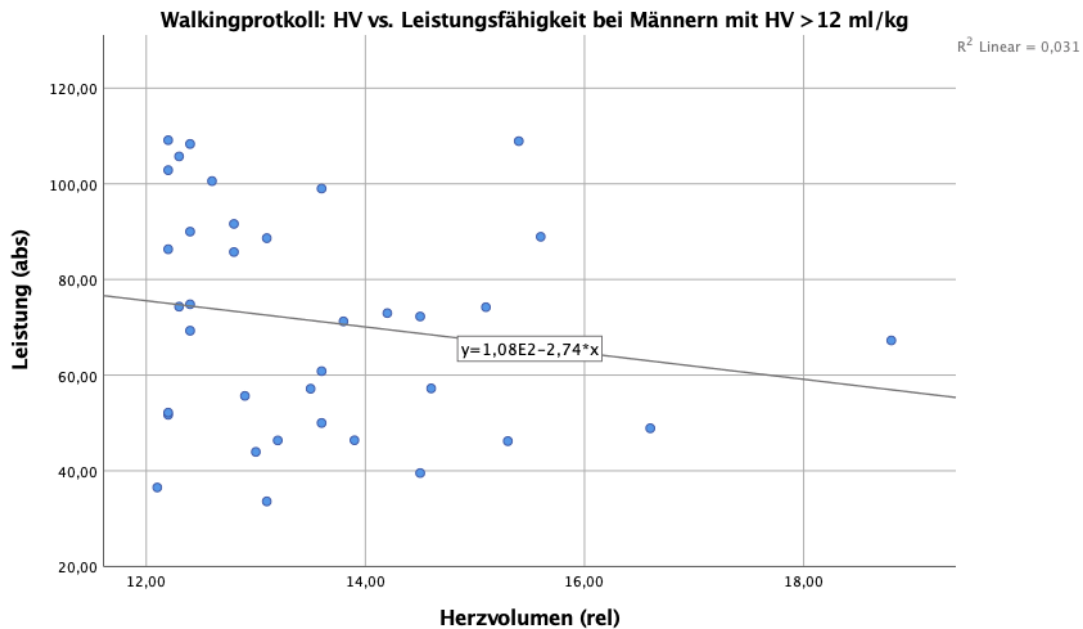
R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,102	0,010	-0,005	0,683	0,411
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	36,566			
HV	2,462	2,978	0,827	0,411

Tabelle 52: WP: Multiple lineare Regression - Frauen mit vergr. Herzvolumen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,210	0,044	0,014	1,474	0,237		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	46,924					
HV	2,752	2,956	0,931	0,355	0,996	1,004
Alter	-0,262	0,174	-0,184	0,138	0,996	1,004

Männer mit vergrößertem Herzvolumen (> 12 ml/kg KG; n=36)

Abbildung 44: Herzvolumen vs. Leistung - Männer mit HV >12ml/kg KG Walkingprotokoll (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt)



HV = Herzvolumen, KG = Körpergewicht

Tabelle 53: WP: Einfache lineare Regression - Männer mit vergr. Herzvolumen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz
0,175	0,031	0,002	1,079	0,306
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz
Konstante	108,395			
HV	-2,737	2,635	-1,039	0,306

Tabelle 54: WP: Multiple lineare Regression - Männer mit vergr. Herzvolumen

R	R ²	korrigiertes R ²	F	Signifikanz		
0,205	0,042	-0,016	0,723	0,493		
Variable	B	Standardfehler	T	Signifikanz	Toleranz	VIF
Konstante	95,923					
HV	-2,378	2,721	-0,874	0,388	0,955	1,047
Alter	0,134	0,216	0,622	0,538	0,955	1,047

Bei der Auswertung der Daten von Probanden mit einem vergrößerten Herzvolumen konnte bei den Gruppen des Walkingprotokolls kein signifikanter Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit festgestellt werden, auch die Streudiagramme zeigen keinen klaren linearen Zusammenhang. Das höchste Bestimmtheitsmaß der anderen Ergometriegruppen zeigt sich bei den weiblichen Probanden der Gruppe Fahrradergometrie mit einem R^2 von 0,414 und den Regressionskoeffizienten von 0,099 für das HV und -0,017 für das Alter. In den Analysen der anderen Gruppen der Probanden mit vergrößertem Herzvolumen war das R^2 verglichen mit den vorherigen Auswertungen eher gering (zwischen 0,016 und 0,084).

4 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit soll geklärt werden, ob ein Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Leistungsfähigkeit besteht. Dazu wurden Routinedaten der Sportmedizin Tübingen statistisch analysiert und ausgewertet. Die Probanden wurden je nach Art der Erhebung der Daten in die Gruppen Fahrradergometrie, Laufbandergometrie und Walkingprotokoll eingeteilt. Neben dem Einfluss des Herzvolumens auf die Ausdauerleistungsfähigkeit wurde auch der Einfluss des Geschlechts und des Alters geprüft. Die Daten wurden außerdem in Untergruppen nach hauptsächlich ausgeübter Sportart und vergrößertem Herzvolumen eingeteilt und entsprechend analysiert.

4.1 Probandenkollektiv

Die verwendeten Daten stammen von Patienten und Athleten der Abteilung Sportmedizin des Universitätsklinikums Tübingen, wobei es sich um eine sehr heterogene Gruppe handelt. Sowohl jugendliche Kaderathleten als auch Patienten, die zur Abklärung von Beschwerden in die Sportmedizin kommen, aber auch weitgehend gesunde Personen, die im Rahmen einer sportmedizinischen Routinediagnostik eine Leistungsdiagnostik bekamen, sind Teil dieser Studie. Es kann also davon ausgegangen werden, dass es sich um eine relativ heterogene Gruppe handelt, die ein breites Bevölkerungsspektrum widerspiegelt. Der Altersdurchschnitt der Probanden der Fahrradergometrie liegt mit 41 Jahren im mittleren Alter und ist somit eine geeignete Gruppe für die Untersuchung des Zusammenhangs von Herzgröße und Leistungsfähigkeit, da in diesem Alter davon ausgegangen werden kann, dass in der Regel noch keine schwerwiegenden kardialen Pathologien vorliegen, die die Ergebnisse beeinflussen könnten. Einen verhältnismäßig großen Anteil machen sowohl bei der Fahrradergometrie als auch bei der Laufbandergometrie die Jugendlichen aus, was damit zusammenhängt, dass in der Sportmedizin regelmäßige Routineuntersuchungen von Kaderathleten durchgeführt werden. Ähnliches trifft auch auf die Probandengruppe der Laufbandergometrie zu, jedoch ist hier das Durchschnittsalter noch etwas geringer, was am größeren Anteil der jugendlichen

Probanden liegt. Es ist anzunehmen, dass ein großer Anteil der jungen Probanden die Leistungsdiagnostik bevorzugt auf dem Laufband absolviert, da Lauftraining Inhalt von vielen Sportarten ist. Betrachtet man die Altersverteilung der Probanden der Gruppe Walkingprotokoll, fällt auf, dass der Altersdurchschnitt mit 47 Jahren hier deutlich höher ist und auch der Anteil junger Probanden sehr gering ausfällt. Es gibt keinen zweiten Peak bei den Jugendlichen. Eine Leistungsdiagnostik mit Walkingprotokoll wird eher bei den Probanden durchgeführt, die altersbedingt eine geringe Fitness besitzen, oder aber auch (stark) übergewichtig sind. Bei dieser Gruppe ist außerdem anzunehmen, dass es sich teilweise um Probanden handelt, die bereits Vorerkrankungen haben und deswegen möglicherweise auch weniger leistungsfähig sind. Das durchschnittliche Herzvolumen in dieser Gruppe ist mit 8,2 ml/kg Körpergewicht deutlich geringer als in den anderen beiden Gruppen (durchschnittliches Herzvolumen Gruppe Fahrradergometrie: 10,7 ml/kg KG; durchschnittliches Herzvolumen Gruppe Laufbandergometrie: 11,2 ml/kg KG), was vermutlich mit dem ebenfalls deutlich höheren durchschnittlichen BMI von 34,7 kg/m² in dieser Gruppe in Verbindung zu bringen ist. Im Gegensatz dazu liegen die anderen beiden Gruppen mit ihrem durchschnittlichen BMI von 24,1 kg/m² (Fahrradergometrie) und 22,1 kg/m² (Laufbandergometrie) im Normbereich. Obwohl in den Gruppen Fahrradergometrie und Laufbandergometrie relativ viele aktive Sportler enthalten sind, ist der Anteil an durch Ausdauersport vergrößerten Herzvolumina nicht groß. Nur bei etwa 15 % aller Sportler zeigt sich ein deutlich vergrößertes HV [6].

4.2 Zusammenhang von Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit

In der Datenanalyse konnte in allen drei Gruppen ein signifikanter Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit nachgewiesen werden. Mit einem korrigierten R² von 0,475 konnte der Zusammenhang bei den mit der Fahrradergometrie erhobenen Daten mit der multiplen Regression am deutlichsten gezeigt werden, was sich damit erklären

lässt, dass bei der Fahrradergometrie die Leistung besser auf das Körpergewicht relativiert werden kann als bei der Laufbandergometrie, bei der das Bestimmtheitsmaß der multiplen Regression mit R^2 von 0,277 weniger stark ausfällt. Es konnten in diesem Fall also 47,5% der mittels Fahrradergometrie ermittelten Ausdauerleistungsfähigkeit durch das Modell erklärt werden. Ein höheres Bestimmtheitsmaß in der multiplen linearen Regression der Fahrradergometrie als in der multiplen linearen Regression der Laufbandergometrie lässt sich in allen Auswertungsgruppen wiederfinden, was diese Annahme zusätzlich unterstützt.

Auffällig ist das sehr geringe R^2 bei der einfachen Regression der Walkingprotokoll-Gruppe mit 0,029. Dieser Wert wird lediglich von den Probanden mit vergrößertem Herzvolumen unterschritten. Außerdem ist bei dieser Gruppe im Gegensatz zur Fahrradergometrie und Laufbandergometrie der Regressionskoeffizient des Herzvolumens negativ. Steigt das Herzvolumen, nimmt die Ausdauerleistungsfähigkeit hier also ab, was sich dadurch erklärt, dass sich in dieser Gruppe vermehrt Probanden befinden, die ein pathologisch vergrößertes Herz haben, was zu einer geringeren Leistungsfähigkeit führt je stärker die Erkrankung ausgeprägt ist. Das deutlich geringere R^2 bei der einfachen Regression als bei der multiplen Regression zeigt aber auch, dass sich bei dieser Gruppe die Ausdauerleistungsfähigkeit nur zu einem geringen Teil mit dem Herzvolumen erklären lässt. Zwar ist auch bei den anderen Gruppen das R^2 bei der multiplen Regression größer als bei der einfachen Regression, jedoch ist der Unterschied nicht ganz so groß wie bei den Probanden der Walkingprotokoll-Gruppe. Hier ist das Modell, das auch das Alter und vor allem das Geschlecht miteinschließt, deutlich besser geeignet, um den Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit zu beschreiben. Es ist also davon auszugehen, dass in der Gruppe Walking-Protokoll vermehrt andere Faktoren auftreten, die die Ausdauerleistungsfähigkeit zusätzlich negativ beeinflussen, wie zum Beispiel der oben beschriebene hohe BMI oder auch andere, hier nicht erfasste Faktoren wie zum Beispiel Gelenkerkrankungen oder -schmerzen, die

mit zunehmendem Alter vermehrt auftreten, so dass es letztendlich zu einer eher geringen negativen Korrelation kommt.

Personen mit einem verhältnismäßig größeren Herzvolumen weisen also in den Gruppen Fahrradergometrie und Laufbandergometrie eine höhere Ausdauerleistungsfähigkeit auf. Da es sich bei den Probanden nicht ausschließlich um Ausdauersportler handelt und auch die Entwicklung eines Sportherzens selbst bei dieser Personengruppe nur selten ausgeprägt ist, ist davon auszugehen, dass nur bei einem sehr geringen Teil der Probanden maßgebliche strukturelle Anpassungen im Herzen, im Sinne eines Sportherzens, als Reaktion auf extensives Ausdauertraining stattgefunden haben. Daraus lässt sich erkennen, dass Personen, die genetisch determiniert ein größeres Herzvolumen in Bezug auf das Körpergewicht haben, eine höhere Ausdauerleistungsfähigkeit als Personen haben, die ein geringeres Herzvolumen aufweisen. Denkbar wäre also, dass das Herzvolumen, unter anderen nicht zu vernachlässigenden Einflussfaktoren, eine Grundlage für ein gewisses „Talent“ in diesem Bereich ist und diese Menschen dann auch vermehrt im Ausdauersport aktiv und auch erfolgreich sind. Bereits nachgewiesen wurde der Einfluss des individuellen genetischen Profils auf die Reaktion des Herzens auf Ausdauersport. Sportler mit einem sehr hohen Trainingsumfang im Ausdauerbereich können ein unverändertes Herzvolumen aufzeigen, wohingegen bei anderen Sportlern mit deutlich geringerem Trainingsumfang bereits eine Anpassungsreaktion im Sinne eines Sportherzens gezeigt werden kann [2]. Es ist also zu vermuten, dass bereits durch die genetische Veranlagung unterschiedliche Voraussetzungen vor Trainingsbeginn vorhanden sind. Allerdings muss beachtet werden, dass die Ausdauerleistungsfähigkeit auch von weiteren Faktoren beeinflusst werden kann, die in dieser Analyse nicht miteingeschlossen werden konnten wie zum Beispiel Sauerstoffaufnahme, Technik, Körperfettanteil, Ernährung.

4.3 Einfluss des Geschlechts

Der Einfluss des Geschlechts auf die Ausdauerleistungsfähigkeit zeigt sich in allen multivariaten Analysen signifikant, der Regressionskoeffizient ist für das Geschlecht „weiblich“ immer negativ. Betrachtet man die Analysen der erwachsenen Frauen und Männer im Vergleich, sieht man in allen drei Ergometriegruppen einen etwas stärkeren Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Leistungsfähigkeit bei den Männern als bei den Frauen. Auch hier zeigen sich die höchsten Werte bei der multiplen linearen Regression der Fahrradergometrie mit einem R^2 von 0,31 bei den Frauen und einem R^2 von 0,357 bei den Männern, was wie oben bereits beschrieben vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass bei der Fahrradergometrie die Leistung besser auf das Gewicht relativiert werden kann als bei der Laufbandergometrie. Nur bei der Gruppe der Frauen, deren Ausdauerleistungsfähigkeit mittels Walkingprotokoll bestimmt wurde, hat der Parameter Herzvolumen in der multiplen linearen Regression keinen signifikanten Einfluss auf die Ausdauerleistungsfähigkeit und auch bei der einfachen linearen Regression ist der Einfluss zwar signifikant, mit einem R^2 von 0,039 aber sehr gering ausgeprägt. Bei den männlichen Probanden der Gruppe Walkingprotokoll ist der Einfluss des Herzvolumens zwar signifikant, aber doch geringer ausgeprägt als bei den anderen Gruppen, was die vorherige Annahme unterstützt, dass in dieser Gruppe vermehrt Probanden eingeschlossen sind, bei denen aus unterschiedlichen Gründen eine Einschränkung der Ausdauerleistungsfähigkeit vorliegen könnte. Dass die körperliche Leistungsfähigkeit von Männern höher ist als die von Frauen, ist allseits bekannt, weswegen vor allem im Leistungssport in den meisten Sportarten die Teilnehmer nach Geschlecht getrennt gewertet werden (Ausnahmen sind beispielsweise Reitsport, Segelsport, Motorsport). Der Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit fällt bei den Frauen vermutlich geringer aus als bei den Männern, da bei den Frauen vermehrt andere Faktoren einen erheblichen Einfluss auf die Ausdauerleistungsfähigkeit haben. Beispielsweise haben Frauen eine niedrigere O_2 -Transport-Kapazität, außerdem im Durchschnitt eine höhere Fettmasse [13]

und eine geringere Muskelmasse [14], was sich negativ auf die Leistungsfähigkeit auswirkt.

Die Jugendlichen wurden ebenfalls getrennt nach Geschlecht ausgewertet, und auch hier zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit. Der Unterschied zwischen den Geschlechtern war jedoch etwas geringer ausgeprägt als bei den erwachsenen Probanden. Sehr wahrscheinlich werden die geschlechterspezifischen Unterschiede, die zu einer unterschiedlichen Ausdauerleistungsfähigkeit führen, erst im Laufe des Erwachsenwerdens endgültig ausgebildet, wodurch der Geschlechterunterschied bei den Jugendlichen geringer ausfällt als bei den ausgewachsenen Probanden.

4.4 Einfluss des Alters

Das Alter wurde bei allen multiplen linearen Regressionen als unabhängige Variable in die Auswertung miteingeschlossen und zeigte auch bei fast allen Gruppen mit $p < 0,01$ einen signifikanten Einfluss auf die Ausdauerleistungsfähigkeit. Insgesamt war das Bestimmtheitsmaß R^2 größer, wenn zusätzlich zum HV auch der Einfluss des Alters auf die Ausdauerleistungsfähigkeit geprüft wurde. Das Alter ist also ein nicht zu vernachlässigender Faktor, wenn der Zusammenhang von Herzvolumen und Leistungsfähigkeit betrachtet wird. Auffällig ist hierbei, dass beim Gesamtkollektiv der Regressionskoeffizient negativ ist, ebenso wie bei den Untergruppen der erwachsenen Probanden, wohingegen der Regressionskoeffizient für das Alter bei den Jugendlichen positiv ist. Bei den Jugendlichen nimmt die Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter also zu, während bei ausgewachsenen Personen die Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter abnimmt, was sich damit erklären lässt, dass die körperliche Entwicklung der Jugendlichen (wie oben beschrieben) noch nicht vollständig abgeschlossen ist und somit auch noch nicht die volle Leistungsfähigkeit erreicht werden kann. Allerdings war der Unterschied des R^2 bei den Jugendlichen zwischen den Analysen mit und ohne die unabhängige Variable „Alter“ deutlich geringer als bei

den Auswertungen, die ausschließlich mit erwachsenen Probanden durchgeführt wurden. Dies mag auch daran liegen, dass das Vorliegen weiterer, nicht erfasster Einflussfaktoren wie Vorerkrankungen bei jugendlichen Personen seltener vorkommen als beim Kollektiv der Erwachsenen, insbesondere bei den untersuchten Personen im höheren Lebensalter. Außerdem muss auch bedacht werden, dass es sich teils um eher kleinere Stichproben handelt, was die Ergebnisse ebenfalls beeinflussen kann.

Mit höherem Alter steigt aber auch die Inzidenz von Verletzungen und Erkrankungen, die sich negativ auf die Ausdauerleistungsfähigkeit bzw. das Training auswirken können, wodurch gerade bei älteren Personen das Modell, das das Alter miteinbezieht, die Ausdauerleistungsfähigkeit deutlich besser vorhersagen kann als die einfache lineare Regression, bei der nur der Einfluss des Herzvolumens geprüft wird. Bei den Jugendlichen beeinflusst das Alter die Ausdauerleistungsfähigkeit wohl weniger stark, weswegen das R^2 der multiplen linearen Regression sich geringer vom R^2 der einfachen linearen Regression unterscheidet. Vergleicht man das Bestimmtheitsmaß der multiplen linearen Regression der Jugendlichen mit denen der erwachsenen Probanden, ist der Wert bei den Jugendlichen in fast allen Gruppen deutlich geringer. In anderen Studien wurde bereits beschrieben, dass die Entwicklung eines Sportherzens zwar auch bei Kindern festzustellen ist, jedoch in sehr viel geringerem Ausmaß [15]. Ein vergrößertes Herzvolumen im Rahmen der Anpassungsreaktion des Herzens auf intensives Ausdauertraining führt nach heutigem Kenntnisstand zu einer Steigerung der Leistungsfähigkeit, wodurch der Zusammenhang von Herzvolumen und Leistungsfähigkeit stärker ausgeprägt ist, da das größere Herzvolumen (zusammen mit anderen Anpassungsreaktionen) zu einer gesteigerten Ausdauerleistungsfähigkeit führt. Wenn diese Anpassungsreaktion bei Jugendlichen jedoch deutlich weniger ausgeprägt ist, beeinflusst das Herzvolumen bei noch nicht ausgewachsenen Personen vermutlich auch in geringerem Maße die Ausdauerleistungsfähigkeit [2, 4].

Betrachtet man die unterschiedlichen Ergometriearten, fällt auf, dass die Regressionskoeffizienten für das Alter bei der Laufbandergometrie deutlich

größer sind als bei der Gruppe der Fahrradergometrie. Dies korreliert mit den Ergebnissen anderer Studien, bei denen eine geringere Leistungsminderung mit dem Alter beim Fahrradfahren als beim Laufen bei Triathleten festgestellt werden konnte [16]. Die höchsten Regressionskoeffizienten für das Alter finden sich jedoch bei der Gruppe des Walkingprotokolls, was wie zuvor bereits beschrieben, damit zusammenhängt, dass mit steigendem Alter beispielsweise Verletzungen und Erkrankungen schlechter kompensiert werden können und der Altersdurchschnitt bei diesen Probanden höher ist als bei den anderen beiden Gruppen. Zudem werden in der sportmedizinischen Routine vor allem übergewichtige, oder schlechter belastbare Personen auf dem Laufband mittels Gehprotokoll belastet, was die Ergebnisse ebenfalls beeinflussen dürfte.

4.5 Einfluss der Sportart

Leider sind nur bei vergleichsweise wenig Probanden Informationen darüber vorhanden, welche Sportart sie in erster Linie ausüben, weshalb die Probandenanzahl dieser Untergruppen deutlich geringer ist als bei den Auswertungen der anderen Untergruppen. Bei der Gruppe Fahrradergometrie reichte die Zahl der Probanden nicht aus, die der Kategorie Spielsportler zugeordnet werden konnten, da typischerweise „sportartspezifisch“ belastet wird und die Laufbandbelastung dem Spielsport näherkommt als die Belastung auf dem Fahrradergometer. Folglich konnte nur eine Auswertung der Gruppe Laufbandergometrie gemacht werden. Bei den Probanden, bei denen die Ausdauerleistungsfähigkeit mittels Walkingprotokoll erfasst wurde, gab es für keine der Sportartengruppen eine ausreichende Anzahl an Probanden. Bei den Probanden, die angegeben hatten, eine Ausdauersportart auszuüben, konnte in der Analyse sowohl in der einfachen Regression als auch in der multiplen Regression ein signifikanter Zusammenhang von Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit festgestellt werden. Der stärkste Zusammenhang zeigte sich in der multiplen Regression der Gruppe Fahrradergometrie, bei der zusätzlich zum Herzvolumen auch der Einfluss der unabhängigen Variablen Alter und Geschlecht betrachtet wurden. Hier konnten 40,8% der Ausdauerleistungsfähigkeit über das Modell erklärt werden.

Bei den Kraftsportlern konnte nur bei der einfachen linearen Regression der Gruppe Fahrradergometrie ein schwach signifikanter Zusammenhang festgestellt werden mit $p < 0,05$ und einem R^2 von 0,112. Auch der Regressionskoeffizient war hierbei für das Herzvolumen nur 0,099. Insgesamt zeigten die Kraftsportler erwartungsgemäß im Durchschnitt eine geringere Ausdauerleistungsfähigkeit als die Ausdauersportler: Bei der Fahrradergometrie beträgt die durchschnittliche Leistung der Ausdauersportler 2,6 Watt/kg KG und bei den Kraftsportlern 2,2 Watt/kg KG. Bei der Laufbandergometrie liegt die mittlere Ausdauerleistung der Ausdauersportler bei 11,4 km/h, bei den Kraftsportlern bei 10,1 km/h. Bei einer gering ausgeprägten Grundlagenausdauer ist es schwieriger, die individuelle anaerobe Schwelle exakt zu bestimmen. Es ist also möglich, dass gerade bei der geringeren Probandenanzahl zu viele Schwellenwerte nicht korrekt bestimmt werden konnten und sich deswegen kein signifikanter Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit zeigt. Wenn man davon ausgeht, dass ein genereller Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit bei gesunden Personen besteht, dann müsste dieser Zusammenhang zumindest auch in geringem Maße bei Personen festgestellt werden können, die nicht regelmäßig eine Ausdauersportart ausüben. Dass bei dieser Gruppe bei der Fahrradergometrie eher ein Zusammenhang nachgewiesen werden konnte als bei der Laufbandergometrie, könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Bestimmung von IAS-Werten bei der Laktatleistungsdiagnostik auf dem Fahrradergometer genauer möglich ist.

Bei den Spielsportlern konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit festgestellt werden. Das Modell der multiplen linearen Regression ist zwar signifikant, jedoch zeigt lediglich der Parameter „Geschlecht“ einen signifikanten Einfluss auf die Ausdauerleistungsfähigkeit. Der Einfluss der Parameter „HV“ und „Alter“ sind nicht signifikant. Ein Problem bei der Gruppe der Spielsportler könnte sein, dass es sich um eine sehr heterogene Gruppe von Sportarten handelt, bei denen sowohl die Technik als auch die Ausdauer eine sehr große Rolle spielen. Zudem

handelt es sich im Vergleich zum Gesamtkollektiv um eine kleine Gruppe. Dieser Aspekt ist auch bei den anderen Auswertungen nach Sportart nicht zu vernachlässigen.

4.6 Probanden mit vergrößertem Herzvolumen

In diese Gruppe wurden alle Probanden eingeschlossen, bei denen in der Echokardiographie ein Herzvolumen über dem Normwert bestimmt wurde, also für Männer >12 ml/kg KG und bei den Frauen >11 ml/kg KG. Leider ist in den Datensätzen nicht dokumentiert, ob bei den Probanden eine kardiale Vorerkrankung bekannt ist und es sich um eine krankheitsbedingte Vergrößerung des Herzvolumens handeln könnte, oder ob das vergrößerte Herzvolumen durch eine physiologischen Anpassungsreaktion im Rahmen von Ausdauertraining bedingt ist. Bei der Gruppe der Probanden, bei denen die Leistungsdiagnostik mit Walkingprotokoll auf dem Laufband durchgeführt wurde, ergab die Analyse jedoch keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit, weder bei den Frauen noch bei den Männern. Wie bereits beschrieben bekamen in erster Linie die Probanden eine Diagnostik mit Walkingprotokoll, die eine eher geringere Ausdauerleistungsfähigkeit besitzen. Mit großer Wahrscheinlichkeit handelt es sich bei dieser Untergruppe also um Personen, die ein pathologisch vergrößertes Herzvolumen oder andere Vorerkrankungen haben und somit kein signifikanter Einfluss des Herzvolumens auf die Ausdauerleistungsfähigkeit nachweisbar bzw. zu erwarten ist. Bei der Fahrradergometrie und der Laufbandergometrie handelt es sich dagegen um leistungsfähigere Probanden, die möglicherweise ein physiologisch vergrößertes Herzvolumen haben. Bei beiden Gruppen zeigte sich bei den weiblichen Probanden ein größeres Bestimmtheitsmaß (Fahrradergometrie $R^2=0,414$) als bei den männlichen Probanden (Fahrradergometrie $R^2=0,283$). Diese war bei der multiplen linearen Regression der Fahrradergometrie stärker ausgeprägt als bei der Laufbandergometrie. Bei den weiblichen Probanden der Fahrradergometrie konnten bei der multiplen linearen Regression 41,4 % der Ausdauerleistungsfähigkeit mit dem Modell erklärt werden.

4.7 Limitationen der Studie

Mehrere Limitationen und Einschränkungen dieser Studie wurden bereits in der Diskussion erörtert. Ein wesentlicher Punkt stellt sicherlich die fehlende Dokumentation über den Gesundheitszustand der Probanden dar, da gerade eine Herzerkrankung die Größe und auch die Leistungsfähigkeit des Herzens maßgeblich beeinflussen kann. Aber auch andere Erkrankungen oder Verletzungen, die die Ausdauerleistungsfähigkeit beeinflussen könnten, sind bei diesen Daten nicht erfasst und könnten die Ergebnisse verzerren, da die Probanden dadurch eine schlechtere Ausdauerleistung erreichen als ohne einschränkende Vorerkrankung.

Eine weitere Limitation ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Echokardiographie, mit der das Herzvolumen der Probanden bestimmt wurde. Da die Echokardiographie sehr von der Schallbarkeit der Probanden und vor allem vom Untersucher abhängig ist [17] und nicht alle Probanden vom gleichen Untersucher geschallt wurden, ist zu vermuten, dass das Herzvolumen nicht bei allen Probanden exakt bestimmt werden konnte und es dadurch zu Diskrepanzen kommt. Dessen ungeachtet ist die Echokardiographie eine relativ zuverlässige Methode, um das Herzvolumen zu bestimmen [17].

In Bezug auf die Analyse der drei Sportartgruppen ist anzumerken, dass die Angabe der Sportart allein durch die Probanden erfolgte und keine genauen Informationen über Trainingsausmaß und -umfang vorlagen. Auch wurde der Trainingsstand nicht erfasst. Darüber hinaus kann eine saisonale Beeinflussung der Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden, da die Trainingsintensität je nach Sportart innerhalb eines Jahres unterschiedlich ausgeprägt sein kann. Außerdem wurde von jedem Probanden nur die Hauptsportart erfasst. In Hinblick auf die Auswertung könnte bei der Einteilung in die Gruppen Ausdauersport, Spielsport und Kraftsport relevant sein, ob die Probanden nicht eine andere Sportkategorie auch relativ häufig ausüben. Gerade bei diesen verhältnismäßig kleinen Probandengruppen ist es wahrscheinlich, dass größere Unterschiede vorliegen, welche die Ergebnisse verzerren und so die Aussagekraft reduziert ist.

Natürlich muss auch bedacht werden, dass es sich bei den Daten nicht um eine Probandengruppe handelt, die zufällig aus der allgemeinen Bevölkerung ausgewählt wurde. Zwar umfasst das Klientel der Sportmedizin eine relativ heterogene Gruppe an Probanden, jedoch muss auch beachtet werden, dass es sich größtenteils entweder um Patienten mit bekannten Pathologien handelt oder um Leistungssportler bzw. ambitionierte Amateursportler mit größerem Interesse an effektivem Training und medizinischer Gesundheit. Es ist also möglich, dass ein gewisser Selektionseffekt vorliegt.

5 Zusammenfassung

Der Zusammenhang von Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit wird in der Sportmedizin meist im Zusammenhang mit der Ausbildung eines sogenannten Sportherzens diskutiert. Dass hierbei ein größeres Herzvolumen die Ausdauerleistungsfähigkeit positiv beeinflusst, konnte bereits gezeigt werden, jedoch gibt es relativ wenige Studien, die sich mit dem Zusammenhang von Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit bei einem breiten Probandenkollektiv beschäftigen, das nicht nur Leistungssportler einschließt. Ziel dieser retrospektiven Datenanalyse von Routinedaten der Sportmedizin Tübingen war deshalb, den Zusammenhang von Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit bei einem relativ breit aufgestellten Probandenkollektiv zu prüfen. Dafür wurden Daten von 7763 Probanden ausgewertet, die im Rahmen einer Leistungsdiagnostik sowohl eine echokardiographische Bestimmung des Herzvolumens als auch eine Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle auf dem Laufband- oder dem Fahrradergometer bekommen haben.

Der Einfluss des Herzvolumens auf die Ausdauerleistungsfähigkeit wurde zunächst mit einer einfachen linearen Regression analysiert, anschließend mit einer multiplen linearen Regression, bei der die Einflussfaktoren Alter und Geschlecht in die Auswertung miteinbezogen wurden. Zusätzlich zum Gesamtkollektiv der drei verschiedenen Ergometriearten Fahrradergometrie, Laufbandergometrie und Walkingprotokoll wurden sowohl die Untergruppen Jugendliche, Frauen beziehungsweise Männer, Mädchen beziehungsweise Jungen als auch sportartspezifische Untergruppen ausgewertet, soweit Daten von ausreichend vielen Probanden vorhanden waren.

Bei der Analyse der Daten konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit gezeigt werden, der je nach Untergruppe unterschiedlich stark ausgeprägt war. Generell war deutlich zu erkennen, dass die Analyse eine höhere Signifikanz zeigte, wenn Alter und Geschlecht mit in das Modell einbezogen wurden. Die Ausdauerleistungsfähigkeit lässt sich also wie zu erwarten nur zu einem Teil

durch das Herzvolumen erklären. Am stärksten ausgeprägt zeigt sich der Zusammenhang im Gesamtkollektiv der Gruppe Fahrradergometrie, bei dem die Ausdauerleistungsfähigkeit zu 47,5% mit dem Modell erklärt werden konnte, bei dem zusätzlich zum Herzvolumen auch Geschlecht und Alter als Einflussfaktoren betrachtet wurden. Bei der Gruppe der Laufbandergometrie konnte ebenfalls ein Zusammenhang festgestellt werden. Aufgrund der etwas schlechteren Relation zum Körpergewicht bei der Leistungsdiagnostik auf dem Laufband im Vergleich zum Fahrradergometer, fiel das Bestimmtheitsmaß etwas geringer aus. Die einzige negative Korrelation zeigte sich bei den Probanden, die eine Leistungsdiagnostik mittels Walkingprotokoll bekamen, da sich in dieser Gruppe vermutlich vermehrt Probanden mit kardialen oder anderen Vorerkrankungen befinden, bei denen ein am ehesten pathologisch vergrößertes Herzvolumen eine Leistungsminderung bewirkt und keine Steigerung.

Auch bei den Jugendlichen zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit, jedoch weniger stark ausgeprägt wie in der Gesamtheit der Probanden, was darauf zurückzuführen ist, dass die körperliche Entwicklung noch nicht vollständig abgeschlossen ist.

Es ist also davon auszugehen, dass ein Zusammenhang von Herzvolumen und Leistungsfähigkeit besteht und das bei einer relativ breiten Gruppe an Probanden, nicht nur bei Ausdauersportlern. Denkbar ist außerdem, dass sich bei Menschen, die aufgrund einer genetischen Disposition ein großes Herzvolumen in Relation zu ihrem Körpergewicht haben, eine überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit im Ausdauerbereich bemerkbar macht und diese daraufhin vor allem Ausdauersport ausüben. Da es durch extensives Ausdauertraining zu einer physiologischen Anpassungsreaktion des Herzens kommt, wodurch unter anderem das Herzvolumen größer wird und die Leistungsfähigkeit noch gesteigert wird, ist es nicht verwunderlich, dass sich der Zusammenhang zwischen Herzvolumen und Ausdauerleistungsfähigkeit bei den Ausdauersportlern besser nachweisen ließ als bei den Kraft- und Spielsportlern, jedoch wären hier noch weitere Analysen mit einer größeren Probandenanzahl angebracht. Außerdem wäre es interessant, in weiterführenden Studien den

Trainingsstand bzw. Trainingsumfang der Probanden in die Analyse miteinzuschließen.

6 Literaturverzeichnis

6.1 Literaturverzeichnis

1. Parry-Williams, G. and S. Sharma, *The effects of endurance exercise on the heart: panacea or poison?* Nat Rev Cardiol, 2020. **17**(7): p. 402-412.
2. Rivera-Brown, A.M. and W.R. Frontera, *Principles of exercise physiology: responses to acute exercise and long-term adaptations to training.* Pm r, 2012. **4**(11): p. 797-804.
3. Scharhag, J., H. Lollgen, and W. Kindermann, *Competitive sports and the heart: benefit or risk?* Dtsch Arztebl Int, 2013. **110**(1-2): p. 14-23; quiz 24; e1-2.
4. Dickhuth, H.H., et al., *[Endurance training and cardiac adaptation (athlete's heart)].* Herz, 2004. **29**(4): p. 373-80.
5. Rundqvist, L., et al., *Regular endurance training in adolescents impacts atrial and ventricular size and function.* Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2017. **18**(6): p. 681-687.
6. Kindermann, W. and J. Scharhag, *Die physiologische Herzhypertrophie (Sportherz).* Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 2014. **65**: p. 327-322.
7. Kindermann, W., *Standards der Sportmedizin - Das Sportherz.* Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 2000. **51**(9).
8. Roskamm, H., et al., *Die Beziehungen zwischen Herzgröße und Leistungsfähigkeit bei männlichen und weiblichen Sportlern im Vergleich zu männlichen und weiblichen Normalpersonen.* Archiv für Kreislaufforschung, 1961. **35**(1): p. 67-102.
9. Bassett, D.R., Jr. and E.T. Howley, *Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance.* Med Sci Sports Exerc, 2000. **32**(1): p. 70-84.
10. Firschke, C., *[Echocardiography].* Internist (Berl), 2012. **53**(3): p. 291-7.
11. Dickhuth, H.H., et al., *The Echocardiographic Determination of Volume and Muscle Mass of the Heart.* International journal of Sports Medicine, 1996. **17**: p. 132-139.
12. Field, A., *Discovering Statistics Using SPSS.* 2009.
13. Lewis, D.A., E. Kamon, and J.L. Hodgson, *Physiological differences between genders. Implications for sports conditioning.* Sports Med, 1986. **3**(5): p. 357-69.
14. Bassett, A.J., et al., *The Biology of Sex and Sport.* JBJS Rev, 2020. **8**(3): p. e0140.
15. Rowland, T., *Morphologic Features of the "Athlete's Heart" in Children: A Contemporary Review.* Pediatr Exerc Sci, 2016. **28**(3): p. 345-52.
16. Lepers, R., B. Knechtle, and P.J. Stapley, *Trends in Triathlon Performance: Effects of Sex and Age.* Sports Med, 2013. **43**(9): p. 851-63.

17. Urhausen, A. and W. Kindermann, *Standards der Sportmedizin*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 2001. **52**(6): p. 231-232.

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Altersverteilung Kollektiv Fahrradergometrie.....	17
Abbildung 2: Altersverteilung Kollektiv Laufbandergometrie	17
Abbildung 3: Altersverteilung Kollektiv Walkingprotokoll	18
Abbildung 4: Altersdurchschnitt der Untergruppen - Fahrradergometrie (Alter in Jahren).....	19
Abbildung 5: Altersdurchschnitt der Untergruppen – Laufbandergometrie (Alter in Jahren).....	19
Abbildung 6: Altersdurchschnitt der Untergruppen - Walkingprotokoll (Alter in Jahren).....	20
Abbildung 7: Verteilung des Herzvolumens – Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG)	20
Abbildung 8: Verteilung des Herzvolumens – Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG)	21
Abbildung 9: Verteilung des Herzvolumens – Walkingprotokoll (HV in ml/kg KG)	21
Abbildung 10: Verteilung des Herzvolumens der Untergruppen - Fahrradergometrie	22
Abbildung 11: Verteilung des Herzvolumens der Untergruppen - Laufbandergometrie.....	22
Abbildung 12: Verteilung des Herzvolumens der Untergruppen - Walkingprotokoll	23
Abbildung 13: Verteilung der Leistung – Fahrradergometrie (Leistung in Watt/kg Körpergewicht)	23
Abbildung 14: Verteilung der Leistung – Laufbandergometrie (Leistung in km/h).....	24
Abbildung 15: Verteilung der Leistung - Walkingprotokoll (Leistung in Watt) ..	24
Abbildung 16: Verteilung der Leistung der Untergruppen - Fahrradergometrie	25
Abbildung 17: Verteilung der Leistung der Untergruppen - Laufbandergometrie	25
Abbildung 18: Verteilung der Leistung der Untergruppen - Walkingprotokoll ..	26

Abbildung 19: HV vs. Leistung - Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)	27
Abbildung 20: HV vs. Leistung - Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)	28
Abbildung 21: HV vs. Leistung - Walkingprotokoll (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt)	29
Abbildung 22: HV vs. Leistung - Jugendliche Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG).....	31
Abbildung 23: Herzvolumen vs. Leistung - Jugendliche Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h).....	32
Abbildung 24: Herzvolumen vs. Leistung - Frauen Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)	34
Abbildung 25: Herzvolumen vs. Leistung - Männer Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)	35
Abbildung 26: Herzvolumen vs. Leistung - Frauen Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h).....	36
Abbildung 27: Herzvolumen vs. Leistung - Männer Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h).....	37
Abbildung 28: Herzvolumen vs. Leistung - Frauen Walkingprotokoll (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt).....	38
Abbildung 29: Herzvolumen vs. Leistungsfähigkeit - Männer Walkingprotokoll (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt).....	39
Abbildung 30: Herzvolumen vs. Leistung - Mädchen Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG).....	40
Abbildung 31: Herzvolumen vs. Leistung - Jungen Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG).....	41
Abbildung 32: Herzvolumen vs. Leistung - Mädchen Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h).....	42
Abbildung 33: Herzvolumen vs. Leistung - Jungen Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h).....	43
Abbildung 34: Herzvolumen vs. Leistung - Ausdauersportler Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)	45

Abbildung 35: Herzvolumen vs. Leistung - Kraftsportler Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)	46
Abbildung 36: Herzvolumen vs. Leistung - Ausdauersportler Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)	47
Abbildung 37: Herzvolumen vs. Leistung - Kraftsportler Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h).....	48
Abbildung 38: Herzvolumen vs. Leistung - Spielsportler Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h).....	49
Abbildung 39: Herzvolumen vs. Leistung - Frauen mit HV >11ml/kg KG Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)	51
Abbildung 40: Herzvolumen vs. Leistung - Männer mit HV >12ml/kg KG Fahrradergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt/kg KG)	52
Abbildung 41: Herzvolumen vs. Leistung - Frauen mit HV >11ml/kg KG Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)	53
Abbildung 42: Herzvolumen vs. Leistung - Männer mit HV >12ml/kg KG Laufbandergometrie (HV in ml/kg KG, Leistung in km/h)	54
Abbildung 43: Herzvolumen vs. Leistung - Frauen mit HV >11ml/kg KG Walkingprotokoll (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt).....	55
Abbildung 44: Herzvolumen vs. Leistung - Männer mit HV >12ml/kg KG Walkingprotokoll (HV in ml/kg KG, Leistung in Watt).....	56

6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Auswertungsgruppen mit Probandenanzahl.....	15
Tabelle 2: BMI des Gesamtkollektivs (BMI in kg/m ²)	26
Tabelle 3: Fahrradergometrie: Einfache lineare Regression Herzvolumen vs. Leistung - Gesamtkollektiv.....	27
Tabelle 4: Fahrradergometrie: Multiple lineare Regression Herzvolumen vs. Leistung- Gesamtkollektiv.....	28
Tabelle 5: Laufbandergometrie: Einfache lineare Regression - Gesamtkollektiv	29
Tabelle 6: Laufbandergometrie: Multiple lineare Regression - Gesamtkollektiv	29
Tabelle 7: Walkingprotokoll: Einfache lineare Regression - Gesamtkollektiv ...	30
Tabelle 8: Walkingprotokoll: Multiple lineare Regression - Gesamtkollektiv	30
Tabelle 9: FE: Einfache lineare Regression - Jugendliche	31
Tabelle 10: FE: Multiple lineare Regression - Jugendliche.....	32
Tabelle 11: LE: Einfache lineare Regression - Jugendliche	33
Tabelle 12: LE: Multiple lineare Regression - Jugendliche.....	33
Tabelle 13: FE: Einfache lineare Regression - Frauen	34
Tabelle 14: FE: Multiple lineare Regression - Frauen.....	34
Tabelle 15: FE: Einfache lineare Regression - Männer	35
Tabelle 16: FE: Multiple lineare Regression - Männer.....	35
Tabelle 17: LE: Einfache lineare Regression - Frauen	36
Tabelle 18: LE: Multiple lineare Regression - Frauen.....	36
Tabelle 19: LE: Einfache lineare Regression - Männer	37
Tabelle 20: LE: Multiple lineare Regression - Männer.....	37
Tabelle 21: WP: Einfache lineare Regression - Frauen.....	38
Tabelle 22: WP: Multiple lineare Regression - Frauen	38
Tabelle 23: WP: Einfache lineare Regression - Männer	39
Tabelle 24: WP: Multiple lineare Regression - Männer.....	39
Tabelle 25: FE: Einfache lineare Regression - Mädchen.....	40
Tabelle 26: FE: Multiple lineare Regression - Mädchen	40

Tabelle 27: FE: Einfache lineare Regression - Jungen.....	41
Tabelle 28: FE: Multiple lineare Regression - Jungen	41
Tabelle 29: LE: Einfache lineare Regression - Mädchen.....	42
Tabelle 30: LE: Multiple lineare Regression - Mädchen	42
Tabelle 31: LE: Einfache lineare Regression - Jungen.....	43
Tabelle 32: LE: Multiple lineare Regression - Jungen	43
Tabelle 33: FE: Einfache lineare Regression - Ausdauersportler	45
Tabelle 34: FE: Multiple lineare Regression - Ausdauersportler.....	45
Tabelle 35: FE: Einfache lineare Regression - Kraftsportler.....	46
Tabelle 36: FE: Multiple lineare Regression - Kraftsportler	46
Tabelle 37: LE: Einfache lineare Regression - Ausdauersportler	47
Tabelle 38: LE: Multiple lineare Regression - Ausdauersportler.....	47
Tabelle 39: LE: Einfache lineare Regression - Kraftsportler	48
Tabelle 40: LE: Multiple lineare Regression - Kraftsportler.....	48
Tabelle 41: LE: Einfache lineare Regression - Spisportler.....	49
Tabelle 42: LE: Multiple lineare Regression - Spisportler	49
Tabelle 43: FE: Einfache lineare Regression - Frauen mit vergr. Herzvolumen	51
Tabelle 44: FE: Multiple lineare Regression - Frauen mit vergr. Herzvolumen	51
Tabelle 45: FE: Einfache lineare Regression - Männer mit vergr. Herzvolumen	52
Tabelle 46: FE: Multiple lineare Regression - Männer mit vergr. Herzvolumen	52
Tabelle 47: LE: Einfache lineare Regression - Frauen mit vergr. Herzvolumen	53
Tabelle 48: LE: Multiple lineare Regression - Frauen mit vergr. Herzvolumen.	53
Tabelle 49: LE: Einfache lineare Regression - Männer mit vergr. Herzvolumen	54
Tabelle 50: LE: Multiple lineare Regression - Männer mit vergr. Herzvolumen	54
Tabelle 51: WP: Einfache lineare Regression - Frauen mit vergr. Herzvolumen	55
Tabelle 52: WP: Multiple lineare Regression - Frauen mit vergr. Herzvolumen	55

Tabelle 53: WP: Einfache lineare Regression - Männer mit vergr. Herzvolumen	
.....	56
Tabelle 54: WP: Multiple lineare Regression - Männer mit vergr. Herzvolumen	
.....	56

7 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Sportmedizinischen Abteilung der Medizinischen Klinik des Universitätsklinikums Tübingen unter Betreuung von Prof. Dr. C. Burgstahler durchgeführt. Auch die Konzeption und Leitung der Studie erfolgte durch Prof. Dr. C. Burgstahler. Er reichte die Studie bei der Ethikkommission ein und übernahm die Formalien. Da es sich bei den Daten um anonymisierte Routedaten der Sportmedizin Tübingen der vergangenen Jahre handelte, mussten keine Studienteilnehmer rekrutiert werden. Die Untersuchungen wurden von Ärzten und Ärztinnen der Sportmedizin durchgeführt und dokumentiert. Im Rahmen einer Famulatur in der Sportmedizin konnte ich einen guten Einblick in die Erhebung der Daten mittels Echokardiographie und Laktat-Leistungsdagnostik bekommen.

Die statistische Auswertung erfolgte durch mich nach Beratung durch Frau Lina Maria Serna Higuera vom Institut für Biometrie Tübingen. Die verwendeten Daten wurden von der Sportmedizin Tübingen zur Verfügung gestellt.

Sowohl die Literaturrecherche als auch die schriftliche Ausarbeitung der Arbeit erfolgte selbstständig und unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel.

Tübingen, den

8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung meiner Doktorarbeit unterstützt haben.

Insbesondere gilt mein Dank meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. C. Burgstahler, der diese Arbeit überhaupt möglich gemacht hat und mir das Thema überlassen hat. Die gute Betreuung sowie freundliche Hilfe und Unterstützung haben mir sehr geholfen.

Frau L. M. Serna Higueta möchte ich für die Beratung und Unterstützung bei der statistischen Auswertung danken.

Außerdem möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite standen.