Aus dem Institut für Präventivmedizin

Direktorin: Prof. Dr. Regina Stoll

Verhalten von Herzfrequenz und Blutdruck bei unterschiedlicher submaximaler Belastung

ein Vergleich von Belastungstests

Inauguraldissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Medizin (dr. med.)

der

Universitätsmedizin Rostock

Vorgelegt von

Tim Kilian Krämer | geb. am 26.01.1994 in Kiel

aus 18059 Rostock

Rostock | 07.08.2019

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00002859

Doktorarbeit

Universitätsmedizin Rostock

Dekan: Prof. Dr. med. univ. Emil C. Reisinger

1. Gutachter: Prof. Dr. med. habil. Timo Kirschstein

Einrichtung: Oscar-Langendorff-Institut für Physiologie, UMR Rostock

2. Gutachter: Prof. Dr. med. habil. Regina Stoll

Einrichtung: Institut für Präventivmedizin, UMR Rostock

3. Gutachter: Prof. Dr. Stefan Blankenberg

Einrichtung: Klinik für Kardiologie, UKE Hamburg

Jahr der Einreichung: 2019

Jahr der Verteidigung: 2020

Doktorarbeit

Universitätsmedizin Rostock

INHALTSVERZEICHNIS

1 PROBLEM- UND ZIELSTELLUNG 1

2 THEORETISCHER KENNTNISSTAND ZUR ERMITTLUNG DER KARDIOVASKULÄREN LEISTUNGSFÄHIGKEIT . 3

2.1 LEISTUNGSMAßE ZUR MESSUNG DER KARDIOVASKULÄREN LEISTUNGSFÄHIGKEIT 3

2.2 HERZFREQUENZ UND BLUTDRUCK – INDIKATOREN ZUR BEURTEILUNG DER KARDIOVASKULÄREN LEISTUNGSFÄHIGKEIT 4

2.3 KARDIOVASKULÄRE RUHE- UND BELASTUNGSREGULATION 6

2.4 EINFLUSSFAKTOREN AUF HERZFREQUENZ UND BLUTDRUCK 8

2.5 SUBMAXIMALE BELASTUNGSTESTS 13

2.5.1 Ergometrieverfahren im Vergleich mit Kurzbelastungstests 15

2.5.2 Submaximale Belastungstests im Vergleich 17

2.5.3 Alternative Kurzbelastungstests 20

2.5.4 Zusammenfassung und Relevanz submaximaler Belastungstests für die präventivmedizinische Vorsorge 21

3 BAUA-STUDIE 23

3.1 FRAGESTELLUNGEN UND HYPOTHESEN 23

3.2 METHODIK 26

3.2.1 Stichprobenrekrutierung 26

3.2.2 Untersuchungsprogramm und -ablauf 27

3.2.3 Erhebungsinstrumente und Messverfahren 27

3.2.3.1 Fragebogen und arbeitsmedizinische Untersuchung 28

3.2.3.2 Submaximale Belastungstests 29

3.2.4 Untersuchungsdesign 30

3.2.5 Datenauswertung und Statistik 31

3.3 ERGEBNISSE 33

3.3.1 Festlegung der Kovariablen 33

3.3.2 Stichprobenbeschreibung 36

3.3.3 Kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung der Belastungstests 37

3.3.3.1 Kurzergometrie versus Stepp-Test 37

3.3.3.2 Kurzbelastungstests versus Belastungs-EKG 42

3.3.3.3 Geschlechtervergleich der Kurzbelastungstests versus Belastungs-EKG 49

3.4 DISKUSSION 55

3.4.1 Untersuchungskritik 55

3.4.2 Kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung bei Kurzbelastungstests versus Belastungs-EKG 57

4 IPAS-STUDIE 65

4.1 FRAGESTELLUNG UND HYPOTHESEN 65

4.2 METHODIK 67

4.2.1 Stichprobenrekrutierung 67

4.2.2 Untersuchungsprogramm und -ablauf 67

4.2.3 Erhebungsinstrumente und Messverfahren 68

4.2.3.1 Anamnese und Untersuchung 69

4.2.3.2 Belastungstests und Messwerterfassung ... 69
4.2.4 Untersuchungsdesign ... 70
4.2.5 Datenauswertung und Statistik ... 70
4.3 ERGEBNISSE ... 71
4.3.1 Festlegung der Kovariablen ... 71
4.3.2 Stichprobenbeschreibung ... 73
4.3.3 Kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung der Stepp-Tests ... 74
4.3.3.1 Vergleich der drei Stepp-Tests ... 74
4.3.3.2 Geschlechtervergleich der drei Stepp-Tests ... 79
4.4 DISKUSSION ... 84
4.4.1 Untersuchungskritik ... 84
4.4.2 Kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung bei Stepp-Tests ... 85
5 ZUSAMMENFASSUNG, SCHLUSSFOLGERUNG, REFLEXION ... 90
6 LITERATURVERZEICHNIS ... 92
ANHANG ... 101
ANHANG A: ERGÄNZUNGEN ZUM THEORETISCHEN ERKENNTNISSTAND ... 101
ANHANG B: BAUA-STUDIE ... 103
ANH. B1: FRAGEBÖGEN UND UNTERSUCHUNGSDOKUMENTE ... 103
ANH. B2: METHODISCHE ASPEKTE ... 107
ANH. B3: ERGEBNISSE ... 108
Anh. B3.1: Kovariablen ... 108
Anh. B3.2: Deskriptive Statistik – kardiovaskuläre Indikatoren ... 111
Anh. B3.3: Ergebnisse zu Fragestellung 1 ... 115
Anh. B3.4: Ergebnisse zu Fragestellung 2 ... 116
Anh. B3.5: Ergebnisse zu Fragestellung 3 ... 118
ANHANG C: IPAS-STUDIE ... 122
ANH. C1: FRAGEBÖGEN UND UNTERSUCHUNGSDOKUMENTE ... 122
ANH. C2: METHODISCHE ASPEKTE ... 123
ANH. C3: ERGEBNISSE ... 125
Anh. C3.1: Kovariablen ... 125
Anh. C3.2: Deskriptive Statistik – kardiovaskuläre Indikatoren ... 127
Anh. C3.3: Ergebnisse zu Fragestellung 1 ... 131
Anh. C3.4: Ergebnisse zu Fragestellung 2 ... 135
EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG ... 139
DANKSAGUNG ... 140
THESEN ... 141
LEBENSLAUF ... 145

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
akt.	aktualisiert
ALM	Allgemeines Lineares Modell
Aufl.	Auflage
BD	Blutdruck
BEKG	Belastungs-Elektrokardiographie
BEL	Belastungs-Messwert
BIA	bioelektrische Impedanzanalyse
BMI	Body-Mass-Index
bpm	(engl.) beats per minute (Schläge pro Minute)
BRS	Baroreflexsensitivität
CST	Chester-Step-Test
DAG	Deutsche Adipositas Gesellschaft
DBD	diastolischer Blutdruck
EH	Erholungs-Messwert
EKG	Elektrokardiografie
ERGO	Kurzergometrie
erw.	erweiterte
ES	Effektstärke
ESC	European Society of Cardiology
ESH	European Society of Hypertension
FS	Fragestellung
F-Wert	Prüfwert für F-Test
GBD	Global Burden of Disease (Projekt von Harvard University, WHO, Weltbank)
H	Hypothese
HF	Herzfrequenz
HKE	Herz-Kreislauf-Erkrankungen
HKS	Herz-Kreislauf-System
Kap.	Kapitel

MAP	mittlerer arterieller Blutdruck
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule (Druckangabe)
MW	Mittelwert
r	Korrelationskoeffizient nach Pearson-Bravais
RKI	Robert Koch Institut
RU	Ruhe-Messwert
SBD	systolischer Blutdruck
SD	Standardabweichung
sog.	so genannt
ST	Stepp-Test (nachfolgende Zahl gibt die Anzahl der Stufen [20, 25, 30] an)
Tab.	Tabelle
QCST	Queens-College-Step-Test
überarb.	überarbeitet
vs.	(lat.) versus (gegen)
WHO	World Health Organisation (Weltgesundheitsorganisation)
WHR	Waist-Hip-Ratio
WHtR	Waist-to-Height-Ratio

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABB. 1 BIOELEKTRISCHE IMPEDANZMESSUNG 29

ABB. 2 VERLAUF DER KARDIOVASKULÄREN INDIKATOREN (HF, SBD, DBD) WÄHREND DER KURZBELASTUNGSTESTS (ERGO, ST25) – GESAMTSTICHPROBE (N = 66) 38

ABB. 3 KARDIOVASKULÄRE BEANSPRUCHUNG UND ERHOLUNG (DIFFERENZWERTE FÜR HF, SBD, DBD) BEI KURZBELASTUNGSTESTS (ERGO, ST25) – GESAMTSTICHPROBE (N = 66) 39

ABB. 4 VERLAUF DER KARDIOVASKULÄREN INDIKATOREN (HF, SBD, DBD) WÄHREND DER KURZBELASTUNGSTESTS (ERGO, ST25) UND DEM BELASTUNGS-EKG (BEKG) – GESAMTSTICHPROBE (N = 66) 43

ABB. 5 KARDIOVASKULÄRE BEANSPRUCHUNG UND ERHOLUNG (DIFFERENZWERTE FÜR HF, SBD, DBD) BEI KURZBELASTUNGSTESTS (ERGO, ST25) UND DEM BELASTUNGS-EKG (BEKG) – GESAMTSTICHPROBE (N = 66) 45

ABB. 6 VERLAUF DER KARDIOVASKULÄREN INDIKATOREN (HF, SBD, DBD) WÄHREND DER BELASTUNGSTESTS (ERGO, ST25, BEKG) – MÄNNER (N = 37) UND FRAUEN (N = 29) 50

ABB. 7 VERLAUF DER KARDIOVASKULÄREN INDIKATOREN (HF, SBD, DBD) WÄHREND DER STEPP-TESTS (ST20, ST25, ST30) – GESAMTSTICHPROBE (N = 42) 75

ABB. 8 KARDIOVASKULÄRE BEANSPRUCHUNG UND ERHOLUNG (DIFFERENZWERTE FÜR HF, SBD, DBD) BEI STEPP-TESTS (ST20, ST25, ST30) – GESAMTSTICHPROBE (N = 42) 76

ABB. 9 VERLAUF DER KARDIOVASKULÄREN INDIKATOREN (HF, SBD, DBD) WÄHREND DER STEPP-TESTS (ST20, ST25, ST30) – MÄNNER (N = 18) UND FRAUEN (N = 24) 80

TABELLENVERZEICHNIS

TAB. 1 KLASSIFIKATION DER BLUTDRUCKWERTE UND DEFINITION DER HYPERTONIEGRADE IN DER ARZTPRAXIS (ESC/ESH GUIDELINES: WILLIAMS 2018, S. 3030) 5

TAB. 2 EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE KARDIORESPIRATORISCHE FITNESS 9

TAB. 3 KÖRPERMAßE BEI ERWACHSENEN GEMÄß BODY-MASS-INDEX (NIH 2019) 11

TAB. 4 UNTERSUCHUNGSABLAUF, ERHEBUNGSINSTRUMENTE UND ERHOBENE INDIKATOREN DER BAUA-STUDIE 27

TAB. 5 EX-POST-FACTO-DESIGN ZUR PRÜFUNG DER UNTERSCHIEDSFRAGESTELLUNGEN 31

TAB. 6 KORRELATIVES DESIGN ZUR PRÜFUNG DER ZUSAMMENHANGSFRAGESTELLUNGEN 31

TAB. 7 INTERPRETATION DER EFFEKTSTÄRKEN NACH COHEN (1988, ZIT. NACH BORTZ & SCHUSTER 2010) 32

TAB. 8 KLASSIFIKATION DER KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN NACH BÜHL (2016, S. 303) 32

TAB. 9 KORRELATIONEN ZWISCHEN DEN KOVARIABLEN UND KURZBELASTUNGSTESTS (ERGO, ST25) BZW. DEM BELASTUNGS-EKG (BEKG) FÜR KARDIOVASKULÄRE INDIKATOREN (ABSOLUTWERTE) - GESAMTSTICHPROBE (N = 66) 34

TAB. 10 DESKRIPTIVE ANALYSE DER KOVARIATEN – GESAMTSTICHPROBE (N = 66) 36

TAB. 11 HAUPT- UND WECHSELWIRKUNGSEFFEKTE (HOTELLING-SPUR) DER FAKTOREN KURZBELASTUNGS-TEST (TEST), DIFFEENZWERTE (DIFF), KARDIOVASKULÄRE INDIKATOREN (KI – MIT DBD) UND KOVARIATEN – GESAMTSTICHPROBE (N = 66) 40

TAB. 12 KORRELATIONEN ZWISCHEN DEN BEIDEN KURZBELASTUNGSTESTS (ERGO, ST25) UND DEN KARDIOVASKULÄREN INDIKATOREN (ABSOLUTWERTE) – GESAMTSTICHPROBE (N = 66) 41

TAB. 13 HAUPT- UND WECHSELWIRKUNGSEFFEKTE (HOTELLING-SPUR) DER FAKTOREN BELASTUNGS-TEST (TEST), DIFFERENZWERTE (DIFF), KARDIOVASKULÄRE INDIKATOREN (KI – MIT DBD) UND KOVARIATEN – GESAMTSTICHPROBE (N = 66) 46

TAB. 14 KORRELATIONEN ZWISCHEN DEN KURZBELASTUNGSTESTS (ERGO, ST25) UND DEM BELASTUNGS-EKG (BEKG) SOWIE DEN KARDIOVASKULÄREN INDIKATOREN (ABSOLUTWERTE) – GESAMTSTICHPROBE (N = 66) 47

TAB. 15 HAUPT- UND WECHSELWIRKUNGSEFFEKTE (HOTELLING-SPUR) DER FAKTOREN BELASTUNGSTEST (TEST), ABSOLUTWERTE DER MESSZEITPUNKTE (AW), KARDIOVASKULÄRE INDIKATOREN (KI – MIT DBD) UND KOVARIATEN – MÄNNER (N = 37) UND FRAUEN (N = 29) 52

TAB. 16 PARTIELLE KORRELATION DER KARDIOVASKULÄREN INDIKATOREN (BELASTUNGSWERTE) UNTER KONTROLLE VON GESCHLECHT – GESAMTSTICHPROBE (N = 66) 53

TAB. 17 UNTERSUCHUNGSABLAUF, ERHEBUNGSINSTRUMENTE UND ERHOBENE INDIKATOREN DER IPAS-STUDIE. 68

TAB. 18 EX-POST-FACTO-DESIGN ZUR PRÜFUNG DER UNTERSCHIEDSFRAGESTELLUNGEN 70

TAB. 19 KORRELATIVES DESIGN ZUR PRÜFUNG DER ZUSAMMENHANGSFRAGESTELLUNGEN 70

TAB. 20 KORRELATIONEN ZWISCHEN DEN KOVARIABLEN UND KURZBELASTUNGSTESTS (ST20, ST25, ST30) FÜR KARDIOVASKULÄRE INDIKATOREN (ABSOLUTWERTE) - GESAMTSTICHPROBE (N = 42) 72

TAB. 21 DESKRIPTIVE ANALYSE DER KOVARIATEN - GESAMTSTICHPROBE (N = 42) 73

TAB. 22 HAUPT- UND WECHSELWIRKUNGSEFFEKTE (HOTELLING-SPUR) DER FAKTOREN STEPP-TEST (ST), DIFFERENZWERTE (DIFF), KARDIOVASKULÄRE INDIKATOREN (KI – MIT DBD) UND KOVARIATEN – GESAMTSTICHPROBE (N = 42) 77

TAB. 23 KORRELATIONEN ZWISCHEN DEN KURZBELASTUNGSTESTS (ST20, ST25, ST30) UND DEN KARDIOVASKULÄREN INDIKATOREN (ABSOLUTWERTE) – GESAMTSTICHPROBE (N = 42) 78

TAB. 24 HAUPT- UND WECHSELWIRKUNGSEFFEKTE (HOTELLING-SPUR) DER FAKTOREN STEPP-TEST (ST), ABSOLUTWERTE DER MESSZEITPUNKTE (AW), KARDIOVASKULÄRE INDIKATOREN (KI – MIT DBD) UND DER KOVARIATEN – MÄNNER (N = 18) UND FRAUEN (N = 24) 81

TAB. 25 PARTIELLE KORRELATION DER KARDIOVASKULÄREN INDIKATOREN (BELASTUNGSWERTE) UNTER KONTROLLE VON GESCHLECHT – GESAMTSTICHPROBE (N = 42) 82

1 PROBLEM- UND ZIELSTELLUNG

Die Gesundheitsberichterstattung des Bundes aus dem Jahr 2015, die vom Robert-Koch-Institut und dem Statistischen Bundesamt veröffentlicht wurde, wies Herz-Kreislauf-Erkrankungen (HKE) als häufigste Todesursache aus. Die Folgen dieser Erkrankungen haben nicht nur persönliche, sondern auch finanzielle und wirtschaftliche Auswirkungen. Zum Zeitpunkt der Datenerhebung wiesen schätzungsweise 2.481.000 weibliche und 3.349.000 männliche Bundesbürger[1] ein Durchblutungsmissverhältnis oder einen Infarkt am Herzen auf. Als Risikofaktoren für die Entwicklung von HKE gelten seit jeher: Rauchen, Übergewicht, Bewegungsmangel, Fettstoffwechselstörungen, hoher Blutdruck sowie Diabetes (RKI 2015, S. 38 ff.). Weitere Studien zeigten, dass viele Berufseinsteiger eine erhöhte Anzahl an kardiovaskulären Risikofaktoren aufwiesen sowie dass alleine ihr Vorliegen, ohne dass manifeste Erkrankungen diagnostiziert wurden, die körperliche Leistungsfähigkeit negativ beeinflusste (Sammito & Niebel 2012, S. 2; 2014, S. 2381 ff.).

Dagegen fördert regelmäßiges Training einen gesünderen Lebensstil. Personen, die sich sportlich betätigen, rauchen oft weniger und essen gesünder, erkranken seltener; Sie gehen daher weniger zum Arzt und leben ungefähr sechs Jahre länger als die Vergleichsgruppe (Metha & Myrskylä 2017, S. 1495 ff.; Sykes & Roberts 2004, S. 183). In der Zusammenschau der Fakten besteht ein gesteigerter Bedarf an diagnostischen Methoden und Tests zur Früherkennung einer eingeschränkten Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems im Sinne einer Screeninguntersuchung.

Anlässlich dieser Feststellungen und der hieraus resultierenden Wichtigkeit zur Prävention von HKE sollten Verfahren entwickelt werden, mit denen möglichst früh verlässliche Aussagen über Belastbarkeit und Erholungsfähigkeit des kardiovaskulären Systems getroffen werden können. Ein Testverfahren, das ortsunabhängig und ökonomisch eingesetzt werden kann, könnte auch die Motivation der Menschen, sich untersuchen zu lassen, positiv beeinflussen. Nun stellt sich die Aufgabe, einen geeigneten Test dafür zu finden.

Keine der genannten Studien beschäftigte sich darüber hinaus mit der möglicherweise differenten Wirkung von Belastungsuntersuchungen auf Männer und Frauen. Unterschiedliche Gesundheitsrisiken, Potentiale und physiologische Grundvoraussetzungen, die beide Geschlechter aufweisen, wurden nicht betrachtet.

[1] In dieser Arbeit wird, um die Lesbarkeit zu verbessern, der männlichen Form Vorzug gegeben. Selbstverständlich sind immer Männer und Frauen zu gleichen Teilen gemeint.

Um die kardiovaskuläre Fitness zu untersuchen, wird in Deutschland standardmäßig das Verfahren der Fahrradergometrie (Goldstandard) eingesetzt. Dieses Verfahren hat sich über Jahrzehnte etabliert und liefert zuverlässige Resultate. Nachteilig ist der große Aufwand, der mit dieser Untersuchungsmethode einhergeht. Sie kann nur in dafür vorgesehenen Räumen, mit kostenintensivem Material (u. a. Mehrkanal-EKG, Notfallausrüstung, Defibrillator) sowie unter fachkundiger ärztlicher Aufsicht durchgeführt werden (Boldt, Berbalk, Halle et al. 2002, S. 1 f.). Es fehlt eine ortsungebundene Alternative, um mit geringem Aufwand eine Aussage über die Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems treffen zu können. Stepp-Tests könnten eine gute Alternative darstellen, da sie einen minimalen Platzbedarf aufweisen und mit wenig Equipment zu realisieren sind. Zudem verkürzt eine submaximale Belastung die Datenerhebung und reduziert das Risiko für kardiovaskuläre Zwischenfälle (Li & Siegrist 2012, S. 402).

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Vergleich mehrerer Kurzbelastungstests, die als mobile Varianten zur Anwendung kommen und die Fahrradergometrie ersetzen könnten. Bei diesen Tests sollen Herzfrequenz und Blutdruck zu definierten Zeiten unter Ruhe-, Belastungs- und Erholungsbedingungen gemessen werden.

Folgende Anforderungen werden an diese Tests gestellt:

- verlässliche Datengewinnung und zuverlässige Aussagen über die Belastbarkeit des Herz-Kreislauf-Systems
- ökonomische sowie kostengünstige Durchführung (u. a. geringer Material- und Zeitaufwand)
- Anwendbarkeit des Testes in verschiedenen Umgebungen ohne feste Ortsbindung

Zielstellung: In dieser Arbeit wird im Rahmen von zwei Studien (Studie I: BAuA-Studie; Studie II: IPAS-Studie) geklärt, ob sogenannte Kurzbelastungstests (hier: Kurzergometrie; Stepp-Tests) verlässliche Aussagen über die Belastbarkeit und Erholungsfähigkeit des kardiovaskulären Systems einer Person ermöglichen und eine Alternative zur derzeitigen Standardmethode (hier: Belastungs-EKG) sein können (Studie I). Diesbezüglich soll neben der Gesamtstichprobe auch die - in bisherigen Studien kaum untersuchte - geschlechtsspezifische Analyse von Männern und Frauen erfolgen. Weiterführend ist zu klären, welche Variante der ortsunabhängig einzusetzenden Stepp-Tests eine zuverlässige Beurteilung des Herz-Kreislauf-Systems ermöglicht (Studie II).

2 THEORETISCHER KENNTNISSTAND ZUR ERMITTLUNG DER KARDIOVASKULÄREN LEISTUNGSFÄHIGKEIT

In diesem Kapitel werden die Hintergründe und Voraussetzungen des Forschungsthemas beleuchtet. Es werden kardiovaskuläre Leistungsmaße und insbesondere die Indikatoren Herzfrequenz und Blutdruck, die zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems herangezogen werden, erläutert sowie die entsprechenden Regulationsmechanismen des Herz-Kreislauf-Systems thematisiert. Weiterhin werden die zugrunde liegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Bewegung betrachtet. Abschießend erfolgt eine Analyse des aktuellen Forschungsstands zum Einsatz submaximaler Belastungstests.

2.1 LEISTUNGSMAßE ZUR MESSUNG DER KARDIOVASKULÄREN LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Zur Einschätzung der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit gibt es eine Vielzahl von Indikatoren, die in der Regel im Rahmen von Leistungs- und Belastungstests erhoben werden. Die Verwendbarkeit der Indikatoren richtet sich nach den Erhebungsmöglichkeiten sowie ihrer Genauigkeit. So stehen dem menschlichen Organismus verschiedene Systeme der kurz- (Sekunden bis Minuten) und längerfristigen Kreislaufregulation (Minuten bis Stunden) zur Verfügung, um auf Belastungen und Veränderungen in den Umgebungsbedingungen zu reagieren. Wichtige regulative Maßzahlen sind die Herzschlagfrequenz (nachfolgend Herzfrequenz), der arterielle Blutdruck (nachfolgend Blutdruck), das Herzminutenvolumen, der periphere Widerstand (Pa * s/m^3 bzw. N * s/m^5) und das Blutvolumen.

Allgemein werden Leistungs- bzw. Belastungstests mit einem **Elektrokardiogramm** (EKG) kombiniert, um eine Herzstromkurve und die **Herzfrequenz** abzuleiten und eventuelle Zwischenfälle kardiogener Art, die zu einer Gefährdung der Testperson und dem Abbruch der Untersuchung führen können, zu dokumentieren. So waren Okin und Kligfield (1995) überzeugt, dass die ST-Strecken-Neigung des EKGs ein guter Marker zur Detektion einer koronaren Herzkrankheit oder einer Obstruktion ist.

Die **Blutdruckmessung** während der Belastung spielt eine wichtige Rolle in der Diagnostik der arteriellen Hypertonie. Bei einer standardisierten Ergometrie sollten bestenfalls keine überhöhten Blutdruckwerte auftreten. Maximal dürfen bei 20- bis 50-Jährigen Blutdruckwerte bis 250/120 mmHg gemessen werden (Chatterjee & Schmeißler 2017). Bewährt hat sich ein Belastungsbereich von 50 bis 100 Watt, was in etwa der alltäglich erbrachten Leistung entspricht (Boldt et al. 2002). Diese submaximale Belastung ist bei normotensiven Personen resistenter gegenüber falsch-positiven Resultaten, da es bei einem höheren Leis-

tungsniveau aufgrund von Muskelkontraktionen zu einem Anstieg der Diastole kommen kann (Franz 2003, S. 55 f.).

Eine Vergleichbarkeit der erbrachten, kardiovaskulären Leistungsfähigkeit wird durch die Normierung auf einheitliche, aussagekräftige Indikatoren gewährleistet. Hierzu eignet sich die **Physical Working Capacity** (PWC), die die Leistung bei einer bestimmten Herzfrequenz angibt. Typische Herzfrequenzen, bei denen die PWC abgelesen wird, sind 130, 150 oder 170 Schläge pro Minute. Dividiert durch das Körpergewicht, ergibt sich ein vergleichbarer Messwert, der für normalgewichtige, untrainierte Frauen durchschnittlich 1.25 - 1.6 W/kg (PWC_{130}) beträgt. Für Männer liegt der PWC_{130}-Wert bei 1.5 - 1.9 W/kg (Eichers & Lutz 2009, S. 11; Anh. A_2).

Außerdem werden bei maximalen Leistungstests die Vitalindikatoren oft mit der Lungenkapazität korreliert. Während der aeroben Energiegewinnung ist die Beziehung zwischen Sauerstoffverbrauch, Atemvolumen und Leistung linear (10 ml/W) und vom Trainingszustand unabhängig. So kann unter Beachtung des maximalen Schlagvolumens, der maximalen Herzfrequenz und der maximalen arteriovenösen O_2-Differenz die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) errechnet werden. Unter Einbeziehung der Körpermasse ist diese ein aussagekräftiges Maß für körperliche Leistungsfähigkeit (Silbernagel & Despopoulos 2012).

Andere testspezifische Auswertungsstrategien bedienen sich sogenannter **T-Werte**. Unter Einbezug von Testdauer und den Differenzen von Herzfrequenz und Blutdruck in Ruhe, bei Belastung und Erholung wird das erbrachte Ergebnis in Relation zu den testabhängigen Eigenparametern gesetzt (z. B. Stufenhöhe bei einem Stepp-Test). Der mittels Formel errechnete t-Wert lässt einen Vergleich der personenspezifischen Leistung zu. Mitberücksichtigt werden müssen unter anderem Alter und Geschlecht der Testperson (Irrgang 2007).

2.2 HERZFREQUENZ UND BLUTDRUCK – INDIKATOREN ZUR BEURTEILUNG DER KARDIOVASKULÄREN LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Aus präventivmedizinischer Sicht sind Herzfrequenz und Blutdruck die entscheidenden Beanspruchungsindikatoren zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems (Seibt et al. 2001; Seibt & Scheuch 1999).

Zudem ist die Herzfrequenz ein grundlegender Messindikator sowohl der Leistungsphysiologie als auch der täglichen medizinischen Praxis. Die Kontraktion des Herzens wird vom Sinusknoten initiiert und sorgt dafür, dass der Körper über das Blut mit Sauerstoff, Nähr-

stoffen und Botenstoffen versorgt wird. In Ruhe schlägt ein Herz zwischen 60- bis 80-mal in der Minute (bpm). Unter Belastung und Stress kann die Schlagfrequenz um ein Vielfaches gesteigert werden (Silbernagel & Despopoulos 2012, S. 202). Maximal werden Werte von über 200 bpm erreicht. Als zu schnell schlagend wird ein Herz mit einer Schlagfrequenz über 100 bpm in Ruhe (Tachykardie) bezeichnet. Zu langsam schlägt es in Ruhe bei weniger als 50 Schlägen pro Minute (Bradykardie).

Von leichter Arbeit wird gesprochen, wenn unter konstanter Leistung die Herzfrequenz nach einigen Minuten ein Plateau erreicht. Dieser Zustand kann, im Gegensatz zu der schweren Arbeit, bei der ein Plateau fehlt, über längere Zeit aufrechterhalten werden. Nach Beendigung der Belastung fällt, bei nicht ermüdender Arbeit, die Frequenz binnen kurzer Zeit auf den Ruhemesswert ab. Nach schweren Arbeiten kann die Herzfrequenz noch einige Zeit erhöht sein (Schmidt, Lang & Heckmann 2010, S. 534, 861, 866). In einer Längsschnittstudie über 16 Jahre konnten Jensen, Suadicani, Hein & Gyntelberg (2013) zeigen, dass eine hohe Ruheherzfrequenz mit einer geringeren physischen Fitness, höherem Blutdruck, erhöhten Blutfettwerten sowie einem hohen Body-Mass-Index (BMI) assoziiert ist.

Der **Blutdruck** wird maßgeblich vom Widerstand des Gefäßsystems und des vom Herzen bewegten Volumens (Herzminutenvolumen) bestimmt. Aus historischen Gründen wird der Blutdruck in Millimeter Quecksilbersäule (mmHg) angegeben und mit zwei Zahlen beschrieben, dem oberen (systolischen) und dem unteren (diastolischen) Wert. Als optimal werden Werte um 120/80 mmHg angesehen. Ein zu hoher (hyperton: ≥ 140 mmHg systolisch und ≥ 90 mmHg diastolisch) oder ein zu geringer (hypoton: < 100 mmHg systolisch) Blutdruck bei der Arztmessung werden als bedenklich und bei mehrmaliger Messung zu hoher Werte als behandlungsbedürftig angesehen (SPRINT-Studie 2014; Tab. 1).

Tab. 1 Klassifikation der Blutdruckwerte und Definition der Hypertoniegrade in der Arztpraxis (ESC/ESH Guidelines: Williams 2018, S. 3030)

Kategorie	Systolischer Blutdruck (mmHg)	Diastolischer Blutdruck (mmHg)
optimal	< 120	< 80
normal	120 - 129	80 - 84
hochnormal	130 - 139	85 - 89
Hypertonie Grad 1	140 - 159	90 - 99
Hypertonie Grad 2	160 - 179	100 - 109
Hypertonie Grad 3	≥ 180	≥ 110
isolierte systolische Hypertonie	≥ 140	< 90

Eine entscheidende Bedeutung hat der Blutdruck als Risikofaktor für Erkrankungen des kardiovaskulären Systems. Von arterieller Hypertonie, die mit erheblichen Einschränkungen der Belastbarkeit und des Wohlbefindens einhergehen kann, ist weltweit jeder dritte

Erwachsene betroffen (WHO 2013). Unter Belastung steigt die Systole proportional zur erbrachten Leistung an und erreicht oftmals Werte von über 160 mmHg. Der diastolische Wert ist weitaus weniger beschrieben. Er verhält sich individuell unter Belastung und fällt meistens ab (Schmidt, Lang & Heckmann 2010, S. 861).

Als weitere Indikatoren zur Beurteilung physischer Belastung können auch Belastungszeit und -umfang sowie Laktatspiegel oder Lungenfunktionsindikatoren herangezogen werden.

Zur **Blutdruckbestimmung** dienen verschiedene Methoden. Die genaueste Ermittlung des Druckes ist mittels invasiver Messungen möglich, jedoch ist sie mit Risiken und Komplikationen behaftet. Am weitesten verbreitet ist die Blutdruckmessung nach Riva-Rocci (1896) mit der Auskultation der Korotkow-Geräusche (1905), die heutzutage auch technisch realisiert werden kann (Slany 2017, S. 20).

Um exakte Blutdruckwerte zu messen, müssen bestimmte Bedingungen beachtet werden:

- Der Patient sollte ruhig und entspannt sein und sich in einem geräuscharmen Raum befinden, um die Auskultation zu erleichtern.
- Es sollten keine den Blutdruck beeinflussenden Medikamente eingenommen worden sein. Im Falle einer Therapiekontrolle sollten die Medikamente eingenommen und angegeben werden.
- Die Messung muss auf Herzhöhe am Oberarm erfolgen.
- Der Manschettendruck sollte nur langsam reduziert werden (2 - 3 mmHg/s).
- Die Manschette muss in der richtigen Breite (40 % des Oberarmumfanges) ausgewählt und stramm angelegt werden.
- Mehrmaliges Messen in kurzen Abständen verfälscht den ermittelten Blutdruck und kann zu Gewebeschäden führen (mindestens 3 Minuten zwischen zwei Messungen pausieren) (Hahn 2013, S. 22).

2.3 KARDIOVASKULÄRE RUHE- UND BELASTUNGSREGULATION

Die grundlegende Aufgabe des Herz-Kreislauf-Systems ist es, den Körper mit Sauerstoff, Nährstoffen und Hormonen zu versorgen. Es dient der Temperaturregulierung und transportiert CO_2, Endprodukte und Schadstoffe ab. Für die Anpassung der Durchblutung existieren neurale, endokrine und metabolische Steuermechanismen, die eng miteinander interagieren (Jain 2003, S. 685). Das kardiovaskuläre System ist in sich geschlossen und besteht aus einer Reihung von Gefäßen, die sich in ein Hoch- und ein Niederdrucksystem einteilen

lassen. Arterien und Arteriolen gehören zum Hochdrucksystem. Venen werden dem Niederdrucksystem zugeordnet und speichern etwa 85 % des gesamten Blutvolumens. Kapillaren sind zwischengeschaltete, kleinste Gefäße, die für den Gasaustausch zuständig sind. Um den Blutfluss in den Gefäßen aufrecht zu erhalten, bedarf es des Herzens als Pumpe. Gleichzeitig wird aus der rechten Herzhälfte Blut in die Lunge gedrückt, um es dem Gasaustausch zuzuführen. Hier herrscht ein Druck von 5 – 25 mmHg (Arasteh 2009; Witzleb 1989).

Der Blutdruck ist hämodynamisch relevant und spiegelt sich in dem Produkt von Herzminutenvolumen (L/min) (zusammengesetzt aus Herzfrequenz mal Schlagvolumen) und Gefäßwiderstand wider (Silbernagel & Despopoulos 2012, S. 200). Er wird zudem durch folgende weitere Faktoren beeinflusst:

- Nierenfunktion (Salz- und Wasserhaushalt, Volumenstatus)
- Hormone (sympathisch vermitteltes Katecholamin-System, Renin-Angiotensin-Aldosteron-System, Vasopressin-System)
- autonomes Nervensystem (Sympathikus, Parasympathikus, zentrales und vegetatives Nervensystem)
- Barorezeptoren im Sinus caroticus (Schmidt et al. 2010, S. 593 ff.).

Wird von einem menschlichen Körper Arbeit verrichtet, geschieht dies in aller Regel über Muskelkontraktionen. Um die gesteigerte Muskeldurchblutung sowie die Thermoregulation bei Belastung zu gewährleisten, reagiert der Körper physiologisch mit einer Steigerung des Herzminutenvolumens auf bis zu 20 Liter pro Minute. Diese Steigerung auf mehr als das Dreifache des Ausgangsvolumens verlangt eine komplexe Steuerung. Die Regulation wird über das sympathische Nervensystem ermöglicht und setzt sich aus einer Steigerung der Herzfrequenz (ca. 2,5-fach bei Untrainierten) und des Schlagvolumens des Herzens (ca. 1,2-fach bei Untrainierten) zusammen. Bei diesem Prozess kommt es reflektorisch zu einem Anstieg des Blutdrucks, wobei die Systole stärker als die Diastole steigt, sodass sich der mittlere Druck nur geringfügig ändert (Silbernagel & Despopoulos 2012, S. 80).

Zusammenfassend eignen sich Herzfrequenz und Blutdruck gut zur Einschätzung der kardiovaskulären Reaktion einer Testperson auf Belastung. Bewertet werden die gemessenen Indikatoren in Ruhe (Ausgangszustand), während sowie unmittelbar nach der Belastung (Rückstellung der Indikatoren), denn auch die Geschwindigkeit, mit der das Herz-Kreislauf-System wieder in einen Ruhezustand übergeht, lässt eine Aussage über dessen Fitness zu.

2.4 EINFLUSSFAKTOREN AUF HERZFREQUENZ UND BLUTDRUCK

Die Belastbarkeit und Erholungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems wird nicht nur durch verschiedene komplexe Regulationsmechanismen, sondern auch durch vielfältige unbeeinflussbare und beeinflussbare Faktoren modifiziert, die zu starken interindividuellen Unterschieden der kardiovaskulären Fitness führen. Diese Faktoren sind bei den entsprechenden Analysen und der Ergebnisinterpretation zu berücksichtigen. Im Folgenden werden ausgewählte Faktoren mit Einfluss auf die Herzfrequenz und den Blutdruck vorgestellt.

Als unbeeinflussbare Faktoren sind vor allem Geschlecht und Alter zu nennen. Zu den beeinflussbaren Faktoren gehören körperliche Faktoren, aber auch Alkohol- und Nikotinkonsum, die Einfluss auf Herzfrequenz und Blutdruck haben können (s. u.). In epidemiologischen Studien wurden die Einflüsse von individueller Lebensführung und sozioökonomischen Faktoren auf die Blutdruckentwicklung gezeigt (GBD Diet Collaborators 2019, Nicoll & Henein 2010, Shimbo 2016, Williams 2018).

Als wesentliche Determinanten erhöhten Blutdrucks wurden dabei folgende beeinflussbare Risikofaktoren identifiziert (Stoschitzky & Zweiker 2002):

- Bewegungsarmut (geringe körperliche Aktivität, vorwiegend sitzende Tätigkeit), negativer Stress und dessen fehlende Bewältigung,
- Übergewicht (BMI >25 kg/m²) und stammbetonte Fettsucht (Taillen-Hüft-Quotient (WHR) bei Frauen <0,85; bei Männern <1,00),
- Kochsalz-Aufnahme weit oberhalb des physiologischen Bedarfs (>5 - 6 g/Tag),
- Genuss größerer Mengen Alkohols (>30 g/Tag) und Rauchen (>20 Zigaretten/Tag).

Lakoski, Barlow, Farrell, Berry, Morrow & Haskelet (2011) folgend, wurde neben den nicht beeinflussbaren Faktoren Geschlecht und Alter, der BMI als bedeutsamster zu beeinflussender Risikofaktor angesehen. Weiteren Einfluss auf Herzfrequenz und Blutdruck hatten körperliche Aktivität, Blutzuckerwerte und Blutfettindikatoren (high-density-lipoprotein (HDL), low-density-lipoprotein (LDL)). Jackson, Sui, Hébert, Church & Blair (2013) bestätigten in ihrer Untersuchung einen Teil der bekannten Einflussfaktoren. Außerdem zeigten sich explizit die Einflüsse von Hüftumfang und Körperfett. Die kardiorespiratorische Fitness blieb unbeeinflusst von der ethnischen Herkunft bzw. Rasse (Gammon et al. 2017). In Tabelle 2 sind wesentliche Faktoren, die Einfluss auf die Fitness haben, zusammengestellt.

Tab. 2 Einflussfaktoren auf die kardiorespiratorische Fitness

Faktor	Effekt auf das Herz-Kreislauf-System	Quelle
Geschlecht	männlich > weiblich	(Lakoski et al. 2011)
Alter	↓	(Lakoski et al. 2011)
Rasse	kein Effekt	(Gammon et al. 2017)
Body-Mass-Index (BMI)	↓	(Lakoski et al. 2011)
Körperfett	↓	(Jackson et al. 2013)
Hüftumfang	↓	(Jackson et al. 2013)
körperliche Aktivität	↑	(Lakoski et al. 2011)
Rauchen	↓	(Jackson et al. 2013)
Ruheherzfrequenz	↓	(Jackson et al. 2013)
Bluthochdruck	↓	(Lakoski et al. 2011)
Diabetes	↓	(Lakoski et al. 2011)
LDL-Cholesterin	↓	(Lakoski et al. 2011)

Anmerkungen: ↓= negativer Einfluss auf das Herz-Kreislauf-System; ↑= positiver Einfluss auf das Herz-Kreislauf-System.

Geschlecht: Das Geschlecht ist ein wichtiger medizinischer Indikator, von dem viele Merkmalsausprägungen im Hinblick auf die Herzfrequenz und den Blutdruck abhängig sind. Oftmals wird Geschlechtszugehörigkeit als Risikofaktor für Erkrankungen angegeben. So kommen Herz-Kreislauf-Erkrankungen (z. B. arterielle Hypertonie) bei Frauen vor der Menopause seltener vor als bei Männern vergleichbaren Alters (Leening, Ferket, Steyerberg, Kavousi, Deckers & Heeringa 2014, Maranon & Reckelhoff 2013). Man geht hier zwar von einem protektiven Mechanismus der weiblichen Geschlechtshormone aus, jedoch erklären diese Hormone das Phänomen nicht ausreichend. Dazu passt auch das gesteigerte Risiko für kardiovaskuläre Zwischenfälle, das nach der hormonellen Umstellung in der Menopause deutlich ansteigt. Männer zeigen im Vergleich zu Frauen schon in jüngeren Jahren Zwischenfälle des Herz-Kreislauf-Systems (Maranon & Reckelhoff 2013). Bereits Hossack und Bruce (1982) stellten fest, dass O_2-Aufnahme, Herzfrequenz sowie der Herz-Index bzw. Stroke-Index mit dem Alter abnehmen, wobei bei Männern eine größere Reduktion dieser Faktoren beobachtet wurde.

In den DEGS1-Studien des Robert-Koch-Institutes (2008 - 2011) zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland wurde festgestellt, dass Männer mit 18% häufiger als Frauen (13 %) einen erhöhten (hypertonen) Blutdruck (≥ 140/90 mmHg) aufwiesen. In der gleichen Altersgruppe (18 - 79 Jahre) zeigten nur 29 % der Männer, aber 53 % der Frauen einen normalen Blutdruck. Zum Erhebungszeitpunkt lag bei 30 % der Frauen und bei 33 % der Männer bereits eine bekannte Hypertonie vor (Neuhauser et al. 2013). Zudem erbrachte eine submaximale Fahrradergometrie mit 3.030 Testpersonen im Rahmen der DEGS1-Studie das Ergebnis, dass Frauen ca. 24 % leistungsschwächer waren als Männer. Als Gründe dafür wurden unterschiedliche Muskelmasse und Lebensstile angenommen (Finger et al. 2013).

Alter: Alter ist ein einfach zu erhebender Messwert, der jedoch keinesfalls automatisch mit Krankheit gleichzusetzen ist. Jackson et al. (2009) konnten zeigen, dass ab einem Alter von 45 Jahren die kardiorespiratorische Fitness verstärkt abnimmt. Es ist somit nicht verwunderlich, dass der medizinische Handlungsbedarf aufgrund kleinerer Reservekapazitäten und langsamerer Regenerationsfähigkeit zunimmt. Altert ein Organismus, finden auch am Herz-Kreislauf-System typische Veränderungen statt. Herzmuskelzellen und Zellen des Erregungsleitungssystems werden zum Teil durch Bindegewebe ersetzt. Als Folge sinkt das Herzminutenvolumen, und es treten häufiger Herzrhythmusstörungen auf.

Schon ab dem 20. Lebensjahr lassen sich Veränderungen an den Gefäßwänden im Sinne einer Arteriosklerose feststellen. Dadurch nimmt die Elastizität der arteriellen Gefäße ab und der Blutdruck steigt (Zieman, Melenovsky & Kass 2005, S. 933 ff.). Ältere Gesunde wiesen in der Studie von Laitinen, Hartikainen, Vanninen, Niskanen, Geelen & Länsimies (1998) eine geringere Baroreflexsensitivität (BRS) auf als jüngere, was die vorangegangene Studie stützt. Zunehmender oxidativer Stress, ein Elastizitätsverlust an den Gefäßwänden und eine Abnahme der kardiovagalen Aktivität werden als Ursachen diskutiert. Die sympathische Komponente der Reflexantwort scheint dagegen nicht durch das Alter beeinflusst zu werden (Monahan 2007). Lábrová, Honzíková, Maderová et al. (2005) konnten zeigen, dass Alter und Intima-Media-Dicke der Carotis positiv miteinander korrelieren. Das wird als ein Hinweis dafür angesehen, dass die Abnahme der BRS auf die altersbezogenen Strukturveränderungen an der Carotiswand zurückzuführen sein könnte.

Die Herzfrequenz sinkt mit zunehmendem Alter und die Herzkraft wird geringer. Unter Belastung wurde bei gesunden Männern festgestellt, dass das "alte" Herz im Vergleich zum "jungen" Herz schwächer mit einem Herzfrequenzanstieg reagiert, der Blutdruck dagegen stärker steigt und die Ejektionsfraktion des Herzens verringert ist (+62 % "alt" gegenüber +119 % "jung") (Stratton, Levy, Cerqueira & Schwartz 1994).

Der systolische Blutdruckanstieg betrifft Männer von der Adoleszenz bis ins frühe Erwachsenenalter stärker als gleichalte Frauen, schwächt sich dann aber ab, sodass Frauen ab dem 45. bis 50. Lebensjahr im Mittel einen höheren systolischen Blutdruck als Männer aufweisen. Der diastolische Blutdruck verhält sich ähnlich, hat jedoch einen weniger ausgeprägten Anstieg. Er steigt etwa bis zum 50. Lebensjahr an, erreicht ein Plateau und sinkt jenseits des 60. Lebensjahrs wieder ab (Pinto 2007). Das DEGS1-Kollektiv mit dem höchsten Alter (75 - 79 Jahre) litt zu 74 % an einer Hypertonie. Lediglich 5 % der erwachsenen Männer und Frauen vom 18. bis 29. Lebensjahr waren davon betroffen (Neuhauser et al. 2013).

Zudem häufen sich Erkrankungen wie Tumorleiden, psychische und neurologische Erkrankungen, Diabetes mellitus, periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK), Herzinsuffizienz und Herzinfarkt - um nur einige zu nennen -, für die mit ansteigendem Lebensalter eine Zunahme der Erkrankungshäufigkeit zu verzeichnen ist (DESTATIS 2009, S. 31 ff.).

Body-Mass-Index (BMI): Der BMI setzt Körpergewicht und -größe zueinander ins Verhältnis (kg/m²) und dient der Einschätzung von Norm-, Über- und Untergewicht (Tab. 3).

Tab. 3 Körpermaße bei Erwachsenen gemäß Body-Mass-Index (NIH 2019)

Kategorie	Body-Mass-Index [kg/m²]
Untergewicht	< 18.5
Normalgewicht	18.5 - 24.9
Übergewicht (Präadipositas - Vorstufe)	25 - 29.9
Adipositas Grad I	30 - 34.9
Adipositas Grad II	35 – 39.9
(extreme) Adipositas Grad III	≥ 40

Da der BMI keine intergeschlechtlichen oder -personellen (Körperbau, Statur, Alter) Eigenheiten berücksichtigt, kann er nur zur groben Einschätzung des Ernährungszustands dienen. Es werden weder der genaue Fettanteil noch die Fettverteilung im Körper errechnet und analysiert. Eine eingeschränkte Aussagekraft zeigt der BMI bei Personen mit verschobenem Muskelanteil (z. B. Bodybuilder) oder Schwangeren, die sich in einem abweichenden Stoffwechselzustand befinden (DAG 2014; Nuttall 2015; WHO-Europe 2018).

Flint, Rexrode, Hu et al. (2011) zeigten, dass eine Erhöhung des BMI über 30 kg/m^2 bei Männern und Frauen im Vergleich zu Normalgewichtigen mit deutlicher Risikozunahme einhergeht, an einer koronaren Herzerkrankung zu erkranken. Ein erhöhtes Risikoprofil für Übergewichtige fand sich auch in der DEGS1-Studie. 67 % der Männer und 53 % der Frauen waren übergewichtig (BMI ≥ 25 kg/m^2), was dem Anteil im Bundes-Gesundheitssurvey 1998 entsprach. Für Adipositas wurde vor allem bei Männern von 1998 bis 2011 ein Anstieg von 19 % auf 23 % festgestellt, wobei vermehrt Jüngere betroffen sind (Mensink et al. 2013).

Taille, Taillen-Hüfte-Index (Waist-to-Hip-Ratio (WHR)): Ähnlich wie der BMI liefert auch die **Taille** Informationen über den Ernährungszustand einer Person und detektiert so eine damit einhergehende Veränderung des Körpergewichts. Ein Taillenumfang von mehr als 80 Zentimetern bei Frauen bzw. 94 Zentimetern bei Männern wird als auffällig angesehen. Gemessen wird die schmalste Strecke zwischen letzter Rippe und Hüfte (RKI 2013).

Der **Taillen-Hüfte-Index** setzt die beiden Indikatoren Taillen- und Hüftumfang zueinander

ins Verhältnis. Adipositas liegt bei Frauen ab einem WHR von > 0.85 und bei Männern von > 0.94 vor (WHO 2008, S. 27). Eine Abweichung dieser Werte nach oben führt zu einer Risikoerhöhung für Herz-Kreislauf-Krankheiten, besonders der koronaren Herzerkrankung (Rexrode et al. 1998, S. 1843).

Taille-Größe-Index (Waist-to-Height-Ratio (WHtR)): Eine weitere Einschätzung der Körpermassenverhältnisse lässt die WHtR zu. Dieser Maßzahl wird eine zuverlässigere Vorhersagekraft von kardiovaskulären Krankheiten sowie Diabetes als dem WHR nachgesagt (Browning, Hsieh & Ashwell 2010, S. 266). Das Verhältnis von Körperlänge und Taillenumfang soll eine genauere Einschätzung des „schlechten" abdominellen Fettes ermöglichen. Ab einem Wert von über 0.5 wird von einem „frühen Gesundheitsrisiko" gesprochen, das mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für metabolische Erkrankungen assoziiert ist. Darüber hinaus ist der Taillen-Größe-Index einfach, kostengünstig und schnell zu ermitteln (Ashwell & Gibson 2016, S. 1 ff.).

Sportliche Aktivitäten: Die Begriffe körperliche Aktivität und Sport sind keine Synonyme. Körperliche Aktivität bezieht sich auf jede Handlung, die mit Beanspruchung der Skelettmuskulatur einhergeht, während Sport (Unterform der körperlichen Aktivität) Spaß an Bewegung und Leistungsanspruch impliziert (Lampert, Mensink & Müters 2012, S. 102). Die Anzahl der **Sportstunden pro Woche** lässt sich leicht von Personen erfragen, um die zusätzliche Aktivität im Alltag zu messen. Der Zusammenhang zwischen wöchentlicher sportlicher Betätigung und physischer Fitness ist ersichtlich. Zwar variieren Art und Niveau der sportlichen Aktivität, generell bildet Sport aber die Basis eines gesunden Lebensstils.

Der Einfluss von körperlicher Belastung auf das Herz-Kreislauf-System ist vielfältig und in nahezu jedem Organsystem spürbar und messbar. So führt Sport zu einer Reduktion der „schlechten" Blutfette (LDL), senkt die Entzündungsparameter C-reaktives Protein und Fibrinogen, mindert das Risiko für psychische Erkrankungen, wirkt sich positiv auf den Knochenstoffwechsel aus, verbessert den Energiestoffwechsel sowie die Herz- und Atemleistung (DOSB 2014; Schulz, Meyer & Langguth 2011; Schmidt et al. 2017). Fehlende sportliche Aktivität wird im Zusammenhang mit Adipositas gesehen, während Übergewicht als Mediatorvariable zwischen physischer Aktivität und Fitness erscheint (Rauner, Mess & Woll 2013). Folgende Intensität und Dauer sportlicher Aktivität wird von der WHO (2011) für Erwachsene (Alter: 18 - 64 Jahre) empfohlen, um einen Effekt auf das Herz-Kreislauf-System und eine Risikoreduktion für assoziierte Erkrankungen zu erreichen:

- 150 Minuten moderate Intensität einer aeroben Belastung pro Woche oder 75 Minuten bei gesteigerter Belastung oder eine Kombination aus beiden Möglichkeiten.
- Aerobe Aktivität sollte mindestens eine 10-minütige Trainingseinheit umfassen.
- Weitere gesundheitsverbessernde Effekte werden durch eine Verdopplung der Mindesttrainingszeit erreicht.
- Muskulatur-stärkendes Training sollte an zwei oder mehr Tagen der Woche durchgeführt werden und die großen Muskelgruppen einbeziehen (WHO 2011, S. 26; Haskell, Lee, Pate et al. 2007).

Schon Stratton, Levy, Cerqueira, Schwartz & Abrass (1994) konnten mittels Radionuklid-Ventrikel-Darstellung an 24 Testpersonen einen positiven Effekt von Ausdauertraining auf das Herz belegen. Es wurde unter anderem gezeigt, dass sechs Monate nach Trainingsbeginn die Ruheherzfrequenz um 12 % sank, das enddiastolische Volumen um 13% stieg und die Kontraktilität des Herzens zunahm. In der DEGS1-Studie zeigte sich, dass etwa ein Viertel der Männer (29 %) und Frauen (22 %) länger als zwei Stunden in der Woche körperlich aktiv war. Ein Drittel der Befragten gab an, auf Bewegung im Alltag stark zu achten. Dabei wurde das von der WHO festgelegte Aktivitätsniveau von Männern häufiger erreicht als von Frauen, wobei ältere Studienteilnehmer inaktiver waren als jüngere. In den Jahren zwischen dem Bundes-Gesundheitssurvey 1998 (BGS-98) und der DEGS1-Studie nahm das Aktivitätsniveau sowohl bei Männern als auch bei Frauen um 7 % zu (Krug, Jordan, Mensink, Müters, Finger & Lampert 2013, S. 765 ff.).

2.5 SUBMAXIMALE BELASTUNGSTESTS

In den folgenden Kapiteln werden der aktuelle Forschungsstand zum Einsatz submaximaler Belastungstests vorgestellt und Forschungslücken aufgedeckt. Als Grundlage dazu diente eine Literaturrecherche mittels Pubmed sowie Google Scholar. Es wurde eine Stichwortsuche initiiert, die folgende Suchanfragen einschloss: „step test", „chester step test", „bicycle ergometer test", „ergometry", „exercise testing" in Verbindung mit „blood pressure" und „heart rate". Aus wissenschaftlicher Sicht werden zuerst Ergometeruntersuchungen mit Kurztests und im Anschluss ausgewählte Kurztests miteinander verglichen. Hierzu werden die Untersuchungsmethoden unter klinischen und präventivmedizinischen Gesichtspunkten beleuchtet. Es geht eine kurze Übersicht der verschiedenen Belastungstests voraus, in der auch deren Vor- und Nachteile erörtert werden.

Zur Messung kardiovaskulärer Leistungsfähigkeit wird in der Literatur eine Vielzahl an Leistungs- und Belastungstests beschrieben (Anh. A_1). Verbreitet sind diese Tests u. a. in der Sportmedizin und Kardiologie, wo je nach ausführender Disziplin verschiedene Messwerte bzw. Leistungsmaße erhoben werden. Unabhängig davon werden Belastungsuntersuchungen mit folgender Indikation durchgeführt:

- Beurteilung der Leistungsfähigkeit/Belastbarkeit bei Gesunden und Kranken
- Objektivierung von Trainingseffekten
- Kontrolle der Leistungsfähigkeit vor pharmakologischen oder chirurgischen Eingriffen
- gutachterliche/arbeitsmedizinische Beurteilung der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit (z. B. Feuerwehr, Polizei, Taucher)
- Aufdeckung latenter Symptome, die erst unter Belastung sichtbar werden (z. B. AV-Blockierung)
- Trainingsempfehlungen für Gesunde und Kranke (Graf 2012, Löllgen & Leyk 2018).

Um Testergebnisse zur kardiovaskulären Leistungsfähigkeit vergleichen zu können, wird die erbrachte Leistung einer Testperson anhand der Relation aus der von ihr verrichteten Arbeit über den Testzeitraum hinweg definiert. Zum Verständnis des abstrakten Begriffs „Leistung“ soll nachfolgendes Beispiel dienen: Hebt man ein Gewicht von einem Kilogramm während einer Sekunde einen Meter vom Boden ab, dann entspricht die erbrachte Leistung der von zehn Watt (Graf 2012, S. 78 ff.).

Allen Testmethoden ist gemeinsam, dass die testspezifische Leistungsfähigkeit bewertet wird, die Aufschluss über die Fitness des Herz-Kreislauf-Systems unter Belastung gibt. Diese kann durch ein regelmäßiges Belastungstraining verbessert werden. In Bereichen des Ausdauertrainings sowie bei anderen regelmäßigen dynamischen Belastungen ist ein solcher Effekt beschrieben. Ein „Sportlerherz“ ist durch strukturelle Veränderungen in der Lage, eine größere Menge Blut pro Herzschlag zu fördern. Somit wird bei gleicher Belastung eine geringere Herzfrequenz zum Aufbringen des gleichen Herzminutenvolumens benötigt (Wonisch, Hofmann, Förster, Hörtnagl, Ledl-Kurkowski & Pokan 2017, S. 122).

Huang, Shi, Davis-Brezette & Osness (2015) stellten fest, dass die Ruheherzfrequenz bei ausdauerbasiertem Training sank und als Indikator für einen guten körperlichen Fitnesszustand gelten kann. Unter gleichbleibender Belastung steigt die Herzfrequenz zuerst an, geht jedoch bei einer nicht erschöpfenden Tätigkeit in ein Plateau über. Aufgrund der Belast-

ungssteigerung, die in jedem Test durchgeführt wird, ist zu erwarten, dass die Schlagfrequenz des Herzens bis zu einem individuellen Punkt ansteigt. Wird nun die Belastung abgebrochen, fällt die Herzfrequenz nach einiger Zeit wieder ab. Hier ist zu beobachten, wie lange es dauert, bis die Ausgangswerte von Herzfrequenz und Blutdruck wieder erreicht werden. Abnormitäten im Verhalten dieser beiden Indikatoren müssen keinen absoluten Krankheitswert besitzen, können jedoch bereits Anzeichen einer vegetativen Fehlregulation bzw. strukturellen Schädigung des Herzens oder des Gefäßsystems sein.

2.5.1 ERGOMETRIEVERFAHREN IM VERGLEICH MIT KURZBELASTUNGSTESTS

Es gibt mehrere Studien, die sich mit dem Vergleich von Ergometrie und Kurzbelastungstests beschäftigen. Häufig untersucht wurde dabei der **Chester-Step-Test (CST)**, den Sykes und Roberts 1995 entwickelten (2004, S. 183 ff.). Sie sahen eine hohe Korrelation zwischen diesem Stepp-Test und der VO_{2max}-Messung während einer **Laufbandergometrie** (r = .92). Untersucht wurden hierzu 68 gesunde Testpersonen unterschiedlichen Alters und Trainingszustands. Die Autoren postulierten, dass der CST ein valides Verfahren zur Beobachtung von Veränderungen der aeroben Kapazität ist. Buckley, Sim, Eston, Hession & Fox (2004, S. 197 ff.) zweifelten die Messgenauigkeit der VO_{2max} während des CST an, konnten andererseits aber eine gute Test-Retest-Verlässlichkeit aufzeigen. Die Stichprobe bestand aber lediglich aus 13 jungen Testpersonen.

Eine weitere Studie an jungen indischen Männern (Alter: 23 ± 0,2 Jahre) untersuchte die Vergleichbarkeit der VO_{2max} zwischen unterschiedlichen Tests. Zum einen wurde VO_{2max} mit einem **Queens-College-Step-Test** indirekt ermittelt und danach mit der gemessenen VO_{2max} einer Spiroergometrie verglichen. Die Wissenschaftler fanden für VO_{2max} eine hohe Korrelation (r = .95) und empfahlen den QCST als probates Verfahren zur Untersuchung der kardiorespiratorischen Fitness größerer Gruppen (Chatterjee, Chatterjee, Mukherjee & Bandyopadhyay 2004, S. 289 ff.).

Zwei Studien befassten sich mit der Fitness von Berufsgruppen, die einer hohen physischen Belastung ausgesetzt sind: So versuchte Werner (2012, S. 2) im Rahmen seiner Magisterarbeit einen abgewandelten **Queens-College-Step-Test** im sog. Stellungsverfahren des österreichischen Heeres zu etablieren. In dieser Untersuchung fand sich nur ein schwacher Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz beim Stepp-Test und der VO_{2max} in der Spiroergometrie (r = .48). Die Korrelation zwischen Herzfrequenz und VO_{2max} stieg jedoch jeweils mit zusätzlicher Betrachtung von Taillenumfang (r = .72) und BMI (r = .66) an.

Eine mittlere Korrelation (r = .54) ergab sich zwischen der maximal erbrachten Leistung (Watt) auf dem Fahrradergometer und dem Punktwert des **Bundeswehr-Fitnesstests**, der aus je einem Sprinttest, Armkrafttest und 1000-Meter-Lauftest errechnet wurde. 323 männliche Rekruten nahmen an dieser Studie teil (Sammito, Gundlach & Böckelmann 2016).

Zwischen **Siconolfi-Step-Test** (17 - 34 Stepps auf eine 25 cm hohe Stufe über 3 Level) und Fahrradergometrie wurde für die VO_{2max} sogar eine hohe Korrelation ermittelt. 24 Testpersonen (19 Frauen, fünf Männer; Alter: 53 ± 10 Jahre), die an rheumatoider Arthritis erkrankt waren, wurden an zwei Tagen mittels submaximaler Belastung untersucht. Geschätzte und gemessene VO_{2max} wiesen einen starken Zusammenhang auf (r = .79). Zudem zeigte sich bei Wiederholung des Stepp-Tests eine herausragende Test-Retest-Reliabilität (intraclass correlation coefficient (ICC: r = .97); Cooney, Moore, Ahmad et al. 2013).

Lee (2018) untersuchte Diabetes Typ II erkrankte Frauen und fand heraus, dass sich Parallelen zwischen kardiorespiratorischer Leistung - gemessen durch Fahrradergometrie (VO_{2max}) - und zurückgelegter Strecke eines 6-Minuten-Gehtests (r = .54) sowie der Erholungs-Herzfrequenz eines submaximalen **Tecumseh-Step-Tests** (r = -.49) abzeichneten.

In einer Studie an 30 Schulkindern wurde die Herzfrequenz bei einem **Kurz-Stepp-Test** (in einer Minute war eine 35 cm hohe Bank 40 mal zu besteigen), einem **Shuttle-Run-Test** (maximal erreichte Geschwindigkeit), einem **6-Minuten-Gehtest** (zurückgelegte Strecke) und einer **Fahrradergometrie** (maximale Leistung und PWC_{170}) untersucht. Dabei korrelierten der 6-Minuten-Gehtest und Shuttle-Run-Test untereinander hoch (r = .83) und diese beiden Tests mit der Fahrradergometrie mittelmäßig bzw. hoch (r = .63 - .71). Zwischen Stufensteigen und Fahrradergometrie bestand allerdings nur ein geringer Zusammenhang (r = .43) und die Test-Retest-Reliabilität des Stepp-Tests wurde als mangelhaft bewertet (r = .37). Abschließend stellte die Studie die Sinnhaftigkeit des Stufensteigens zur Beurteilung der kardiopulmonalen Ausdauer in Frage (Faude, Nowachi & Urhausen 2004).

Druskins (1993) untersuchte fünf **Stepp-Test-Protokolle** (Shakey-Test, Siconolfi-Test, Queens-College-Test, Astrand-Rhyming-Test, Cotton Stepp-Test) mit dem Fokus auf Geschlechtsunterschiede. An 18 Testpersonen (je neun Männer und Frauen) wurden Unterschiede, aber auch Zusammenhänge zwischen den Stepp-Tests in Bezug auf die kardiopulmonale Beanspruchung (VO_{2max}) aufgezeigt - ermittelt per **Laufband-** und **Fahrradergometrie**. Es zeigte sich lediglich ein geschlechtsspezifischer Unterschied von 10 % für Kraft, Sauerstoffaufnahme und maximale Herzfrequenz. Der **Astrand-Rhyming-Step-Test** ergab den besten Vorhersagewert für VO_{2max} (48 ml/kg).

Alles in allem sollte laut Küpper (2015) bei jeglichen ergometrischen und sonstigen Belastungsuntersuchungen auf die korrekte Durchführung und Ausbelastung der Teilnehmer geachtet werden. Um als Goldstandard zu gelten, müssen die objektiven Abbruchkriterien beachtet werden. Die erhobenen Daten werden bestenfalls unter Berücksichtigung der Limitationen der Untersuchung und im Interesse des Patienten interpretiert.

2.5.2 SUBMAXIMALE BELASTUNGSTESTS IM VERGLEICH

Nachfolgend werden ausgewählte Leistungs- und Belastungstests exemplarisch vorgestellt. Dabei stehen insbesondere Fahrradergometie, Lauf- und Stepp-Tests im Fokus der Betrachtung, weil sie Gegenstand dieser Arbeit sind. Eine Tabelle im Anhang (Anh. A_1) verdeutlicht das gesamte Ausmaß der untersuchten und recherchierten Belastungstests.

Fahrradergometrie: Die Fahrradergometrie wird in Deutschland standardmäßig als Leistungs- und Belastungstest zur Ermittlung der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit eingesetzt. Ergänzend dazu werden überwiegend Tests zur Bestimmung der aeroben und anaeroben Schwelle mittels Laktat oder zur Lungenkapazität durchgeführt. Im Leistungsbereich sind eine Laktatanalyse und eine Sauerstoffverbrauchsaufzeichnung die Regel. Bei dieser Untersuchung wird über die Beinkraft ein Schwungrad oder ein Transformator angetrieben. Die Leistung bei einem drehzahlunabhängigen Ergometer wird direkt an dem Gerät verändert und während des Testes kontinuierlich oder stufenweise gesteigert.

Zu den Vorteilen der Fahrradergometrie gehört die sehr genaue Einstellbarkeit des angestrebten Leistungsniveaus. Nicht drehzahlabhängige Geräte bieten die Möglichkeit, eine konstante Belastung, trotz abweichender Tretgeschwindigkeiten der Testpersonen, aufrecht zu halten (Hollmann & Hettinger 2000, S. 341 f.). Aufgrund der Sitzposition auf dem Fahrradergometer lassen sich die Vitalindikatoren mittels Mehrkanal-EKG während des Testes einfach erheben. Für Provokationstests im Bereich der belastungsinduzierten Ischämie ist die ständige EKG-Kontrolle wichtig, um eine Minderperfusion oder Rhythmusstörungen zu detektieren und den Test gegebenenfalls abzubrechen.

Nachteile sind, dass die Fahrradergometrie ortsgebunden durchgeführt werden muss, weil das Ergometer einen Stromanschluss benötigt und schwer zu transportieren ist. Zusätzlich sind die Anwesenheit oder die unmittelbare Erreichbarkeit eines Arztes sowie die permanente Begleitung der Untersuchung durch geschultes medizinisches Personal zwingend erforderlich (Klingenheben, Löllgen, Bosch & Trappe 2018, S. 3). Drehzahlunabhängige Er-

gometer sind zudem vergleichsweise teuer. Bei einigen Personen kann sich das Fahrradfahren als ungewohnte Belastung herausstellen. Da nur eine gewisse Muskelpartie angesprochen wird, kann daraus eine ungenügende Ausbelastung aufgrund von Muskelerschöpfung resultieren, was zu einem vorzeitigen Abbruch der Untersuchung führen kann.

Testverfahren folgen in der Regel einem standardisierten Ablauf mit definierter Leistungssteigerung nach einem Protokoll. Das zieht eine lange Untersuchungsdauer nach sich, ermöglicht aber eine reproduzierbare, vergleichbare und objektive Messung. Für jede Ergometrie werden durchschnittlich acht bis zwölf Minuten benötigt, hinzukommen Vor- und Nachbereitungszeit(en).

Im Vorfeld der Ergometrie müssen mindestens folgende Bedingungen beachtet werden:

- klinische Voruntersuchungen (Anamnese, körperliche Untersuchung, Ruhe-EKG, Ruheblutdruck, Medikamente)
- Durchführungsbedingungen und Methodik (Raumtemperatur, Luftfeuchte, Kalibrierung des Geräts, Monitoring, Drehzahleinstellung, Blutdruckmessung)
- Untersuchungsteilnehmer (kein Fieber, zwei Stunden nüchtern, zwölf Stunden weder Alkohol noch Nikotin, Medikamentenpause im Vorfeld)
- Setting (Raum mit Notfallausrüstung und ausreichender Größe, personelle Ausstattung)

Die Untersuchung wird abgebrochen, wenn es EKG-Auffälligkeiten gibt, Herz-Kreislauf-Störungen, technische oder patientenseitige Probleme auftreten (Klingenheben et al. 2018, S. 1 ff.; Wonisch, Berent, Klicpera et al. 2008, S. 4 ff.).

Ulmer (2015, S. 292 ff.) merkt zudem kritisch an, dass trotz jahrelangem Einsatz der Ergometrie noch keine Werte für Sensitivität und Spezifität genannt werden können. Weiterhin gibt er zu bedenken, dass eine vernünftige Ausbelastung des Patienten eine Grundvoraussetzung der Diagnostik ist, die oftmals nicht beachtet wird. Auch sollten Betroffene von Arbeitsmedizinern an ihrem Arbeitsplatz untersucht werden, da sie hier ihre zu untersuchende Leistung abrufen und nicht auf dem Ergometer. Daraus lässt sich ableiten, dass kein Belastungstest in der Lage ist, absolute Leistungsstati abzubilden. Ergebnisse müssen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe und individuell gesehen werden.

Lauftests: Lauftests zeichnen sich durch einen geringen materiellen Aufwand und eine unkomplizierte Realisierbarkeit aus. Sie sind generell auch in größeren Gruppen ohne Probleme und ohne zeitlichen Mehraufwand praktikabel. Stellvertretend ist der **Cooper-Test** zu

nennen, der sich für die Grundlagenausdauerüberprüfung etabliert hat. Dabei legt die Testperson in 12 Minuten eine maximale Laufstrecke zurück. Es wird lediglich eine Stoppuhr benötigt, da meist keine weiteren Indikatoren außer der Distanz erhoben werden. Der Entwickler Kenneth H. Cooper ging von einer Korrelation der Laufleistung mit der Sauerstoffaufnahmekapazität aus. Unbeabsichtigt fließen jedoch auch Faktoren, wie Lauferfahrung, Technik, Energiereserven-Einteilung und Motivation mit ein. Obwohl Laufen eine physiologische Belastung darstellt, müssen Risikofaktoren für Verletzungen (z. B. Adipositas, Übergewicht oder Gelenkprobleme) berücksichtigt werden. Die Durchführbarkeit muss daraufhin neu bewertet werden. Unter Umständen müssen Personen von der Untersuchung ausgeschlossen werden. Untrainierte Menschen und multimorbide, vor allem lungenkranke Patienten stoßen schnell an ihre persönlichen Grenzen (Raschka & Nitsche 2016, S. 70; Spallek, Klingelhöfer, Groneberg & Ohlendorf 2017, S. 162 ff.).

Stepp-Tests (Stufen-Steige-Tests): Bei Stepp-Tests besteht die Belastung im Hochsteigen auf eine Stufe oder Belaufen einer Treppe. Hierbei gibt es eine große Variation von Testabläufen. Grundlegend werden eine Stoppuhr, eine Treppe oder Stufe mit definierter Höhe sowie ein Blutdruck- und Pulsmessgerät benötigt. Der Test kann einfach und nahezu unbegrenzt durchgeführt werden. Bei einem Stepp-Test ergibt sich die erbrachte Leistung (Watt oder SI-Einheiten: $kg * m^2 * s^{-3}$) aus der Körpermasse (kg) multipliziert mit der Erdbeschleunigung g ($m * s^{-2}$) sowie der Höhe und dividiert durch die Zeit ($m * s^{-1}$). Die Leistung hängt somit von der Höhe der Lageänderung sowie dem bewegten Gewicht über die Zeit ab (Silbernagel & Despopoulos 2012, S. 80).

Beispielhaft soll hier der **Chester-Step-Test** (entworfen 1995 von Sykes) genannt werden, bei dem die Testpersonen eine Stufe (wahlweise 15, 20, 25, 30 cm hoch) betreten. Die Geschwindigkeit wird von einem akustischen Signal vorgegeben; man beginnt zwei Minuten mit 15 Schritten pro Minute. Es folgt eine kurze Messphase von Herzfrequenz und Blutdruck, danach wird die Schrittanzahl für weitere zwei Minuten um fünf gesteigert. Regulär hat der CST fünf Level mit jeweils einer Messphase am Ende jedes Levels. Schwierig gestaltet sich hierbei die Wahl der Stufenhöhe, um allen Teilnehmern eine angemessene Belastung zu garantieren und den muskulären Wirkungsgrad zu normieren. Die Möglichkeit, mehrere Personen gleichzeitig zu untersuchen, täuscht nicht über die mangelnde Praktikabilität von Messungen während der Belastung hinweg (Kindermann 1987). Stepp-Tests lassen auch eine begrenzte Aussage über orthopädische Funktionen, Gleichgewicht und Koordination zu (z. B. Gelenkprobleme, Fehlstellungen und alltagsrelevante Einschränkungen).

Alles in allem sind die vorgestellten Testmethoden von der Motivation der Testperson sowie ihrer Leistungsbereitschaft abhängig. Zudem haben Faktoren wie Ernährung, Stress durch die gegebene Untersuchungssituation, Untersuchungszeitpunkt, Vorerkrankungen sowie Medikamenteneinnahme Einfluss auf das Testergebnis (Niebauer 2015, S. 205 f.). Die unterschiedlichsten Kontraindikationen machen unbedingt eine gründliche Anamnese erforderlich. Eine individuelle Risikoabschätzung ist zu treffen. Aufgrund der vielfach fehlenden oder schwierigen Überwachung während der Belastung ist die Anwesenheit eines Arztes empfohlen, bei maximalen Belastungstests und kardiologischer Diagnostik ist sie notwendig. Testinterferenzen sollen mit einer standardisierten Vorbereitung der zu untersuchenden Person reduziert werden. Diese betreffen:

- Nahrungskarenz von drei Stunden vor Belastungsbeginn
- Sportkarenz von mindestens 12 Stunden
- Absetzen jeglicher vertretbarer Medikamente wird gewünscht (Graf 2012, S. 78 ff.).

Um die Vergleich- und Reproduzierbarkeit der Testergebnisse zu sichern, ist es zwingend erforderlich, die Tests unter standardisierten Bedingungen und bis zu einer genügenden Ausbelastung durchzuführen (Küpper 2015, Löllgen & Leyk 2018, S. 410).

2.5.3 ALTERNATIVE KURZBELASTUNGSTESTS

Viele der Kurztests haben bisher nur eine Nischenfunktion in ausgewählten Bereichen der Medizin und Sportwissenschaft. De Andrade, Cianci, Malaguti & Dal Corso (2011) führten eine Literaturrecherche zum Einsatz von **Stepp-Tests** bei chronisch Lungenerkrankten durch. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Indikation, mit der eine Belastungsuntersuchung angesetzt wird, entscheidend für die Wahl des Testprotokolls ist. Soll ein Therapieerfolg durch einen Vorher-Nachher-Vergleich nachgewiesen werden, empfahlen sie einen Test mit festgelegtem Stepp-Rhythmus, während für die Überprüfung der maximalen Ausdauer eine genormte Stufenanzahl am besten sei. Um die Lungenkapazität und Sauerstoffaufnahme zu messen, schlagen de Andrade et al. (2011) möglichst kurze Tests vor.

Mit einer ähnlichen Fragestellung führten Karloh, Correa, Martins, Araujo, Matte & Mayer (2013) eine Fall-Kontroll-Studie zur kardiorespiratorischen Antwort von COPD-Patienten auf unterschiedliche Belastungen durch. Zehn an COPD erkrankte Patienten wurden zehn gesunden Personen gegenübergestellt. Alle Studienteilnehmer unterzogen sich dem **Chester-Step-Test**, dem **6-Minuten-Gehtest (6 MWT)** und dem **Shuttle-Run-Test (SRT)**. Die kranken Patienten erzielten in allen Tests schlechtere Ergebnisse, jedoch korrelierte der

Stepp-Test mit den anderen kurzen Tests hoch bzw. mittelmäßig (6 MWT: r = .83; SRT: r = .67) und die Herzfrequenz verhielt sich in allen Tests ähnlich (Karloh et al. 2013).

Eine weitere Studie suchte für das amerikanische „National Institute of Health" (NIH) einen praktikablen, ortsunabhängigen Kurztest und verglich hierfür einen **6-Minuten-Gehtest** mit einem **YMCA-3-Minute-Step-Test** (Bohannon, Bubela, Wang, Magasi & Gershon 2015). Von den 189 Testpersonen beendeten nur 73 % den Stepp-Test. Gründe für das vorzeitige Abbrechen des Testes waren vor allem Erschöpfung, zu hohe Schwierigkeit des Testes, Gleichgewichtsprobleme, Schmerzen sowie das Unvermögen, auf der Stufe das Bein durchzudrücken. Unter denen, die den Stepp-Test beendeten, befanden sich mehr Männer jüngeren Alters, die ihren Angaben nach gesünder lebten und einen geringeren BMI aufwiesen. Die Herzfrequenz während der zurückgelegten Strecke des 6-Minuten-Gehtests und während des Stepp-Tests ergab nur eine schwache Korrelation. Abschließend wurde der **Gehtest** als zu empfehlender Test für die NIH-Toolbox betitelt (Bohannon et al. 2015).

2.5.4 ZUSAMMENFASSUNG UND RELEVANZ SUBMAXIMALER BELASTUNGSTESTS FÜR DIE PRÄVENTIVMEDIZINISCHE VORSORGE

Allgemein ist der Vorsorge- und Screeningcharakter des zu suchenden Tests zu betonen. Voraussetzung für die Untersuchungsmethode soll ein einfaches sowie sicheres Handling unter verschiedensten Bedingungen und unterschiedlichen Patientenkollektiven sein.

In der Literaturrecherche wurde deutlich, dass sich viele Arbeiten mit einer großen Bandbreite von Belastungstests und deren Alternativen beschäftigen. Allerdings sind oft Belastungstests verwendet worden, die vor allem für ältere Testpersonen und ein enges Zeitfenster nicht praktikabel waren, wie zum Beispiel der **Shuttle-Run-Test** oder der **Cooper-Test**. Hier stellt sich explizit die Frage nach der Alltags- und Screeningtauglichkeit von submaximalen Kurzbelastungstests. Allerdings wird in den Studien auf eine präventivmedizinische Anwendung solcher Untersuchungen explizit nicht hingewiesen.

Wenig Beachtung fanden in den gesichteten Studien zu Belastungstests die Herzfrequenz und vor allem der Blutdruck. Oft wurden kardiorespiratorische Indikatoren, insbesondere die VO_{2max}, untersucht, die aufwendiger als Herzfrequenz und Blutdruck zu erheben sind.

Obwohl die meisten Studien zu Belastungstests aus einem gemischten Geschlechterkollektiv bestanden (u. a. Buckley et al. 2004; Bohannon et al. 2015; Cooney et al. 2013; Druskins 1993; Fraude et al. 2004; Karloh et al. 2013), fand einzig in der Studie von Druskins (1993) eine geschlechtsspezifische Auswertung statt. So beanspruchen Kurzbelastungstests (Stepp-

Tests, Kniebeugen-Test) teilweise größere Muskelgruppen, die bei Männern genetisch bedingt vermehrt angelegt sind (Finger et al. 2013, Mensink et al. 2013, Neuhauser et al. 2013). Hinzu kommt eine abweichende Prävalenz für Männer und Frauen von gesundheitlichen Indikatoren wie Übergewicht und Bluthochdruck (Mensink et al. 2013; Neuhauser et al. 2013). Aber auch weitere Kovariablen (s. Kap. 2.4), die die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit in Belastungstests beeinflussen, blieben in den meisten Studien unberücksichtigt.

Als problematisch werden besonders die Studien mit geringem Stichprobenumfang gesehen. Die Forschungsgruppen um Buckley et al. (2004), Chatterjee et al. (2004) und Faude et al. (2004) untersuchten Kollektive mit 30 oder weniger Testpersonen, was eine Übertragung der Ergebnisse auf die Grundgesamtheit einschränkt. Zudem sind die Validität der Testdurchführung und die Messmethoden in mehreren Studien unklar. Chatterjee et al. (2004) und Faude et al. (2004) ermittelten beispielsweise die Herzfrequenz palpatorisch, sodass das Ergebnis stark vom Untersucher abhängt. Vereinzelt wurden auch Ergebnisse retrospektiv analysiert, ohne jedoch eventuelle Veränderungen der Fitness zu beachten, selbst wenn die Untersuchungszeiträume weit auseinanderlagen (Sammito et al. 2016).

Zwischen den verschiedenen Belastungstests und der Fahrrad- bzw. Spiroergometrie wurden für einzelne kardiovaskuläre Indikatoren unterschiedlich starke Zusammenhänge gefunden: Werner (2012) stellte für die Belastungsherzfrequenz im **Queens-College-Step-Test** und der VO_{2max} der Fahrradergometrie nur eine schwache Korrelation ($r = .48$) fest. Faude et al. (2004) und Lee (2018) postulierten ebenfalls nur eine geringe Vergleichbarkeit von Stepp-Tests und Fahrradergometrie (PWC_{170}, VO_{2max}, HF), während in anderen Studien hohe Korrelationen ($VO_{2max,}$ PVO_{2max}, $P_{max,}$ Untersuchungszeit, Geschwindigkeit) zwischen Belastungstests und Fahrradergometrie berichtet wurden (Chatterjee et al. 2004; Cooney et al. 2013). Unabhängig davon bleibt oft die Frage nach der Kinetik von Herzfrequenz und Blutdruck ungeklärt, die maßgeblich für eine Einschätzung der körperlichen Fitness sind.

Zusammenfassend wurden in den meisten Studien weder das Verhalten von Herzfrequenz und Blutdruck bei den einzelnen Belastungstests genauer untersucht noch die unterschiedliche Reaktion von Männern und Frauen auf die Testbelastung exploriert. Die vorliegende Arbeit hat den Anspruch, zur weiteren Aufklärung dieser Forschungslücken beizutragen.

3 BAuA-Studie

Bei der BAuA-Studie handelt es sich um eine groß angelegte Datenerhebung in Deutschland, die von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (im Folgenden: BAuA-Studie) zur Erhebung der mentalen Gesundheit bei der Arbeit initiiert wurde. Im Rahmen dieser bundesweiten Studie wurde in einer Teilstudie auch die kardiovaskuläre Beanspruchung bei verschiedenen Belastungstests untersucht. Die hier präsentierten und bearbeiteten Testdaten entstammen einer Teilstichprobe aus dem Einzugsgebiet Dresden, die zusätzlich an einer erweiterten arbeitsmedizinischen Untersuchung teilnahm. Gegenstand dieser Studie war die Untersuchung unterschiedlicher Kurzbelastungstests (nachfolgend auch als Kurztests bezeichnet) und deren Vergleich mit dem klassischen Belastungs-EKG.

3.1 Fragestellungen und Hypothesen

Ziel dieser Arbeit ist es, anhand der BAuA-Studie einen möglichst einfachen, ortsunabhängigen Test zur Ermittlung der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit herauszuarbeiten und für den Einsatz bei präventivmedizinischen Fragestellungen zu empfehlen. Dazu soll das Verhalten von Herzfrequenz und Blutdruck bei Ruhe, Belastung und Erholung für zwei unterschiedliche Kurztests (Kurzergometrie: ERGO; Stepp-Test: ST25) (1) sowie im Vergleich zum klassischen Belastungs-EKG (standardisierte Fahrradergometrie: BEKG) sowohl für die Gesamtstichprobe (2) als auch geschlechtsspezifisch untersucht werden (3).

Auch soll geklärt werden, ob Herzfrequenz und Blutdruck in alternativen (submaximalen) Kurztests aussagekräftige kardiovaskuläre Kennwerte darstellen und eine zuverlässige Aussage zur kardiovaskulären Fitness ermöglichen. Um den individuellen Anstieg von Herzfrequenz und Blutdruck unter Belastung und die Rückstellung in der Erholungsphase in den Kurztests abzubilden, werden Differenzen zwischen *Ruhe - Belastung, Belastung - Erholung* sowie *Erholung - Ruhe* herangezogen. Als relevante Kovariablen mit Einfluss auf die kardiovaskuläre Fitness sollen *Geschlecht, Alter, BMI* und *Sportstunden pro Woche* (nachfolgend: *Sportstunden/Woche*) in die statistischen Analysen einbezogen werden. [2]

Übergeordnete Fragestellung: Kann ein submaximaler Kurztest ausgemacht werden, der bei einer ortsunabhängigen Untersuchung eine verlässliche Aussage über die kardiovaskuläre Fitness einer Testperson zulässt?

[2] Die Kovariablen für die statistischen Analysen werden im Kapitel 3.3.1 analysiert und begründet.

Aus dieser Fragestellung ergeben sich Einzelfragestellungen (FS) und Hypothesen (H), die mit den Daten der vorliegenden Untersuchung überprüfbar sind. Die Unterschieds- und Zusammenhangsfragen bzw. -hypothesen werden aufgrund des inhaltlichen Zusammenhangs gemeinsam betrachtet, aber mit unterschiedlichen statistischen Verfahren beantwortet.

Fragestellung 1 - Kurztests

Es gibt nur eine sehr begrenzte Anzahl von Studien, die Herzfrequenz und/oder Blutdruck zur Objektivierung der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit in Kurztests verwenden. Oftmals fanden diese Testformate bei chronischen Erkrankungen oder Untersuchungen von mehreren Testpersonen zur gleichen Zeit Verwendung (Bohannon et al. 2015; Karloh et al. 2013). Hier konnten für kardiovaskuläre Kennwerte in mehreren Studien mittlere und hohe Korrelationen zwischen den unterschiedlichen Belastungstests ermittelt werden (Chatterjee et al. 2004; Cooney et al. 2013; Faude et al. 2004; Sammito et al. 2016; Werner 2012), die eine ähnliche Belastung und darauffolgende Reaktion des Körpers vermuten lassen. Es schien die Art der Belastung eine untergeordnete Rolle zu spielen.

FS 1 Unterscheiden sich – unter Kontrolle von *Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche* – Herzfrequenz und Blutdruck unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* zwischen Kurzergometrie und Stepp-Test (a) und welche Zusammenhänge bestehen zwischen beiden Kurztests (b)?

H 1a Es besteht für Herzfrequenz und Blutdruck – unter Kontrolle von *Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche* – unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* kein Unterschied zwischen Kurzergometrie und Stepp-Test.

H 1b Es besteht für Herzfrequenz und Blutdruck unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* ein hoher Zusammenhang ($r \geq .70$) zwischen Kurzergometrie und Stepp-Test.

Fragestellung 2 - Kurztests vs. Belastungs-EKG

Für kardiovaskuläre Indikatoren werden unterschiedlich starke Zusammenhänge zwischen Kurztests und der Fahrrad- bzw. Spiroergometrie berichtet. Einerseits wird für die Herzfrequenz in mehreren Studien eine geringe Vergleichbarkeit zwischen Kurztests und Fahrradergometrie postuliert (Faude et al. 2004; Lee 2018; Werner 2012). Andererseits soll ein Stepp-Test (Siconolfi-Test) eine ähnlich gute Vorhersage über die Funktion des kardiopulmonalen Systems (gemessene VO_{2max} zu geschätzter VO_{2max}) erlauben, wie eine Fahrradergometrie ($r = .79$) (Cooney et al. 2013). Jedoch zeigten sich für verschiedene Belastungsformen leicht unterschiedliche Effekte auf das Herz-Kreislauf-System (Amaro-Gahete, De-

la-O, Jurado-Fasoli et al. 2019). Unabhängig davon wird für Herzfrequenz und Blutdruck unter Belastung und Erholung von einem hohen Zusammenhang zwischen Kurztests und Fahrradergometrie ausgegangen.

FS 2 Unterscheiden sich – unter Kontrolle von *Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche* – Herzfrequenz und Blutdruck unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* zwischen Kurztests (Kurzergometrie, Stepp-Test) und Belastungs-EKG (a) und gibt es Zusammenhänge zwischen den Kurztests und dem Belastungs-EKG (b)?

H 2a Es besteht für Herzfrequenz und Blutdruck – unter Kontrolle von *Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche* – unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* ein Unterschied zwischen Kurztests (Kurzergometrie, Stepp-Test) und Belastungs-EKG.

H 2b Es besteht für Herzfrequenz und Blutdruck unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* ein hoher Zusammenhang ($r \geq .70$) zwischen Kurztests (Kurzergometrie, Stepp-Test) und Belastungs-EKG.

Fragestellung 3 - Geschlechtseffekte Kurztests vs. Belastungs-EKG

Obwohl die meisten Studien zur Wirkung von Belastungstests auf das Herz-Kreislauf-System aus Männern und Frauen bestanden (u. a. Buckley et al. 2004; Bohannon et al. 2015; Cooney et al. 2013; Druskins 1993; Fraude et al. 2004; Karloh et al. 2013), erfolgte nur bei Druskins (1993) eine geschlechtsspezifische Auswertung. Dabei fand sich für die maximale Herzfrequenz ein geschlechtsspezifischer Unterschied (Druskins 1993). Da sich Männer und Frauen in ihren körperlichen Voraussetzungen, gesundheitlichen Potentialen und Risiken unterscheiden (Hossack & Bruce 1982, Maranon & Reckelhoff 2013), ist eine geschlechtsspezifische Analyse erforderlich.

FS 3 Unterscheiden sich bei Männern und Frauen – unter Kontrolle von *Alter, BMI, Sportstunden/Woche* – Herzfrequenz und Blutdruck unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* zwischen Kurztests (Kurzergometrie, Stepp-Test) und Belastungs-EKG?

H 3a Es besteht bei Männern und Frauen – unter Kontrolle von *Alter, BMI, Sportstunden/Woche* – für Herzfrequenz und Blutdruck unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* ein Unterschied zwischen Kurztests (Kurzergometrie, Stepp-Test) und Belastungs-EKG.

H 3b Es besteht für Herzfrequenz und Blutdruck – unter Kontrolle des *Geschlechts* - unter *Belastung* ein hoher Zusammenhang ($r = \geq .70$) zwischen Kurztests (Kurzergometrie, Stepp-Test) und Belastungs-EKG.

3.2 Methodik

Dieses Kapitel beschreibt die Planungs-, Durchführungs- und Auswertungsstrategien zur Beantwortung der Fragestellungen und Hypothesen. Dazu werden die in der BAuA-Studie eingesetzten Erhebungsinstrumente, die Stichprobenzusammensetzung und das Untersuchungsdesign zur Datenerfassung und -auswertung vorgestellt und beschrieben.

3.2.1 Stichprobenrekrutierung

Alle Testpersonen dieser Stichprobe entstammen einer repräsentativen Erhebung (N = 4.511; Altersrange: 31 - 60 Jahre) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) zum Forschungsvorhaben „Mentale Gesundheit bei der Arbeit" (S-MAG – F 2250). Als Grundgesamtheit gelten alle angestellten Erwerbstätigen, die bis zum 31. Dezember 2011 als sozialversichert bei der Bundesagentur für Arbeit (BA) gemeldet waren. Die Stichprobe wurde in zwei Stufen ermittelt. Zunächst erfolgte eine Regionalauswahl von 206 Gemeinden. Im zweiten Schritt wurde die Ziehung der Beschäftigten aus den integrierten Erwerbsbiographien (IEB) vorgenommen. Die so ermittelten Personen wurden mit der Bitte angeschrieben, an einem Interview teilzunehmen, in dem sie zu ihrer Arbeitssituation und Gesundheit befragt würden (Responserate: 36 %; Schröder, Schiel, Schulz & Kleudgen 2015).

Im Raum Dresden wurde 150 zufällig ausgelosten Interviewteilnehmern eine erweiterte arbeitsmedizinische Zusatzuntersuchung angeboten und ihre Einwilligung zur Adressenspeicherung eingeholt. Die Teilnehmer dieser regionalen Teilstichprobe wurden etwa vier Wochen vor der Untersuchung angeschrieben, mit der Bitte, sich bei Interesse an der arbeitsmedizinischen Zusatzuntersuchung per Telefon oder E-Mail zu melden. Die Datenerhebung der erreichten Interessenten fand von August 2013 bis April 2014 statt.

Diese Zusatzuntersuchungen wurden von 78 der ausgelosten Erwerbstätigen (36 Frauen, 42 Männer) wahrgenommen (Responserate: 46 %). Eine Auswertung des Belastungs-EKGs erfolgte jedoch nur bei 66 Personen, da es aufgrund der Medikamentenanamnese und von Kontraindikationen bei der Spirometrie zu Ausschlüssen kam (s. Kap. 3.3.2).

Durchgeführt wurden die Tests von Fachpersonal des Instituts und der Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin der TU Dresden. Für ihre Teilnahme erhielten die Beschäftigten eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 100 €.

3.2.2 Untersuchungsprogramm und -ablauf

Vor Durchführung der arbeitsmedizinischen Zusatzuntersuchung wurden den Teilnehmern zwei Einwilligungserklärungen vorgelegt (Anh. $B1_1$). Dabei wurde um die Zustimmung zur Teilnahme an der Untersuchung und um die Zustimmung zum Zusammenspielen der Daten (Interviewdaten aus dem CAPI und Daten der arbeitsmedizinischen Zusatzuntersuchung) gebeten. Beide Unterschriften waren Voraussetzung zur Durchführung der erweiterten arbeitsmedizinischen Zusatzuntersuchung, in der eine umfangreiche Batterie an Erhebungsinstrumenten zum Einsatz kam (Tab. 4). Diese Untersuchung dauerte etwa zwei Stunden.

Tab. 4 Untersuchungsablauf, Erhebungsinstrumente und erhobene Indikatoren der BAuA-Studie.

Verfahren	Erfasste Indikatoren
Tag 1	
Erläuterungen zu Ablauf und Methodik (eingesetzte Verfahren) der Untersuchungen Prüfung der Einschlusskriterien zur Studienteilnahme und Einwilligungserklärungen	
Fragebogen	Beschwerden und Erkrankungen, Medikamente, Lebensgewohnheiten: sportliche Aktivität, Tabak- und Alkoholkonsum
Abklärung von Kontraindikationen	Kontraindikationen (eingesetzte Verfahren)
Herzfrequenz- und Blutdruckmessungen	Herzfrequenz und Blutdruck unter Ruhe
Messungen der Körpermaße	Größe, Gewicht, Taillenumfang, Hüftumfang
bioelektrische Impedanzanalyse	Körperzusammensetzung (Fett-, Aktivzell-, Magermasse; Körperwasser)
Spirometrie	Vitalkapazität der Lunge
Stepp-Test 25 Stepps	Herzfrequenz und Blutdruck in Ruhe, Belastung und Erholung Belastungszeit
Tests und Fragebögen[3]	kognitive Reaktions- und Umstellfähigkeit, Koordinationsfähigkeit, Persönlichkeitsmerkmale (u. a. Stressanfälligkeit, Erholungsfähigkeit)
Kurzergometrie	Herzfrequenz und Blutdruck unter Ruhe, Belastung und Erholung Belastungszeit
Tag 2	
Ruhe- und Belastungs-EKG (Fahrradergometrie)	
Gesundheitsberatung	individuelle Auswertung und gesundheitsbezogene Empfehlungen

3.2.3 Erhebungsinstrumente und Messverfahren

Neben der Fragebogenerhebung wurden alle Untersuchungsteilnehmer einer körperlichen Untersuchung unterzogen. Für die Messwerterfassung wurde ein standardisiertes Untersuchungsprotokoll benutzt (Anh. $B1_3$). Durchgeführt wurden unter anderem eine Kurzergometrie, ein Stepp-Test mit 25 Stufen und ein Belastungs-EKG (s. Kap. 3.2.3.2). Die für diese Arbeit relevanten Kovariablen (*Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche*) wurden

[3] Diese Tests und Fragebögen sind nicht Bestandteil der Arbeit und werden nicht näher beschrieben.

im Rahmen der Anamnese erhoben sowie durch Messungen der Körpermaße bestimmt und nach definierten Kriterien klassifiziert (s. Kap. 3.3.2).

3.2.3.1 Fragebogen und arbeitsmedizinische Untersuchung

Die **Anamnese** umfasste soziodemographische Daten, Kontraindikationen für die Belastungsmessungen, Lungenfunktionsprüfung und Bioimpedanzanalyse (BIA) sowie Erkrankungen und Beschwerden der letzten vier Wochen, einschließlich deren Medikation.

Es wurden relevante **Körpermaße** (Körpergewicht und -größe, Taillen- und Hüftumfang) mittels Maßband und Personenwaage erfasst und relevante Größen (BMI, WHR) berechnet, die mit einem gesundheitlichen Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen assoziiert sind.

Taille und Hüfte wurden wie folgt gemessen:

- Taille - gemessen in Höhe des Bauchnabels bzw. mittig zwischen Unterkante des Rippenbogens und Oberkante des Darmbeinkamms; wenn keine Taille nachweisbar war, wurde der größte Bauchumfang gemessen
- Hüfte - gemessen als größter Umfang über den Trochanteren

Der **Fragebogen** (Anh. $B1_2$) diente der Erhebung soziokultureller und -demografischer (u. a. Geschlecht, Alter, Familienstand, Kinder, Pflege von Angehörigen, Schulbildung) sowie arbeitsanamnestischer Angaben (u. a. Berufsabschluss, Beschäftigungsverhältnis, tatsächliche Arbeitszeit), als auch der Ermittlung von Lebensgewohnheiten (u. a. sportliche Aktivität, Tabak- und Alkoholkonsum) und Erkrankungen, einschließlich ihrer Medikation.

Die Erfassung des Nikotinkonsums erfolgte anhand dieser drei Kategorien:

- Nichtraucher
- Raucher
- Ex-Raucher (ehemaliger Raucher)

aus denen anschließend eine Gruppe von Nichtrauchern und Rauchern gebildet wurde.

Die Daten zum Alkohol- und Nikotinkonsum betrafen jeweils Angaben zur Häufigkeit, Art und Menge des konsumierten Alkohols bzw. Nikotins pro Tag bzw. Woche. Der Alkoholkonsum wurde durch folgende Antwortmöglichkeiten ermittelt:

- kein Alkoholkonsum
- gelegentlicher Alkoholkonsum
- regelmäßiger Alkoholkonsum

Ausgehend von der Menge (Glas (200 ml) am Tag/pro Woche) wurden drei Gruppen klassifiziert: kein (Abstinenz), normaler (1 - 26 g/d) und erhöhter Alkoholkonsum (≥ 26 g/d).

Zur Messung der Körperzusammensetzung mittels **Bioelektrischer Impedanzanalyse (BIA)** wurde das Gerät BIA 101 (Body Impedance Analyzer) der Firma A-KERN eingesetzt. Es erfolgte eine elektrische Widerstandsmessung am menschlichen Körper. Bestimmt wurde das Verhältnis von Fettmasse, Magermasse (z. B. Muskeln, Knochen, Wasser) und Körperwasser. Entscheidend ist der Fettanteil in Bezug zur Körpergröße (Ergebnisprotokoll: Anh. $B2_2$).

Abb. 1 Bioelektrische Impedanzmessung

3.2.3.2 SUBMAXIMALE BELASTUNGSTESTS

Als Belastungstests dienten neben dem klassischen Belastungs-EKG zwei Kurztests (Kurzergometrie, Stepp-Test mit 25 Stepps). Bei diesen Tests wurde - unter definierter Messung von Herzfrequenz bpm (beats per minute), Blutdruck (mmHg) und Belastungszeit (s) die kardiovaskuläre Fitness ermittelt. Die submaximale Belastungsform wurde gewählt, da kardiale Zwischenfälle hier deutlich seltener vorkommen und bei krankenhausfernen Untersuchungen nicht immer eine notfallmäßige Versorgung verfügbar ist.

Belastungs-EKG: Das Belastungs-EKG wurde als standardisierte Fahrradergometrie realisiert und folgte einem festgelegten Protokoll - ausgehend von 50 Watt bei Frauen und 75 Watt bei Männern sowie einer dreiminütigen Vorruhe und einer fünfminütigen Nachruhe. Während der Belastung wurde die Leistung in dreiminütigem Abstand jeweils um 25 Watt gesteigert (Belastungsstufen), bis die submaximale Zielherzfrequenz erreicht war. Die Testperson musste dabei die Drehzahl von 60 Umdrehungen pro Minute möglichst konstant halten. Die individuelle Zielherzfrequenz wurde zu Beginn der Untersuchung bestimmt (maximale Herzfrequenz: 220 bpm minus Lebensalter der Testperson; Ziel: 85 % der maximalen Herzfrequenz (Tanaka et al. 2001)). Bei Überschreiten der Zielherzfrequenz von mehr als 30 Sekunden wurde das Belastungsprogramm beendet.

Die Herzfrequenz wurde über das gesamte Stufenprogramm kontinuierlich aufgezeichnet. Zusätzlich wurden Herzfrequenz und Blutdruck mittels Oberarmmessung in *Ruhe*, unmittelbar nach sowie drei bzw. fünf Minuten nach *Belastung* (*Erholung*) erfasst. Die Belas-

tungsmessungen wurden jeweils in den finalen 20 Sekunden der letzten Minute einer Belastungsstufe gestartet. Gemessen wurde mit einem vollautomatischen Oberarmblutdruckmessgerät (bosomedicus der Firma Bosch und Sohn GmbH & Co). Bei Rechtshändern wurde stets links, bei Linkshändern vice versa gemessen - auf dem Ergometer in sitzender Position.

Zusätzlich dazu wurde für das Belastungs-EKG die Physical-Working-Capacity 130 (PWC_{130}) berechnet, die die erbrachte Leistung auf dem Fahrradergometer bei einer Herzfrequenz von 130 bpm angibt. Bezogen auf das Körpergewicht, objektiviert sie die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit bzw. Belastbarkeit der Testpersonen.

Kurzergometrie: Bei der Kurzergometrie sollte eine Strecke von 220 m bei einem Widerstand von 150 W auf einem Fahrradergometer schnellstmöglich zurückgelegt werden.

Stepp-Test: Es sollten mit dem gleichen Bein 25 Stepps auf einer Stepp-Bank der Firma Reebok (Step-Aerobic-Plattform: Länge 90 cm, Breite 35 cm, Höhe 25,4 cm) so schnell wie möglich ausgeführt werden. Die Durchführung wurde vom Testleiter erklärt, gezeigt sowie von den Testpersonen im Voraus ausprobiert.

Auch bei beiden Kurztests wurden Herzfrequenz und Blutdruck mit Hilfe des Oberarmblutdruckmessgerätes boso medicus (Firma Bosch und Sohn GmbH & Co.) zu definierten Zeitpunkten gemessen - in der zweiten Minute der Vorruhe (*Ruhe*), unmittelbar nach der Belastung sowie drei Minuten nach Belastungsende (*Erholung*). Bei Rechtshändern wurde wieder links und bei Linkshändern vice versa gemessen, hier allerdings in stehender Position. Die Erfassung der Belastungs- und Erholungszeiten (in Sekunden) erfolgte mit einer Stoppuhr.

3.2.4 Untersuchungsdesign

Unterschiedsfragen: Es handelt sich um eine Querschnittstudie mit Ex-post-facto-Design. Das bedeutet, dass keine aktive Manipulation der unabhängigen Variable (hier: Geschlecht s. FS 3) erfolgte. Entsprechend der ethischen Vertretbarkeit und inhaltlichen Plausibilität wurde keine zufällige Zuordnung von Männern und Frauen vorgenommen, sondern es wurden die beiden Geschlechtergruppen hinsichtlich der Unterschiede und Gemeinsamkeiten in ihrer kardiovaskulären Belastbarkeit sowie ihrem Erholungsverhalten untersucht.

Tabelle 5 illustriert das Untersuchungsdesign zur Beantwortung der Unterschiedsfragen - sowohl für die Gesamtstichprobe als auch für Männer und Frauen getrennt.

Tab. 5 Ex-post-facto-Design zur Prüfung der Unterschiedsfragestellungen

		Treatment	Ruhe, Belastung, Erholung		
			Kurzergometrie Y_{A1}	Stepp-Test Y_{A2}	Belastungs-EKG Y_B
KV	E	Gesamtstichprobe	$\bar{Y}_{A1.1.1}$ Herzfrequenz $\bar{Y}_{A1.1.2}$ Blutdruck	$\bar{Y}_{A2.1.1}$ Herzfrequenz $\bar{Y}_{A2.1.2}$ Blutdruck	$\bar{Y}_{B1.1}$ Herzfrequenz $\bar{Y}_{B1.2}$ Blutdruck
		G_1 Männer ($?X_1$) G_2 Frauen ($?X_2$)			

Anmerkung: E: Ex-post-facto-Design; $\bar{Y}$: Gruppenmittelwert; G_1: Männer, G_2: Frauen ($?X_1$), ($?X_2$): Treatment entsprechend der Selbstselektion durch Geschlecht (unabhängige Bedingung); KV: Kontrollvariablen (Alter, BMI, Sportstunden/Woche)

Zusammenhangsfragen: Mittels Korrelationsanalyse wird versucht, Zusammenhänge zwischen den Kurztests (1) sowie diesen und der Fahrradergometrie (2) aufzuzeigen.

Tab. 6 Korrelatives Design zur Prüfung der Zusammenhangsfragestellungen

		Ruhe, Belastung, Erholung		
		Kurzergometrie r_{A1}	Stepp-Test r_{A2}	Belastungs-EKG r_B
K	Gesamtstichprobe	$r_{A1.1}$ Herzfrequenz $r_{A1.2}$ Blutdruck	$r_{A2.1}$ Herzfrequenz $r_{A2.2}$ Blutdruck	$r_{B1.1}$ Herzfrequenz $r_{B1.2}$ Blutdruck
			$r_{A1.1;\ A2.1}$ $r_{A1.2;\ A2.2}$	$r_{A1.1;\ B1.1}$ $r_{A1.2;\ B1.2}$ $r_{A2.1;\ B1.1}$ $r_{A2.2;\ B1.2}$

Anmerkung: K: korrelatives Design; r: Korrelationskoeffizient. Korrelationskoeffizienten ($r_{A,\ B}$) können Werte zwischen -1 (perfekt negativer Zusammenhang) und +1 (perfekt positiver Zusammenhang) annehmen.

3.2.5 Datenauswertung und Statistik

Alle statistischen Berechnungen erfolgten mit dem Statistikprogrammpaket SPSS 25 der Firma IBM. Ziel war der Vergleich von Herzfrequenz und Blutdruck jeweils vor, während und drei Minuten nach Belastung sowohl für die Gesamtstichprobe als auch für Männer und Frauen getrennt und unter Berücksichtigung von Kontroll- bzw. Kovariablen.

Bei den zu untersuchenden Variablen handelt es sich überwiegend um normalverteilte sowie intervallskalierte Daten. Somit erfolgten zur Auswertung Varianzanalysen im Sinne des Allgemeinen Linearen Modells mit Messwiederholung (ALM). Das ALM ermöglicht es, durch die Kombination von varianz- und regressionsanalytischen Verfahren mehrere Kovariablen (hier: *Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche*) in die Analyse einzubeziehen, um dadurch die Varianz der Variablen weiter aufzuklären.

Mit dem Messwiederholungsmodell sollen nicht nur die Haupteffekte der Faktoren, sondern auch die Wechselwirkungseffekte der Faktoren mit den festgelegten Kovariablen getestet und ihre Effektstärke (ES) mittels partiellem Eta² (η^2) beurteilt werden (Tab. 7).

Da die kardiovaskulären Indikatoren Herzfrequenz und systolischer Blutdruck zwar eine ähnliche Kinetik unter Belastung aufweisen, aber die individuellen Ruhewerte jeder Test-

person bei den verschiedenen Kurztests stark variieren, wurde zusätzlich der Anstieg von der *Ruhe* zur *Belastung* (Reaktivität) bzw. das Zurückstellen der Indikatoren von der *Belastung* zur *Nachruhe* (Erholung) bzw. der *Erholung* zur *Ruhe* (Erholung, Rückkehr auf den Ausgangswert) berechnet und analysiert (nachfolgend Differenzwerte).

Diese Reaktivitäts- und Erholungswerte wurden für die kardiovaskulären Indikatoren wiederum mittels multivariater Varianzanalyse mit Messwiederholung untersucht, wobei zu prüfen war, unter welchem Belastungstest die deutlichsten Reaktivitäts- und Erholungseffekte auftraten. Ergänzend wurden die Mittelwerte der Differenzen (*Ruhe-Belastungs-Differenz*) anhand eines t-Testes für verbundene Stichproben auf Unterschiede untersucht.

Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha < .05$ festgelegt. Da bei großen Stichproben auch kleine Effekte statistisch signifikant ($p < .05$) werden, wurde für signifikante Ergebnisse die praktische Bedeutsamkeit über Effektgrößen bestimmt. Der Effektstärken-Interpretation liegen die Konventionen von Cohen (1988, zit. nach Bortz & Schuster 2010) zugrunde (Tab. 7).

Tab. 7 Interpretation der Effektstärken nach Cohen (1988, zit. nach Bortz & Schuster 2010)

Test	Effektgröße	Klassifikation		
		gering	mittel	groß
Varianzanalyse	partielles η^2	.01	.06	.14
χ^2-Test (Pearson), exakter F-Test nach Fisher	Cramers V	.10	.30	.50
t-Test für verbundene Stichproben	Cohen´s d	.20	.50	.80

Die Zusammenhangshypothesen wurden mit dem Maßkorrelationskoeffizienten (r) nach Pearson analysiert (Brückler 2017, S. 117). Vorher wurden die Anwendungsvoraussetzungen (Intervallskalierung der Merkmale, annähernde Normalverteilung, linearer Zusammenhang der Variablen) geprüft (Hartung 1999, S. 561 f.). Der Korrelationskoeffizient kann Werte von -1 bis +1 annehmen. Zur Interpretation des Korrelationskoeffizienten diente die Klassifikation nach Bühl (2016; Tab. 8). Prinzipiell wurden in dieser Arbeit Korrelationskoeffizienten $r < \pm .10$ als unabhängig voneinander (keine Korrelation) interpretiert.

Tab. 8 Klassifikation der Korrelationskoeffizienten nach Bühl (2016, S. 303)

Klassifikation	Werte des Korrelationskoeffizienten
sehr geringe Korrelation	$.00 < r \leq .20$
geringe Korrelation	$.20 < r \leq .50$
mittlere Korrelation	$.50 < r \leq .70$
hohe Korrelation	$.70 < r \leq .90$
sehr hohe Korrelation	$.90 < r \leq 1.00$

3.3 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse zu den Fragestellungen und Hypothesen (s. Kap. 3.1) dargestellt. Zunächst werden die Ergebnisse zur Ermittlung der Kovariaten beschrieben (s. Kap. 3.3.1). Zu klären ist, ob ein Kurztest ein traditionelles Belastungs-EKG ersetzen kann und gegebenenfalls, wie ein solcher Test aussehen könnte. Zu Beginn wird die Homogenität der Stichproben überprüft. Anschließend werden als erstes für die Kurztests (1) und später für das Belastungs-EKG im Vergleich zu den Kurztests (2) die Verläufe der Indikatoren Herzfrequenz und Blutdruck zu den drei unterschiedlichen Messzeitpunkten (*Ruhe – Belastung – Erholung*) betrachtet.

3.3.1 Festlegung der Kovariablen

Zu prüfen ist, inwieweit mögliche Einflussfaktoren (Kovariablen) die Korrelation zu Herzfrequenz und Blutdruck unter Belastung verstärken bzw. vermindern. Folgende Einflussfaktoren wurden für die **Absolutwerte** der Herzfrequenz (HF) und den systolischen Blutdruck (SBD) zum Messzeitpunkt *Belastung* für die Kurztests (Kurzergometrie - ERGO, Stepp-Test mit 25 Stufen (Stepp-Test - ST25) analysiert (Tab. 9)[4]:

- *Geschlecht*
- *Alter*
- Anzahl der *Sportstunden/Woche*
- Körpermaße: Body-Mass-Index, Taille, Waist-Hip-Ratio, Waist-Height-Ratio

Im Trend zeigten sich unter Belastung zwischen Kovariablen und systolischem Blutdruck geringfügig stärkere Zusammenhänge als zur Herzfrequenz.

Zwischen der **Belastungsherzfrequenz** und den Kovariablen ergaben sich negative, überwiegend geringe bzw. sehr geringe Korrelationen. Mit Ausnahme der *Sportstunden/Woche* waren für die Belastungsherzfrequenz zwischen **Körpermaßen** und Kurzergometrie (r = -.29 - .40) bzw. Stepp-Test (r = -.17 - .43) etwas höhere Korrelationskoeffizienten zu verzeichnen als zwischen Körpermaßen und Belastungs-EKG (r = .08 - .19) (Tab. 9).

Geschlecht und *Alter* korrelierten sowohl bei den Kurztests als auch im Belastungs-EKG ebenfalls vor allem gering mit der Belastungsherzfrequenz und dem systolischen Blutdruck,

[4] Aufgrund des Screeningcharakters der Belastungstests und deren Einfachheit wurde die Aktiv- und Fettzellmasse als Analyseparameter wegen der aufwendigen Ermittlung der Werte durch eine Impedanzmessung ausgeschlossen.

wobei diese Korrelationen für Alter und Herzfrequenz negativ waren (Tab. 9). *Sportliche Aktivität* stand am ehesten mit der Belastungsherzfrequenz des Stepp-Tests im Zusammenhang (r = -.31), während für den systolischen Belastungsblutdruck generell kein Zusammenhang zu den *Sportstunden/Woche* ermittelt wurde (r = -.03 - .16).

Tab. 9 Korrelationen zwischen den Kovariablen und Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) bzw. dem Belastungs-EKG (BEKG) für kardiovaskuläre Indikatoren (Absolutwerte) - Gesamtstichprobe (n = 66)

Kovariable		HF – Belastung			SBD - Belastung		
		ERGO	ST25	BEKG	ERGO	ST25	BEKG
Geschlecht	r-Wert	.17	**.30***	**-.28***	.22	**.29***	**-.41****
	p-Wert	.173	.016	.024	.076	.018	.001
Alter	r-Wert	**-.39****	-.21	**-.32****	.22	.23	**.35****
	p-Wert	.001	.086	.009	.071	.066	.004
BMI	r-Wert	**-.29***	-.17	.15	.22	**.29***	**.48*****
	p-Wert	.017	.172	.214	.073	.018	<.001
Taille	r-Wert	**-.34****	**-.30***	.19	**.33****	**.41****	**.56*****
	p-Wert	.005	.013	.134	.007	.001	<.001
WHR	r-Wert	**-.33****	**-.43*****	.12	**.25***	**.33****	**.43*****
	p-Wert	.007	<.001	.333	.043	.007	<.001
WHtR	r-Wert	**-.40****	**-.28***	.08	**.28***	**.33****	**.48*****
	p-Wert	.001	.023	.540	.023	.007	<.001
Sportstunden/Woche	r-Wert	-.16	**-.31***	-.22	.16	.04	-.03
	p-Wert	.192	.011	.072	.196	.750	.815

Anmerkungen: ERGO: Kurzergometrie (Fahrradergometer); ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen; BEKG: Belastungs-Elektrokardiografie / Belastungs-EKG; BMI: Body-Mass-Index, WHR: Waist-to-Hip-Ratio, WHtR: Waist-to-Height-Ratio; Korrelationskoeffizient (r): Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

Für den **systolischen Belastungsblutdruck** waren die deutlichsten (geringe bis mittlere) Korrelationen zu den Körpermaßen zu verzeichnen (r = .22 - .56), wobei diesbezüglich die stärksten Korrelationen zum Belastungs-EKG auftraten (r = .43 - .56), während zur Kurzergometrie und zum Stepp-Test nur geringe Korrelationen (r = .22 - .41) ermittelt wurden.

Zusätzlich zu den Absolutwerten der kardiovaskulären Indikatoren wurden auch die **Differenzwerte** für Reaktivität (*Ruhe - Belastung*) und Erholung (*Belastung - Erholung*) und ihr Zusammenhang zu möglichen Kovariablen analysiert (Anh. B3.1$_{1,2}$): Auch hier fielen in den **Kurztests** (ERGO, ST25) - mit Ausnahme von Sportstunden/Woche - die Korrelationen für die Reaktivitäts- und Erholungswerte der Herzfrequenz allgemein höher aus als für den systolischen Blutdruck. Für die **Herzfrequenz** ergaben sich zwischen *Körpermaßen* und *Reaktivität* bzw. *Erholung* überwiegend geringe Korrelationen (HF-Diff: r_{ERGO} = -.34 bis -.50; r_{ST25} = -.13 bis -.47). Die einzige mittelstarke Korrelation wurde für Kurzergometrie zwischen Herzfrequenz-Reaktivität und WHtR ermittelt (r_{ERGO} = .50).

Geschlecht und *Alter* korrelierten in den Kurztests ebenfalls nur sehr gering und gering zur *Herzfrequenz-Reaktivität* bzw. *-Erholung* (HF-Diff: $r_{ERGO,\ ST25}$ = -.37 - .37).

Für den systolischen Blutdruck zeigten sich in den Kurztests zwischen *Körpermaßen* und *Reaktivität* bzw. *Erholung* mehrheitlich keine, vereinzelt sehr geringe Zusammenhänge (SBD-Diff: r_{ERGO} = -.17 - .02; r_{ST25}= -.13 - .06). Das traf auch auf die entsprechenden Korrelationen mit *Geschlecht* und *Alter* zu (SBD-Diff: $r_{ERGO,\ ST25}$ = -.06 - .11).

Im **Belastungs-EKG** zeigten sich sowohl für die Herzfrequenz als auch für die Blutdruckreaktivität geringe Korrelationen (HF-Diff: r_{BEKG} = .23 - .37; SBD-Diff: r_{BEKG} = .35 - .48). Die PWC_{130} (normiert auf das Körpergewicht) ergab mit der Waist-to-Hip-Ratio die stärkste Korrelation (r = .43). Dies entspricht trotzdem nur einer schwachen Beziehung zwischen Fitnesszustand und Waist-to-Hip-Ratio (Anh. $B3.1_{1,2}$).

Für *Geschlecht* und *Alter* ließen sich ebenfalls nur sehr geringe und geringe Zusammenhänge zur Reaktivität und dem Erholungsverhalten des systolischen Blutdrucks ermitteln (Anh. $B3.1_{1,2}$; SBD-Diff: r_{BEKG} = -22 - .45). Einzig trat eine mittlere Korrelation zwischen *Geschlecht* und der PWC_{130} auf (SBD-Diff: r_{BEKG} = .58).

Zusammenfassend ließ sich in der BAuA-Studie keine Kovariable mit starkem Zusammenhang zu Herzfrequenz und systolischem Blutdruck identifizieren, weder bei den Absolut- noch den Differenzwerten. Die explorative Analyse auf Ausreißer ergab für die Kovariablen ebenfalls keinen Aufschluss (Anh. $B3.1_3$). So erfolgte in Anlehnung an die Literatur (Abbasi, Blasey & Reaven 2013; Finger et al. 2013; Jackson et al. 2009; Lakoski et al. 2011; Rauner, Mess & Woll 2013) die Festlegung der Kovariablen auf *Geschlecht, Alter, BMI* und *Sportstunden/Woche*; denn für diese Kovariablen wurde in der Literaturrecherche ein deutlicher Effekt auf die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit herausgearbeitet (s. Kap. 2.4).

Der sehr geringe bis geringe Zusammenhang der *Sportstunden/Woche* mit den Belastungsindikatoren hätte zu einer Streichung dieser Kovariable führen können, jedoch wird sportliche Betätigung allseits mit der körperlichen Fitness in Verbindung gebracht und darf somit nicht in der Analyse fehlen. Die Sinnhaftigkeit wird im Anschluss diskutiert.

Beim *BMI* wurde davon ausgegangen, dass zwischen *BMI* und *Taille* bzw. *WHR*, aber auch zwischen *Taille* und *WHR* hohe Zusammenhänge ($r \geq .70$) bestehen (Abbasi et al. 2013). So wiesen in der Studie (n = 492) von Abbasi et al. (2013) die meisten Teilnehmer neben einem erhöhten BMI erwartungsgemäß auch einen erhöhten Taillenumfang auf. Zusätzlich wurde ein positiver Zusammenhang der mit Übergewicht assoziierten Indikatoren (systolischer Blutdruck, HDL-Cholesterin [high-density-lipoprotein], Triglyceride) aufgezeigt.

3.3.2 STICHPROBENBESCHREIBUNG

In die Teilstudie zur Untersuchung der Belastbarkeit, Leistungs- und Erholungsfähigkeit mittels Kurztests (Kurzergometrie, Stepp-Test) und dem klassischen Belastungs-EKG konnten nur 66 Personen eingeschlossen werden. Um die Motivation der Teilnehmer zu erhöhen, wurde ihnen ein individuelles gesundheitsbezogenes Beratungsgespräch angeboten. Grundlage dafür bildeten die Ergebnisse der umfangreichen arbeitsmedizinischen Zusatzuntersuchung, aus der mögliche Maßnahmen zur Prävention, zum Erhalt und zur Förderung von Vitalität und Leistungsfähigkeit abgeleitet wurden.

Eine beschreibende Statistik informiert zuerst über die Verteilung der Testpersonen in der Stichprobe und die Ausprägung der festgelegten Kovariablen (s. Kap. 3.3.1). Neben dem Geschlecht wurden Alter, BMI und Sportstunden/Woche analysiert (Tab. 10). Folgend wurden alle Indikatoren mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung getestet. Hierbei zeigte sich für die Kovariablen Alter und Sportstunden/Woche keine Normalverteilung. Da die Stichprobe aber ausreichend groß ist, wurde darauf nicht reagiert (Kähler 2008, S. 85).

Die Stichprobe teilte sich in 37 männliche und 29 weibliche Teilnehmer bei einem Altersdurchschnitt von 48 ± 8 Jahren (Männer: 48 ± 8 Jahre; Frauen: 49 ± 9 Jahre). Der BMI-Durchschnitt lag knapp im Normalbereich, wobei die Frauen im Vergleich zu den Männern einen signifikant niedrigeren BMI aufwiesen (p = .031). 60 % der Männer und 40 % der Frauen hatten Übergewicht. Für die sportlichen Aktivitäten pro Wochen ergaben sich zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern im Durchschnitt keine signifikanten Effekte (p = .530). Die meisten Untersuchungsteilnehmer waren gut trainiert; sie absolvierten durchschnittlich 2,2 Stunden Sport pro Woche. Anhand der Standardabweichung ist erkenntlich, dass sich einige Personen selten bis gar nicht sportlich bewegten.

Tab. 10 Deskriptive Analyse der Kovariaten – Gesamtstichprobe (n = 66)

Variable		GSP (n = 66)	Männer (n = 37)	Frauen (n = 29)	Signifikanzprüfung Prüfwert	p-Wert
Geschlecht	%	100.0	**56.1**	**43.9**		
Alter [Jahre]	MW ± SD	**47.6** ± 8.1	**47.6** ± 7.8	**47.6** ± 8.6	t = 0.13	.990
Körpergröße [cm]	MW ± SD	**173.2** ± 9.7	**179.6** ± 6.6	**165.0** ± 6.3	t = 9.16	**< .001**
Körpergewicht [kg]	MW ± SD	**74.8** ± 15.1	**82.8** ± 13.3	**64.7** ± 10.5	t = 6.00	**< .001**
Body-Mass-Index [kg/m²]	MW ± SD	**24.8** ± 3.4	**25.6** ± 3.1	**23.7** ± 3.6	t = 2.20	**.031***
- Untergewicht	%, (Anzahl)	**3.0** (2)	-	**6.9** (2)		
- Normalgewicht	%, (Anzahl)	**45.5** (30)	**40.5** (15)	**51.7** (15)	χ^2 = 4.03	.133
- Übergewicht/Adipositas	%, (Anzahl)	**51.5** (34)	**59.5** (22)	**41.4** (12)		
Sportstunden/Woche [h]	MW ± SD	**2.2** ± 2.1	**2.4** ± 2.4	**2.0** ± 1.7	t =.631	.530

Anmerkung: GSP: Gesamtstichprobe; MW ± SD: Mittelwert ± Standardabweichung; Einteilung des BMI in Unter-, Normal- und Übergewicht (s. Kap. 2.4); t-Test für unabhängige Stichproben; χ^2-Test nach Pearson; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

3.3.3 Kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung der Belastungstests

Nachfolgend werden die Analyseergebnisse der drei kardiovaskulären Indikatoren (Herzfrequenz [HF], systolischer [SBD], diastolischer [DBD] Blutdruck) für die Kurztests (ERGO, ST25) sowie das Belastungs-EKG (BEKG) untersucht. Es gilt die Frage zu klären, ob sich - unter Kontrolle von *Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche* - Herzfrequenz und Blutdruck unter Ruhe, Belastung und Erholung zwischen den Tests unterscheiden (a) und ob es diesbezüglich Zusammenhänge gibt (b). Dazu wurden zunächst die Mittelwerte und Standardabweichungen der Absolutwerte der drei kardiovaskulären Indikatoren für die Messzeitpunkte *Ruhe, Belastung* und *Erholung* betrachtet und varianzanalytisch überprüft. Im Anhang sind zusätzlich Varianzanalysen ohne den diastolischen Blutdruck sowie Analysen und Korrelationen zu Reaktivitäts- und Erholungswerten (Differenzwerte) zu finden (Anh. B3.3 - B3.5). Aufgrund der individuellen Ausprägung der kardiovaskulären Indikatoren wurde bei den Allgemeinen Linearen Modellen (ALM) mit Messwiederholung und den t-Tests für paarige Stichproben nicht auf die Absolut-, sondern auf die Differenzwerte von Herzfrequenz und Blutdruck zurückgegriffen. Als Belastungsindikator wurden beim Belastungs-EKG Herzfrequenz und Blutdruck zum Zeitpunkt des Untersuchungsabbruchs, also bei submaximaler Belastung, betrachtet. Die PWC_{130} konnte bei einigen Teilnehmern nicht berechnet werden und wurde somit als Vergleichsindikator ausgeschlossen.

3.3.3.1 Kurzergometrie versus Stepp-Test

Zuerst wurde versucht, Unterschiede und Zusammenhänge zwischen den Kurztests (ST25, ERGO) zu erkennen. Hierfür wurden die Herzfrequenz und der Blutdruck zu den drei Messzeitpunkten (Abb. 2 und 3) mittels eines ALMs untersucht (Tab. 11; Anh. $B3.3_{1,2}$).

Der direkte Vergleich der durchschnittlichen Absolutwerte von Kurzergometrie (ERGO) und Stepp-Test (ST25) zeigte auf, dass der Stepp-Test mit 25 Stufen unter Belastung zu einem geringeren Herzfrequenzanstieg führte (ST25: ∅ 95 bpm, ERGO: ∅ 109 bpm), während sich der systolische Blutdruckanstieg in den beiden Kurztests nicht unterschied (ST25: ∅ 149 mmHg, ERGO: ∅ 148 mmHg; Abb. 2; Anh. $B3.2_1$). Beide Tests wiesen annähernd gleiche Ausgangswerte (Ruhewerte) auf (HF: ST25: ∅ 73 bpm, ERGO: ∅ 73 bpm; SBD: ST25: ∅ 131 mmHg, ERGO: ∅ 134 mmHg).

Nach der Belastung fielen die Herzfrequenz- und Blutdruckwerte ähnlich stark ab (HF: ST25: ∅ 72 bpm, ERGO: ∅ 78 bpm; SBD: ST25: ∅ 134 mmHg, ERGO: ∅ 145 mmHg),

wobei die Ausgangsmittelwerte bei der Kurzergometrie nach dreiminütiger Pause nicht wieder erreicht wurden (Abb. 2 und 3). Dennoch bestanden für die Herzfrequenz und den systolischen Blutdruck nur geringe Unterschiede zwischen Ruhe- und Erholungswerten, während für den diastolischen Blutdruck kein Unterschied vorlag (Abb. 3; Anh. B3.3). Ungewöhnlich erschien der nicht abfallende systolische Blutdruck bei der Kurzergometrie.

Bei Betrachtung der durchschnittlichen Belastungszeit (Anh. B3.2$_3$) fiel ein großer Unterschied auf. Für die Kurzergometrie benötigten die Teilnehmer im Mittel 27 ± 7 s und für den Stepp-Test 39 ± 9 s (p = .058 - .104).

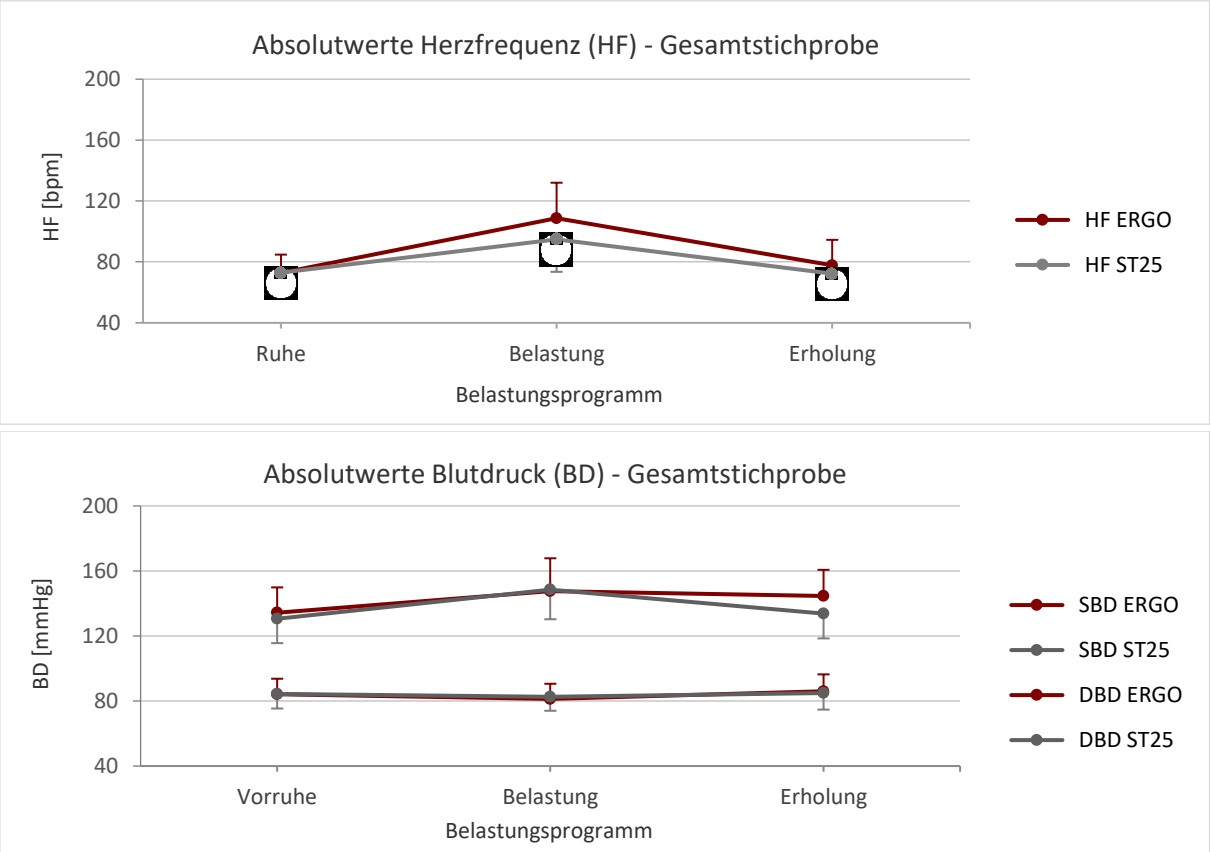
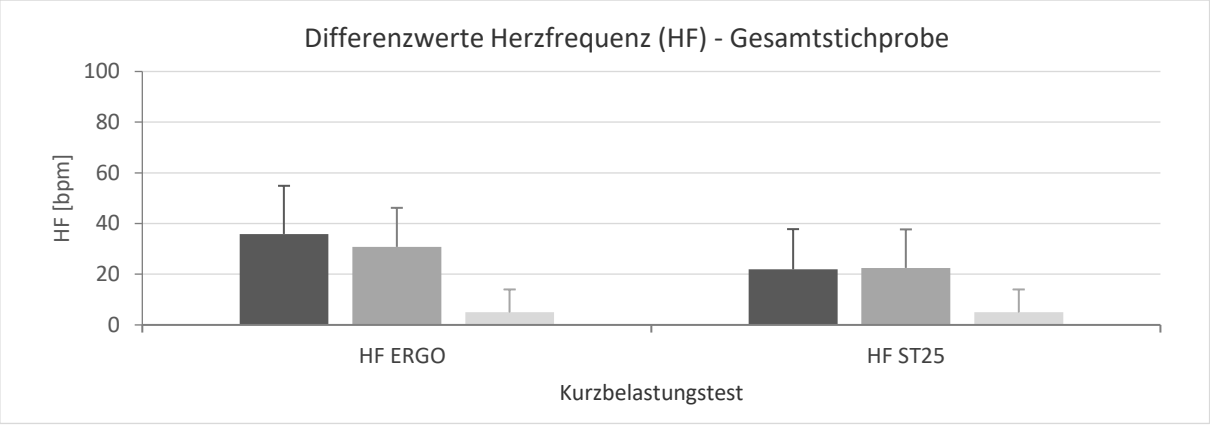
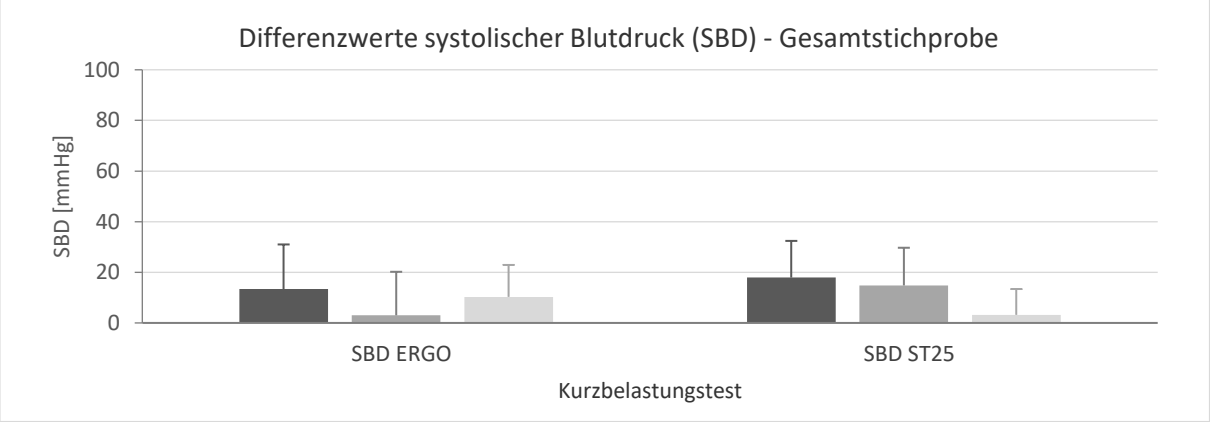


Abb. 2 Verlauf der kardiovaskulären Indikatoren (HF, SBD, DBD) während der Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) – Gesamtstichprobe (n = 66)

In das ALM gingen die Faktoren *Test* (Kurzergometrie: ERGO, Stepp-Test: ST25), *DIFF (Differenzwerte*: *Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung*) und *KI (kardiovaskuläre Indikatoren*: Herzfrequenz, systolischer und diastolischer Blutdruck) sowie die *Kovariaten* (*Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche*) ein, für die jeweils Haupt- und Wechselwirkungseffekte der Gesamtstichprobe berechnet wurden. Im Anschluss wurden die ermittelten Haupteffekte mittels t-Testes für abhängige Stichproben erneut eingeordnet (Anh. B3.4$_3$).





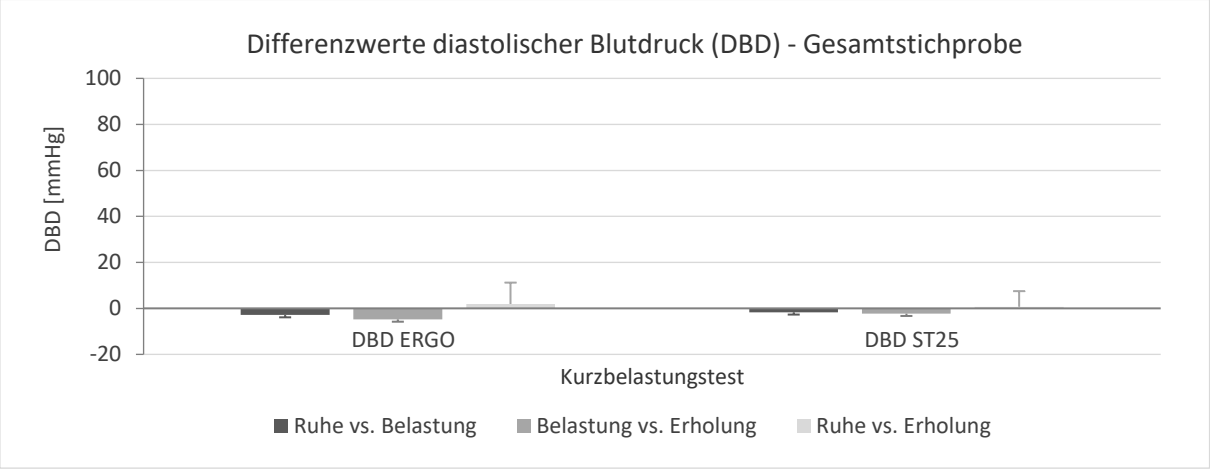


Abb. 3 Kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung (Differenzwerte für HF, SBD, DBD) bei Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) – Gesamtstichprobe (n = 66)

Im **ALM** ergab sich für den Faktor *Test* kein Haupteffekt, noch zeigten sich Wechselwirkungseffekte mit Kovariablen (Tab. 11). Danach hatte das Erholungsverhalten des systolischen Blutdrucks in der Kurzergometrie keinen signifikanten Effekt auf den Faktor *Test* (p = .206); die Kovariablen hatten keinen Einfluss auf das Testergebnis. Für den Faktor *DIFF* bestätigte sich jedoch ein Haupteffekt (p = .005, mittlerer Effekt), der in beiden Kurztests eine unterschiedliche Beanspruchung und Erholung (Nichterreichen der Ausgangswerte für den systolischen Blutdruck) belegt: Die Reaktivitätswerte (Differenzen *Ruhe - Belastung*) fielen für Herzfrequenz und Blutdruck im Vergleich zu den Erholungswerten (Differenzen

Belastung - Erholung) höher aus. Bei diesem Faktor ergab sich ein signifikanter Alterseffekt (p = .011, mittlerer Effekt), wonach die Reaktivität der Herzfrequenz mit zunehmendem Alter abnahm (Anh. B3.1$_1$). Insgesamt stieg die Herzfrequenz bei der Kurzergometrie von der *Ruhe* zur *Belastung* durchschnittlich um 36 bpm an, im Stepp-Test durchschnittlich nur um 22 bpm. Für den systolischen Blutdruck fiel der Unterschied im Mittel mit 13 mmHg (ERGO) bzw. 18 mmHg (ST25) nicht so stark aus (Abb. 3). Allerdings wurde in den Kurztests der submaximale Belastungsbereich nicht erreicht und die Belastung war als eher leicht einzustufen.

Für die *kardiovaskulären Indikatoren* (Faktor *KI*) bestätigten sich die signifikanten Haupteffekte (p < .001, großer Effekt). Auch hier hatten die Kovariablen keinen Einfluss auf das Analyseergebnis. Wurde der diastolische Blutdruck von der Analyse ausgeschlossen, zeigten sich signifikante Effekte für *Geschlecht* (F(1, -) = 4.67, p = .035, η^2 = .071, mittlerer Effekt) und *BMI* (F(1, -) = 4.88, p = .031, η^2 = .074, mittlerer Effekt; Anh. B3.3).

Tab. 11 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Faktoren Kurzbelastungs-Test (Test), Differenzwerte (Diff), kardiovaskuläre Indikatoren (KI – mit DBD) und Kovariaten – Gesamtstichprobe (n = 66)

Effekt	Wert	F-Wert	Hypothesen-df	Fehler df	p-Wert	η^2
Test	.027	1.63	1	61	.206	.026
Test * Geschlecht	.002	.11	1	61	.743	.002
Test * Alter	.023	1.41	1	61	.239	.023
Test * BMI	.008	.49	1	61	.486	.008
Test * Sportstunden/Woche	.039	2.38	1	61	.128	.038
DIFF	.139	8.48	1	61	**.005****	.122
DIFF * Geschlecht	.003	.21	1	61	.646	.003
DIFF * Alter	.112	6.82	1	61	**.011***	.101
DIFF * BMI	.005	.27	1	61	.602	.004
DIFF * Sportstunden/Woche	.006	.36	1	61	.549	.006
KI	.330	9.89	2	60	**<.001*****	.248
KI * Geschlecht	.047	1.40	2	60	.253	.045
KI * Alter	.024	.72	2	60	.493	.023
KI * BMI	.049	1.47	2	60	.238	.047
KI * Sportstunden/Woche	.054	1.62	2	60	.206	.051
Kovariate	**MW²**					
Konstanter Term	603.545	17.95	1	-	**<.001*****	.227
Geschlecht	126.912	3.78	1	-	.057	.058
Alter	39.149	1.16	1	-	.285	.019
BMI	127.827	3.80	1	-	.056	.059
Sportstunden/Woche	81.616	2.43	1	-	.124	.038
Fehler	33.615		61			

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m²]; Allgemeines Lineares Modell mit Messwiederholung (Design: Konstanter Term + Geschlecht + Alter + BMI + Sportstunden/Woche); Innersubjektdesign: Test (ERGO, ST25) + DIFF (Ruhe - Belastung, Belastung - Erholung) + KI (HF, SBD, DBD); Prüfgröße: F; MW²: quadratischer Mittelwert; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05; η^2: partielles Eta-Quadrat.

In der **Zusammenhangsanalyse** der **Absolutwerte** (Tab. 12) ließen sich erwartungsgemäß bei allen drei kardiovaskulären Indikatoren für Ruhe die stärksten Korrelationskoeffizienten zwischen Kurzergometrie (ERGO) und Stepptest (ST25) bestätigen (r = .91 - .62).

Insgesamt waren die stärksten Korrelationen für die Herzfrequenz (r = .91 - .66), die schwächsten für diastolischen Blutdruck (r = .62 - .41) zu verzeichnen. Bei Betrachtung jedes einzelnen kardiovaskulären Indikators fanden sich zwischen beiden Kurztests mittlere bis hohe Korrelationen für Belastung (r = .50 - .76) und Erholung (r = .67 - .90).

Betrachtet man die **Differenzwerte** für kardiovaskuläre Reaktivität und Erholung, fallen für diese Differenzwerte deutlich geringere Korrelationskoeffizienten auf (Anh. B3.3$_2$). So ergaben sich zwischen beiden Kurztests (ERGO, ST25) für die Reaktivität (*Ruhe - Belastung*) der Herzfrequenz eine mittlere (r = .58), des systolischen (r = .38) und des diastolischen Blutdrucks (r = .20) jeweils eine geringe Korrelation. Für Erholung (*Belastung - Erholung*) wurden vergleichbare Korrelationskoeffizienten ermittelt (HF: r = .48; SBD: r = .40; DBD: r = .24).

Tab. 12 Korrelationen zwischen den beiden Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) und den kardiovaskulären Indikatoren (Absolutwerte) – Gesamtstichprobe (n = 66)

ERGO	Belastungsprogramm		ST25 Ruhe	ST25 Belastung	ST25 Erholung
Herzfrequenz					
Herzfrequenz	Ruhe	r-Wert	.91***	.57***	.84***
		p-Wert	<.001	<.001	<.001
	Belastung	r-Wert	.66***	.76***	.71***
		p-Wert	<.001	<.001	<.001
	Erholung	r-Wert	.90***	.69***	.90***
		p-Wert	<.001	<.001	<.001
Systolischer Blutdruck					
Systolischer Blutdruck	Ruhe	r-Wert	.80***	.51***	.73***
		p-Wert	<.001	<.001	<.001
	Belastung	r-Wert	.55***	.60***	.48***
		p-Wert	<.001	<.001	<.001
	Erholung	r-Wert	.59***	.48***	.69***
		p-Wert	<.001	<.001	<.001
Diastolischer Blutdruck					
Diastolischer Blutdruck	Ruhe	r-Wert	.62***	.54***	.69***
		p-Wert	<.001	<.001	<.001
	Belastung	r-Wert	.41**	.50***	.45***
		p-Wert	.001	<.001	<.001
	Erholung	r-Wert	.51***	.55***	.67***
		p-Wert	<.001	<.001	<.001

Anmerkungen: ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen; Korrelationskoeffizient (r): Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

Zusammenfassung: Nach **Hypothese H 1a** wurde erwartet, dass sich die kardiovaskulären Indikatoren - unter Kontrolle der Kovariablen - zu den drei Messzeitpunkten zwischen den

beiden Kurztests (ERGO, ST25) nicht unterscheiden. Im ALM ließ sich für den Faktor *DIFF* – unter Kontrolle der Kovariablen – für beide Kurztests ein Unterschied objektivieren (p = .005, mittlerer Effekt): Das Verhalten der kardiovaskulären Indikatoren war zwar in den Kurztests im Verlauf *Ruhe - Belastung - Erholung* vergleichbar (Faktor *Test* p = .206), jedoch bestätigten sich für Herzfrequenz und systolischen Blutdruck signifikante Mittelwertunterschiede in der Reaktivität und im Erholungsverhalten (Faktor *DIFF*, t-Test). Als Kovariable hatte nur das *Alter* (p = .011) einen mittleren Effekt auf Reaktivität und Erholung der Herzfrequenz. Danach scheint die Herzfrequenz-Reaktivität mit zunehmendem Alter abzunehmen, während für die Blutdruck-Reaktivität kein Alterseffekt vorliegt.

Zusammenfassend weisen die vergleichenden Ergebnisse auf eine intraindividuell unterschiedliche kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung in beiden Kurztests hin. Trotz kürzerer Belastungsdauer scheint die Kurzergometrie zu einer höheren kardiovaskulären Beanspruchung zu führen, bei der drei Minuten Erholungsphase nicht ausreichen, um sich zu erholen. Die Beanspruchungs- und Erholungsunterschiede, die beide Kurztests kennzeichnen, sind aber als gering zu bewerten. Beide Kurztests entsprechen einer leichten Belastung (Pescatello, Arena, Riebe & Thompson 2014). Zu beachten ist, dass die unvollständige Erholung nach der Kurzergometrie methodisch bedingt sein kann. Dennoch wird **H 1a** abgelehnt.

In **Hypothese H 1b** wurde davon ausgegangen, dass für Herzfrequenz und Blutdruck unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* ein hoher Zusammenhang (r ≥ .70) zwischen beiden Kurztests besteht. Die **Absolutwerte** der Herzfrequenz korrelierten unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* zwischen Kurzergometrie und Stepp-Test hoch, für Blutdruck waren diesbezüglich überwiegend mittlere Korrelationen zu verzeichnen. Im Vergleich zu den Absolutwerten ergaben sich für die Reaktivität und Erholung der Herzfrequenz nur mittlere und den Blutdruck geringe Zusammenhänge. Das unterstützt das Argument, dass Kurzergometrie und Stepp-Test intraindividuell mit einer unterschiedlichen kardiovaskulären Beanspruchung und Erholung einhergehen. **H 1b** wird abgelehnt.

3.3.3.2 Kurzbelastungstests versus Belastungs-EKG

Nachfolgend werden die Analyseergebnisse der drei kardiovaskulären Indikatoren (HF, SBD, DBD) für die Kurztests (ERGO, ST25) im Vergleich zum Belastungs-EKG (BEKG) untersucht. Es gilt die Frage zu klären, wie stark sich – unter Kontrolle von *Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche* – kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung in den

Kurztests von der des Belastungs-EKGs unterscheiden (a), und welche Zusammenhänge diesbezüglich zwischen Kurztests und Belastungs-EKG bestehen (b). Dazu wurden wieder die Mittelwerte und Standardabweichungen der Absolutwerte der drei kardiovaskulären Indikatoren für die drei Messzeitpunkte (Abb. 4) bzw. die entsprechenden Reaktivitäts- und Erholungswerte (Differenzwerte) betrachtet (Abb. 5), mit ALMen (Tab. 13; Anh. B3.4$_1$) und ergänzendem t-Test (Anh. B3.4$_3$) analysiert sowie durch Zusammenhangsanalysen vervollständigt (Tab. 14). Im Anhang befinden sich weitere ALMe, in denen der diastolische Blutdruck nicht mit in die Modelle (ohne DBD) einging (Anh. B3.4$_1$) sowie Analysen und Korrelationen zu den Reaktivitäts- und Erholungswerten der Messzeitpunkte (Anh. B3.4$_2$).

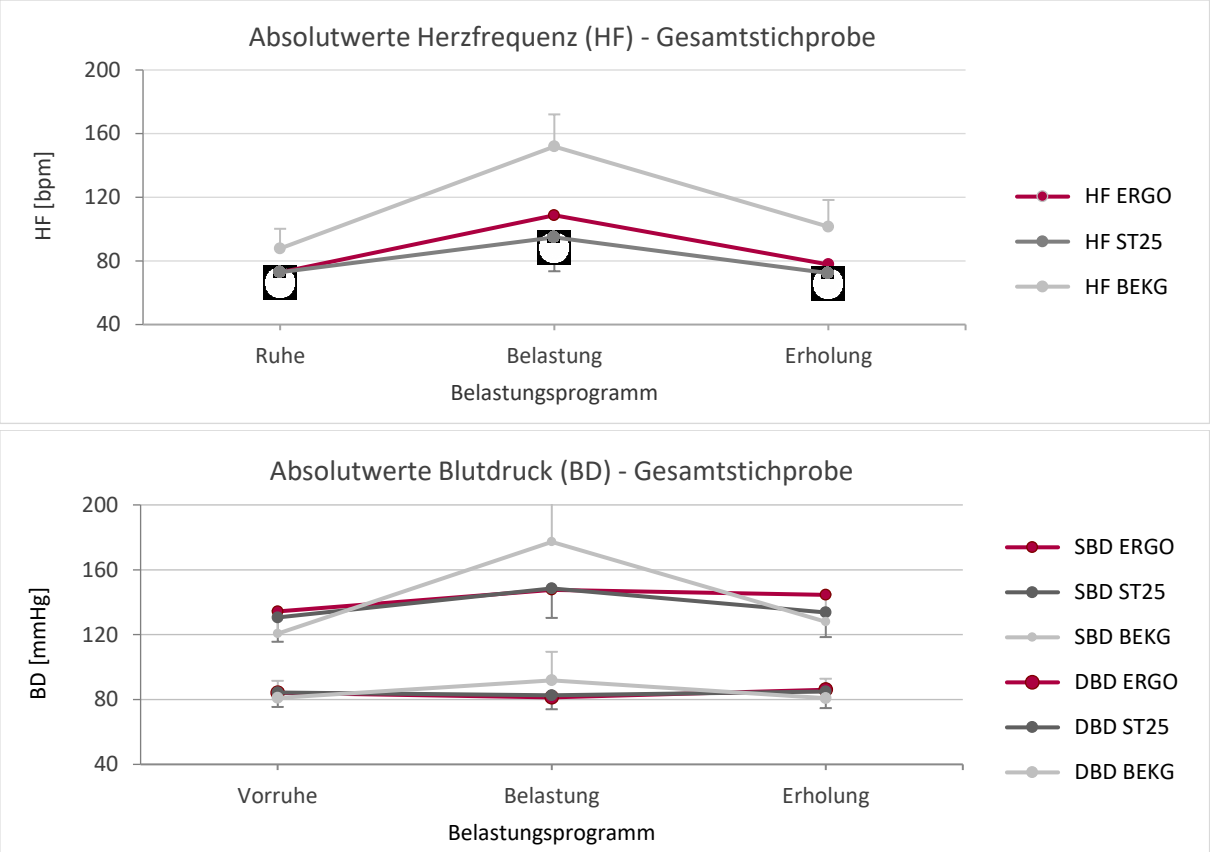


Abb. 4 Verlauf der kardiovaskulären Indikatoren (HF, SBD, DBD) während der Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) und dem Belastungs-EKG (BEKG) – Gesamtstichprobe (n = 66)

Aus dem Verlauf der kardiovaskulären Indikatoren (HF, SBD, DBD) war ersichtlich, dass die Mittelwerte von Herzfrequenz und systolischem Blutdruck in den zwei Kurztests (ERGO, ST25) und dem Belastungs-EKG (BEKG) zwar tendenziell ein ähnliches Verhalten zeigten, aber erwartungsgemäß gegenüber den Kurztests alle kardiovaskulären Indikatoren im Belastungs-EKG in der Endbelastungsstufe signifikant höhere Niveauwerte ($p < .001$) erreichten (Abb. 4). So kam es unter Belastung zu den erwarteten Anstiegen von Herzfrequenz und systolischem Blutdruck, die sich nach der Beendigung der Tests zwar wieder

zurückbildeten, aber nur im Stepp-Test wieder auf das Ausgangsniveau abfielen (Abb. 4). Die Untersuchungen dauerten unterschiedlich lange, wobei ein Belastungs-EKG mit 735 s ungefähr die 20-fache Zeit der Kurztests in Anspruch nahm (Anh. $B3.2_3$).

Beim Belastungs-EKG wurde während der zwölfeinhalb Minuten Belastungszeit im Durchschnitt eine Leistung von 152 Watt erreicht (Männer: Ø 184 W; Frauen: Ø 111 W). Als Leistungsstufe, die alle Teilnehmer absolvierten, ergab sich die Stufe mit 75 Watt. Hier zeigten sich eine mittlere Herzfrequenz von 113 bpm und ein mittlerer Blutdruck von 147/83 mmHg. Diese Werte entsprachen annähernd der Beanspruchung bei den Kurztests (ERGO: ∅ 109 bpm, ∅ 148/81 mmHg; ST25: ∅ 95 bpm, ∅ 149/83 mmHg).

Der PWC_{130}-Wert konnte nur für 60 Teilnehmer errechnet werden (35 Männer und 25 Frauen). Die PWC_{130}-Werte der Männer (∅ 1,6 W/kg) und Frauen (∅ 1,3 W/kg) entsprachen einer durchschnittlichen Fitness (Eichers & Lutz 2009, S. 11).

Anhand der Mittelwerte und Standardabweichungen der Reaktivität und Erholung (Differenzwerte: *Ruhe - Belastung; Belastung - Erholung; Ruhe - Erholung*) der kardiovaskulären Indikatoren wurden die beschriebenen Effekte nochmals verdeutlicht (Abb. 5). Zu beachten ist, dass bereits in *Ruhe* die Mittelwerte der Herzfrequenz in den Kurztests und in dem Belastungs-EKG signifikant unterschiedlich waren (HF: $F(2, 60) = 4{,}08$, $p = .022$, $\eta^2 = .120$, mittlerer Effekt). So lag beim Belastungs-EKG (∅ 88 bpm) eine signifikant höhere Herzfrequenz vor als bei den Kurztests (ERGO: ∅ 73 bpm; ST25: ∅ 73 bpm). Für die Ruheherzfrequenz und die *Sportstunden/Woche* bestand ein Wechselwirkungseffekt ($p = .028$, mittlerer Effekt), d. h. die sportliche Fitness hat bereits Einfluss auf die Ruheherzfrequenz.

Der Blutdruckmittelwert unterschied sich zwar in *Ruhe* zwischen den drei Testsituationen nicht signifikant (SBD: $F(2, 60) = .302$, $p = .740$, $\eta^2 = .010$; DBD: $F(2, 60) = 1{,}52$, $p = .227$, $\eta^2 = .048$), jedoch war der systolische Ruheblutdruck beim Belastungs-EKG (∅ 121 mmHg) tendenziell niedriger als in den Kurztests (ERGO: ∅ 134 mmHg; ST25: ∅ 131 mmHg).

Erwartungsgemäß fiel der typische Anstieg unter *Belastung* für die Herzfrequenz bei den Kurztests (ERGO: ∅ 109 bpm; ST25: ∅ 95 bpm) signifikant geringer ($F(2, 60) = 9{,}18$, $p < .001$, $\eta^2 = .234$, großer Effekt) aus als im Belastungs-EKG (∅ 152 bpm). Der systolische Blutdruck stieg unter Belastung in den Kurztests (ERGO/ST25: ∅ 148 mmHg) im Vergleich zum Belastungs-EKG (∅ 177 mmHg) ebenfalls signifikant geringer an ($F(2, 60) = 5{,}43$, $p < .001$, $\eta^2 = .015$, mittlerer Effekt), sank aber in der *Erholung* nur im Stepp-Test auf das Ausgangsniveau ab. Der diastolische Blutdruck zeigte unter Belastung im Belastungs-EKG

einen leichten Anstieg, bei den Kurztests sogar einen leichten Abfall; dieser Effekt ist nicht signifikant zwischen den Belastungstests ($F(2, 60) = 4{,}71$, $p = .627$, $\eta^2 = .017$).

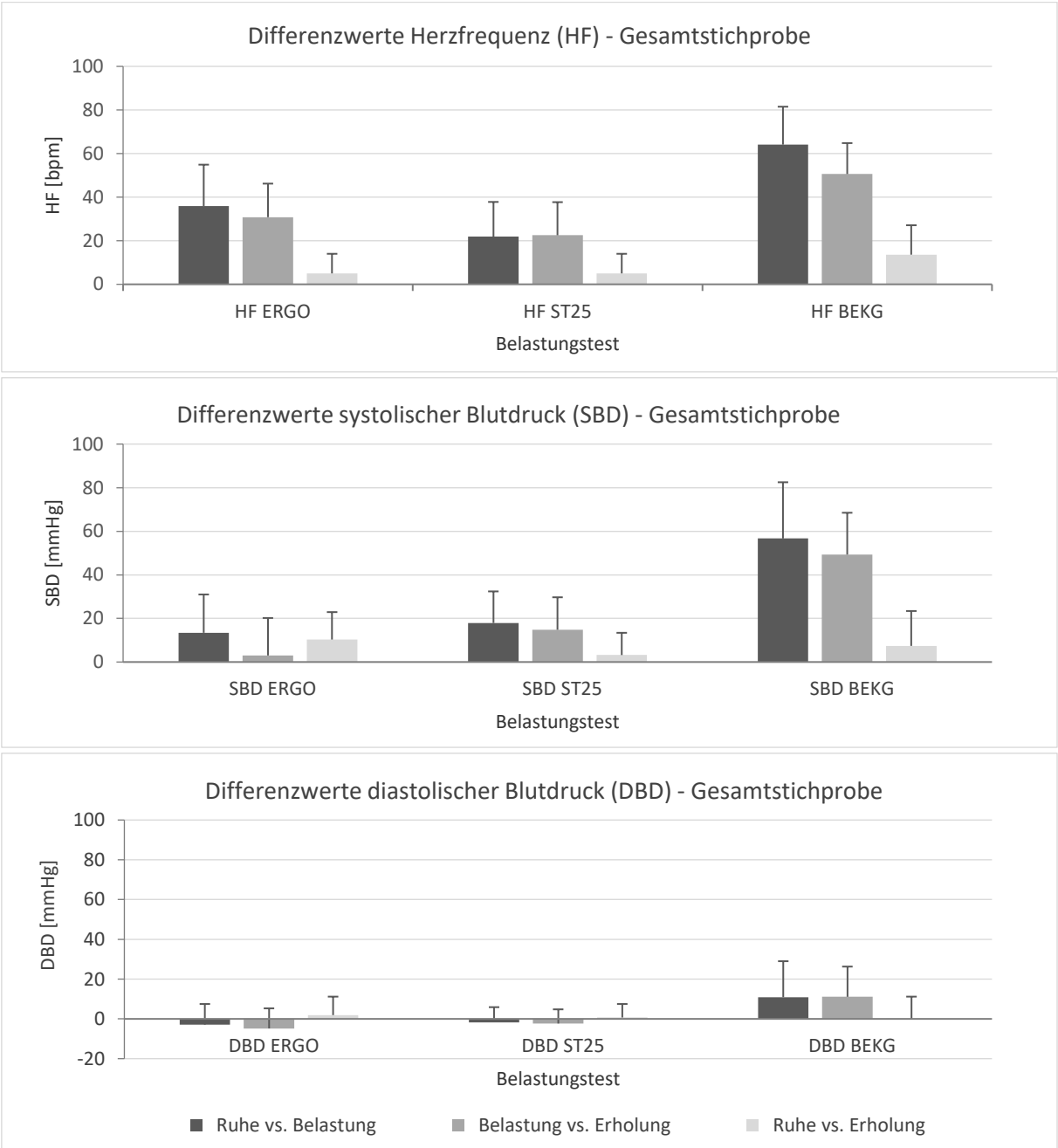


Abb. 5 Kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung (Differenzwerte für HF, SBD, DBD) bei Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) und dem Belastungs-EKG (BEKG) – Gesamtstichprobe (n = 66)

Insgesamt waren die Reaktivitätswerte (*Ruhe – Belastung*) von Herzfrequenz und systolischem Blutdruck geringfügig höher als ihre Erholungs-Differenzen. Für den diastolischen Blutdruck zeigten sich bei allen Belastungstests nur sehr geringe Reaktivitäts- und Erholungswerte, bei den beiden Kurztests sogar negative Ausprägungen.

In die **ALM**e gingen wiederum die Faktoren Test (ERGO, ST25, BEKG), Differenzwerte (DIFF: Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung), kardiovaskuläre Indikatoren (KI: HF, SBD, DBD) sowie die Kovariaten (Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche) ein, für die zunächst ebenfalls wieder Haupt- und Wechselwirkungseffekte unter Einbezug der Gesamtstichprobe berechnet wurden (Tab. 13; Anh. 3.4$_{1,2}$).

In den ALMen ergab sich für den Faktor *Test* kein Haupteffekt (p = .317; Tab. 13), d. h. die Kinetik unterschied sich in den beiden Kurztests (ERGO, ST25) und dem Belastungs-EKG nicht signifikant (p = .317). Jedoch erwiesen sich *Geschlecht* (p = .010, großer Effekt) und *BMI* (p = .024, mittlerer Effekt) als signifikante Einflussfaktoren der kardiovaskulären Beanspruchung und Erholung. Dieses Ergebnis wurde auch durch das ALM bestätigt, bei dem der diastolische Blutdruck im Modell ausgeschlossen wurde (Anh. 3.4$_{1,2}$).

Tab. 13 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Faktoren Belastungs-Test (Test), Differenzwerte (Diff), kardiovaskuläre Indikatoren (KI – mit DBD) und Kovariaten – Gesamtstichprobe (n = 66)

Effekt	Wert	F-Wert	Hypothesen-df	Fehler df	p-Wert	η^2
Test	.039	1.17	2	60	.317	.038
Test * Geschlecht	.167	5.02	2	60	**.010***	.143
Test * Alter	.033	.99	2	60	.376	.032
Test * BMI	.132	3.96	2	60	**.024***	.117
Test * Sportstunden/Woche	.040	1.21	2	60	.306	.039
DIFF	.050	3.06	1	61	.085	.048
DIFF * Geschlecht	.056	3.40	1	61	.070	.053
DIFF * Alter	.056	3.39	1	61	.071	.053
DIFF * BMI	.004	.26	1	61	.613	.004
DIFF * Sportstunden/Woche	.013	.80	1	61	.376	.013
KI	.475	14.25	2	60	<.001***	.322
KI * Geschlecht	.047	1.42	2	60	.251	.045
KI * Alter	.091	2.72	2	60	.074	.083
KI * BMI	.031	.94	2	60	.395	.030
KI * Sportstunden/Woche	.047	1.42	2	60	.250	.045
Kovariate	**MW²**					
Konstanter Term	415.246	13.26	1	-	.001**	.179
Geschlecht	1.406	.04	1	-	.833	.001
Alter	6.055	.19	1	-	.662	.003
BMI	.001	.00	1	-	.995	.000
Sportstunden/Woche	49.490	1.58	1	-	.213	.025
Fehler	31.310		61			

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m²]; Allgemeines Lineares Modell mit Messwiederholung (Design: Konstanter Term + Geschlecht + Alter + BMI + Sportstunden/Woche); Innersubjektdesign: Test (ERGO, ST25, BEKG) + DIFF (Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung) + KI (HF, SBD, DBD); Prüfgröße: F; MW²: quadratischer Mittelwert; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05; η^2: partielles Eta-Quadrat.

Beim Faktor *DIFF* zeigte sich zunächst ebenfalls kein Haupteffekt (p = .085; Tab. 13). Hier hatten die Kovariablen keinen Einfluss auf das Ergebnis. Der **t-Test** bestätigte aber für die Kurztests und das Belastungs-EKG und alle drei kardiovaskulären Indikatoren signifikante Mittelwertunterschiede der Reaktivität (p < .001, $|d|$ = 0.91 – 2.53, mittlere - große Effekte) und belegt statistisch den erwarteten Unterschied der Belastungstests (Anh. $B3.4_3$).

Für den Faktor *KI* (kardiovaskuläre Indikatoren) bestätigte sich ein Haupteffekt (p < .001, mittlerer Effekt), der ebenfalls nicht durch Kovariablen beeinflusst wurde. Wurde jedoch der diastolische Blutdruck im Faktor *KI* ausgeschlossen, war zusätzlich ein Einfluss des *Alters* zu konstatieren (p < .001, mittlerer Effekt; Anh. 3.4_1).

In der **Zusammenhangsanalyse** der **Absolutwerte** (Tab. 14) wurden zwischen Kurztests und Belastungs-EKG für die Herzfrequenz stärkere Korrelationskoeffizienten (r = .38 - .72) ermittelt als für den Blutdruck (SBD: r = .36 - .46; DBD: r = .06 - .48).

Tab. 14 Korrelationen zwischen den Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) und dem Belastungs-EKG (BEKG) sowie den kardiovaskulären Indikatoren (Absolutwerte) – Gesamtstichprobe (n = 66)

Test BEKG	Belastungs-programm		ERGO			ST25		
			Ruhe	Belastung	Erholung	Ruhe	Belastung	Erholung
Herzfrequenz								
Herzfrequenz	Ruhe	r-Wert	.71***	.52***	.68***	.69***	.51***	.66***
		p-Wert	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
	Belastung	r-Wert	.59***	.45***	.49***	.57***	.38**	.42***
		p-Wert	<.001	<.001	<.001	<.001	.002	<.001
	Erholung	r-Wert	.72***	.50***	.68***	.65***	.45***	.61***
		p-Wert	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
Systolischer Blutdruck								
Systolischer Blut-druck	Ruhe	r-Wert	.36**	.57***	.57***	.43***	.57***	.57***
		p-Wert	.003	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
	Belastung	r-Wert	.25*	.38**	.31*	.32**	.44***	.43***
		p-Wert	.042	.001	.010	.009	<.001	<.001
	Erholung	r-Wert	.23	.40**	.44***	.33**	.48***	.46***
		p-Wert	.058	.001	<.001	.006	<.001	<.001
Diastolischer Blutdruck								
Diastolischer Blut-druck	Ruhe	r-Wert	.27*	.38**	.43***	.48***	.29*	.46***
		p-Wert	.026	.002	<.001	<.001	.017	<.001
	Belastung	r-Wert	.23	.10	.28*	.22	.06	.24
		p-Wert	.063	.403	.023	.077	.627	.053
	Erholung	r-Wert	.10	.21	.28*	.36**	.18	.39**
		p-Wert	.421	.090	.025	.003	.144	.001

Anmerkungen: ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEKG: Belastungs-Elektrokardiographie; Korrelationskoeffizient (r): Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

Insgesamt lagen bei allen kardiovaskulären Indikatoren für *Ruhe* (r = .27 - .71) und *Erholung* (r = .28 - .69) höhere Korrelationen vor als für *Belastung* (r = .06 - .45). Jedoch werden der submaximale Belastungswert von Herzfrequenz und Blutdruck im Belastungs-EKG nur

unzureichend durch die entsprechenden Werte in den Kurztests erklärt (ca. 15 - 20%); der diastolische Blutdruck trug nicht zur Varianzaufklärung bei.

Während die Herzfrequenz zwischen Kurzergometrie und Belastungs-EKG etwas stärker (r = .45 - .71) als zwischen Stepp-Test und Belastungs-EKG (r = .38 - .69) korrelierte, verhielt sich der Blutdruck umgekehrt: Hier wurden zwischen Stepp-Test und Belastungs-EKG geringfügig höhere Korrelationen ermittelt (SBD: r = .43 - .46; DBD: r = .06 - .48) als zwischen Kurzergometrie und Belastungs-EKG (SBD: r = .36 - .44; DBD: r = .10 - .28).

Für die **Differenzwerte** der kardiovaskulären Reaktivität und Erholung bestanden keine bzw. nur sehr geringe Korrelationen zwischen Kurztests und Belastungs-EKG (Anh. B3.4$_2$), die für jeden Belastungstest eine individuell unterschiedliche Bewältigung signalisieren.

Zusammenfassung: Die **Hypothese H 2a** geht davon aus, dass sich kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung der zwei Kurztests (ERGO, ST25) vom Belastungs-EKG unterscheiden. Dabei wurde bezüglich der Belastungsstärke von einer Überlegenheit des klassischen Belastungs-EKGs ausgegangen. Diese Hypothese müsste zwar aufgrund der fehlenden Signifikanz für den Faktor *DIFF* im ALM abgelehnt werden, jedoch belegten die Ergebnisse der t-Tests für den Messzeitpunkt *Belastung* signifikante Unterschiede der Herzfrequenz- und Blutdruckmittelwerte zwischen den Kurztests und dem Belastungs-EKG ($p < .001$), die die deutlich höhere Beanspruchung des Belastungs-EKGs dokumentieren.

Beim Vergleich der drei Belastungstests fielen die Einflüsse von *Geschlecht* ($p < .010$) und *BMI* ($p < .050$) auf. *Alter* und *Sportstunden/Woche* hatten keinen Effekt auf die Ergebnisse. Damit bestehen Vermutungen, dass die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung in den drei Belastungstests für Männer und Frauen sowie für Normal- und Übergewichtige unterschiedlich sind. Gestützt wird die Argumentation durch die signifikant unterschiedlich langen Belastungszeiten in den Belastungstests ($p < .001$), wonach die Belastungsphase im Belastungs-EKG durchschnittlich 12 Minuten in Anspruch nahm (ERGO: ∅ 27 s; ST25: ∅ 38 s). Nach diesen Ergebnissen ist bei allen drei Belastungstests von einer unterschiedlichen kardiovaskulären Beanspruchung und Erholung auszugehen. **H 2a** wird bestätigt.

Der in **Hypothese H 2b** erwartete hohe Zusammenhang ($r \geq .70$) für Herzfrequenz und Blutdruck zwischen Kurztests und Belastungs-EKG ließ sich nur vereinzelt bestätigen (Tab. 14; Anh. B3.4$_2$). Überwiegend lagen Korrelationen mit geringer und mittlerer ($r > .20$ bis $< .70$) Stärke vor - unabhängig davon, dass alle submaximalen Tests zu einer klassischen Belastungsreaktion führten (s. Tab. 13, Abb. 4 und 5). Für die kardiovaskuläre Reaktivität und Erholung ergaben sich zwischen den Kurztests und dem Belastungs-EKG teilweise keine

oder nur sehr geringe Zusammenhänge (Anh. B3.4$_2$), die wiederholt ein unterschiedliches intraindividuelles Verhalten in den drei Belastungstests verdeutlichen. Das unterstreicht, dass die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung in den Kurztests nicht mit der im Belastungs-EKG vergleichbar sind. Somit konnte die **H 2b** nicht bestätigt werden.

3.3.3.3 Geschlechtervergleich der Kurzbelastungstests versus Belastungs-EKG

In diesem Kapitel ist die Frage zu untersuchen, ob sich die erwarteten Geschlechtseffekte bei der Bewältigung der Kurztests (ERGO, ST25) und des Belastungs-EKGs (BEKG) herausstellen lassen. Dazu wurden diesmal - unter Kontrolle der Kovariablen *Alter, BMI* und *Sportstunden/Woche* - die Niveauwerte (Absolutwerte) der drei kardiovaskulären Indikatoren (HF, SBD, DBD) für die drei Messzeitpunkte in den Kurztests und dem Belastungs-EKG im ALM als Geschlechtervergleich analysiert (Tab. 15). Entsprechend wurden auch die Reaktivitäts- und Erholungswerte (Differenzwerte) betrachtet. Der einfache Geschlechtervergleich erfolgte zusätzlich mit dem t-Test für unabhängige Stichproben; die Signifikanz zwischen den Belastungstests wurde - für Männer und Frauen getrennt - mit dem t-Test für paarige Stichproben überprüft. Abschließend war anhand der Zusammenhangsanalysen zu entscheiden, ob sich die Korrelationen zwischen Kurztests und Belastungs-EKG in der Gesamtstichprobe unter Kontrolle des *Geschlechts* verändern. Weiterführende Ergebnisse finden sich im Anhang: getrennte ALMe für Männer und Frauen: Anh. B3.5$_1$ (ohne Einbeziehung des DBD); Anh. B3.5$_2$ (mit Einbeziehung des DBD), t-Tests der Belastungsdifferenzwerte und Belastungszeiten: Anh. B3.4$_{3\text{-}5}$; deskriptive Analysen.

Im Geschlechtervergleich ergaben sich bei der **Herzfrequenz** als auch beim Blutdruck Abweichungen zur Gesamtstichprobe: In den Kurztests wiesen Männer sowie Frauen eine vergleichbare Ruheherzfrequenz auf (∅ 72 - 74 bpm, t(64) = 0,01 - 0,31, p = .996 - .757). Beim Belastungs-EKG lag diese Herzfrequenz allerdings bei beiden Geschlechtern signifikant höher (♂: ∅ 86 bpm; ♀: ∅ 90 bpm, t(64) = 10,50 – 16,70, p < .001; s. Anh. B3.2$_1$).

Unter *Belastung* kam es in den Kurztests bei Männern zu einem signifikant geringeren Herzfrequenzanstieg (ERGO: ♂: ∅ 32 bpm; ♀: ∅ 40 bpm, t(64) = 2,70, p = .049; ST25: ♂: ∅ 17 bpm, ♀: ∅ 28 bpm, t(64) = 3,15, p = .003). Erwartungsgemäß war aber im Belastungs-EKG die Herzfrequenz bei Männern höher als bei Frauen (♂: ∅ 71 bpm, ♀: ∅ 55 bpm, t(64) = 3,98, p < .001; Abb. 6). Männer erreichten eine durchschnittliche Leistung von 184

W, Frauen nur 111 W (t(64) = 13.04, p < .001, d = 3.23). Bis zur Endbelastungsstufe benötigten Männer durchschnittlich 864 s, Frauen 568 s (p < .001, d = 1.95; Anh. B3.5$_4$).

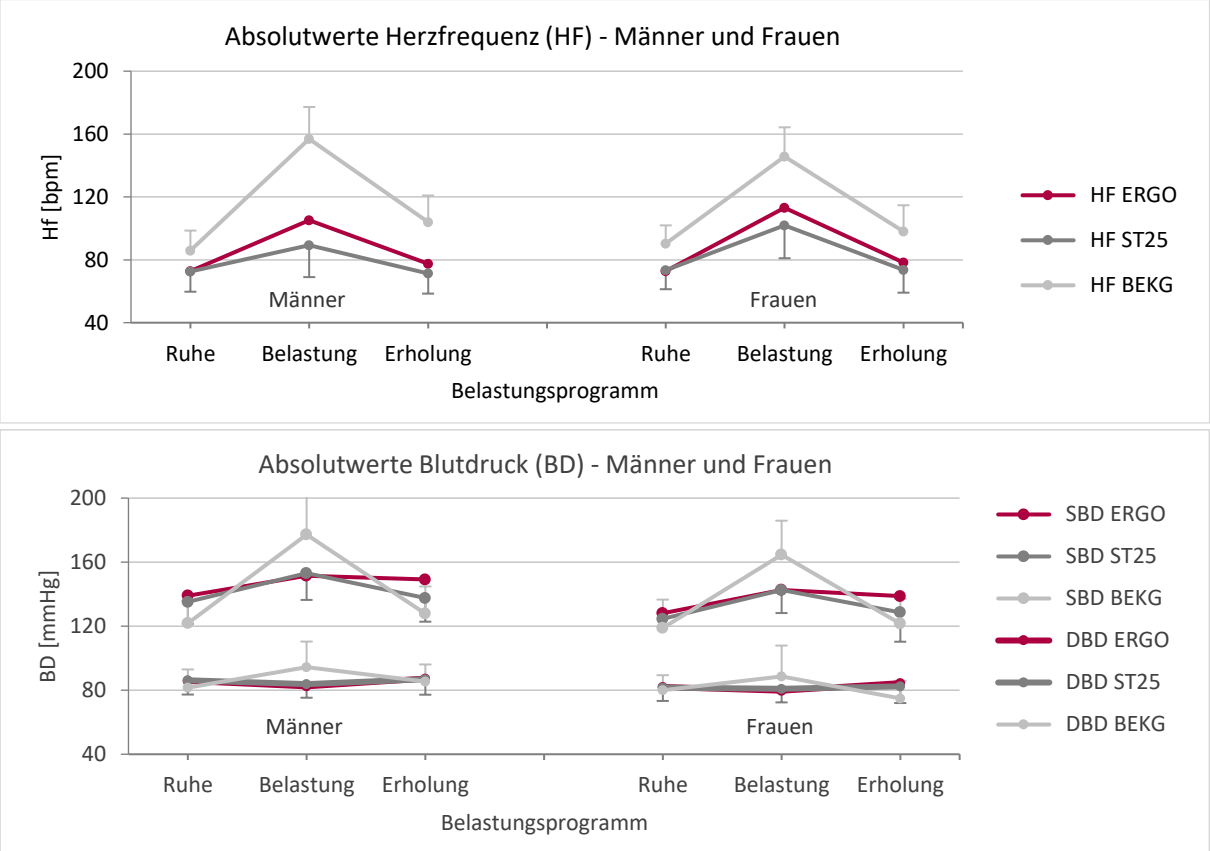


Abb. 6 Verlauf der kardiovaskulären Indikatoren (HF, SBD, DBD) während der Belastungstests (ERGO, ST25, BEKG) – Männer (n = 37) und Frauen (n = 29)

Frauen wiesen tendenziell beim Stepp-Test (♂: ∅ 39 s, ♀: ∅ 36 s, p = .104) eine kürzere **Belastungszeit** auf, wohingegen sie für die Kurzergometrie etwas mehr Zeit benötigten (♂: ∅ 25 s, ♀: ∅ 28 s, p = .058; Anh. B3.5$_4$). Der systolische Blutdruck verhielt sich ähnlich zur Herzfrequenz, wobei Männer unter allen Testbedingungen höhere Blutdruckmittelwerte aufwiesen als Frauen. Unter *Belastung* lagen in den Kurztests folgende Blutdruckwerte vor: ERGO: ♂: ∅ 152/83 mmHg, ♀: ∅ 143/80 mmHg, t(64) = 1.80, p = .076; ST25: ♂: ∅ 153/84 mmHg, ♀: ∅ 143/81 mmHg, t(64) = 2,44, p = .018. Damit stieg der systolische Blutdruck während der Kurztest-Belastungen durchschnittlich 13 - 18 mmHg an, wobei sich Männer und Frauen diesbezüglich nicht unterschieden (t(64) = 0,30 – 0,12, p = .769 - .901). Auch für die diastolische Blutdruckreaktivität zeigte sich in den Kurztests kein Geschlechtseffekt (t(64) = 0,38 - 0,79, p = .707 - .437; Anh. B3.2$_2$). Sie nahm bei Belastung eher ab (∅ ca. -3 mmHg). Die hohen Standardabweichungen verdeutlichen aber eine individuell unterschiedliche Reaktion auf die Belastung in den Kurztests.

Im Belastungs-EKG erreichten Männer in der Endbelastungsstufe Blutdruckmittelwerte von 177/94 mmHg, Frauen von 165/89 mmHg (t(64) = 3,64, p = .001). Die Reaktivität des systolischen Blutdrucks war bei Männern folglich signifikant stärker (♂: ∅ 65 mmHg, ♀: ∅ 46 mmHg, (t(64) = 3,27, p = .002). Im Vergleich dazu ergab sich für den diastolischen Blutdruck unter submaximaler Belastung bei Männern ein durchschnittlicher Anstieg von 13 mmHg, bei Frauen um 9 mmHg, p = .378; Anh. B3.2$_2$).

Im **Rückstellverhalten** war bei den Kurztests für Männer und Frauen kein unterschiedliches Verhalten der Herzfrequenz erkennbar (t(64) = 0,54, p = .589). Nach drei Minuten Erholung lag die durchschnittliche Herzfrequenz noch 6 bpm über dem Ausgangsniveau. Auch das Blutdruckverhalten unterschied sich diesbezüglich nicht geschlechtsspezifisch (t(64) = 0,29 – 0,74, p = .474 - .978) (Abb. 6; s. Kap. 3.3.3.2).

Beim Belastungs-EKG war im Erholungsverhalten für Herzfrequenz und Blutdruck ein Geschlechtseffekt zu konstatieren (HF: t(64) = 3,39, p = .001; SBD: t(64) = 2,22, p = .030; DBD: t(64) = 3,31, p = .002). So lag der Erholungswert der Herzfrequenz bei Männern durchschnittlich noch 18 bpm, bei Frauen 8 bpm über dem *Ruhewert* im Ausgangsniveau. Für den systolischen Blutdruck betraf dieser Effekt 12 mmHg bzw. 3 mmHg. Der diastolische Blutdruck verhielt sich bei Männern und Frauen invers; er sank bei Frauen sogar 5 mmHg unter den *Ruhewert* (Abb. 6).

In das **ALM** zur Analyse von Geschlechtseffekten wurden die Faktoren *Test* (ERGO, ST25, BEKG), *Absolutwerte* (*AW* der Messzeitpunkte: *Ruhe – Belastung – Erholung*) und *kardiovaskuläre Indikatoren* (*KI*: HF, SBD, DBD) sowie der Zwischensubjektfaktor *Geschlecht* und die Kovariaten (*Alter, BMI, Sportstunden/Woche*) aufgenommen, für die wieder die jeweiligen Haupt- und Wechselwirkungseffekte berechnet wurden (Tab. 15; Anh. B3.5$_{1,2}$).

Für den Zwischensubjektfaktor *Geschlecht* bestätigte sich ein Haupteffekt (p = .036, mittlerer Effekt), d. h. das *Geschlecht* hat deutlichen Einfluss auf die Ergebnisse in den drei Belastungstests. Der Haupteffekt des Faktors *Absolutwerte* (p < .001, großer Effekt) und der Wechselwirkungseffekt mit dem *Geschlecht* (p = .035, mittlerer Effekt) und *Alter* (p = .001, großer Effekt) belegten, dass bei Männern und Frauen in den Belastungstests unterschiedliche Niveauwerte der kardiovaskulären Indikatoren vorlagen und dass die Niveauwerte von Herzfrequenz und Blutdruck durch das *Alter* beeinflusst wurden.

Da sich für den Faktor *Test* (ERGO, ST25, BEKG) weder ein Haupteffekt (p = .342) noch Wechselwirkungen mit Kovariablen fanden (*Test*: p = .302 - .629), lag bei jedem der drei Belastungstests eine klassische Belastungsreaktion vor. Im Gegensatz dazu verdeutlichte

der Haupteffekt des Faktors *KI* (HF, SBD, DBD; p = .002, großer Effekt) lediglich das bekannte unterschiedliche Niveau von Herzfrequenz und Blutdruck.

Tab. 15 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Faktoren Belastungstest (Test), Absolutwerte der Messzeitpunkte (AW), kardiovaskuläre Indikatoren (KI – mit DBD) und Kovariaten – Männer (n = 37) und Frauen (n = 29)

Effekt	Wert	F-Wert	Hypothesen-df	Fehler df	p-Wert	η^2
Test	.036	1.09	2	60	.342	.035
Test * Geschlecht	.052	1.56	2	60	.219	.049
Test * Alter	.041	1.22	2	60	.302	.039
Test * BMI	.016	.47	2	60	.629	.015
Test * Sportstunden/Woche	.032	.96	2	60	.390	.031
AW	.375	11.25	2	60	<.001	.273
AW * Geschlecht	.118	3.55	2	60	**.035***	.106
AW * Alter	.254	7.62	2	60	**.001****	.203
AW * BMI	.111	3.33	2	60	.042	.100
AW * Sportstunden/Woche	.130	3.89	2	60	**.026***	.115
KI	.223	6.68	2	60	**.002****	.182
KI * Geschlecht	.059	1.77	2	60	.180	.056
KI * Alter	.056	1.68	2	60	.194	.053
KI * BMI	.005	.14	2	60	.868	.005
KI * Sportstunden/Woche	.058	1.73	2	60	.185	.055
Zwischensubjekteffekte						
Geschlecht	5956.31	4.59	1		**.036***	.070
Kovariate	**MW²**					
Konstanter Term	191902.04	147.83	1	-	**<.001*****	.708
Alter		.01	1	-	.921	.002
BMI		3.93	1	-	.052	.060
Sportstunden/Woche		3.35	1	-	.072	.052
Fehler	1298.12		61			

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m²]; Allgemeines Lineares Modell mit Messwiederholung (Design: Konstanter Term Alter + BMI + Sportstunden/Woche); Zwischensubjektfaktor: Geschlecht; Innersubjektdesign: Test (ERGO, ST25, BEKG) + DIFF (Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung) + KI (HF, SBD, DBD); Prüfgröße: F; MW²: quadratischer Mittelwert; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05; η^2: partielles Eta-Quadrat.

Ein diverses Bild ergab sich für die kardiovaskuläre **Reaktivität**: Die Reaktivität der Herzfrequenz (*Ruhe – Belastung*) wurde durch das *Geschlecht* beeinflusst (Wechselwirkungseffekt *Reaktivität * Geschlecht*: ($F(2, 60) = 11{,}60$, $p < .001$, $\eta^2 = .279$, großer Effekt); demgegenüber war für die Blutdruckreaktivität kein Geschlechtseffekt zu verzeichnen (SBD: $F(2, 60) = 2{,}01$, $p = .144$, $\eta^2 = .066$; DBD: $F(2, 60) = 0{,}228$, $p = .797$, $\eta^2 = .008$).

Auch bei getrennter Analyse der Geschlechter zeigte sich in den **ALM**en **-** weder für Männer noch für Frauen - ein signifikanter Effekt der Faktoren *Test* (♂: p = .668; ♀: p = .373) und *DIFF (Differenzwerte Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung, Ruhe – Erholung*; ♂: p = .444; ♀: p = .061, Anh. $B3.5_2$). Das galt auch für die Kovariablen. Nur bei Frauen war

für den Faktor *DIFF* ein Wechselwirkungseffekt mit dem *Alter* zu verzeichnen (p = .013, großer Effekt). Danach schien bei ihnen das *Alter* Einfluss auf die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung und damit auf die Testbewältigung zu haben. Auch unter Vernachlässigung des diastolischen Blutdrucks (Anh. B3.5$_1$) konnten keine neuen wegweisenden Ergebnisse hervorgebracht werden.

Bei detaillierter Analyse des **Erholungsverhaltens** zeigten sich Wechselwirkungseffekte für *Erholung* * *Geschlecht* ((F(2, 60) = 4,07, p = .025, η^2 = .169, großer Effekt) sowie *Test* * *Erholung* ((F(2, 60) = 2,78, p = .041, η^2 = .226, großer Effekt). Demnach unterschied sich die Rückstellung der kardiovaskulären Indikatoren bei Männern und Frauen in den drei Belastungstests.

Auf eine bivariate **Korrelationsanalyse** zwischen den Belastungstests wurde mit Verweis auf die geschlechtsspezifischen Unterschiede verzichtet (s. Kap. 2.3), stattdessen wurden partielle Korrelationen unter Kontrolle des *Geschlechts* betrachtet (Tab. 16).

Tab. 16 Partielle Korrelation der kardiovaskulären Indikatoren (Belastungswerte) unter Kontrolle von Geschlecht – Gesamtstichprobe (n = 66)

			ERGO			ST25		
BEKG	**Belastungs-programm**		HF	SBD	DBD	HF	SBD	DBD
HF	Belastung	r-Wert	.53***	.04	.12	.51***	-.02	-.05
		p-Wert	<.001	.767	.332	<.001	.877	.682
SBD	Belastung	r-Wert	-.25*	.33**	.24	-.14	.37**	.24
		p-Wert	.041	.007	.060	.282	.003	.052
DBD	Belastung	r-Wert	-.22	-.01	.08	.01	-.01	.03
		p-Wert	.083	.953	.517	.953	.989	.789
ST25								
HF	Belastung	r-Wert	**.76*** **	-.19	.04	-	-	-
		p-Wert	<.001	.131	.736	-	-	-
SBD	Belastung	r-Wert	-.14	.58***	.35**	-	-	-
		p-Wert	.258	<.001	.004	-	-	-
DBD	Belastung	r-Wert	.06	.26*	.46***	-	-	-
		p-Wert	.630	.037	<.001	-	-	-

Anmerkungen: ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEKG: Belastungs-Elektrokardiographie; Korrelationskoeffizient (r): Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

Zwischen beiden Kurztests zeigte sich bei *Belastung* (Absolutwerte) für die Herzfrequenz eine starke Korrelation (r = .76) und für den Blutdruck eine mittelstarke (SBD: r = .58) bzw. geringe Korrelation (DBD: r = .46). Zwischen den Kurztests und dem Belastungs-EKG ließen sich für die Herzfrequenz mittelstarke (r = .53 - .51), für den systolischen geringe (r = .33 - .37) und für den diastolischen Blutdruck keine Zusammenhänge feststellen (r = .03 - .08); bestenfalls werden 28 % der Varianz des Belastungs-EKGs erklärt (Tab. 16).

Zusammenfassung: In **Hypothese H 3a** wurde angenommen, dass sich Männer und Frauen - unter Kontrolle der Kovariablen - in ihrer Herzfrequenz und ihrem Blutdruck bei *Ruhe*, *Belastung* und *Erholung* und damit bei der Bewältigung der Kurztests (ERGO, ST25) und des Belastungs-EKGs unterscheiden (Tab. 15; s. Anh. B3.5$_{1,2}$). Im ALM stellten sich Haupteffekte für die Faktoren *Geschlecht* ($p = .036$, mittlerer Effekt) und *Absolutwerte* ($p < .001$, großer Effekt) sowie Wechselwirkungseffekte mit *Geschlecht* ($p = .035$, mittlerer Effekt), *Alter* ($p = .001$, großer Effekt) und *Sportstunden/Woche* ($p = .026$, mittlerer Effekt) heraus. So ergaben sich bei Männern und Frauen vor allem unter *Belastung* unterschiedliche Niveauwerte der kardiovaskulären Indikatoren, die durch körperliche Fitness und bei den Frauen auch durch das *Alter* beeinflusst schienen.

Beide Geschlechter wiesen in *Ruhe* eine vergleichbare Herzfrequenz auf ($p \geq .050$; Anh. B3.2$_1$), der Ruheblutdruck war dagegen von Anfang an bei Männern höher ($p < .005$). Die *Belastung* führte in den Kurztests bei Männern zu signifikant geringeren Herzfrequenzanstiegen als bei Frauen ($p < .050$). Das Blutdruckverhalten unterschied sich nicht geschlechtsspezifisch ($p \geq .050$; s. Anh. B3.2$_1$).

Im Belastungs-EKG erreichten Männer eine 73 W höhere Leistung ($p < .001$) sowie in der Endbelastungsstufe eine höhere Herzfrequenz ($p < .001$) und einen höheren Blutdruck ($p < .001$) als Frauen. Ihre höhere Leistungsfähigkeit war folglich mit einer längeren Belastungszeit ($p < .001$) sowie einer stärkeren Reaktivität der Herzfrequenz ($p < .001$) und des systolischen Blutdrucks assoziiert ($p > .010$), während für den Anstieg des diastolischen Blutdrucks unter submaximaler Belastung kein Geschlechtseffekt auftrat ($p \geq .050$).

Nach dem Wechselwirkungseffekt *Erholung* * *Geschlecht* ($p = .025$, großer Effekt) stellten sich die kardiovaskulären Indikatoren bei Männern und Frauen in den drei Belastungstests unterschiedlich zurück. Das *Erholungsverhalten* unterschied sich in den Kurztests für Herzfrequenz und Blutdruck nicht geschlechtsspezifisch ($p \geq .050$). Im Belastungs-EKG war hierfür dagegen ein Geschlechtseffekt zu verzeichnen ($p = .030$ bis $< .001$): Männer erreichten die Herzfrequenz- und Blutdruckausgangswerte nach drei Minuten Erholung noch nicht.

Zusammenfassend ist bei Männern und Frauen von unterschiedlicher kardiovaskulärer Beanspruchung und Erholung und damit unterschiedlicher Bewältigung der Kurztests und des Belastungs-EKGs auszugehen (Tab. 15; s. Anh. B3.5$_{1,2}$). **H 3a** wird bestätigt.

In **Hypothese H 3b** wurde für Herzfrequenz und Blutdruck – unter Kontrolle des *Geschlechts* – bei *Belastung* ein hoher Zusammenhang ($r \geq .70$) zwischen Kurztests und Be-

lastungs-EKG erwartet. Diese Annahme ließ sich nur für die (partielle) Korrelation der Belastungsherzfrequenz beider Kurztests bestätigen (r = .76). Zwischen den drei Belastungstests wurden für alle kardiovaskulären Indikatoren unter *Belastung* nur deutlich schwächere Zusammenhänge ermittelt (r = .58 - .03), die eine intraindividuell unterschiedliche Bewältigung jedes Belastungstests vermuten lassen. **H 3b** ist abzulehnen.

3.4 Diskussion

Nachfolgend sollen die zentralen Ergebnisse zur Beantwortung der Fragen und Hypothesen im Kapitel 3.1 diskutiert und in den aktuellen Forschungsstand eingeordnet werden, um mögliche Interpretationen hervorzubringen (Stellungnahme zu den Hypothesen). Unter kritischer Betrachtung werden zuerst die methodischen Limitationen der Untersuchung bezüglich Planungs-, Durchführungs- und Auswertungsstrategien angeführt, da sie die Generalisierbarkeit und Gültigkeit der Ergebnisse beschränken (s. Kap. 3.4.1).

3.4.1 Untersuchungskritik

Ex-post-facto-Design. Beim Ex-post-facto-Design werden die Variablen nachträglich einer Analyse unterzogen, sodass dementsprechend viele unabhängige Variablen in die Fragestellungen eingehen, die die Zielvariablen beeinflussen können. Bezüglich Aussagekraft und Interpretationsmöglichkeiten ist das Ex-Post-Facto-Design strengen, experimentellen Versuchsplänen unterlegen. Da die Stichprobe aus einer größeren bundesweiten Studie stammt, musste eine Beschränkung auf wenige aussagekräftige Kennwerte erfolgen, die sich nach der Praktikabilität und Vergleichbarkeit von BAuA- und IPAS-Studie richtete.

Aktuelle Einflussfaktoren. Diese Studie kann keine aktuellen Einflüsse, wie Tageszeit (zirkadianer Rhythmus), Wachheitsgrad, Körperlage, psychische und physische Aktivität, Nahrungsaufnahme, Genussmittel (Alkohol-, Nikotin-, Kaffeegenuss usw.), Medikamenteneffekte, Füllungszustand der Harnblase oder klimatische Faktoren, abbilden, die mitunter blutdruckbestimmend sein können. Somit sind Limitationen gegeben, die der Untersuchung zugeschrieben und im Hinblick auf die aktuelle Forschungslage interpretiert werden. Die Untersuchung der Teilnehmer nahm zwei Tage in Anspruch, sodass leistungsbeeinflussende Effekte durch Tagesformschwankungen wahrscheinlich sind.

Stichprobe. Da die Teilnahme an der erweiterten arbeitsmedizinischen Zusatzuntersuchung auf freiwilliger Basis beruhte, es sich somit um eine Gelegenheitsstichprobe handelt, muss

auch von Selektionseffekten ausgegangen werden. Freiwillige könnten einerseits sehr gesundheitsbewusst sein, andererseits auch zahlreiche gesundheitliche Symptome aufweisen, zu denen sie umfassend beraten werden wollten. Demgegenüber sind die Gründe für die Entscheidung gegen die Teilnahme unbekannt. Starke private und berufliche Belastungen führen möglicherweise zu fehlender Zeit für eine umfangreiche präventive Diagnostik. Personen, die durch gesundheitliche Einschränkungen gar nicht erst erreicht werden, verfälschen zusätzlich die Abbildung der Grundgesamtheit („healthy worker effect"). Zusätzliche Untersuchungen müssten die hier ermittelten Ergebnisse replizieren, um gültige Aussagen bezogen auf die allgemeine Erwerbsbevölkerung treffen zu können.

Die in letzter Zeit viel diskutierten Geschlechtsbezeichnungen („unbekannt", „nicht zutreffend", „diverse") konnten in dieser Studie nicht berücksichtigt werden, da keine Studien zu diesen Geschlechtsbezeichnungen vorlagen. Aufschlussreich könnten solche Unterschiede erst bei ausreichend großen und nach diesem Merkmal selektierten Stichproben sein.

Messverfahren und Erhebungsinstrumente. Dem Stepp-Test kann im Vorfeld eine gute und einfache Handhabung unterstellt werden, die situations- und personengerecht angepasst werden kann. Eine individuelle Einstellung der Stufenhöhe für kleinere Personen erfolgte bei dieser Untersuchung nicht, müsste aber beim Stepp-Test erwogen werden. Die durchschnittliche Körpergröße der Männer war in dieser Studie 180 ± 7 cm und die der Frauen lag bei 165 ± 7 cm. Eine Eignung als präventivmedizinisches Screeningverfahren kann dem Stepp-Test für die Durchführbarkeit sowie die Handhabung unterstellt werden.

Grundlegend stellte sich jedoch bei den sehr kurzen Belastungstests (ERGO, ST25) die Frage nach dem Erreichen des submaximalen Belastungsbereichs. Dieser Bereich reicht von 76 % bis 95 % der maximalen Herzfrequenz (Hf_{max}). Die Berechnung dieser maximal zu erreichenden Frequenz erfolgt am genauesten mittels einer Formel, die sich am Alter orientiert (207 bpm - (0,7 * 48 Jahre)) (Such & Meyer 2010, S. 310; Tanaka, Monahan & Seals 2001; Gellish 2007). Daraus ergeben sich folgende Herzfrequenzbereiche für die Intensität:

- maximale Intensität = ≥ 96 % HF_{max}
- große/submaximale Intensität = 76 - 95 % HF_{max}
- mittlere Intensität = 64 - 75 % HF_{max}
- leichte Intensität = 57 – 63 % HF_{max}
- geringe Intensität = ≤ 56 % HF_{max} (Pescatello et al. 2014).

Hier muss gesehen werden, dass es bei den untersuchten Kurztests unter Belastung nur zu

einer leichten Belastung kam (ERGO: 63 %; ST25: 55 %). Wohingegen das Belastungs-EKG zu einer durchschnittlichen Ausbelastung von 87 % führte.

Auswertungsstrategien. Eine grundsätzliche Schwierigkeit ergibt sich daraus, dass komplexe statistische Verfahren, wie Allgemeine Lineare Modelle (ALM) mit Messwiederholung, Kovarianzanalysen oder auch Korrelationen, an Voraussetzungen gebunden sind (s. Kap. 3.2.5), die nicht in jedem Fall allumfassend erfüllt waren. Allerdings sprechen sich Autoren für die Robustheit dieser Verfahren aus (Bortz & Schuster 2010; Harder 2013).

3.4.2 Kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung bei Kurzbelastungstests versus Belastungs-EKG

Zu klären war die Frage, ob alternative Kurztests im Vergleich zur klassischen Fahrradergometrie aussagekräftige kardiovaskuläre Kennwerte bzw. eine zuverlässige Aussage über die kardiovaskuläre Fitness liefern. Zudem sollte eine Antwort auf die Frage gefunden werden, ob sich Männer und Frauen diesbezüglich unterscheiden und daraus abzuleiten ist, ob eine präventive Testdiagnostik geschlechtsspezifische Effekte berücksichtigen muss.

Entscheidend für die Beantwortung der Fragestellungen ist neben der *Belastung* selbst die Belastungszeit (Anh. $B3.2_3$, $B3.5_4$) der Kurztests und des Belastungs-EKGs, weil bei den Kurztests nur ein Minimum an Belastung gefordert wurde. Hier muss gesehen werden, dass es bei den Kurztests - laut Pescatello et al. (2014, S. 165) - zu einer deutlich geringeren kardiovaskulären Beanspruchung kam als im Belastungs-EKG mit durchschnittlich 87 % Ausbelastung (Ausbelastung: ERGO: ∅ 63 %; ST25: ∅ 55 %). Auf dieses Ergebnis haben die Belastungszeiten maßgeblichen Einfluss: Im Belastungs-EKG waren diese Zeiten um mehr als das 20-fache höher als in den Kurztests (ERGO = Ø 27 s; ST = Ø 38 s; BEKG = Ø 737 s). Dabei fiel auf, dass Testpersonen, die höhere Watt-Zahlen im Belastungs-EKG erreichten, weniger Zeit für die Absolvierung des Stepp-Tests oder der Kurzergometrie benötigten. Das spricht für eine bessere kardiovaskuläre Fitness dieser Testpersonen.

Die **Kurztests** bildeten eher die Kurzzeitausdauer (35 s - 120 s) ab. Je länger die Belastung anhielt, desto mehr beeinflusste die aerobe und anaerobe Leistungsfähigkeit das Testergebnis. Das Belastungs-EKG mit durchschnittlich zwölf Minuten Belastungszeit fällt schon knapp in den Bereich der Langzeitausdauer Stufe 1 (10 min - 35 min) (Wonisch et al. 2017).

In den **ALM**en wurden Haupteffekte für *Geschlecht, Alter* und *BMI* ermittelt, die als Einflussfaktoren auf die Analyseergebnisse zu sehen sind: In den **Kurztests** (ERGO, ST25) zeigten sich signifikante mittlere Effekte für *Geschlecht* und *BMI* (bei Ausschluss des DBD:

Geschlecht $\eta^2 = .071$; *BMI* $\eta^2 = .074$). Das *Alter* wirkte sich am ehesten auf die kardiovaskuläre Reaktivität und die Erholung (Differenzwerte) aus - unabhängig davon, ob der diastolische Blutdruck in das ALM einbezogen ($\eta^2 = .101$, mittlerer Effekt) oder ausgeschlossen wurde ($\eta^2 = .084$, mittlerer Effekt). Im Zusammenhang mit dem **Belastungs-EKG** fielen diesbezüglich ebenfalls der Einfluss von *Geschlecht* ($\eta^2 = .143$ - $.247$, große Effekte) und *BMI* ($\eta^2 = .117$ - $.178$, mittlerer bzw. großer Effekt) auf. Für die Kovariable *Sportstunden/Woche* war zunächst kein Effekt auf die ALM-Ergebnisse zu verzeichnen. Das könnte aus der allgemein unscharfen Definition von „Sport" resultieren oder durch das „Beschönigen" der eigenen Angaben zustande gekommen sein.

Andererseits zeigten sich in den **Korrelationsanalysen** eher geringe Korrelationen zwischen den kardiovaskulären Indikatoren und einbezogenen Kovariablen. Das widerspricht den gesichteten Literaturbefunden (Jackson et al. (2013; Lakoski et al 2011; Stoschitzky & Zweiker 2002). Ein Einfluss durch die Stichprobe, deren Testpersonen unterschiedlich trainiert, alt und körperlich gebaut waren, kann weniger für diesen Effekt verantwortlich gemacht werden, da sich auch für die Ruhewerte nur schwache Zusammenhänge zu den kardiovaskulären Indikatoren zeigten. Einzig die zufällige Auswahl der Gelegenheitsstichprobe, intrapersonelle Faktoren sowie Einflüsse durch die jeweiligen Untersuchungsbedingungen und -organisation könnten hier relevant sein (s. Kap. 3.4.1). Deskriptiv zeigte sich eine homogene Stichprobe, bestehend aus 37 Männern und 29 Frauen mittleren Alters (Ø 48 Jahre), die einen hochnormalen Body-Mass-Index (Ø 25 kg/m^2) aufwies und sich durchschnittlich circa zwei Stunden in der Woche sportlich betätigte.

Zu FS1: Im ALM stellte sich für den Faktor *DIFF* (Differenzwerte *Ruhe – Belastung* bzw. *Belastung - Erholung*) ein Haupteffekt ($p = .005$, mittlerer Effekt) sowie ein Wechselwirkungseffekt mit dem *Alter* ($p = .011$, mittlerer Effekt) heraus, was zunächst in beiden Kurztests auf Unterschiede der kardiovaskulären Beanspruchung und Erholung hinwies. So waren in beiden Kurztests die Herzfrequenz- und die systolischen Blutdruckmittelwerte der Reaktivität höher als die der Erholung. Das verdeutlicht, dass drei Minuten nach der Belastung noch nicht wieder das Ausgangsniveau in *Ruhe* erreicht wurde. Der Alterseffekt belegt, dass die Reaktivität der Herzfrequenz mit zunehmendem Alter abnimmt (Anh. $B3.3_1$).

Wenn der diastolische Blutdruck im ALM ausgeschlossen wurde, gab es neben dem *Alter* noch signifikante Effekte für *Geschlecht* ($\eta^2 = .071$, mittlerer Effekt) und *BMI* ($\eta^2 = .074$, mittlerer Effekt; Anh. $B3.3_1$). Somit scheint sich die kardiovaskuläre Beanspruchung und

Erholung für Männer und Frauen, sowie für Normal- und Übergewichtige zu unterscheiden, die kardiovaskuläre Fitness sich aber in diesen Tests kaum auszuwirken. Diese Erkenntnisse decken sich mit denen von Bohannon et al. (2015), die einen besseren Stepp-Test-Outcome bei jüngeren männlichen Personen mit niedrigerem BMI sahen.

Obwohl beide Kurztests nur eine leichte Belastung auslösen, scheint die Kurzergometrie gegenüber dem Stepp-Test - trotz geringerer Belastungszeit - mit höherer kardiovaskulärer Beanspruchung einherzugehen: Die Herzfrequenz stieg in der Kurzergometrie signifikant stärker an (ERGO: ∅ 36 bpm; ST25: ∅ 22 bpm; $p < .001$), während sich der systolische Blutdruck umgekehrt verhielt (ERGO: ∅ 13 mmHg; ST25: ∅ 18 mmHg; $p = .046$) und der diastolische Blutdruck in beiden Kurztests durchschnittlich 2 mmHg bis 3 mmHg unter den Ruhewert absank ($p = .396$; s. Anh. 3.43).

Vergleichbar mit den Ergebnissen von Karloh et al. (2013) konnten in vorliegender Studie vor allem für die Herzfrequenz starke Korrelationen zwischen den Kurztests gezeigt werden. Es ergaben sich bei allen drei Messzeitpunkten vergleichbar hohe Zusammenhänge zwischen beiden Kurztests ($r = .76$ - $.91$), die auf eine vergleichbare Herzfrequenzreaktion hinweisen. Testpersonen, die bei der Kurzergometrie hohe Herzfrequenzen aufwiesen, zeigten diese auch im Stepp-Test und umgekehrt. Allerdings scheint eine vollständige Rückstellung der Herzfrequenz auf das Ausgangsniveau nur nach der Stepp-Test-Belastung vorzuliegen (ERGO: ∅ 73 bpm auf ∅ 78 bpm; ST25: ∅ 73 bpm auf ∅ 72 bpm; $p < .001$).

Der systolische Blutdruck war in *Ruhe* - trotz unterschiedlicher Messpositionen - ebenfalls in beiden Kurztests vergleichbar ($r = .80$; ∅ 3 mmHg höher bei ERGO gegenüber ST25), während sich für Belastung und Erholung nur noch mittlere Korrelationen ($r= .50$ - $.69$) zwischen beiden Kurztests ergaben; das entspricht einer Varianzaufklärung von 25 % bis 47 %. Als Erholungseffekt war für den systolischen Blutdruck ebenfalls eine unvollständige Rückstellung bei der Kurzergometrie zu verzeichnen; hier lag der systolische Blutdruck im Durchschnitt noch 10 mmHg über dem Ausgangswert in Ruhe ($p < .001$), was im Stepp-Test durchschnittlich nur 3 mmHg ($p = .015$) ausmachte und als "vollständig zurückgestellt" interpretiert wird. Im diastolischen Blutdruck traten in beiden Kurztests keine unterschiedlichen Erholungswerte auf (ERGO: ∅ 2 mmHg, $p = .104$; ST25: ∅ 1 mmHg; $p = .441$).

Die Belastungsphase war in der Kurzergometrie durchschnittlich 11s kürzer als im Stepp-Test (ST 25: ∅ 38 s), und es bestand diesbezüglich zwischen beiden Kurztests nur ein geringer Zusammenhang ($r = .36$).

Insgesamt scheint für Kurzergometrie und Stepp-Test eine intraindividuell unterschiedliche Testbewältigung vorzuliegen. Trotz kürzerer Belastungsdauer führte die Kurzergometrie zu einer höheren kardiovaskulären Beanspruchung, bei der eine dreiminütige Erholungsphase nicht ausreichte, um sich von dieser Belastungsreaktion zu erholen. Die Beanspruchungs- und Erholungsunterschiede, die beide Kurztests kennzeichnen, sind jedoch als gering zu bewerten. Nicht zu klären ist, ob die unvollständige Erholung nach der Kurzergometrie auf einen methodischen Effekt zurückzuführen ist (erst ST25 danach ERGO). Eine Überlegenheit des Stepp-Testes ist aufgrund des ökonomischen Test- und Materialaufwands zu diskutieren.

Ein Bedarf an weiteren Studien zu diesem Thema besteht. Es wurde sowohl in der Vergangenheit als auch hier bestätigt, dass selbst ein geringes Maß an Belastung genügt, um eine Beanspruchungsreaktion des Körpers hervorzurufen. Als Screening der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit und für weiteren diagnostischen Bedarf haben diese Kurztests Berechtigung. Komplexe Untersuchungsprotokolle und -geräte werden nicht benötigt.

Zu FS2: In der Literatur werden die meisten Ergometer-Untersuchungen mit Stepp-Tests oder anderen alternativen Belastungstests verglichen, die einem festen Protokoll folgen, mehr Zeit in Anspruch nehmen und dadurch stärker belasten. In vorliegender Studie wurde beim Belastung-EKG bis zum Erreichen der submaximalen Herzfrequenz belastet, während die Kurztests nach einer definierten Belastung (ERGO: 220 m bei 150 W; ST: 25 Stufen) beendet waren. Dies manifestiert sich an zwei Ergebnissen: Zum einen ist die einzige Belastungsstufe auf dem Fahrradergometer, die alle Teilnehmer absolvierten, die 75 W-Stufe, was - nach den Herzfrequenz- und Blutdruckmittelwerten - der Belastung der Kurztests entspricht (s. Kap. 3.3.3.2). Zum anderen minimiert sich bei geringer Fitness der Unterschied in den Belastungszeiten: So ist die Zeit des Belastungs-EKGs kürzer, da eine Erschöpfungsreaktion früher eintritt, während sich die Zeit, die benötigt wird, um die Kurztests zu beenden, verlängert (s. Anh. B3.2$_6$). Hier könnten Nachteile der Untersuchungsmethode „Kurztest“ vorliegen, bei denen Geschwindigkeit oder Widerstand nicht von außen kontrolliert bzw. vorgegeben („self pased tests“) werden. Es kann daher zu einer ungenügenden Leistungsabbildung im interpersonellen Vergleich kommen (de Andrade et al. 2011).

Gegenüber den Kurztests wurde beim Belastungs-EKG eine durchschnittliche Ausbelastung von 87 % erreicht, die einer submaximalen Belastungsintensität (76 - 95 % HF_{max}) ent-

spricht. Allerdings konnte im ALM weder für den Faktor *DIFF* (Differenzwerte) ein Haupteffekt ermittelt werden (p = .085), noch hatten die Kovariablen signifikanten Einfluss auf dieses Ergebnis (Tab. 14). Das kann ein Effekt der großen Standardabweichungen sein. Die p-Werte lagen zudem sowohl für den Faktor *DIFF* als auch für seine Wechselwirkungseffekte mit *Geschlecht* und *Alter* dicht an der Signifikanzgrenze (p = .070 - .071; Tab. 14). Deshalb sollten Geschlechts- und Alterseffekte bei der Interpretation der Ergebnisse Beachtung finden.

Im t-Test ließen sich aber zwischen den Kurztests und dem Belastungs-EKG für alle drei kardiovaskulären Indikatoren signifikante Mittelwertunterschiede für den Messzeitpunkt *Belastung* bzw. die Reaktivität belegen (p < .001, mittlere - große Effekte), die die deutlich höhere Beanspruchung des Belastungs-EKGs verifizierten (Anh. $B3.4_3$).

Die signifikant unterschiedlichen Belastungszeiten in den Kurztests und dem Belastungs-EKG (p < .001, große Effekte) unterstützten das Argument, dass alle drei Belastungstests eine unterschiedliche kardiovaskuläre Beanspruchung generierten. Die geringe negative bzw. fehlende Korrelation der Belastungszeiten von Belastungs-EKG und Kurzergometrie (r = -.29) bzw. Stepp-Test (r = -.03) verdeutlichte indirekt den Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und kardiovaskulärer Fitness.

Nicht schlüssig erklärbar sind die stark variierenden Ausgangsruhewerte des Belastungs-EKGs (+ 10 bpm) im Vergleich zu den Kurztests. Die Korrelationen zwischen den Kurztests und dem Belastungs-EKG in *Ruhe* (r = .27 - .71) werden auf die Messpositionen zurückgeführt - bei der Messung von Herzfrequenz und Blutdruck in leicht unterschiedlichen Sitzpositionen beim Belastungs-EKG und der Kurzergometrie im Vergleich zu einer Messung im Stehen beim Stepp-Test. Auch wäre beim Belastungs-EKG der Einfluss aufgrund der Anwesenheit eines Arztes („white-coat-effect“) denkbar (Ramli, Halmey & Teng 2008).

Für die *Reaktivität* von Herzfrequenz und Blutdruck (Differenzwerte *Ruhe – Belastung*) fanden sich zwischen den Kurztests und dem Belastungs-EKG keine bzw. nur sehr geringe Zusammenhänge (Anh. $B3.4_2$). Danach bewirkt jeder der drei Belastungstests bei ein und derselben Testpersonen eine sehr unterschiedliche kardiovaskuläre Beanspruchung, d. h. keiner dieser Belastungstests kann durch den anderen ersetzt werden. Weder sind die Kurztests gegeneinander austauschbar, noch können diese das Belastungs-EKG ersetzen.

Gegenüber *Ruhe* (r = .27 - .71) und *Erholung* (r = .28 - .69) zeigten sich – unabhängig vom kardiovaskulären Indikator - für *Belastung* deutlich geringere Korrelationen (r = .06 - .45).

Damit werden die submaximalen Herzfrequenz- bzw. die entsprechenden systolischen Blutdruckwerte im Belastungs-EKG höchstens zu 20 % durch die Belastungsherzfrequenz und den systolischen Belastungsblutdruck der Kurztests erklärt. Der diastolische Blutdruck ist in diesem Kontext von untergeordneter Bedeutung.

Mehrere Forschungsgruppen konnten für die kardiorespiratorische Fitness einen hohen Zusammenhang zwischen Ergometertests und Stepp-Tests nachweisen (Chatterjee et al. 2004; Cooney et al. 2013; Sykes & Roberts 2004), wobei als Indikator vor allem die aufwendig zu erhebende VO_{2max} verwendet wurde. In dieser Studie lagen für die Absolutwerte der drei kardiovaskulären Indikatoren in beiden Kurztests bei *Belastung* (r = .50 - .76) und *Erholung* (r = .67 - .90) mittlere bis sehr hohe Korrelationen vor. Da jedoch die entsprechenden kardiovaskulären Reaktivitäts- und Erholungswerte deutlich geringer korrelierten (HF: r = .58 vs. 48, SBD: r = .38 vs. 40; DBD: r = .20 vs. 24), ist intraindividuell eine unterschiedliche Testbewältigung anzunehmen.

Ähnliche Korrelationen berichtete auch Werner (2012) für die Belastungsherzfrequenz im QCST mit der VO_{2max} der Fahrradergometrie (r = .48). Lee (2018) und Faude et al. (2004) sahen anhand der erhobenen Leistungsindikatoren (PWC_{170}, VO_{2max}, HF) sogar nur eine geringe Vergleichbarkeit zwischen Fahrradergometrie und Stepp-Test.

Da kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung in den Kurztests nicht mit denen im Belastungs-EKG vergleichbar sind, ist eine gegenseitige Ersetzbarkeit der Belastungstest nicht zielführend. Definitiv können Kurztests das Belastungs-EKG nicht ersetzen.

Zu FS3: Erstmals wurde versucht, Unterschiede in Bezug auf die Wirkung von submaximaler Belastung bei Männern und Frauen zu finden. In der Vergangenheit wurden zu diesem Thema entweder nur männliche Testpersonen (Sammito et al. 2016; Werner 2012) untersucht oder die Stichproben wurden nicht getrennt nach Geschlecht ausgewertet (Buckley et al. 2004; Fraude 2004; Cooney et al. 2013; Karloh et al. 2013). Allerdings wäre eine größere Stichprobe wünschenswert gewesen, um zu erwartende Geschlechtseffekte besser herausarbeiten und auf die Bevölkerung übertragen zu können.

Die Ergebnisse belegen geschlechtsspezifische kardiovaskuläre Beanspruchungs- und Erholungseffekte (Haupteffekt *Geschlecht*: p = .036). Bei Männern und Frauen bestätigten sich in den Belastungstests unterschiedliche Niveauwerte der kardiovaskulären Indikatoren (Haupteffekt *Absolutwerte*: p < .001) sowie ein unterschiedliches Erholungsverhalten in den drei Belastungstests (Tab. 15). Einfluss auf diese Ergebnisse hatte neben dem *Geschlecht*

auch die kardiovaskuläre Fitness (Wechselwirkungseffekte *Absolutwerte* * *Geschlecht*: p < .035; *Absolutwerte* * *Sportstunden/Woche*: p = .026; *Erholung* * *Geschlecht*: p = .025). Zudem schien sich bei den Frauen noch das *Alter* auszuwirken (Wechselwirkungseffekt *Absolutwerte* * *Alter*: p < .001).

Während sich in der **Ausgangssituation** die Ruheherzfrequenz bei beiden Geschlechtern nicht unterschied (∅ 73 bpm, p ≥ .050; Anh. B3.2$_1$), war der durchschnittliche Ruheblutdruck in den Kurztests bei Männern signifikant höher als bei Frauen (p = .040 - .004). Beim Belastungs-EKG war der Ruheblutdruck deutlich niedriger als bei den Kurztests und unterschied sich zwischen Männern und Frauen nicht signifikant (p = .388 - .516). Die unterschiedlichen Niveauwerte der kardiovaskulären Indikatoren in *Ruhe* sind vor allem im Zusammenhang mit der Messposition zu diskutieren (s. FS2).

Die **Belastung** der Kurztests war bei Männern mit signifikant geringeren Herzfrequenzanstiegen (p < .050) assoziiert als bei den Frauen; das Blutdruckverhalten unterschied sich unter *Belastung* zwischen Männern und Frauen nicht signifikant (p ≥ .050; s. Anh. B3.2$_1$).

Im Belastungs-EKG erreichten Männer eine durchschnittliche Leistung von 184 W, Frauen von 111 W (p < .001). Folglich ging diese Leistungsfähigkeit bei Männern im Mittel mit einer signifikant längeren Belastungszeit (♂: ∅ 864 s; ♀: ∅ 568 s, p < .001) sowie in der Endbelastungsstufe mit durchschnittlich höherer Herzfrequenz (p < .001) und höherem Blutdruck (p < .001) einher als bei Frauen. Als Folgeeffekte ergaben sich für Männer höhere Reaktivitätswerte der Herzfrequenz (p < .001) und des systolischen Blutdrucks (p > .010), während für den Anstieg des diastolischen Blutdrucks bei submaximaler Belastung kein Geschlechtseffekt auftrat (p ≥ .050).

Das **Erholungsverhalten** unterschied sich zwischen Kurztests und Belastungs-EKG: Während diesbezüglich in den Kurztests für Herzfrequenz und Blutdruck kein Geschlechtseffekt auftrat (p ≥ .050), war das Erholungsverhalten der kardiovaskulären Indikatoren im Belastungs-EKG für beide Geschlechter signifikant unterschiedlich (p = .030 bis < .001). Im Durchschnitt waren Herzfrequenz und Blutdruck bei den Männern nach drei Minuten Erholungsphase noch nicht wieder auf ihre Ausgangswerte in *Ruhe* zurückgestellt, was jedoch durch ihre höhere Leistungsfähigkeit bedingt ist (Abb. 6).

In den Kurztests traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Belastungszeiten der Männer und Frauen auf (p = .058 - .104): Für die Kurzergometrie (kürzester Test) benötigten Männer durchschnittlich 25 s und Frauen 28 s, der Stepp-Test ST25 dauerte dagegen bei Männern durchschnittlich 39 s und bei Frauen nur 35 s. Zwischen beiden Kurztests

korrelierte die Belastungszeit für Männer gering (r = .39); für Frauen war ein mittlerer Zusammenhang (r = .52) zu verzeichnen. Zwischen den Kurztests und dem Belastungs-EKG lagen dagegen nur sehr geringe bzw. geringe Korrelationskoeffizienten vor (♂: r = -.15 - .41; ♀: r = -.26 - .13). Das bestätigte, dass alle drei Belastungstests eine unterschiedliche Belastung generieren, die sich in den erreichten Belastungsintensitäten niederschlug (♂: ERGO = 61 %, ST25 = 52 %, BEKG = 90 %; ♀: ERGO = 65 %, ST25 = 59 %, BEKG = 84 %).

Der - unter Kontrolle des *Geschlechts* - zwischen Kurztests und Belastungs-EKG erwartete hohe (r = ≥ .70) Zusammenhang bei *Belastung* konnte nicht verifiziert werden: Für die Belastungsherzfrequenz wurden zwischen Kurztests und Belastungs-EKG mittlere (r = .51 - .53), für den systolischen Blutdruck nur geringe (r = .33 - .37) und den diastolischen Blutdruck (r = .03 - .08) keine Zusammenhänge ermittelt. Das stützte die Vermutung, dass jeder Belastungstest intraindividuell unterschiedlich bewältigt wurde. Im Vergleich zu den Korrelationen der Gesamtstichprobe ohne geschlechtsspezifische Betrachtung ergaben sich keine neuen Erkenntnisse (s. Kap. 3.3.3.1, 3.3.3.2).

Die in der Literatur beschriebenen Unterschiede beider Geschlechter (Finger et al. 2013; Hossack & Bruce 1982; Maranon & Reckelhoff 2013) lassen sich nur teilweise aufarbeiten. Da diese Arbeit direkt die Vergleichbarkeit von Belastungstests fokussiert, werden primär keine Aussagen über mögliche kardiovaskuläre Risiken oder den Zustand des HKS der Testpersonen getroffen. Dies würde die Auswertung der zusätzlich erhobenen Daten (u. a. BIA-Daten) erfordern, was aber keine zentrale Frage dieser Arbeit ist.

Zusammenfassend wird eine intraindividuell unterschiedliche Bewältigung der Kurztests und des Belastungs-EKGs angenommen, die bei Männern im Durchschnitt mit einer besseren Fitness und höheren Leistungsfähigkeit einherzugehen scheint. Bei Frauen eher als bei Männern scheint die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit durch das *Alter* determiniert zu sein. Mit steigender Belastungsintensität ist jedoch zu erwarten, dass die Geschlechts- und Alterseffekte an Einfluss gewinnen. Bei der Interpretation der Testbefunde sind demnach die Geschlechts- und Altersspezifik sowie der kardiovaskuläre Fitnesszustand der Testpersonen zu beachten. Diese Arbeit betrachtet eine nahezu gleich sportliche und gesunde Stichprobe. Dennoch besteht nach den vorliegenden Ergebnissen die Notwendigkeit, Belastungsuntersuchungen zukünftig geschlechtsspezifisch auszuwerten und zu interpretieren.

4 IPAS-STUDIE

Nachdem in der BAuA-Studie die Frage beantwortet wurde, ob es einen Unterschied zwischen verschiedenen Kurztests und dem Belastungs-EKG gibt, soll nun mit der IPAS-Studie eine Antwort auf die Frage nach der aussagekräftigsten Testdauer und -intensität für Stepp-Tests gefunden werden. Hierzu wurden verschiedene Kurztests durchgeführt und bezüglich ihrer kardiovaskulären Beanspruchung und Erholung verglichen, wobei in dieser Arbeit die Daten aus drei unterschiedlich langen Stepp-Tests ausgewertet wurden.

Die IPAS-Studie wurde am Institut und der Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin der TU Dresden (im Folgenden: IPAS-Studie) durchgeführt. Auch hier wurden die kardiovaskulären Indikatoren Herzfrequenz und Blutdruck vor, während und nach dem jeweiligen Stepp-Test (Messzeitpunkte*: Ruhe, Belastung, Erholung*) genutzt, um diese Ergebnisse in einer späteren Auswertung mit denen der BAuA-Studie (s. Kap. 3) vergleichen zu können. Aus dem gleichen Grund wurden dieselben Kovariablen wie in der BAuA-Studie betrachtet und deren Einfluss auf die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung bei den Stepp-Tests untersucht.

4.1 FRAGESTELLUNG UND HYPOTHESEN

Zu untersuchen ist, welche Stepp-Anzahl die beste Ausbelastung und somit zuverlässigste Aussage zur kardiovaskulären Fitness einer Testperson zulässt (1). Zudem wird der Vergleich von Männern und Frauen in Bezug auf diese Fragestellung angestrebt (2). Dazu sollen wiederum die kardiovaskulären Indikatoren Herzfrequenz und Blutdruck in *Ruhe*, unter und nach *Belastung* (*Erholung*) miteinander verglichen werden. Um die individuelle kardiovaskuläre Reaktivität (Anstieg von HF und BD unter Belastung) und Rückstellung in der Erholungsphase (Abfall von HF und BD nach Belastung) in den Kurztests abzubilden, gehen erneut die Differenzen zwischen *Ruhe - Belastung*, *Belastung - Erholung* und *Erholung - Ruhe* sowie *Geschlecht, Alter, BMI* und *Sportstunden/Woche* als relevante Kovariablen in die varianzanalytischen Auswertungsmodelle ein.[5]

Übergeordnete Fragestellung: Die übergeordnete Fragestellung ist es, auch in dieser Studie, einen submaximalen Kurztest zu finden, der bei einer ortsunabhängigen Untersuchung verlässliche Aussagen über die kardiovaskuläre Fitness einer Testperson geben kann.

[5] Die Kovariablen dieser Studie, die in den statistischen Analysen zu berücksichtigen sind, werden im Kapitel 4.3.1 analysiert und begründet. Aus Vergleichsgründen entsprechen sie denen der BAuA-Studie (s. Kap. 3).

Aus dieser übergeordneten Fragestellung resultieren Einzelfragestellungen (FS) und Hypothesen (H), die mit den Daten der IPAS-Studie überprüft werden sollen. Dabei wurden die Unterschieds- und Zusammenhangsfragestellungen bzw. -hypothesen aufgrund des inhaltlichen Zusammenhangs wiederum gemeinsam betrachtet.

Fragestellung 1 - Stepp-Tests

De Andrade et al. (2011) forderten eine weitere Beschäftigung mit dem Vergleich unterschiedlicher Stepp-Test-Protokolle. Zur Auswertung wurden Unterschiede in der Höhe der Stufen, der Stepp-Anzahl und der Stepp-Geschwindigkeit herangezogen (de Andrade 2012; Druskins 1993; s. Anh. A). In der Literatur wird vor allem das kardiorespiratorische System mittels VO_{2max} untersucht. Auf das kardiovaskuläre System und dessen Indikatoren (HF, SBD, DBD) wird kaum eingegangen. Druskins (1993) folgend gab es für die kardiopulmonale Beanspruchung (VO_{2max}) bei fünf Stepp-Tests sowohl deutliche Unterschiede als auch Zusammenhänge.

In der IPAS-Studie wurde versucht, die Literaturbefunde zum kardiorespiratorischen System zu reproduzieren und für die Stepp-Tests einen Zusammenhang zwischen Belastungshöhe und Belastungsdauer zu sehen.

FS 1 Unterscheiden sich – unter Kontrolle von *Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche* – Herzfrequenz und Blutdruck unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* zwischen den drei Stepp-Tests (20, 25 und 30 Stufen) (a) und welche Zusammenhänge bestehen zwischen diesen Stepp-Tests (b)?

H 1a Es besteht für Herzfrequenz und Blutdruck – unter Kontrolle von *Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche* – unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* ein Unterschied zwischen den drei Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30).

H 1b Es besteht für Herzfrequenz und Blutdruck unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* ein hoher Zusammenhang ($r \geq .70$) zwischen den drei Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30).

Fragestellung 2 - Männer und Frauen

Da die arbeitende Muskelmasse wesentlichen Einfluss auf die Belastung des Kreislaufs hat, ist anzunehmen, dass sich die kardiovaskuläre Beanspruchung auch in den Stepp-Tests unterscheidet (Shephard 1984). Aufgrund der klaffenden Forschungslücke in Bezug auf den Unterschied von submaximaler Leistungsfähigkeit bzw. Belastbarkeit bei Männern und Frauen wurde versucht, dieses Thema aufzugreifen.

FS 2 Unterscheiden sich bei Männern und Frauen – unter Kontrolle von *Alter, BMI, Sportstunden/Woche* – Herzfrequenz und Blutdruck unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* in den drei Stepp-Tests (20, 25 und 30 Stufen)?

H 2a Es besteht zwischen Männern und Frauen – unter Kontrolle von *Alter, BMI, Sportstunden/Woche* – für Herzfrequenz und Blutdruck unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* ein Unterschied bei den drei Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30).

H 2b Es besteht für Herzfrequenz und Blutdruck – unter Kontrolle des *Geschlechts* - unter *Belastung* ein hoher Zusammenhang ($r \geq .70$) zwischen den drei Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30).

4.2 METHODIK

In diesem Abschnitt werden die IPAS-Studie vorgestellt, die Rekrutierung der Testpersonen erklärt, der Untersuchungsablauf und die Auswertungsstrategien zur Beantwortung der Fragestellungen und Hypothesen beschrieben. Es folgt eine Vorstellung der eingesetzten Tests sowie der zusätzlich für das kardiovaskuläre System relevanten Einflussfaktoren.

4.2.1 STICHPROBENREKRUTIERUNG

Beteiligt an der IPAS-Studie waren 60 Testpersonen im Alter von 20 bis 67 Jahren. Bei dieser Analysestichprobe handelt es sich um eine Gelegenheitsstichprobe. Die Akquise der Teilnehmer erfolgte über öffentliche Aushänge im Universitätsklinikum Dresden, wodurch eine breite und möglichst gemischte Gruppe angesprochen werden sollte. Interessierte Teilnehmer meldeten sich telefonisch oder per E-Mail und erhielten jeweils zwei Untersuchungstermine. Die Datenerhebung der Teilnehmer fand von März bis Mai 2015 statt.

4.2.2 UNTERSUCHUNGSPROGRAMM UND -ABLAUF

Der standardisierte Untersuchungsablauf und die einzelnen erhobenen Indikatoren können Tabelle 17 entnommen werden. Das Untersuchungsprogramm fand an zwei Tagen statt und dauerte durchschnittlich jeweils 30 Minuten. Vor Beginn der Untersuchung wurde anhand einer Indikationsliste abgeklärt, ob Kontraindikationen für die Herz-Kreislauf-Belastungstests, die Lungenfunktionsprüfung sowie die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) vorlagen. Außerdem erhielten die Teilnehmer Infomationen zum Anliegen der Untersuchung sowie zur Untersuchungsmethodik. Die einzelnen Tests wurden unmittelbar vor ihrem Beginn

erklärt und stets in der gleichen Reihenfolge durchlaufen. Konzentrationsphasen wurden durch kleinere Pausen von Entspannungsphasen abgelöst.

Die Probanden willigten ein, dass sie mit der Teilnahme an den Untersuchungen sowie der Nutzung ihrer Daten für wissenschaftliche Auswertungen einverstanden waren. Diese Unterschrift war Voraussetzung zur Teilnahme an der Studie.

Tab. 17 Untersuchungsablauf, Erhebungsinstrumente und erhobene Indikatoren der IPAS-Studie

Verfahren	Erfasste Indikatoren
Tag 1	
Erläuterungen zu Ablauf und Methodik (eingesetzte Verfahren) der Untersuchungen Prüfung der Einschlusskriterien zur Studienteilnahme Einwilligungserklärungen	
Anamnese und Körpermaße	Alter, Kontraindikationen, Beschwerden und Erkrankungen, Medikamente, Größe, Gewicht, Taillenumfang, Hüftumfang Lebensgewohnheiten: sportliche Aktivität, Tabakkonsum, Alkoholkonsum
Bioelektrische Impedanzanalyse	Körperzusammensetzung (Fett-, Aktivzell-, Magermasse; Körperwasser)
Stepp-Test 25 Stepps	Ruhe-, Belastungs- und Erholungsherzfrequenz; Ruhe-, Belastungs- und Erholungsblutdruck; Belastungszeit
Pause	
Kurzergometrie[6]	Ruhe-, Belastungs- und Erholungsherzfrequenz; Ruhe-, Belastungs- und Erholungsblutdruck; Belastungszeit
Tag 2	
Spirometrie	Vitalkapazität der Lunge
Stepp-Test 20 Stepps	Ruhe-, Belastungs- und Erholungsherzfrequenz; Ruhe-, Belastungs- und Erholungsblutdruck; Belastungszeit
Fragebogen zu Lebensgewohnheiten	sportliche Aktivität, Tabak- und Alkoholkonsum
Stepp-Test 30 Stepps	Ruhe-, Belastungs- und Erholungsherzfrequenz; Ruhe-, Belastungs- und Erholungsblutdruck; Belastungszeit
Beratung	Abschließende individuelle Auswertung und Empfehlung

4.2.3 ERHEBUNGSINSTRUMENTE UND MESSVERFAHREN

Neben einem anamnestischen Gespräch wurden alle Teilnehmer einer arbeitsmedizinischen Untersuchung unterzogen, die sowohl aus der Messung von Körpermaßen (s. Kap. 3.2.3) als auch der Durchführung von Belastungstests bestand. Alle Teilnehmer absolvierten unter anderem drei Stepp-Tests mit jeweils unterschiedlicher Schrittanzahl. Für die Messwerterfassung wurden standardisierte Untersuchungsprotokolle benutzt (Anh. $C2_1$).

[6] Die Kurzergometrie wurde nicht ausgewertet, da ein Vergleich mit dem Stepp-Test schon anhand der BAuA-Studie (s. Kap. 3.3.3.1) erfolgte.

Die für diese Arbeit relevanten Kovariablen (s. Kap. 4.3.1) wurden im Rahmen der Anamnese, die den Fragebogen und die Messung der Körpermaße einschloss, erhoben. Durchgeführt wurden die Untersuchungen am Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin der Technischen Universität Dresden von geschultem Fachpersonal.

4.2.3.1 ANAMNESE UND UNTERSUCHUNG

Der **Fragebogen** enthielt u. a. Fragen zu Lebensgewohnheiten bzw. Risikofaktoren und ergänzte die körperliche Untersuchung, wobei aus Vergleichsgründen dieselben Fragenkomplexe und Untersuchungen wie in der BAuA-Studie verwendet wurden (s. Kap. 3.2.3.1).

4.2.3.2 BELASTUNGSTESTS UND MESSWERTERFASSUNG

Zur Untersuchung der Ausbelastung und der kardiovaskulären Fitness einer Testperson wurden **Stepp-Tests** mit 20, 25 und 30 Stepps (ST20, ST25, ST30) eingesetzt. Bei diesen Tests sollten mit einem Bein abwechselnd Stepps auf einer Step-Aerobic-Plattform mit einer Höhe von 25 cm der Firma Reebok (Länge 90 cm, Breite 35 cm) gemacht werden. Die Stepps mussten jeweils so schnell wie möglich realisiert werden. Am 1. Tag erfolgte die Untersuchung des Stepp-Tests mit 25 Stepps, am 2. Tag absolvierten die Testpersonen die Stepp-Tests mit 20 und 30 Stepps. Die Ausführung der Tests wurde vom Testleiter gezeigt, erklärt sowie von den Testpersonen im Voraus erprobt.

Bei allen drei Stepp-Tests wurden folgende kardiovaskuläre Indikatoren gemessen:

- Ruhe-, Belastungs- und Erholungsherzfrequenz [bpm]
- Ruhe-, Belastungs- und Erholungsblutdruck [mmHg]
- Belastungszeit [s]

Herzfrequenz und Blutdruck wurden in stehender Position mit dem vollautomatischen Oberarmblutdruckmessgerät boso medicus (Firma Bosch und Sohn GmbH & Co) gemessen - bei Rechtshändern stets links, bei Linkshändern vice versa. Die Ausgangswerte wurden in der zweiten Minute der Vorruhe (*Ruhe*), Belastungswerte sofort nach Beendigung (*Belastung*) und Erholungswerte drei Minuten nach Beendigung des jeweiligen Stepp-Tests (*Erholung*) ermittelt. Belastungs- und Erholungszeiten (s) wurden mittels Stoppuhr erfasst.

4.2.4 UNTERSUCHUNGSDESIGN

Unterschiedsfragen: Es handelte sich auch bei dieser Studie um ein Querschnittsdesign mit Ex-post-facto-Anordnung. Aufgrund der Teilnehmer-Akquise per Aushang an der TU Dresden wurde kein Einfluss auf die unabhängige Variable (hier: Geschlecht) genommen. Die vorhandene Stichprobe wurde im Folgenden im Hinblick auf ihre kardiovaskuläre Beanspruchung- und Erholungsfähigkeit untersucht. Tabelle 18 illustriert das Design, das der Bearbeitung der Unterschiedsfragen (H a) zugrunde lag. Es wurde sowohl für die Gesamtstichprobe als auch für Männer und Frauen getrennt erarbeitet.

Tab. 18 Ex-post-facto-Design zur Prüfung der Unterschiedsfragestellungen

		Treatment	**Ruhe, Belastung, Erholung**		
			Stepp-Test 20 Y_{A1}	Stepp-Test 25 Y_{A2}	Stepp-Test 30 Y_{A3}
KV	E	Gesamtstichprobe	$\bar{Y}_{A1.1}$ Herzfrequenz $\bar{Y}_{A1.2}$ Blutdruck	$\bar{Y}_{A2.1}$ Herzfrequenz $\bar{Y}_{A2.2}$ Blutdruck	$\bar{Y}_{A3.1}$ Herzfrequenz $\bar{Y}_{A3.2}$ Blutdruck
		G_1 Männer ($?X_1$)			
		G_2 Frauen ($?X_2$)			

Anmerkung: E: Ex-post-facto-Design; $\bar{Y}$: Gruppenmittelwert; G_1: Männer, G_2: Frauen ($?X_1$), ($?X_2$): Treatment entsprechend der Selbstselektion durch Geschlecht (unabhängige Bedingung); KV: Kontrollvariablen (Alter, BMI, Sportstunden/Woche).

Zusammenhangsfragen: Die Analyse der Zusammenhänge zwischen den drei Stepp-Tests (H b) erfolgte für die kardiovaskulären Indikatoren mit Hilfe einer korrelativen Versuchsanordnung (hier: Pearsons Korrelationsanalyse). Kennzeichnend für korrelative Designs ist der Verzicht auf die Unterscheidung in unabhängige und abhängige Variablen.

Tab. 19 Korrelatives Design zur Prüfung der Zusammenhangsfragestellungen

		Ruhe, Belastung, Erholung		
		Stepp-Test 20 r_{A1}	Stepp-Test 25 r_{A2}	Stepp-Test 30 r_{A3}
K	Gesamtstichprobe	$r_{A1.1}$ Herzfrequenz $r_{A1.2}$ Blutdruck	$r_{A2.1}$ Herzfrequenz $r_{A2.2}$ Blutdruck	$r_{A3.1}$ Herzfrequenz $r_{A3.2}$ Blutdruck
			$r_{A1.1;\ A2.1}$ $r_{A1.2;\ A2.2}$	$r_{A1.1;\ A3.1}$ $r_{A1.2;\ A3.2}$ $R_{A2.1;\ A3.1}$ $R_{A2.2;\ A3.2}$

Anmerkung: K: korrelatives Design; r: Korrelationskoeffizient. Korrelationskoeffizienten ($r_{A,\ B}$) können Werte zwischen -1 (perfekt negativer Zusammenhang) und +1 (perfekt positiver Zusammenhang) annehmen.

4.2.5 DATENAUSWERTUNG UND STATISTIK

Datenauswertung und statistische Analyse entsprechen dem Vorgehen bei der BAuA-Studie (s. Kap. 3.2.5).

4.3 ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse dargestellt, die die Fragestellungen und Hypothesen (s. Kap. 4.1) beantworten sollen. Es ist herauszuarbeiten, welcher der drei Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) die stärkste Beanspruchung des kardiovaskulären Systems herbeiführt und somit eine zuverlässige Aussage zur kardiovaskulären Fitness einer Testperson ermöglicht (1), und ob sich die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung bei diesen Stepp-Tests geschlechtsspezifisch unterscheiden (2). Dazu werden erneut die kardiovaskulären Indikatoren Herzfrequenz und Blutdruck zu den drei Messzeitpunkten (*Ruhe, Belastung, Erholung*) in die ALMe unter Kontrolle der Kovariablen einbezogen. Den Fragestellungen entsprechend erfolgen die Analysen sowohl für die Gesamtstichprobe als auch für die geschlechtsspezifische Betrachtung von Männern und Frauen getrennt. Zunächst werden die Ergebnisse zur Ermittlung der Kovariaten beschrieben (s. Kap. 3.3.1).

4.3.1 FESTLEGUNG DER KOVARIABLEN

Zunächst wurde auch in der IPAS-Studie überprüft, welcher Zusammenhang zwischen möglichen Einflussfaktoren und der Herzfrequenz sowie dem Blutdruck bei *Belastung* in den Stepp-Tests besteht (s. Kap. 4.2.3). Folgende Einflussfaktoren wurden für Herzfrequenz (HF) und systolischen Blutdruck (SBD) zum Messzeitpunkt *Belastung* analysiert (Tab. 20):

- *Geschlecht*
- *Alter*
- Körpermaße: *Body-Mass-Index, Taille, Waist-Hip-Ratio, Waist-Hight-Ratio*
- Anzahl der *Sportstunden/Woche* [7]

Die Korrelationsanalyse der **Absolutwerte** ergab, dass die meisten Kovariablen unter *Belastung* stärker mit der Herzfrequenz korrelierten als mit dem systolischen Blutdruck (Tab. 20). Die Kovariablen zeigten zur Herzfrequenz allerdings einen negativen Zusammenhang (Ausnahme *Geschlecht*). Unabhängig davon verstärkten sich mit zunehmender Stepp-Anzahl (von ST20 - ST30) die Korrelationskoeffizienten der Herzfrequenz.

Für die ernährungsbezogenen Körpermaße (*BMI, Taille, WHR, WHtR*) ergaben sich durchgängig geringe Zusammenhänge zur Belastungsherzfrequenz (r = -.32 bis -.55), die sich für den systolischen Belastungsblutdruck noch geringer darstellten (r = .14 - .41).

[7] Auch hier werden die Ergebnisse der BIA sowie der PPI nicht berücksichtigt.

Tab. 20 Korrelationen zwischen den Kovariablen und Kurzbelastungstests (ST20, ST25, ST30) für kardiovaskuläre Indikatoren (Absolutwerte) - Gesamtstichprobe (n = 42)

Kovariablen		Herzfrequenz - Belastung			Systolischer Blutdruck - Belastung		
		ST20	ST25	ST30	ST20	ST25	ST30
Geschlecht	r-Wert	.33*	.29	.45**	-.35*	-.38*	-.22
	p-Wert	.032	.064	.003	.023	.013	.163
Alter	r-Wert	-.28	-.38**	-.40**	.01	-.08	.06
	p-Wert	.078	.013	.009	.928	.622	.717
BMI	r-Wert	-.41**	-.34*	**-.46****	.41**	.36*	.27
	p-Wert	.007	.027	.002	.006	.020	.083
Taille	r-Wert	-.35*	-.26	-.42**	.20	.16	.14
	p-Wert	.025	.093	.005	.199	.303	.390
WHR	r-Wert	-.39*	-.32*	-.44**	.21	.23	.19
	p-Wert	.011	.042	.004	.191	.144	.242
WHtR	r-Wert	-.36*	-.26	-.41**	.21	.17	.17
	p-Wert	.020	.094	.008	.182	.290	.281
Sportstunden/Woche	r-Wert	-.11	-.20	-.12	.40**	**.52*****	.45**
	p-Wert	.496	.206	.453	.009	<.001	.003

Anmerkungen: ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen; BMI: Body-Mass-Index, WHR: Waist-to-Hip-Ratio, WHtR: Waist-to-Height-Ratio; Korrelationskoeffizient (r): Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

Beim *Geschlecht* bestanden unter *Belastung* sowohl zur Herzfrequenz (r = .29 - .45) als auch zum systolischen Blutdruck (r = -.22 bis -.38) geringe Zusammenhänge. Für *Alter* ließen sich diesbezüglich ebenfalls nur geringe Korrelationen zur Herzfrequenz (r = -.28 bis -.40) und keine Zusammenhänge zum systolischen Blutdruck (r = -.08 bis .06) ermitteln. Hingegen korrelierte die Anzahl der *Sportstunden/Woche* bei *Belastung* stärker mit dem systolischen Blutdruck (r = .40 - .52) als mit der Herzfrequenz (r = -.11 bis -.20), d. h. beim Belastungsblutdruck der Stepp-Tests ist ein Einfluss der körperlichen Fitness zu vermuten.

Neben den Absolutwerten wurden auch hier wieder die **Differenzwerte** (Reaktivität: *Ruhe - Belastung;* Erholung: *Belastung - Erholung*) der kardiovaskulären Indikatoren mit den möglichen Kovariablen analysiert (Anh. C3.11). Dabei korrelierten die Kovariablen stärker mit den Differenzwerten der Herzfrequenz als mit dem systolischen Blutdruck.

Für die Herzfrequenz zeigten sich überwiegend geringe und teilweise mittlere Korrelationen (r = -.32 bis -.55) zwischen Reaktivitätswerten und ernährungsbezogenen Körpermaßen, wobei auch hier mit zunehmender Stepp-Anzahl beim ST30 die stärksten Korrelationen zu verzeichnen waren (r = -.46 bis -.55). Für den systolischen Blutdruck ergaben sich hier eher keine und nur selten sehr geringe bzw. geringe Korrelationen (r = -.04 bis -.25).

Alter (r = -.16 bis .02) erschien im Zusammenhang mit dem systolischen Blutdruck ebenfalls als vernachlässigbarer Einflussfaktor (Anh. C3.1$_1$), für *Sportstunden/ Woche* wurde von einem geringen Zusammenhang ausgegangen (r = .18 - .32).

Zusammenfassend konnte auch in der IPAS-Studie kein starker systematischer Einfluss einer Kovariablen auf die Herzfrequenz und den systolischen Blutdruck erkannt werden. Da diese Zusammenhänge überwiegend gering ausfielen, erfolgte aus Vergleichsgründen zur BAuA-Studie (s. Kap. 3.3.1) die Festlegung der Kovariablen auf *Geschlecht, Alter, BMI* und *Sportstunden/Woche*. Gestützt wurde diese Festlegung durch Literaturbefunde (Abbasi et al. 2013; Finger et al. 2013; Jackson et al 2009; Lakoski et al. 2011; Rauner, Mess & Woll 2013, S. 4), nach denen für diese Kovariablen ein eindeutiger Einfluss auf die kardiovaskulären Indikatoren postuliert wurde (s. Kap. 2.3).

4.3.2 STICHPROBENBESCHREIBUNG

Von den 60 Studien-Teilnehmern erfüllten 42 Testpersonen die Einschlusskriterien, d. h. die IPAS-Stichprobe umfasste 42 „gesunde" Männer und Frauen. Folgende Kriterien mussten erfüllt werden, um in die Auswertung eingehen zu können:

- Die Teilnehmer mussten gesund sein und sich subjektiv fit fühlen.
- Sie durften keine Medikamente einnehmen.
- Kontraindikationen für Herz-Kreislauf-Belastungstests, Lungenfunktionsprüfung sowie bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) mussten ausgeschlossen sein.

Männer wiesen einen höheren BMI auf (p = .037) und betätigten sich durchschnittlich länger sportlich als Frauen. Bei den Frauen waren 75 % normalgewichtig, 17 % übergewichtig und zwei Testpersonen untergewichtig (8 %). Die Männer verteilten sich nahezu gleichmäßig auf Normal- bzw. Übergewicht (Tab. 21).

Tab. 21 Deskriptive Analyse der Kovariaten - Gesamtstichprobe (n = 42)

		GSP	Männer	Frauen	Signifikanzprüfung	
Variable		n = 42	n = 18	n = 24	Prüfwert	p-Wert
Geschlecht	%	100.0	42.9	57.1		
Alter [Jahre]	MW ± SD	**40.6** ± 13.7	**39.9** ± 13.2	**41.1** ± 14.8	t = 0.27	.786
Körpergröße [cm]	MW ± SD	**171.2** ± 8.3	**178.4** ± 5.9	**165.8** ± 5.0	t = 7.44	**< .001**
Körpergewicht [kg]	MW ± SD	**69.8** ± 12.7	**81.1** ± 10.1	**61.4** ± 6.5	t = 7.69	**< .001**
Body-Mass-Index [kg/m²]	MW ± SD	**23.7** ± 3.0	**25.5** ± 1.9	**22.3** ± 3.3	t = 0.93	**.037***
- Untergewicht	%, (Anzahl)	**4.8** (2)	-	**8.3** (2)		
- Normalgewicht	%, (Anzahl)	**35.7** (28)	**55.6** (10)	**75.0** (18)	χ^2 = 4.86	**.030***
- Übergewicht/Adipositas	%, (Anzahl)	**28.6** (12)	**44.4** (8)	**16.7** (4)		
Sportstunden/Woche	MW ± SD	**3.6** ± 3.5	**4.7** ± 4.6	**2.9** ± 2.1	t = 1.58	.128

Anmerkung: GSP: Gesamtstichprobe; MW ± SD: Mittelwert ± Standardabweichung; Einteilung des BMI in Unter-, Normal- und Übergewicht (s. Kap. 2.4); t-Test für unabhängige Stichproben; χ^2-Test nach Pearson; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p <.01 * p < .05.

Zusammenfassend waren alle Testpersonen durchschnittlich trainiert und im mittleren Alter (s. Kap. 4.3.2).

Die explorative Datenanalyse zur Kontrolle auf etwaige Ausreißer ergab, dass keiner der erhobenen Werte als Extremwert (>3 Boxplots) ausgeschlossen werden musste (Anh. C3.2$_{3,4}$). Anschließend wurden alle Kovariablen mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung getestet. Fehlende Signifikanzen bei *BMI* und *Alter* ließen nicht von einer Normalverteilung ausgehen.

4.3.3 KARDIOVASKULÄRE BEANSPRUCHUNG UND ERHOLUNG DER STEPP-TESTS

Im Folgenden werden Unterschiede (a) und Zusammenhänge (b) der kardiovaskulären Indikatoren (HF, SBD, DBD) der drei Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) betrachtet. Dazu wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen der Absolut- und Differenzwerte von Herzfrequenz und Blutdruck zu den drei definierten drei Messzeitpunkten (*Ruhe – Belastung – Erholung*) mit Allgemeinen Linearen Modellen (ALM) mit Messwiederholung - unter Kontrolle der Kovariablen (*Geschlecht, Alter, BMI* und *Sportstunden/Woche*) - überprüft sowie Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Indikatoren untersucht. Entsprechend den Fragestellungen (s. Kap. 4.1) erfolgte zuerst die Analyse der Gesamtstichprobe und danach die des Geschlechtseffekts (Finger et al. 2013, Hossack & Bruce 1982).

4.3.3.1 VERGLEICH DER DREI STEPP-TESTS

In das **ALM** zur Überprüfung der kardiovaskulären Beanspruchung und Erholung gingen die Faktoren *Stepp-Test* (*ST: ST20, ST25, ST30*), *Differenzwerte* (*DIFF*: *Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung*) und *kardiovaskuläre Indikatoren* (*KI*: Herzfrequenz, systolischer und diastolischer Blutdruck) sowie die Kovariaten (*Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche*) ein, für die jeweils Haupt- und Wechselwirkungseffekte der Gesamtstichprobe berechnet (Tab. 21; Anh. C3.3) wurden. Auch die gemessenen Belastungszeiten wurden mitbetrachtet (Anh. C3.2$_3$). Zusätzlich wurde der t-Test für verbundene Stichproben zur Prüfung der Differenzmittelwerte herangezogen (Anh. C3.3$_3$).

Das Verhalten von Herzfrequenz und systolischem Blutdruck war durch die typische Kinetik unter Belastung gekennzeichnet (Abb. 7). Die Ruhe-Herzfrequenz lag bei allen drei Stepp-Tests vergleichbar im Mittel zwischen 76 bpm und 79 bpm (p = .437 - .153).

Unter den drei Stepp-Belastungen kam es zu dem typischen Anstieg der Herzfrequenz und des systolischen Blutdrucks (Abb. 8), wobei der Anstiegsgrad zwischen *Ruhe* und *Belastung* in den drei Stepp-Tests im Durchschnitt von 31 bpm bis 43 bpm variierte. Der Stepp-Test mit 30 Stufen zeigte die stärksten Anstiege, gefolgt von dem Test mit 25 und 20 Stufen (ST20: ∅ 108 bpm; ST25: ∅ 116 bpm; ST30: ∅ 122 bpm). Dennoch unterschieden sich im **t-Test** nur die *Belastungsmittelwerte* der Herzfrequenz zwischen ST20 und ST25 ($p = .002$, mittlerer Effekt) sowie zwischen ST20 und ST30 ($p < .001$, mittlerer Effekt) (Anh. $C3.3_3$).

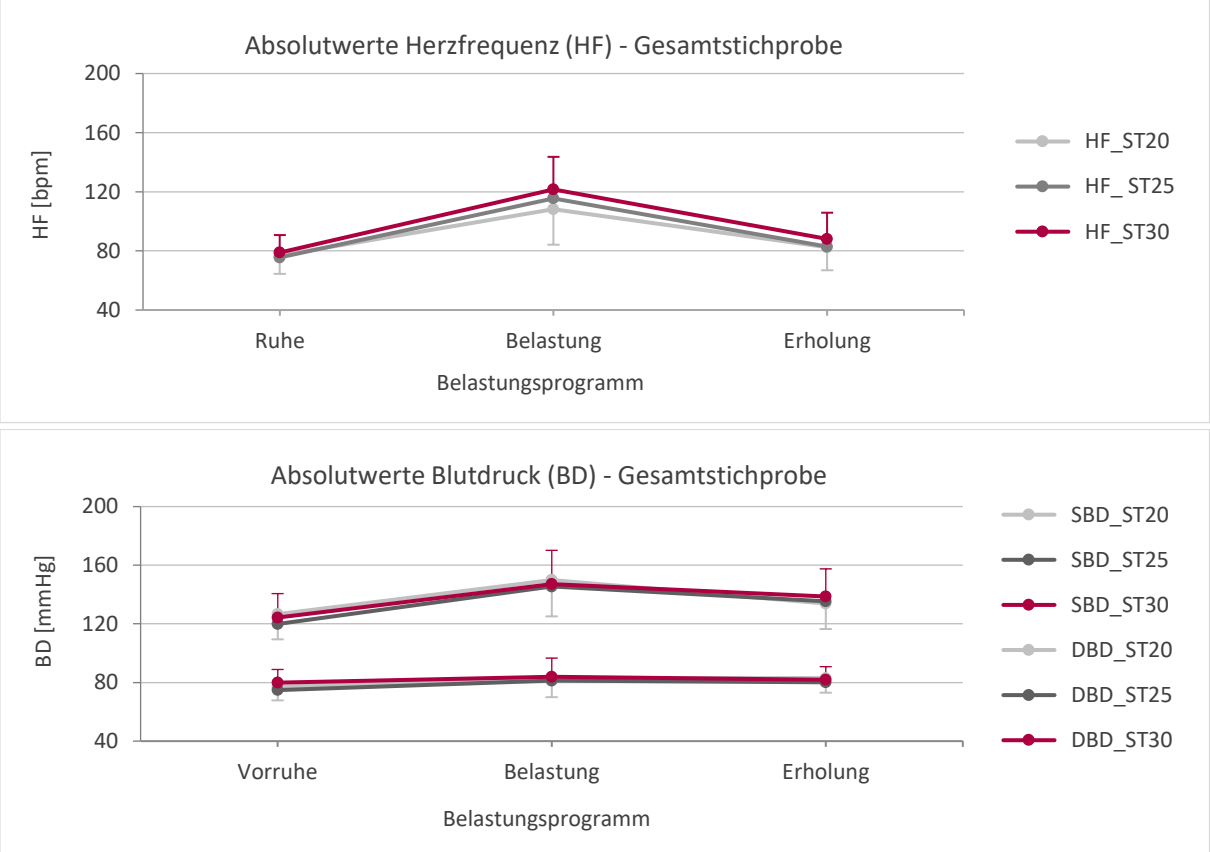


Abb. 7 Verlauf der kardiovaskulären Indikatoren (HF, SBD, DBD) während der Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) – Gesamtstichprobe (n = 42)

Für alle kardiovaskulären Indikatoren waren die *Erholungswerte* geringer als die *Reaktivitätswerte.* Dass die Mittelwerte der Reaktivität (*Ruhe – Belastung*) für Herzfrequenz und systolischen Blutdruck immer signifikant ($p < .001$) größer ausfielen als für *Erholung* (*Belastung - Erholung*) war ein Hinweis darauf, dass sich diese Indikatoren in der Erholungsphase nicht vollständig zurückstellten, d. h. sie erreichten nach der dreiminütigen Erholungsphase nicht das Ausgangsniveau in *Ruhe* (Abb. 8). Diesen Fakt bestätigten die Differenzen *Ruhe – Erholung* in den drei Stepp-Tests (HF: ∅ 6 - 9 bpm, $p < .001$; SBD: ∅ 7 – 15 mmHg, $p < .001$; DBD: ∅ 0 - 2 mmHg, $p < .001$ - Ausnahme DBD ST30: $p = .144$).

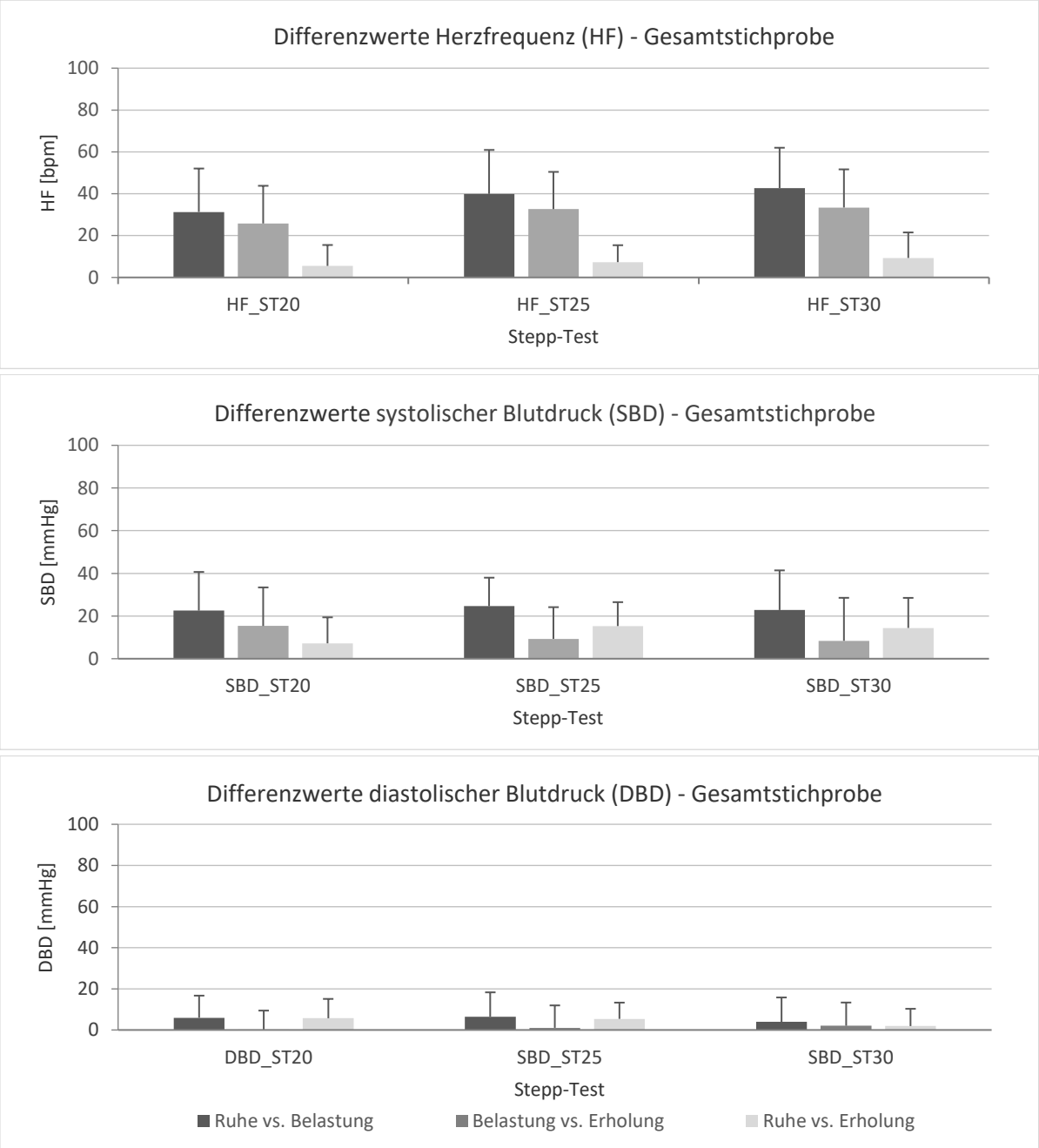


Abb. 8 Kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung (Differenzwerte für HF, SBD, DBD) bei Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) – Gesamtstichprobe (n = 42)

Für die Blutdruck-Reaktivität konnte mit der steigenden Stepp-Anzahl keine klare Staffelung ST30 (∅ 23/4 mmHg) > ST25 (∅ 25/7 mmHg) > ST20 (∅ 23/6 mmHg) abgelesen werden (SBD: p = .404 - .893; DBD: p = .116 - .753). Die Teilnehmer benötigten mit zunehmender Stufenanzahl erwartungsgemäß auch signifikant mehr Zeit zur Bewältigung der Stepp-Tests (ST20: Ø 27 s, ST25: Ø 29 s, ST30: Ø 34 s, p = .006 bis < .001, mittlere bzw. große Effekte; Anh. C3.2$_3$). Allerdings war - trotz längerer Belastungszeit - die „Mehr-Belastung“ des ST30 gegenüber den anderen Stepp-Tests im **ALM** mit Messwiederholung zunächst nicht darstellbar (Tab. 22; Abb. 7 und 8). Es wurde kein signifikanter Haupteffekt

für den Faktor *Stepp-Test* gefunden (p = .435). Durch die Stepp-Tests wurde eine durchschnittliche Ausbelastung von 61 % (ST20) bis 68 % (ST30) der HF_{max} induziert, die einer leichten Belastung entspricht (Pescatello et al. 2014). Dennoch reichte bei allen kardiovaskulären Indikatoren in allen Stepp-Tests die Erholungsphase nicht aus, um wieder die Ausgangswerte in *Ruhe* zu erreichen. Für *Geschlecht* (p = .002) und *Sportstunden/Woche* (p = .025) wurden Haupteffekte beobachtet, d. h. neben dem *Geschlecht* hat indirekt die körperliche Fitness Einfluss auf die Ergebnisse in den Stepp-Tests (p = .042).

Tab. 22 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Faktoren Stepp-Test (ST), Differenzwerte (Diff), kardiovaskuläre Indikatoren (KI – mit DBD) und Kovariaten – Gesamtstichprobe (n = 42)

Effekt	Wert	F-Wert	Hypothesen-df	Fehler df	p-Wert	η^2
ST	.047	.85	2	36	.435	.045
ST * Geschlecht	.070	1.27	2	36	.294	.066
ST * Alter	.125	2.25	2	36	.120	.111
ST * BMI	.123	2.22	2	36	.124	.110
ST * Sportstunden/Woche	.192	3.45	2	36	**.042***	.161
DIFF	.087	3.23	1	37	.081	.080
DIFF * Geschlecht	.079	2.93	1	37	.095	.073
DIFF * Alter	.001	.02	1	37	.881	.001
DIFF * BMI	.014	.53	1	37	.470	.014
DIFF * Sportstunden/Woche	.018	.67	1	37	.418	.018
KI	.258	4.64	2	36	**.016***	.205
KI * Geschlecht	.110	1.98	2	36	.153	.099
KI * Alter	.112	2.03	2	36	.147	.101
KI * BMI	.078	1.40	2	36	.261	.072
KI * Sportstunden/Woche	.214	3.85	2	36	**.031***	.176
Kovariate	**MW^2**					
Konstanter Term	302.888	8.87	1	-	.005	.193
Geschlecht	365.967	10.72	1	-	**.002****	.225
Alter	82.512	2.42	1	-	.129	.061
BMI	15.942	.47	1	-	.499	.012
Sportstunden/Woche	187.681	5.50	1	-	**.025***	.129
Fehler	34.133		37			

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m^2]; Allgemeines Lineares Modell mit Messwiederholung (Design: Konstanter Term + Geschlecht + Alter + BMI + Sportstunden/Woche); Innersubjektdesign: Stepp-Test ST (ST20, ST25, ST30) + DIFF (Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung) + KI (HF, SBD, DBD); Prüfgröße: F; MW^2: Quadrat. Mittelwert; η^2: partielles Eta-Quadrat; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

Da in der Literatur die Aussagekraft des diastolischen Blutdrucks in Belastungsuntersuchungen angezweifelt wird (Haider et al. 2003), wurde ein ALM ohne diesen Indikator berechnet (Anh. $C3.3_1$). Auch in diesem Modell wurden Einflüsse der *Sportstunden/Woche* (p = .029) und des *Geschlechts* (p = .047) belegt.

In der **Zusammenhangsanalyse** der kardiovaskulären **Absolutwerte** ließen sich bei allen kardiovaskulären Indikatoren für *Belastung* die stärksten Korrelationen zwischen den

Stepp-Tests nachweisen (r = .64 - .86). Hier traten für den systolischen Blutdruck die höchsten Korrelationskoeffizienten auf, die 64 % bis 70 % der Varianz erklären (Tab. 23).

Tab. 23 Korrelationen zwischen den Kurzbelastungstests (ST20, ST25, ST30) und den kardiovaskulären Indikatoren (Absolutwerte) – Gesamtstichprobe (n = 42)

Test	Belastungsprogramm		ST25			ST30		
			Ruhe	Belastung	Erholung	Ruhe	Belastung	Erholung
ST20	Herzfrequenz							
Herzfrequenz	Ruhe	r-Wert	.62***	.29	.66***	.73***	.38*	.56***
		p-Wert	< .001	.060	< .001	< .001	.014	< .001
	Belastung	r-Wert	.19	.66***	.42**	.40**	.75***	.49**
		p-Wert	.218	< .001	.006	.009	< .001	.001
	Erholung	r-Wert	.59***	.43**	.72***	.61***	.47**	.63***
		p-Wert	< .001	.004	< .001	< .001	.002	< .001
ST20	Systolischer Blutdruck							
Systolischer Blutdruck	Ruhe	r-Wert	.76***	.66***	.72***	.85***	.53***	.68****
		p-Wert	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
	Belastung	r-Wert	.70***	.84***	.69***	.55***	.80***	.64***
		p-Wert	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
	Erholung	r-Wert	.65***	.64***	.73***	.76***	.64***	.67***
		p-Wert	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
ST20	Diastolischer Blutdruck							
Diastolischer Blutdruck	Ruhe	r-Wert	.67***	.29	.52***	.51**	.25	.38*
		p-Wert	< .001	.063	< .001	.007	.106	.013
	Belastung	r-Wert	.45**	.64***	.53***	.33*	.65**	.46**
		p-Wert	.003	< .001	< .001	.033	< .001	.002
	Erholung	r-Wert	.40**	.53***	.54***	.33*	.49**	.53***
		p-Wert	.008	< .001	< .001	.035	.001	< .001
ST25	Herzfrequenz							
Herzfrequenz	Ruhe	r-Wert	-	-	-	.78***	.22	.63***
		p-Wert	-	-	-	< .001	.170	< .001
	Belastung	r-Wert	-	-	-	.50**	.86***	.59***
		p-Wert	-	-	-	.001	< .001	< .001
	Erholung	r-Wert	-	-	-	.82***	.47**	.82***
		p-Wert	-	-	-	< .001	.002	< .001
ST25	Systolischer Blutdruck							
Systolischer Blutdruck	Ruhe	r-Wert	-	-	-	.76***	.62***	.70***
		p-Wert	-	-	-	< .001	< .001	< .001
	Belastung	r-Wert	-	-	-	.65***	.84***	.63***
		p-Wert	-	-	-	< .001	< .001	< .001
	Erholung	r-Wert	-	-	-	.75***	.65***	.87***
		p-Wert	-	-	-	< .001	< .001	< .001
ST25	Diastolischer Blutdruck							
Diastolischer Blutdruck	Ruhe	r-Wert	-	-	-	.65***	.31*	.47**
		p-Wert	-	-	-	< .001	.046	.002
	Belastung	r-Wert	-	-	-	.47**	.79***	.57***
		p-Wert	-	-	-	.002	< .001	< .001
	Erholung	r-Wert	-	-	-	.59***	.53***	.65***
		p-Wert	-	-	-	< .001	< .001	< .001

Anmerkungen: ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen; Korrelationskoeffizient (r): Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

Für die **Differenzwerte** der *Reaktivität* und *Erholung* fanden sich für alle kardiovaskulären Indikatoren ebenfalls mittelstarke, starke und sogar sehr starke Korrelation zwischen den Stepp-Tests (Anh. C3.3$_2$), was für eine vergleichbare Beanspruchung dieser Tests spricht.

Zusammenfassung: Die **Hypothese H 1a** ging davon aus, dass sich kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung - unter Kontrolle der Kovariablen - in den drei Stepp-Tests unterscheiden. Im ALM ließen sich für die Faktoren *Stepp-Test* (p = .435) und *Differenzwerte* (p = .081) keine Haupteffekte nachweisen (Tab. 22). Im Umkehrschluss war zunächst zu vermuten, dass es zwischen den drei Stepp-Tests keine Beanspruchungsunterschiede gab. Lediglich für die Herzfrequenz zeigten sich im t-Test Mittelwertunterschiede für die Reaktivität zwischen den Stepp-Tests (p = .002 bzw. p < .001, mittlere Effekte). Die Belastungszeit unterschied sich allerdings zwischen den Stepp-Tests signifikant (p = .006 bis < .001, mittlere bzw. große Effekte). Als Einflussfaktoren auf diese Ergebnisse stellten sich *Geschlecht* (Haupteffekt: p = .002, großer Effekt) und *Sportstunden/Woche* (Haupteffekt: p = .025, mittlerer Effekt; Wechselwirkungseffekte mit: *Stepp-Test* p = .042, großer Effekt; *kardiovaskuläre Indikatoren* p = .031, großer Effekt) heraus.

Zusammenfassend erhöhten sich durchschnittliche Belastungszeit und kardiovaskuläre Beanspruchung mit ansteigender Stufenzahl gering. Der Ausbelastungsgrad entsprach bei allen drei Tests nur einer leichten Belastung und schwankte zwischen 61 % und 68 %. Für Männer und Frauen schienen die Stepp-Tests eine unterschiedliche kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung auszulösen, die zudem durch die individuelle körperliche Fitness beeinflusst war. **H 1a** wurde bestätigt.

In der Korrelationsanalyse konnte der, in **Hypothese H 1b** erwartete, hohe Zusammenhang zwischen den Stepp-Tests nur für den systolischen Belastungsblutdruck (r = .80 - .84) bestätigt werden (Tab. 23). Für Herzfrequenz und diastolischen Blutdruck fanden sich diesbezüglich mittlere bis hohe Zusammenhänge (r = .51 - .79). Dieser Effekt traf auch auf die Differenzwerte der Reaktivität und Erholung für alle kardiovaskulären Indikatoren zu (Anh. C3.3$_2$). **H 1b** wurde abgelehnt.

4.3.3.2 GESCHLECHTERVERGLEICH DER DREI STEPP-TESTS

Analog dem Vorgehen in Kapitel 4.3.3.1 war nachfolgend zu analysieren, wie sich die *Geschlechtseffekte* bei der Bewältigung der Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) - unter Kontrolle von *Alter, BMI* und *Sportstunden/Woche* – darstellten (Abb. 9, Tab. 24 und 25). Zur einfachen Prüfung der Geschlechtseffekte diente der t-Test für abhängige Stichproben (Anh. C3.4$_3$). Die ergänzenden Ergebnisse wurden im Anhang C3.4 zusammengestellt.

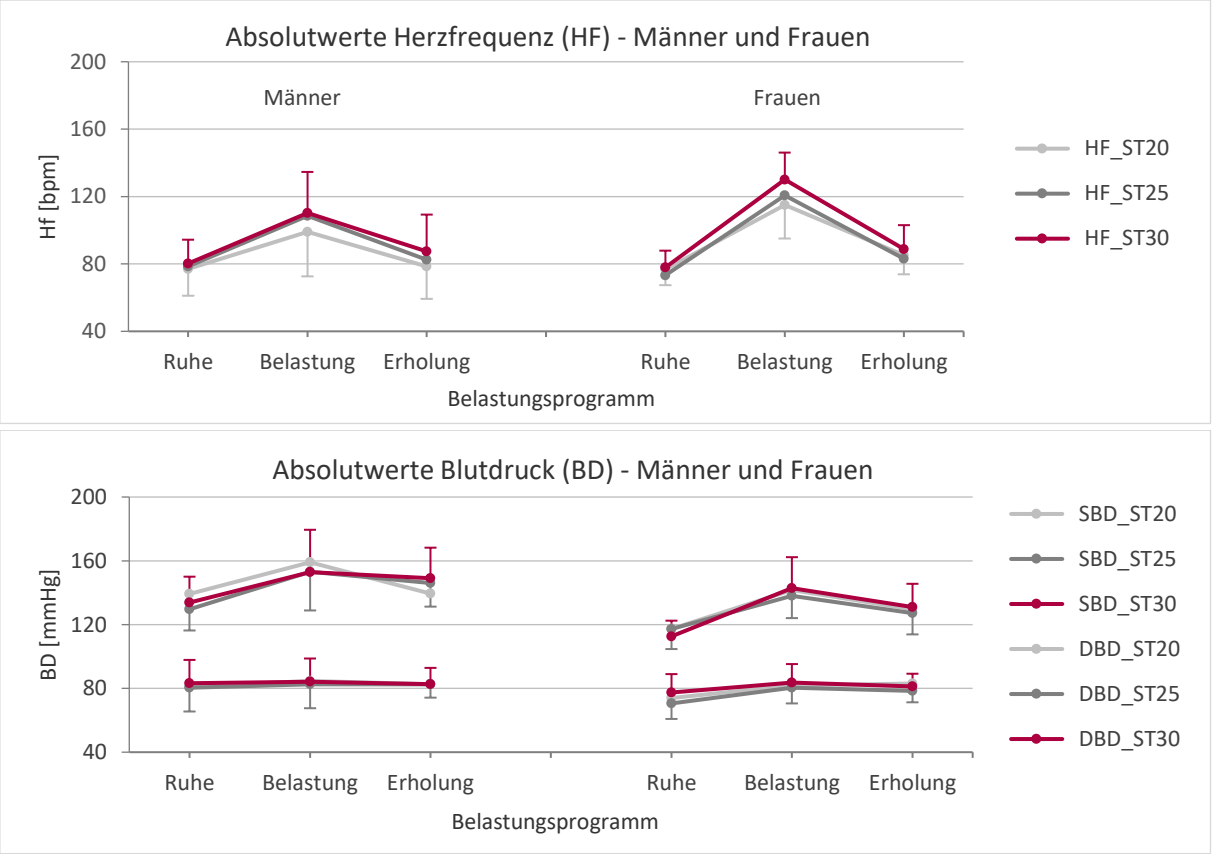


Abb. 9 Verlauf der kardiovaskulären Indikatoren (HF, SBD, DBD) während der Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) – Männer (n = 18) und Frauen (n = 24)

Das Verhalten der kardiovaskulären Indikatoren von Männern und Frauen ähnelte zwar dem der Gesamtstichprobe (Abb. 9), jedoch gab es diesbezüglich geschlechtsspezifische Unterschiede. Die Belastungszeiten stiegen bei Männern und Frauen mit steigender Stufenanzahl von ST20 bis ST30 um durchschnittlich 7 s an (ST20: ♂ = 25 s, ♀ = 28 s; ST25: ♂ = 28 s ♀ = 30 s; ST30: ♂ = 32 s, ♀ = 35 s, $p < .001$, große Effekte; Anh. 3.4_5). Obwohl die Frauen für die Stepp-Tests durchschnittlich 3 s länger benötigten, unterschieden sich die Belastungszeiten der beiden Geschlechtergruppen nicht signifikant ($p = .198$ - $.368$).

Beide Geschlechtergruppen starteten in den Stepp-Tests mit einer vergleichbaren, durchschnittlichen Ruheherzfrequenz um die 80 bpm ($p = .186$ - $.947$), die aber nach der dreiminütigen Erholungsphase vor allem von den Frauen noch nicht wieder erreicht wurde (♂: ∅ 2 - 7 bpm; ♀: ∅ 9 - 11 bpm). Unter *Belastung* zeigten sich bei allen drei Stepp-Tests bei Frauen höhere **Herzfrequenzen** als bei Männern; Frauen hatten stärkere Herzfrequenzanstiege als Männer (ST30: ♂: ∅ 30 bpm; ♀: ∅ 52 bpm, $p = .003$). Nichtsdestotrotz fand sich im Vergleich von Männern und Frauen die gleiche Staffelung der Herzfrequenzzunahme wie in der Gesamtstichprobe: ST30 > ST25 > ST20 (Anh. $C3.2_{1,2}$).

Ein entgegengesetztes Phänomen war beim **Blutdruck** zu beobachten: Hier wiesen die Frauen bereits in *Ruhe* geringere Blutdruckmittelwerte auf als die Männer (♂: ∅ 134/74 mmHg, ♀: ∅ 116/82 mmHg, $p < .001$). Folgend kam es unter *Belastung* bei den Männern nur zu einem leicht schwächeren (nicht signifikanten) Blutdruckanstieg als bei den Frauen (♂: ∅ 20/3 - 23/2 mmHg, ♀: ∅ 25/8 - 26/6 mmHg, $p \geq .050$). In der *Erholung* fiel der systolische Blutdruck bei allen Stepp-Tests im Durchschnitt wieder ab, erreichte aber auch hier nicht die Ausgangswerte (♂: ∅ 139/83 – 149/83 mmHg; ♀: ∅ 130/83 – 131/81 mmHg, SBD: $p = .071$ bis $<.001$, DBD: $p \geq .050$; Anh. C3.2$_{1,2}$), während sich der diastolische Blutdruck in beiden Geschlechtergruppen in der Erholungsphase kaum veränderte. Geschlechtsspezifisch differentes Erholungsverhalten war am ehesten beim ST20 und ST25 zu erkennen ($p <. 050$), während sich für den ST30 kein Geschlechtsunterschied ergab ($p \geq .050$).

Zur Analyse von geschlechtsspezifischen Haupt- und Wechselwirkungseffekten gingen in das **ALM** wiederum die Faktoren *Stepp-Test* (ST20, ST25, ST30), *Absolutwerte* (*AW* der Messzeitpunkte: *Ruhe – Belastung – Erholung*) und *kardiovaskuläre Indikatoren* (*KI*: HF, SBD, DBD) sowie der Zwischensubjektfaktor *Geschlecht* und die Kovariaten (*Alter, BMI, Sportstunden/Woche*) ein (Tab. 24; Anh. C3.4$_{1,2}$).

Tab. 24 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Faktoren Stepp-Test (ST), Absolutwerte der Messzeitpunkte (AW), kardiovaskuläre Indikatoren (KI – mit DBD) und der Kovariaten – Männer (n = 18) und Frauen (n = 24)

Effekt	Wert	F-Wert	Hypothesen - df	Fehler df	p-Wert	η^2
ST	.006	.10	2	36	.904	.006
ST * Geschlecht	.221	3.98	2	36	**.027***	.181
ST * Alter	.050	.90	2	36	.416	.048
ST * BMI	.014	.25	2	36	.778	.014
ST * Sportstunden/Woche	.028	.50	2	36	.610	.027
AW	.276	4.98	2	36	**.012***	.217
AW * Geschlecht	.317	5.71	2	36	**.007****	.241
AW * Alter	.072	1.30	2	36	.285	.067
AW * BMI	.022	.40	2	36	.674	.022
AW * Sportstunden/Woche	.200	3.59	2	36	**.038***	.166
KI	.373	6.71	2	36	**.003***	.271
KI * Geschlecht	.087	1.56	2	36	.223	.080
KI * Alter	.224	4.03	2	36	**.026***	.183
KI * BMI	.064	1.15	2	36	.328	.060
KI * Sportstunden/Woche	.255	4.58	2	36	**.017***	.203
Zwischensubjekteffekte	**MW²**					
Geschlecht	62.37	.05	1		.824	.001
Kovariate						
Konstanter Term	72716.05	58.45	1	-	<.001	.612
Alter	670.86	.54	1	-	.467	.014
BMI	4884.65	3.93	1	-	.055	.096
Sportstunden/Woche	3700.72	2.97	1	-	.093	.074
Fehler	1244.11		37			

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m²]; Allgemeines Lineares Modell mit Messwiederholung (Design: Konstanter Term + Alter + BMI + Sportstunden/Woche); Innersubjektdesign: Stepp-Test ST (ST20, ST25, ST30) + DIFF (Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung) + VP (HF, SBD, DBD); Prüfgröße: F; MW²: Quadrat. Mittelwert; η^2: partielles Eta-Quadrat; Signifikanz (zweiseitig): *** $p < .001$ ** $p < .01$ * $p < .05$.

Es ließ sich zunächst weder für den Zwischensubjektfaktor *Geschlecht* noch für *Alter, BMI* und *Sportstunden/Woche* ein Haupteffekt darstellen. Das traf auch auf den Faktor *Stepp-Test* zu (p = .904). Es gab aber Wechselwirkungseffekte der Faktoren *Stepp-Test* (p = .027, großer Effekt) und *Absolutwerte* (p = .007, großer Effekt) mit *Geschlecht.* Hinzu kamen Wechselwirkungseffekte der Faktoren *Absolutwerte* (p = .038, großer Effekt) und *kardiovaskuläre Indikatoren* (p = .017, großer Effekt) mit *Sportstunden/Woche*. Für beide Faktoren wurden auch Haupteffekte ermittelt (*AW*: p = .012, großer Effekt; *KI*: p = .003, großer Effekt). Zusätzlich ergab sich für die *kardiovaskulären Indikatoren* ein Wechselwirkungseffekt mit dem *Alter* (p = .026, großer Effekt).

Dieses Modell bestätigte für Männer und Frauen unterschiedliche Niveauwerte der kardiovaskulären Indikatoren, bei denen die Reaktivitäts- und Erholungswerte durch die kardiovaskuläre Fitness und das Alter beeinflusst wurden.

Bei getrennter ALM-Analyse für Männer und Frauen zeigte sich bei beiden Geschlechtern kein nachweisbarer Unterschied im Faktor *Stepp-Test* (♂: p = .268; ♀: p = .721; Anh. C3.4$_1$). Als einzige Kovariable fand sich hier für den *BMI* der Männer ein signifikanter Wechselwirkungseffekt mit dem *Stepp-Test* (p = .043, η^2 = .383). Der Ausschluss des diastolischen Blutdrucks aus den ALMen erbrachte keine Effektverbesserung (Anh. C3.4$_2$).

Der Fragestellung entsprechend wurden **partielle Zusammenhänge** unter der Kontrolle des *Geschlechts* für den Messzeitpunkt *Belastung* berechnet (Tab. 25).

Tab. 25 Partielle Korrelation der kardiovaskulären Indikatoren (Belastungswerte) unter Kontrolle von Geschlecht – Gesamtstichprobe (n = 42)

ST20	Belastungs-programm		ST25 HF	ST25 SBD	ST25 DBD	ST30 HF	ST30 SBD	ST30 DBD
HF	Belastung	r-Wert	**.63*** **	-.38*	-.05	**.72*** **	-.41**	-.13
		p-Wert	<.001	.015	.738	<.001	.008	.422
SBD	Belastung	r-Wert	-.26	**.81*** **	.49**	-.32*	**.79*** **	.57***
		p-Wert	.107	<.001	.001	.041	<.001	<.001
DBD	Belastung	r-Wert	-.12	.60***	**.64*** **	-.17	.67***	**.65*** **
		p-Wert	.467	<.001	<.001	.292	<.001	<.001
ST25								
HF	Belastung	r-Wert	-	-	-	**.86*** **	-.41**	-.26
		p-Wert	-	-	-	<.001	.008	.103
SBD	Belastung	r-Wert	-	-	-	-.39*	**.83*** **	.59***
		p-Wert	-	-	-	.011	<.001	<.001
DBD	Belastung	r-Wert	-	-	-	-.13	.69***	**.79*** **
		p-Wert	-	-	-	.413	<.001	<.001

Anmerkungen: ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEKG: Belastungs-Elektrokardiographie; Korrelationskoeffizient (r): Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

Verglichen wurden die kardiovaskulären Indikatoren bei *Belastung* zwischen den Stepp-Tests. Die stärksten Korrelationen zeigten sich zwischen ST25 und ST30 (HF: r = .86, SBD: r = .83, DBD: r = .79). Darauf folgten die Zusammenhänge von ST20 zu ST30 (r = .65 - .79) und ST20 zu ST25 mit leicht schwächeren (mittelstarken bzw. starken) Korrelationskoeffizienten. Nur für den systolischen Blutdruck waren ausschließlich starke Korrelationen zwischen den Stepp-Tests zu verzeichnen (r = .79 - .83), die bis zu 69 % der Varianz erklärten (Tab. 25).

Bei Männern korrelierten die Belastungszeiten der Stepp-Tests hoch bzw. sehr hoch (p = .86 - .96); bei den Frauen waren diese Zusammenhänge schwächer (p = .63 - .96), was eher ein unterschiedliches Verhalten bei den Stepp-Tests signalisiert (Anh. C3.4$_5$).

Die **Hypothese H 2a** postulierte, dass sich Herzfrequenz und Blutdruck zwischen beiden Geschlechtern – unter Kontrolle von *Alter, BMI, Sportstunden/Woche* – unter *Ruhe, Belastung* und *Erholung* in den drei Stepp-Tests unterscheiden. Zusammenfassend war bei beiden Geschlechtern von einer vergleichbaren Ruheherzfrequenz, aber bei den Männern von einem signifikant höheren Ruheblutdruck auszugehen als bei den Frauen. Im ALM ergaben sich weder Haupteffekte für die Faktoren *Absolutwerte* zu den Messzeitpunkten und *kardiovaskuläre Indikatoren* noch Wechselwirkungseffekte mit dem *Geschlecht* (Zwischensubjektfaktor) sowie den Kovariablen *Sportstunden/Woche* und *Alter*. Geschlechtsbezogene Beanspruchungs- und Erholungsunterschiede in den Stepp-Tests ließen sich allein für die Belastungsherzfrequenz und den Erholungsblutdruck mittels t-Test statistisch darlegen. Beeinflusst wurden die kardiovaskuläre Reaktivität und Erholung durch die Fitness und das *Alter*. Danach schien die Bewältigung der Stepp-Tests für Frauen mit einer stärkeren kardiovaskulären Beanspruchung und einem verzögerten Erholungsverhalten einherzugehen. Somit wurde **H 2a** bestätigt.

Nach **Hypothese H 2b** wurde für Herzfrequenz und Blutdruck – unter Kontrolle des *Geschlechts* - bei *Belastung* ein hoher Zusammenhang (r ≥ .70) zwischen den Stepp-Tests angenommen. Diese Annahme ließ sich durch die starken Korrelationen der Belastungsherzfrequenz und des systolischen Belastungsblutdrucks zwischen den Stepp-Tests bestätigen. Insgesamt unterschieden sich Korrelationen ohne und mit Kontrolle des *Geschlechts* nicht bedeutsam. Somit wurde **H 2b** bestätigt.

4.4 DISKUSSION

Mit der IPAS-Stichprobe sollten Unterschiede und Zusammenhänge zwischen den drei Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) sowie der Stepp-Test mit der besten Ausbelastung herausgestellt werden. Dieser Test sollte als Screeningverfahren für präventivmedizinische Fragestellungen einsetzbar sein (1). Auch sollten mögliche kardiovaskuläre Beanspruchungs- und Erholungsunterschiede für die drei Stepp-Tests geschlechtsspezifisch verglichen werden (2). Hinzu kam eine Analyse von Kovariablen, für die ein deutlicher Effekt auf die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit postuliert wird (Abbasi et al. 2013; Finger et al. 2013; Jackson et al. 2009; Lakoski et al. 2011; Rauner et al. 2013) (s. Kap. 2.4).

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen sollen nachfolgend die zentralen Ergebnisse dieser Studie unter Berücksichtigung der aktuellen Forschungslage diskutiert und eingeordnet werden. In der IPAS-Stichprobe sind methodische Limitationen gegeben (s. Kap. 3.4), die im Vorfeld nicht ausgeschlossen werden konnten. Folgend werden diese Limitationen sowie aufgetretene Effekte kritisch hinterfragt. Dabei werden neueste Studien mit einbezogen.

4.4.1 UNTERSUCHUNGSKRITIK

Ex-post-facto-Design. Die untersuchten Variablen wurden einer nachträglichen Analyse unterzogen. Einflüsse von unabhängigen Variablen wurden nicht beachtet (s. Kap. 3.4.1).

Aktuelle Einflussfaktoren. Der Untersuchungsaufbau musste aus organisatorischen und belastungsbezogenen Gründen an zwei Tagen erfolgen. Einflüsse aufgrund der zirkadianen Schwankungen sowie resultierende Effekte auf intra- und interpersonelle Faktoren, die die kardiovaskulären Indikatoren beeinflussen könnten, waren wahrscheinlich (s. Kap. 3.4.1).

Stichprobe. Die Teilnahme an der IPAS-Studie erfolgte freiwillig und die Teilnehmer wurden mittels eines Aushangs auf die Untersuchung aufmerksam gemacht (Gelegenheitsstichprobe). Diese Konstellation ließ von einem Selektionseffekt unterschiedlichster Genese ausgehen (s. Kap. 3.4.1). Weitere Untersuchungen sollten die Ergebnisse stützen und diese Effekte reduzieren.

Da die Datenerhebung im Jahr 2015 erfolgte, wurde nicht auf die neuerdings eingeführten Geschlechtsausprägungen eingegangen. Hier wären theoretisch weitere Effekte denkbar.

Messverfahren und Erhebungsinstrumente. Mitarbeit der Testperson, statistisches Einbeziehen des Zufalls und mangelnde Normalverteilung sind im Kontext von Untersuchun-

gen bekannte Probleme. Auch an dieser Stichprobe ist zu bemängeln, dass nur wenige Teilnehmer den submaximalen Belastungsbereich (76 - 95 % HF_{max}) bei den Tests erreichten (s. Kap. 3.4.1). So wurde bei den Stepp-Tests nur eine durchschnittliche Ausbelastung von ≥ 60 % der HF_{max} (ST30: 68 % > ST25: 65 % > ST20: 61 %) erreicht (Pescatello et al. 2014). Ein variierendes Maß der Korrelationen (r = .41 - .85) bei den Ruhe-Herzfrequenzen ist Ausdruck der unterschiedlichen Aktivitätslevel zu Beginn der Untersuchungen.

Stepp-Tests können jedoch gut ortsunabhängig eingesetzt werden und erfordern nur ein Minimum an Equipment. Als präventivmedizinisches Screeningverfahren sind diese Tests gut geeignet. Einzig muss an eine individuelle Einstellung der Stufenhöhe für kleinere und größere Personen bei diesen Tests gedacht werden. In dieser Studie betrug die durchschnittliche Körpergröße der Männer 178 ± 6 cm und die der Frauen 166 ± 5 cm.

Auswertungsstrategien. Das ALM geht mit gewissen Einschränkungen und Voraussetzungen einher, denen eventuell nicht ausreichend Rechnung getragen wurde, wie z. B. einer großen Varianz der Messwerte (s. Kap. 3.4.1).

4.4.2 KARDIOVASKULÄRE BEANSPRUCHUNG UND ERHOLUNG BEI STEPP-TESTS

Es wurde die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung bei den Stepp-Tests ST20, ST25 und ST30 untersucht, um den Stepp-Test zu identifizieren, der die stärkste Beanspruchung des kardiovaskulären Systems induziert und damit eine zuverlässige Aussage zur kardiovaskulären Fitness einer Testperson sichert. Ergänzend wurden diesbezüglich Männer mit Frauen verglichen, um daraus Schlussfolgerungen für die Prävention abzuleiten.

Im ALM fanden sich keine signifikanten Haupteffekte für die Faktoren *Stepp-Test (ST)* und *Differenzwerte* - mit (p = .435, p = .081) und ohne (p = .937, p = .261) Einbeziehung des diastolischen Blutdrucks in die ALMe. Der t-Test offenbarte jedoch für die Herzfrequenz Unterschiede, die auf eine unterschiedliche kardiovaskuläre Beanspruchung von ST20 und ST25 (p = .002) bzw. ST30 (p < .001) hinwiesen. Allerdings erhöhte sich bei den Stepp-Belastungen nur die Herzfrequenz - von ST20 bis ST30 um durchschnittlich 14 bpm, während sich der Blutdruck diesbezüglich kaum veränderte (Abb. 8, s. Anh. $C3.2_2$). Dieser Effekt wird durch die Belastungszeit gestützt, die sich von ST20 bis ST30 um durchschnittlich 7 s verlängerte (p = .006 bis < .001; Anh. $C3.4_5$). Die Kreislaufbelastung schien somit eher die Herztätigkeit zu beschleunigen als den Blutdruck zu erhöhen, was als eher geringe Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems interpretiert wurde. Damit bestand ein statistischer Beleg dafür, dass ST30 in der Tendenz zu einer „stärkeren“ Herz-Kreislauf-Reaktion

führte als die Stepp-Tests mit weniger Stufen. In der Erholungsphase erreichte jedoch keiner der kardiovaskulären Indikatoren wieder das Ausgangsniveau in *Ruhe*, was auf eine unvollständige Rückstellung der kardiovaskulären Indikatoren schließen ließ.

Auf die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung hatten das *Geschlecht* (mit DBD: p = .002, ohne DBD: p = .002) sowie die *Sportstunden/Woche* (p = .025) und damit die individuelle körperliche Fitness Einfluss. Beide Einflussfaktoren sind bei der Interpretation der Testresultate zu beachten. Im Geschlechtervergleich zeigte sich für *Geschlecht* allerdings kein Haupteffekt und bei separater Betrachtung der Männer und Frauen war keine signifikant unterschiedliche Beanspruchung und Erholung für die Stepp-Tests nachweisbar.

Verwunderlich erschien, dass die *Reaktivität* (*Ruhe – Belastung*) des systolischen Blutdrucks im ST20 größer war als die vergleichbare Differenz des ST25. Dies könnte als eine physiologische Stressreaktion vor dem ersten Stepp-Test gewertet werden oder aus eventuell leicht veränderten Messbedingungen zwischen den beiden Untersuchungstagen resultieren. Die unbekannte Untersuchungsmethode und die Tatsache, dass mehrere Teilnehmer getestet wurden (Konkurrenzsituation), lassen vor allem den systolischen Blutdruck ansteigen (Jouven et al. 2009). Auch zeigte sich bei den Stepp-Tests mit 25 und 30 Stufen eine größere systolische Blutdruckdifferenz zwischen *Ruhe* und *Erholung* als zwischen *Belastung* und *Erholung*. Erklärbar wird dieser Effekt dadurch, dass der Anstieg des Blutdrucks in seiner Kinetik gegenüber dem der Herzfrequenz einige Zeit verzögert ist und sein Maximum in die Erholungsphase fällt. Insgesamt generierten die Stepp-Tests mit 25 und 30 Stepps eine stärkere Beanspruchung (65 % bzw. 68 % Ausbelastung) als der Stepp-Test mit 20 Stepps (61 % Ausbelastung), bei dem sich eine nachhaltige Belastung des Herz-Kreislauf-Systems am wenigsten zeigte (s. Kap. 4.3.3.2).

Die stärksten Zusammenhänge zwischen den Stepp-Tests wurden oftmals zwischen den Belastungswerten festgestellt (r = .64 - .86) (Tab. 23), wobei für den systolischen Blutdruck die höchsten Korrelationskoeffizienten zu verzeichnen waren, die bis zu 70 % der Varianz aufklärten. Auch für die Differenzwerte der *Reaktivität* und *Erholung* wurden für die kardiovaskulären Indikatoren durchgehend mittelstarke bis sehr hohe Korrelation zwischen den drei Stepp-Tests ermittelt (s. Anh. C3.3$_2$). Diese Zusammenhänge sprachen für eine intraindividuell stabile Bewältigung der Stepp-Tests, die mit einer vergleichbaren kardiovaskulären Beanspruchungsregulation einherzugehen schien. Andererseits lässt sich daraus ein ausgewogener Grad der Belastung bei allen drei Stepp-Tests schlussfolgern (s. Kap 4.3.3.1).

Zu FS1: Vorweg ist zu beachten, dass die hier untersuchten Stepp-Tests als kurzes, aussagekräftiges und einfach durchzuführendes Screeningverfahren im ortsunabhängigen Setting zu verstehen sind. Sie unterschieden sich deutlich in Art und Umfang von anderen Stepp-Test-Protokollen (Anh. A). Laut de Andrade et al. (2011) sind Stepp-Tests mit einer festen Steppanzahl gut geeignet, um die maximale Ausdauer einer Person zu überprüfen. Sie schlugen möglichst kurze Tests zur Messung der Lungenkapazität und der Sauerstoffaufnahme vor. Anhand der IPAS-Studie wurden weder maximale Ausdauer noch pulmonale Indikatoren erhoben. Dennoch schienen die hier untersuchten Stepp-Tests zu einer soliden Herz-Kreislauf-Belastung zu führen, die erwartungsgemäß mit höherer Stufenanzahl anstieg. Dies äußerte sich daran, dass in allen Stepp-Tests die Erholungsphase nicht ausreichte, damit Herzfrequenz und Blutdruck wieder die Ausgangswerte in *Ruhe* erreichen konnten. Die *Ruhe-Erholungs-Differenz* war für die Herzfrequenz beim ST30 am größten (ST20: ∅ 6 bpm, ST25: Ø 7 bpm, ST30: Ø 9 bpm), was als ein Zeichen der verstärkten Kreislaufbelastung interpretiert wird (Schmidt et al. 2010).

Die kontroversen Ergebnisse der ALMe (kein Haupteffekt der Faktoren *Stepp-Test* und *Differenzwerte*) und des t-Tests, der Beanspruchungs- und Erholungsunterschiede in der Herzfrequenz zwischen ST20 und den anderen beiden Stepp-Tests (ST25: $p = .002$; ST30: $p < .001$) fand, erschienen zuerst widersprüchlich. Aus den statistischen Verfahren ließen sich jedoch nicht die gleichen Rückschlüsse ziehen. Der t-Test für paarige Stichproben verglich lediglich zwei Mittelwerte und zeigte diesbezüglich für die Herzfrequenz Unterschiede. Hingegen verrechnete das ALM auf komplizierte Art und Weise alle Einzelmesswerte, setzte sie miteinander in Verbindung und lieferte somit eher einen Beweis für eine vergleichbare Kinetik der Tests.

Mit steigender Stepp-Anzahl stieg auch die Belastungszeit. Am kürzesten dauerte der ST20 (Ø 27 s) gefolgt von ST25 (Ø 29 s) und ST30 (Ø 34 s; s. Anh. C3.$3_{3,4}$). Interessant war, dass bei einigen wenigen Testpersonen die Testdauer des ST20 die Dauer des ST25 und teilweise sogar die des ST30 überstieg. Eine Eingewöhnungsphase bei den Untersuchungsteilnehmern könnte eine mögliche Erklärung hierfür sein. Der ST20 wurde am zweiten Tag als erste Untersuchung durchgeführt, unter Umständen unter leicht veränderten Bedingungen.

Die Belastungsintensität vergrößerte sich mit Erhöhung der Stufenanzahl und erreichte bei ST25 (65 %) und ST30 (68 %) den mittleren, bei ST20 (61 %) nur den "leichten" Belastungsbereich (Pescatello et al. 2014, S. 165). Um die Belastung auf das submaximale Niveau (76 - 95% HF_{max}) zu heben, müsste die Stepp-Anzahl eventuell um 5 - 10 Stufen erhöht

werden. Anders als bei Bohannon et al. (2015) beendete kein Teilnehmer die Untersuchung frühzeitig. Das wurde positiv verstanden, da der zu findende Test für Personen jeden Alters und unterschiedlichster leichter Vorerkrankungen zu absolvieren sein sollte.

Zusammenfassend war mit ansteigender Stufenzahl von einer längeren Belastungszeit und einer zunehmenden kardiovaskulären Beanspruchung auszugehen, die beim ST30 zur höchsten Ausbelastung (68 %) führte, sich aber nur gering vom ST25 (65 %) unterschied.

Zu FS2: Die in der Literatur vernachlässigte Frage nach dem Einfluss des *Geschlechts* sollte in dieser Arbeit genauer betrachtet werden. Nicht nur evolutionsbedingte Unterschiede zwischen Männern und Frauen waren zu beachten, auch physische und psychische Differenzen waren vorhanden und wirkten sich auf die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung aus (Leening et al. 2014, Maranon & Reckelhoff 2013). Dennoch konnte in dieser Studie weder ein Bogen zu Erkrankungen noch zu verschiedenen Risiken geschlagen werden, da nur ein gesundes Personenkollektiv untersucht wurde (s. Kap. 3.4.2).

Bei der geschlechtsspezifischen Untersuchung waren zur Ausgangssituation bei den Männern ein höherer Blutdruck als bei den Frauen und eine vergleichbare Herzfrequenz bei beiden Geschlechtern zu konstatieren. Der im Vergleich der Stepp-Tests aufgefallene Einfluss des *Geschlechts* (s. Kap. 4.3.3.1) konnte nicht bestätigt werden. Im ALM ließen sich nur Wechselwirkungseffekte der *Absolutwerte* und *kardiovaskuläre Indikatoren* mit dem *Geschlecht* (Zwischensubjektfaktor) und den Kovariablen *Sportstunden/Woche* und *Alter* aufzeigen. Geschlechtsbezogene Beanspruchungs- und Erholungsunterschiede in den Stepp-Tests wurden allein für die Belastungsherzfrequenz und den Erholungsblutdruck (t-Test) statistisch belegt; das unterstreicht die Abweichung der Absolutwerte untereinander. Der Einfluss von Fitness (*Sportstunden/Woche*) und *Alter* auf die kardiovaskuläre Reaktivität und Erholung erbrachte Hinweise darauf, dass die Bewältigung der Stepp-Tests für Frauen mit einer stärkeren kardiovaskulären Beanspruchung und einem verzögerten Erholungsverhalten einherzugehen schien als bei Männern. Verwunderlich war, dass sich die Blutdruckwerte auch im t-Test nicht unterschieden. Hier wirkte sich die große Varianz der Indikatoren als "Störfaktor" in der Statistik aus.

Generell unterschieden sich die Belastungszeiten in keinem Stepp-Test zwischen Männern und Frauen ($p = .198$ - $.360$). Bei separater Betrachtung beider Geschlechtergruppen zeigten sich hingegen bei den Männern signifikante Unterschiede zwischen den Belastungszeiten der drei Stepp-Tests ($p = .001$ bis $p < .001$, große Effekte), wobei die Belastungszeit von

ST20 bis ST30 um durchschnittlich 7 s anstieg. Dieser Effekt traf auch auf die Frauen zu, bei denen die Belastungszeit zwischen ST20 (∅ 28 s) und ST25 (∅ 30 s) allerdings als nicht signifikant einzuordnen war (p = .175).

Die hohen bzw. sehr hohen Korrelationen (p = .86 - .96) zwischen den Belastungszeiten der drei Stepp-Tests wiesen bei den Männern auf eine intraindividuell stabile kardiovaskuläre Fitness hin. Bei den Frauen waren diese Zusammenhänge schwächer (p = .63 - .96), was ein individuell unterschiedliches Verhalten bei den Stepp-Tests signalisierte. Mitverantwortlich könnte auch die relativ kleine Stichprobe gewesen sein.

Erwartungsgemäß nahm die Belastungsintensität mit steigender Stepp-Anzahl zu, generierte aber für Männer und Frauen eine unterschiedliche Belastung für das Herz-Kreislauf-System (Männer: ST20 = 55 %, ST25 = 61 %, ST30 = 62 %; Frauen: ST20 = 65 %, ST25 = 68 %, ST30 = 73 %). Interessanterweise wurde bei den Frauen durch den ST30 nahezu eine submaximale Belastung erreicht. Eine schiefe Verteilung der Stichprobe im Hinblick auf den Trainingszustand könnte Ursache dafür sein, vor allem im Vergleich mit den Männern, die nur eine "leichte" Belastungsstufe erreichten. Indirekt verdeutlichen diese Ergebnisse einmal mehr die positiven Effekte von Bewegung und gesundem Lebensstil.

Zusammenfassend ist für Männer und Frauen eine unterschiedliche kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung bei der Bewältigung der Stepp-Tests anzunehmen. Es ist zu diskutieren, ob dennoch bei dieser Art der kurzen Belastungstests eine Differenzierung zwischen beiden Geschlechtern sinnvoll erscheint. Hier wäre eine erneute Studie mit einer größeren Stichprobe hilfreich, um die differente Belastungsintensität bei Männern und Frauen erneut zu verifizieren. Im Zweifel könnten die Stepp-Höhen an die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der Männer und Frauen angepasst und Stepp-Tests mit verschiedenen Stepp-Anzahlen durchgeführt werden. Im gleichen Zuge könnte bei Männern der Einfluss der *Sportstunden/Woche* (ALM: p = .083), bei Frauen der des *Alters* auf die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung (ALM: p = .241; s. Anh. C 3.1_3) mit untersucht werden.

5 ZUSAMMENFASSUNG, SCHLUSSFOLGERUNG, REFLEXION

Diese Arbeit verfolgte das Ziel, einen einfachen und ortsunabhängigen Kurztest zu empfehlen, der eine verlässliche Aussage über die Leistungsfähigkeit des kardiovaskulären Systems geben konnte. Dazu wurden zwei Teilstichproben (BAuA-Studie, IPAS-Studie) von großen deutschlandweiten Untersuchungen analysiert. Anhand der BAuA-Stichprobe wurden zwei Kurztests (ERGO, ST25) mit einem Belastungs-EKG verglichen. Darauffolgend zeigte die IPAS-Studie, wie sich eine unterschiedliche Stepp-Anzahl auf die kardiovaskulären Indikatoren (HF, BD) auswirkte. Als Kovariable wurden die Einflussfaktoren *Geschlecht, Alter, BMI* und sportliche Betätigung (*Sportstunden/Woche*) in die Analysen einbezogen.

In den Stichproben war bei beiden Geschlechtern in *Ruhe* von vergleichbarer Herzfrequenz, bei Männern aber von höherem Blutdruck als bei Frauen auszugehen. Unter *Belastung* wurde für Männer eine höhere Leistungsfähigkeit ermittelt, die mit einer geringeren kardiovaskulären Beanspruchung und einem (relativ) effektiveren Erholungsverhalten einherging. Voraussetzung dafür schien ein besserer kardiovaskulärer Fitnesszustand zu sein.

In der BAuA-Studie ließ sich im ALM - trotz der großen Belastungszeit-Unterschiede - für den Faktor *Test* kein Unterschied zwischen den drei Belastungstests (ERGO, ST25, BEKG) objektivieren. Im t-Test bestätigten sich aber deutlich abweichende Beanspruchungs- und Erholungsunterschiede zwischen Kurztests (ERGO, ST25) und Belastungs-EKG. *Geschlecht* und *BMI* der Testpersonen hatten dabei Einfluss auf die Beanspruchung und das Erholungsverhalten in den Kurztests, wobei das weibliche *Geschlecht* weitaus stärker mit den Belastungswerten von Herzfrequenz und Blutdruck korrelierte.

Das ALM der IPAS-Studie lieferte ebenfalls keine Hinweise auf einen grundsätzlichen Unterschied zwischen den drei Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30). Wie zu erwarten war, wurde die höchste Beanspruchung im ST30 und die schwächste im ST20 sichtbar (Abb. 7). Der t-Test für verbundene Stichproben konnte einen Unterschied der Stepp-Tests für die Herzfrequenz belegen (Anh. C3.3$_3$). Haupteffekte wurden in den ALMen sowohl für das *Geschlecht* als auch für die *Sportstunden/Woche* gesehen. Der Effekt der sportlichen Aktivität könnte ein Hinweis auf die positive Vorhersagekraft des Indikators sein. Diese Erkenntnisse sollten im Rahmen der präventiven Diagnostik bewusster mitberücksichtigt werden.

Bei geschlechtsgetrennter Untersuchung der Stichprobe wurde im ALM jedoch kein Effekt signifikant. Zusätzlich fielen unter Kontrolle des *Geschlechts* starke Korrelationen der kardiovaskulären Indikatoren zwischen den drei Stepp-Tests auf.

Da beide Stichproben aus größeren bundesweiten Studien stammten, musste sich auf wenige aussagekräftige Kennwerte beschränkt werden. Geplant war eine aufeinander aufbauende Studienbeschreibung, weshalb in beiden Stichproben dieselben Messwerte Berücksichtigung fanden. Ein Vergleich der Ergebnisse zwischen beiden Stichproben ist aufgrund des gleichen verwendeten Instrumentariums eingeschränkt möglich.

Unter Einbezug aller gewonnenen Daten war zu mutmaßen, dass für eine ortsunabhängige, schnelle und einfache Statuskontrolle des Herz-Kreislauf-Systems, der Stepp-Test eine gute Alternative zu der aufwendigen Fahrradergometrie darstellt. Die Belastung des ST25 entsprach ungefähr einer 75-Watt-Stufe bei dem Belastungs-EKG und führte zu einer mittleren Kreislaufbelastung. Es war zu vermuten, dass die körperliche Auslastung des ST30 noch ein wenig stärker wäre. Bei den Frauen der IPAS-Studie wurde eine 73%-ige Ausbelastung mit dem ST30 erreicht, was annähend der submaximalen Belastung (> 75 %) entsprach. Eine Überbelastung der zu testenden Person mit kritischen Nebenwirkungen war wenig wahrscheinlich. Die beiden gesunden und durchmischten Stichprobenkollektive konnten alle Kurztests ohne Einschränkungen beenden. Spallek et al. (2017) hoben in diesem Zusammenhang die Mitarbeit der Testperson als Einflussfaktor hervor.

Zukünftig ist der Stepp-Test als Screeningmethode zur Beurteilung des kardiovaskulären Systems gedacht und soll als erste Risikoabschätzung im ambulanten Bereich dienen.

Als Kurztest wird ein Stepp-Test mit 30 Stufen empfohlen. Bei auffälligen kardiovaskulären Messwerten, Beschwerden während der Untersuchung und sonstigen Auffälligkeiten sollte sich eine ausgedehnte Diagnostik mittels Fahrradergometrie anschließen. Dennoch müssen weitere Untersuchungen zeigen, inwieweit sich Pathologien mittels Stepp-Test darstellen lassen, und ob geschlechtsspezifische Normwerte ermittelt werden müssen. Auch sollte nochmals versucht werden, weitere Einflussfaktoren auf die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung in Kurztests im Hinblick auf ihr Potential als Verlaufskontrollverfahren chronischer Krankheiten zu untersuchen. Die Auswahl, Kombination und Durchführung eines Leistungs- bzw. Belastungstests stellt in diesem Kontext hohe Anforderungen an den Untersucher, denn es gilt, Reliabilität und Validität der Kurztests für die präventivmedizinischen Fragestellungen zu gewährleisten. Zu einem ähnlichen Schluss kamen auch Spallek et al. (2017) in ihrer Literaturrecherche zu Grundlagenausdauertests.

6 LITERATURVERZEICHNIS

ABBASI F, BLASEY C, REAVEN GM (2013). Cardiometabolic risk factors and obesity: does it matter whether BMI or waist circumference is the index of obesity? Am J Clin Nutr 98 (3): 637-640.

AMARO-GAHETE FJ, DE-LA-O A, JURADO-FASOLI L, DOTE-MONTERO M, GUTIÉRREZ Á, RUIZ JR, CASTILLO MJ (2019). Changes in Physical Fitness After 12 Weeks of Structured Concurrent Exercise Training, High Intensity Interval Training, or Whole-BodymElectromyostimulation Training in Sedentary Middle-Aged Adults: A Randomized Controlled Trial. Front Physiol 10:451.

ARASTEH K, BAENKLER H-W, BIEBER C, BRANDT R, CHATTERJEE T, DILL T et al. (2009). Innere Medizin. Stuttgart: Thieme.

ASHWELL M, GIBSON S (2016). Waist-to-height ratio as an indicator of 'early health risk': simpler and more predictive than using a 'matrix' based on BMI and waist circumference. BMJ Open 6: e010159.

BOHANNON RW, BUBELA DJ, WANG Y-C, MAGASI SS, GERSHON RC (2015). Six-minute walk test versus three-minute step test for measuring functional endurance (alternative measures of functional endurance). J Strength Cond Res 29 (11): 3240-3244.

BOLDT F, BERBALK A, HALLE M, HOFFMANN G, LÖLLGEN H, SCHMIDT TRUCKSÄß A, URHAUSEN A, VÖLKER K, ZURSTEGGE M (2002). Leitlinien zur Belastungsuntersuchung in der Sportmedizin (Ebene IV – 03/2002). Frankfurt am Main: Präsidium der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention.

BORTZ J, SCHUSTER C (2010). Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. (7. vollst. überarb. & erw. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.

BROWNING LM, HSIEH SD, ASHWELL M (2010). A systematic review of waist-to-height ratio as a screening tool for the prediction of cardiovascular disease and diabetes: 0.5 could be a suitable global boundary value. Nutr Res Rev 23 (02): 247-269.

BRÜCKLER FM (2017). Geschichte der Mathematik kompakt. Das Wichtigste aus Analysis, Wahrscheinlichkeitstheorie, angewandter Mathematik, Topologie und Mengen-lehre. Heidelberg: Springer.

BUCKLEY JP, SIM J, ESTON RG, HESSION R, FOX R (2004). Reliability and validity of measures taken during the Chester step test to predict aerobic power and to prescribe aerobic exercise. Br J Sports Med 38 (2): 197-205.

BÜHL A (2016). SPSS 23: Einführung in die moderne Datenanalyse (15. akt. Aufl.). Hallbergmoos: Pearson.

CHATTERJEE S, CHATTERJEE P. MUKHERJEE PS, BANDYOPADHYAY A (2004). Validity of Queen's College step test for use with young Indian men. Br J Sports Med 38: 289-291.

CHATTERJEE M, SCHMEIßLER G (2017). Aktualisierter Leitfaden für die Ergometrie im Rahmen arbeitsmedizinischer Untersuchungen. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 52: 913-921.

COONEY JK, MOORE JP, AHMAD YA, JONES JG, LEMMEY AB, CASANOVA F, MADDISON PJ, THOM JM (2013). A simple step test to estimate cardio-respiratory fitness levels of rheumatoid arthritis patients in a clinical setting. Int J Rheumatol. Article ID 174541: 1-8.

DE ANDRADE CHS, CIANCI RG, MALAGUTI C, DAL CORSO S (2012). The use of step tests for the assessment of exercise capacity in healthy subjects and in patients with chronic lung disease. J Bras Pneumol. 38 (1): 116-124.

DESTATIS – STATISTISCHES BUNDESAMT (2009). Gesundheit und Krankheit im Alter. Berlin: RKI.

DEUTSCHE ADIPOSITAS GESELLSCHAFT (Hrsg) (2014). Interdisziplinäre Leitlinie der Qualität S3 zur „Prävention und Therapie der Adipositas" (Version 2.0). [Onlinedokument]. Verfügbar unter: http://www.adipositas-gesellschaft.de/fileadmin /PDF/Leitlinien/S3_Adipositas_Praevention_Therapie_2014.pdf. [Zugriff: 29. März 2016].

DEUTSCHER OLYMPISCHER SPORTBUND (Hrsg) (2014). Gesundheitsförderung durch Bewegung und Sport. Informationen für Ärztinnen und Ärzte. (1. Aufl.). Frankfurt am Main: DOSB.

DRUSKINS LM (1993). Assessing aerobic capacity: A comparison of five step-test methods. Texas Tech University, Department of Industrial Engineering (Masterthesis).

EICHERS HP, LUTZ M (2009). Cardio-check Plus – Auswertesoftware für Herz-Kreislauf Ausdauertests. Bitburg: BITsoft.

FAUDE O, NOWACKI PE, URHAUSEN A (2004). Vergleich ausgewählter (unblutiger) Testverfahren zur Bestimmung der kardiopulmonalen Ausdauer von Schulkindern. Dtsch Z Sportmed 55 (9): 232-236.

FINGER JD, KRUG S, GÖSSWALD A, HÄRTEL S, BÖS K (2013). Kardiorespiratorische Fitness bei Erwachsenen in Deutschland. Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). Bundesgesundheitsbl 56: 772-778.

FLINT AJ, REXRODE KM, HU FB, GLYNN RJ, CASPARD H, MANSON JE, WILLETT WC, RIMM EB (2010). Body mass index, waist circumference and risk of coronary heart disease: a prospective study among men and women. Obes Res Clin Pract 4 (3): 171-181.

FRANZ IW (2003). Blutdruckverhalten während Ergometrie. Dtsch Z Sportmed 54: 55-56.

GAMMON C, PFEIFFER KA, KAZANIS A, LING J, ROBBINS LB (2017). Cardiorespiratory fitness in urban adolescent girls: associations with race and pubertal status. J Sports Sci 35 (1): 29-34.

GBD 2017 DIET COLLABORATORS (2019). Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. Lancet. 2019 Apr 3. pii: S0140-6736(19)30041-8.

GELLISH RL, GOSLIN BR, OLSON RE, MCDONALD A, RUSSI GD, MOUDGIL VK (2007). Longitudinal modelling of the relationship between age and maximal heart rate. Med Sci Sports Exerc 39 (5): 822-829.

GRAF C (2012). Lehrbuch Sportmedizin (2. überarb. und erw. Ausg.). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag GmbH.

HAHN JR (2013). Checkliste Innere Medizin. (7. Aufl.). Stuttgart: Thieme.

HAIDER AW, LARSON MG, FRANKLIN SS, LEVY D (2003). Systolic blood pressure, diastolic blood pressure, and pulse pressure as predictors of risk for congestive heart failure in the Framingham Heart Study. Ann Intern Med 138 (1): 10-16.

HARTUNG J (1999). Statistik. (12. Aufl.). München: Oldenbourg.

HASKELL WL, LEE IM, PATE RR, POWELL KE, BLAIR SN, FRANKLIN BA, MACERA CA, HEATH GW, THOMPSON PD, BAUMAN A (2007). Physical activity and public health: Updated recommendation for adults from American College of Sports Medicine and American Heart Association. Med Sci Sports Exerc 39 (8): 1423-1434.

HOLLMANN W, HETTINGER T (2000). Sportmedizin – Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin. Stuttgart: Thieme.

HOSSACK KF, BRUCE RA (1982). Maximal cardiac function in sedentary normal men and women: comparison of age-related changes. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol 53 (4): 799-804.

HUANG G, SHI X, DAVIS-BREZETTE JA, OSNESS WH (2005). Resting heart rate changes after endurance training in older adults: A meta-analysis. Med Sci Sports Exerc 37: 1381-1386.

IRRGANG HR (2007). Münchener Fitnesstest (MFT). [Onlinedokument]. Verfügbar unter: http://www.sportunterricht.de/mft/ mft.html. [Zugriff: 17.11.2018].

JACKSON AS, SUI X, HÉBERT JR, CHURCH TS, BLAIR SN (2009). Role of Lifestyle and Aging on the longitudinal change in cardiorespiratory fitness. Arch Intern Med 169(19): 1781-1787.

JACKSON AS, SUI X, O'CONNOR DP, CHURCH TS, LEE DC, ARTERO EG, BLAIR SN (2013). Longitudinal cardiorespiratory fitness algorithms for clinical settings. Am J Prev Med 43: 512-519.

JAIN RK (2003). Molecular regulation of vessel maturation. Nat Med 9: 685-693.

JENSEN MT, SUADICANI P, HEIN HO, GYNTELBERG F (2013). Elevated resting heart rate, physical fitness and all-cause mortality: a 16-year follow-up in the Copenhagen Male Study. Heart 99: 882-887.

JOUVEN X, SCHWARTZ PJ, ESCOLANO S, STRACZEK C, TAFFLET M, DESNOS M, EMPANA JP, DUCIMETIÈRE P (2009). Excessive heart rate increase during mild mental stress in preparation for exercise predicts sudden death in the general population. Eur Heart J 30 (14): 1703-1710.

KÄHLER W-M (2008). Statistische Datenanalyse – Verfahren verstehen und mit SPSS gekonnt einsetzen. (5. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg+Teubner.

KARLOH M, CORREA S, MARTINS LQ, ARAUJO CLP, MATTE DL, MAYER AF (2013). Chester step test: assessment of functional capacity and magnitude of cardiorespiratory response in patients with COPD and heatlhy subjects. Braz J Phys Ther 17 (3): 227-235.

KINDERMANN W (1987). Ergometrie – Empfehlungen für die ärztliche Praxis. Dtsch Z Sportmed 38: 244-322.

KLINGENHEBEN T, LÖLLGEN H, BOSCH R, TRAPPE H-J (2018). Manual zum Stellenwert der Ergometrie. Kardiologe 12: 342.

KRUG S, JORDAN S, MENSINK GBM, MÜTERS S, FINGER JD, LAMPERT T (2013). Körperliche Aktivität. Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). Bundesgesundheitsblatt 56 (5/6): 765-771.

KUNDT G, KRENTZ H, GLASS Ä (2015). Epidemiologie und medizinische Biometrie. (10. Überarb. Aufl.). Aachen: Shaker.

KÜPPER T (2015). Möglichkeiten und Grenzen der Leistungsbeurteilung. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 50: 598–602.

LAITINEN T, HARTIKAINEN J, VANNINEN E, NISKANEN L, GEELEN G, LÄNSIMIES E (1998). Age and gender dependency of baroreflex sensitivity in healthy subjects. Appl Physiol 84 (2): 576-583.

LAKOSKI SG, BARLOW CE, FARRELL SW, BERRY JD, MORROW JR, HASKELL WL (2011). Impact of body mass index, physical activity and other clinical factors on cardiorespiratory fitness (Cooper Center Longitudinal Study). Am J Cardiol 108: 34-39.

LÁBROVÁ R, HONZÍKOVÁ N, MADEROVÁ E, VYSOCANOVÁ P, NOVÁKOVÁ Z, ZÁVODNÁ E, FISER B, SEMRÁD B (2005). Age-dependent relationship between the carotid intima-media thickness, baroreflex sensitivity and the inter-beat interval in normotensive and hypertensive subjects. Physiol Res 54 (6): 593-600.

LAMPERT T, MENSINK GBM, MÜTERS S (2012). Körperlich-sportliche Aktivität bei Erwachsenen in Deutschland – Ergebnisse der Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell 2009“. Bundesgesundheitsbl 55: 102-110.

LEE MC (2018). Validity of the 6-minute walk test and step test for evaluation of cardio respiratory fitness in patients with type 2 D. m. J Exerc Nutr Biochem 2018 22 (1): 49-55.

LEENING MJG, FERKET BS, STEYERBERG EW, KAVOUSI M, DECKERS JW, HEERINGA J (2014). Sex differences in lifetime risk and first manifestation of cardiovascular disease: prospective population based cohort study. BMJ 349: g5992.

LI J, SIEGRIST J (2012). Physical Activity and Risk of Cardiovascular Disease—A Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. Int. J. Environ. Res. Public Health 9: 391-407.

LÖLLGEN H, LEYK D (2018). Exercise testing in sports medicine. Dtsch Ärztebl Int 115 (24): 409-416.

MARANON R, RECKELHOFF JF (2013). Sex and gender differences in control of blood pressure. Clin Sci 125 (7): 311-318.

MENSINK GBM, SCHIENKIEWITZ A, HAFTENBERGER M, LAMPERT T, ZIESE T, SCHEIDT-NAVE C (2013). Übergewicht und Adipositas in Deutschland. Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). Bundesgesundheitsbl 56: 786-794.

METHA N, MYRSKYLÄ M (2017). The population health benefits of a healthy lifestyle: life expectancy increased and onset of disability delayed demography. Health Aff 36 (8): 1495-1502.

MONAHAN KD (2007). Effect of aging on baroreflex function in humans. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 293 (1): 3-12.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH (2019). Overweight and Obesity. [Onlinedokument]. Verfügbar unter: https://www.nhlbi.nih.gov/health-topics/overweight-and-obesity [Zugriff: 12. März 2019].

NEUHAUSER H, THAMM M, ELLERT U (2013). Blutdruck in Deutschland 2008 – 2011. Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). Bundesgesundheitsbl 56: 795-801.

NICOLL R, HENEIN MY (2010). Hypertension and lifestyle modification: how useful are the guidelines. Br J Gen Pract 60 (581): 879-880.

NIEBAUER J (Hrsg.) (2015). Sportkardiologie. Heidelberg: Springer.

NUTTALL FQ (2015). Body Mass Index – obesity, BMI and health: A critical review. Nutr Today 50 (3): 117-128.

OKIN PM, KLIGFIELD P (1995). Heart rate adjustment of ST segment depression and performance of the exercise electrocardiogram: a critical evaluation. J Am Coll Cardiol 25 (7): 1726-1735.

PESCATELLO LS, ARENA R, RIEBE D, THOMPSON PD (2014). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. (9. Aufl.). Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins.

PINTO E (2007). Blood pressure and ageing. Postgrad Med J 83 (976): 109-114.

RAMLI AS, HALMEY N, TENG CL (2008). White coat effect and white coat hypertension: One and the same? Malays Fam Physician 3 (3): 158-161.

RASCHKA C, NITSCHE L (2016). Praktische Sportmedizin. (1. Aufl.). Stuttgart: Thieme.

RAUNER A, MESS F, WOLL A (2013). The relationship between physical activity, physical fitness and overweight in adolescents: A systematic review of studies published in or after 2000. BMC Pediatr 13: 19.

REXRODE KM, CAREY VJ, HENNEKENS CH et al. (1998). Abdominal adiposity and coronary heart disease in women. JAMA 280 (21): 1843-1848.

ROBERT-KOCH-INSTITUT – RKI (Hrsg.) (2013). Referenzperzentile für anthropometrische Maßzahlen und Blutdruck aus der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS). (2. erw. Aufl.). Berlin: RKI.

ROBERT-KOCH-INSTITUT – RKI (Hrsg.) (2015). Gesundheit in Deutschland – Gesundheitsberichterstattung des Bundes gemeinsam getragen von RKI und DESTATIS. Berlin: RKI.

SAMMITO S, GUNDLACH N, BÖCKELMANN I (2016). Correlation between the results of three physical fitness tests (endurance, strength, speed) and the output measured during a bicycle ergometer test in a cohort of military servicemen. Mil Med Res 3: 12.

SAMMITO S, NIEBEL I (2013). Körperliche Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von kardiovaskulären Risikofaktoren – Eine Erhebung bei 20–30 jährigen jungen Erwachsenen. Gesundheitswesen 75 (1): 59-62.

SAMMITO S, NIEBEL I (2014). Kardiovaskuläre Risikofaktoren und deren Einfluss auf die körperliche Leistungsfähigkeit junger Erwachsener – Eine Erhebung bei Zeit- und Berufssoldaten. Dtsch Med Wochenschr 139 (47): 2381-2385.

SCHMIDT R, LANG F, HECKMANN M (2010). Physiologie des Menschen (31. überarb. und aktual. Aufl.). Heidelberg: Springer.

SCHMIDT S, TITTLBACH S, BÖS K, WOLL A (2017). Different types of physical activity and health in adults: An 18-year longitudinal study. Bio Med Res Int (2): 1-10.

SCHRÖDER H, SCHIEL S, SCHULZ S, KLEUDGEN M (2015). Mentale Gesundheit bei der Arbeit (S-MGA). Methodenbericht zur Repräsentativerhebung an Erwerbstätigen in Deutschland. Infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH. Projekt F 2250 – im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Berlin: BAuA.

SCHULZ K-H, MEYER A, LANGGUTH N (2011) Körperliche Aktivität und psychische Gesundheit. Bundesgesundheitsbl 55: 55-65.

SEIBT R, BERNDT A, KNÖPFEL D, SCHEUCH K (2001). Ambulatory 24-hour monitoring of brachial and finger blood pressure in normotensive and hypertensive males. In: FAHRENBERG J, MYRTEK M (eds.): Progress in ambulatory Assessment. Computer – Assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and fields studies. Seattle – Toronto – Bern – Göttingen: Hogrefe & Huber Publishers, 293-312.

SEIBT R, SCHEUCH K (1999). Blutdruckmessung und -bewertung in der Arbeitsmedizin. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 34: 363-367.

SEIBT R, SPITZER S (2013). Fragebogen zur soziodemografischen und berufsbezogenen Anamnese. Technische Universität Dresden, Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin (unveröffentlicht).

SHEPHARD RJ (1984). Tests of maximum oxygen intake. A critical review. Sports Med 1 (2): 99-124.

SHIMBO D (2016). Dietary and lifestyle factors in hypertension. J Hum Hypertens 30: 571-572.

SILBERNAGEL S, DESPOPOULOS A (2012). Taschenatlas Physiologie. (8. Aufl.). Stuttgart: Thieme.

SLANY J (2017). 120 Jahre Blutdruckmessung nach Riva-Rocci. J Hyperton 21 (1): 20-21.

SPALLEK M, KLINGELHÖFER D, GRONEBERG DA, OHLENDORF D (2017). Leistungstests für Berufsgruppen mit hohen physiologischen Anforderungen – Prüfung der Grundlagenausdauer am Beispiel der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit. Zbl Arbeitsmed 67 (3): 161-165.

SPRINT (2014). The design and rationale of a multi-center clinical trial comparing two strategies for control of systolic blood pressure: The Systolic Blood Pressure Intervention Trial. Clin Trials 11 (5): 532–546.

STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (2015). Bevölkerung Deutschlands bis 2060 – 13. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden: DESTATIS.

STOSCHITZKY K, ZWEIKER R (2002). Life-Style und Hypertonie. J Hypertonie 2: 11-16.

STRATTON JR, LEVY WC, CERQUEIRA MD, SCHWARTZ RS, ABRASS IB (1994). Cardiovascular responses to exercise. Effects of aging and exercise training in healthy men. Circulation 89 (4): 1648-1655.

SUCH U, MEYER T (2010). Die maximale Herzfrequenz. Dtsch Z Sportmed 61 (12): 310-311.

SYKES K, ROBERTS A (2004). The Chester step test – a simple yet effective tool for the prediction of aerobic capacity. Physiotherapy 90 (4): 183-188.

TANAKA H, MONAHAN KD, SEALS DR (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. J Am Coll Cardiol 37: 153-156.

ULMER H-V (2015). Leistungsbeurteilung am Beispiel der Ergometrie in der Arbeitsmedizin – einige kritische Anmerkungen. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 50: 294-298.

WERNER S (2012). Implementierung eines modifizierten Queens-College-Stepp-Tests in das Stellungssystem des österreichischen Bundesheers zur Bestimmung der individuellen Ausdauerleistungsfähigkeit. Universität Wien, Institut für Sportwissenschaft (Magisterarbeit).

WILLIAMS B, MANCIA G, SPIERING W, ROSEI EA, AZIZI M, BURNIER M et al. (2018). ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension – The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Hypertension (ESH). Eur Heart J 39: 3021-3104.

WITZLEB E (1989). Functions of the vascular system. In: SCHMIDT RF, THEWS G (eds.): Human Physiologie. Berlin, Heidelberg: Springer, 480-542.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (ed.) (2008). Waist circumference and waist–hip ratio. Genf: WHO.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (ed.) (2011). Global recommendations on physical activity for health. Genf: WHO.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – EUROPE (2013). Faktenblatt Bluthochdruck. Kopenhagen: WHO.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – EUROPE (Stand 2018). Body mass index – BMI. [Onlinedokument]. Verfügbar unter: http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi#. [Zugriff: 13.06.2018].

WONISCH M, BERENT R, KLICPERA M, LAIMER H, MARKO C, POKAN R, SCHMID P, SCHWANN H (2008). Praxisleitlinien Ergometrie. J Kardiol 15 (Suppl A): 3-17.

WONISCH M, HOFMANN P, FÖRSTER H, HÖRTNAGL H, LEDL-KURKOWSKI E, POKAN R (Hrsg.) (2017). Kompendium der Sportmedizin. (2. Aufl.). Heidelberg: Springer.

ZIEMAN SJ, MELENOVSKY V, KASS DA (2005). Mechanisms, pathophysiology, and therapy of arterial stiffness. Arterioscler Thromb Vasc Biol 25: 932-943.

ANHANG

ANHANG A: ERGÄNZUNGEN ZUM THEORETISCHEN ERKENNTNISSTAND

A 1 Übersicht über ausgewählte Belastungstests

Name	Testdurchführung	Ausführungshinweis	Equipment
Ergometrie-Tests			
Fahrradergometrie	Leistungssteigerung in 25-W-Schritten alle 3 Minuten	s. Anh. $B1_3$	Fahrradergometer, EKG, RR-Messgerät, Arzt
Laufbandergometrie	8 km/h 3-minütige Geschwindigkeitssteigerung um 0,5 km/h bei 1% Steigung		Laufbandergometer, EKG, RR-Messgerät, Arzt
Stepp-Ergometer	interpersonell angepasste Stufenhöhe und Geschwindigkeit	bisher kein standardisiertes Protokoll verfügbar	Stepp-Ergometer, EKG, RR-Messgerät, Arzt
Stepp-Tests			
Kurz-Stepp-Test (ST20, ST25, ST30)	20, 25 oder 30 Stepps an einer Stepp-Bank	maximale Geschwindigkeit wird gemessen	Stepp-Bank, Stoppuhr
Chester-Step-Test	15 Stufen/Min – alle 2 Min + 5 Stufen über 5 Level; Level und gestiegene Stufen werden ausgewertet	Stufenhöhe variiert zwischen 15 – 30 cm, je nach Alter und Fitness; Ende: 80% HF_{max} oder 14 Punkte auf der Borg-Skala	Stepp-Bank, Metronom, Stoppuhr
Queens-College-Step-Test	Frauen: 22 Stufen/Min; Männer: 24 Stufen/Min; Berechnung der VO_{2max} nach HF-Normwerten	Testzeit: 3 Min; Stufenhöhe: 41 cm	Stepp-Bank, Metronom, Stoppuhr
Siconolfi-Step-Test	17, 26, 34 Stufen/Min; Schätzung der VO_{2max}	Testzeit: 9 Min; Stufenhöhe: 25,4 cm; 3 Level á 3 Min	Stepp-Bank, Metronom, Stoppuhr
YMCA-3-Minuten-Step-Test	24 Stufen/Min; Messung und Auswertung der HF nach 1-minütiger Erholung	Testzeit: 3 Min; Stufenhöhe: 30 cm	
Astrand-Rhyming-Step-Test	22,5 Stufen/Min; Messung der HF unter Belastung	Testzeit: 5 Min; Stufenhöhe: 40 cm (Männer), 33 cm (Frauen)	Stepp-Bank, Metronom, Stoppuhr
Harvard-Step-Test	30 Stufen/Min; Messung der Erholungs-HF in definierten Abständen	Testzeit: 5 Min; Stufenhöhe: 50,8 cm	Stepp-Bank, Metronom, Stoppuhr
Tecumseh Step-Test	24 Stufen/Min; Messung der Erholungs-HF in definierten Abständen	Testzeit: 3 Min; Stufenhöhe: 20,3 cm	Stepp-Bank, Metronom, Stoppuhr
Lauftests			
Cooper-Test	12 Minuten Laufen	maximal zurückgelegte Strecke	Laufbahn mit definierter Länge, Stoppuhr
6-Minuten-Gehtest	6 Minuten Gehen	maximal zurückgelegte Strecke; eher für multimorbide, Untrainierte geeignet	Laufbahn mit definierter Länge, Stoppuhr
Shuttle-Run-Test	20 m-Linienlauf	beginnend von 8km/h, minütig gesteigerte Geschwindigkeit (+0,5km/h)	20 m-Laufbahn, Stoppuhr, Notizblock
Andere Tests			
Bundeswehr-Fitness-test	11 x 10 m Sprint-Test, Klimmhang-Test, 1000 m-Lauf	Auswertung der addierten Belastungszeiten	Laufbahn, Klimmzugstange, Untersuchungsleiter

A 2 Bewertungsschema der Leistungsfähigkeit nach PWC (Eichers & Lutz 2009)

Schema	Einstufung	Geschlecht	Bewertung (Watt/kg)					
			-	Ø	+	++	+++	Leis-tung
PWC_{130}	Personen > 50 Jahre Leistungsschwächere Personen > 40	männlich	< 1.50	1.50-1.89	1.90-2.39	2.40-2.89	> 2.89	
		weiblich	< 1.25	1.25-1.59	1.60-1.99	2.00-2.49	> 2.49	
PWC_{150}	Personen zwischen 31 und 50 Jahren	männlich	< 2.00	2.00-2.49	2.50-2.99	3.00-3.49	> 3.49	
		weiblich	< 1.60	1.60-1.99	2.00-2.39	2.40-2.89	> 2.89	
PWC_{170}	Personen < 30 Jahre Leistungsstärkere Personen < 35 – 40 Jahre	männlich	< 2.50	2.50-2.99	3.00-3.49	3.50-3.99	> 3.99	
		weiblich	< 2.00	2.00-2.39	2.40-2.89	2.90-3.39	> 3.39	
PWC_{max}	Leistungsstarke Personen < 30 Jahre	männlich	< 3.00	3.00-3.49	3.50-4.09	4.10-4.59	> 4.59	> 6.20
		weiblich	< 2.50	2.50-2.99	3.00-3.49	3.50-3.79	> 3.79	> 5.40

ANHANG B: BAUA-STUDIE

ANH. B1: FRAGEBÖGEN UND UNTERSUCHUNGSDOKUMENTE

B 1.1 Einwilligungserklärungen für die wissenschaftliche Auswertung und den Gesundheits-Check

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus, Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin

EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG

Der / Die Unterzeichnende gibt hiermit gemäß Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) seine / ihre Einwilligung, dass die im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung bei Befragungen und Untersuchungen erhobenen Daten **in anonymisierter Form zu wissenschaftlichen Auswertungen** verarbeitet und genutzt werden können.

Ihr Name wird durch eine **anonyme** Code-Nr. ersetzt und von Ihren Daten **getrennt** bei den Projektverantwortlichen (für Dritte unzugänglich) aufbewahrt. Diese Code-Nummern werden für die Teilnahme am **Gesundheits-Check** und die Nachfolgebefragungen benötigt.

Alle *personenbezogenen* Daten werden nicht an unbeteiligte Dritte übermittelt und nach Abschluss des Forschungsprojektes gelöscht.

Die Einwilligung erfolgt **freiwillig** und kann jederzeit widerrufen werden. Aus der Ablehnung zur weiteren Mitarbeit entstehen keine Nachteile.

Ich habe die Informationen zu den Zielen und Inhalten der Vorsorgeuntersuchung erhalten und zur Kenntnis genommen.

Ich bin mit der vorgesehenen Datenerhebung und Datenverarbeitung einverstanden.

.....
Ort, Datum

.....
Unterschrift

.....
Straße (Angabe freiwillig)

.....
PLZ, Ort (Angabe freiwillig)

Postadresse
TU Dresden
Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus
Fetscherstraße 74, 01307 Dresden

Besucheradresse
Sekretariat: Löscherstraße 18
01309 Dresden
2.: 048

Internet
http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/medizinische_fakultaet/inst/las

B 1.2 Anamnesebogen Allgemeinbevölkerung (Seibt & Spitzer 2013)

Soziodemographische Angaben
Ihr Geschlecht:☐$_1$ männlich☐$_2$ weiblich
Ihr Familienstand:☐*1.-Ledig*☐*2.–Verheiratet*☐*3.–Verwitwet*☐*4.-Geschieden* zurzeit in fester Partnerschaft lebend: ☐$_{0.}$nein☐$_{1.}$ja
Haben Sie Kinder:☐$_0$ ein☐$_1$ ja**Falls ja** (Anzahl + Alter bitte angeben!)**:** _____ **Kind 1:**____Jahre**Kind 2:**____Jahre**Kind 3:**_____Jahre **Wie viele Kinder leben zurzeit in Ihrem Haushalt?**_____
Pflegen Sie zur Zeit einen Angehörigen:☐$_0$ nein ☐$_1$ ja
Schulische und berufliche Ausbildung
Schulabschluss: ☐$_0$**Volksschulabschluss** (früher nach 8 Schuljahren) ☐$_1$**Schulabgang vor der letzten Hauptschulklasse** ☐$_2$**Hauptschulabschluss** (heute nach 9 Schuljahren) ☐$_3$Abschluss **mittlere Reife** bzw. **POS** (in DDR), **Realschulabschluss** (nach 10 Schuljahren) ☐$_4$(Fach-) **Abitur** bzw. **EOS** (in DDR) ☐$_5$anderer Abschluss, welcher? _____
Berufsausbildung: ☐$_0$kein Ausbildungsabschluss ☐$_1$angelernt ☐$_2$ Ausbildung – Facharbeiter ☐$_3$Ausbildung – Facharbeiter und Zusatzlehrgänge ☐$_4$Fachschulstudium ☐$_5$ Fach**hoch**schulstudium ☐$_6$Hochschul-/Universitätsstudium ☐$_7$Promotion ☐$_8$andere Ausbildung, welche? _____ ☐$_9$keine Angabe **Erlernter Beruf:** _____ **Derzeitige berufliche Tätigkeit:** _____ Seit wann üben Sie die **derzeitige Tätigkeit** aus? _____ Jahr angeben (Beispiel: seit 2009) Durchschnittliche Wochenarbeitszeit: _____Std./Woche Arbeiten Sie **derzeitig im Schichtdienst**?ja ☐nein ☐ Falls ja, **seit wann** arbeiten Sie im **Schichtdienst**? Jahr angeben In **welchem Schichtsystem** arbeiten Sie (bitte nennen)?_____ Wie lange sind Sie **insgesamt** schon **berufstätig** (ohne Ausbildungszeit)? _____Jahr (angeben)(Beispiel: seit 2000)

Zur Vorbereitung auf die Vitalitätsdiagnostik bitten wir Sie abschließend noch um einige anamnestische Angaben.

Geburtsdatum: _____ | **Größe:** _____ **Gewicht:** _____

Frauen:derzeit Schwangerschaft?☐$_0$ nein☐$_1$ ja Welcher Monat? _____

Sehhilfe (Brille / Kontaktlinsen):☐$_0$ nein☐$_1$ ja⇨ ☐ Nahbrille ☐ Fernbrille (Lesebrille)(Brille zum Autofahren)

	= weitsichtig	kurzsichtig
	seit: ___ (Alter)	seit: ___ (Alter)

Hörgerät:☐$_0$ nein☐$_1$ ja⇨seit: _____

Rauchen: ☐$_0$ nein, noch nie☐$_1$ ja (derzeit)⇨ Menge pro Tag: _____ Zigaretten

Seit wann rauchen Sie?_____ (Alter)

☐$_2$ nein, nicht mehr ⇨ Seit wann nicht mehr?_____ (Alter)

Alkohol:☐$_0$ nein, nie ☐$_1$ ja, regelmäßig☐$_2$ ja, gelegentlich

⇨ *Was und wie viel trinken Sie durchschnittlich in der Woche?*

Bier:_____ Glas / Woche

Wein / Sekt:_____ Glas / Woche

Schnaps / Cognac:_____ Glas / Woche

Sport:☐$_0$ nein, überhaupt nicht

☐$_1$ ja⇨***Wie häufig treiben Sie Sport?*** ☐ selten (z. B. im Urlaub / in den Ferien)☐ einmal pro Woche

☐ 2 bis 3 mal / Woche

☐ täglich

⇨***Wie vielen Stunden entspricht das pro Woche?***_____ Stunden

⇨***Welchen Sport betreiben Sie?***☐ Ausdauer (z. B. Laufen, Radfahren, Skilaufen, Schwimmen)

☐ Kraftsport (z. B. im Fitnessstudio)

☐ Kampfsport (z. B. Karate, Judo)

☐ Ballspiele (z. B. Tennis, Handball)

☐ Gymnastische Sportarten (z. B. Aerobic etc.)

☐ Entspannungstechniken (z. B. Yoga)

☐ andere Sportarten: _____

B 1.3 Untersuchungsprotokoll der arbeitsmedizinischen Vitalitätsuntersuchung der BAuA-Studie

VI-C.: ..... **P-C.:** ..... **VMP-Nr.:** .....

Geburtsdatum: ..... ⇨**Alter:** ..... **Jahre**

2. Syst. Blutdruck		mmHg	BFB1		
2. Diast. Blutdruck		mmHg	BFBgesamt		
2. Ruhepuls		1/min	SOC		
Landoldt / Zeit		sek.	Selbstkontrolle/Stressdisposition		
Landoldt / Fehler			Soziale Resonanz/ Stressexposition		
CWT (1)		sek.	Soziale Dominanz		
CWT (2)		sek.	Soziale Potenz		
CWT (3)		sek.			
DMF-teeth (32-x)			**BIA:**		
Handkraft rechts		kp	RC (großer Wert)		
Handkraft links		kp	XC (kleiner Wert)		
Vitalkapazität		ccm			
	ohne Brille	mit Brille			
Sehverm. 5m rechts			%	Ergometer Ruhepuls	1/min
Sehverm. 5m links			%	Ergometer Belastungspuls	1/min
Sehverm. 5m beidäugig			%	Ergometer Belastungszeit	sek.
				Ohne Brille	mit Brille
Belastungspuls (Knie)		1/min		Sehverm. 35 cm rechts	%
Belastungszeit (Knie)		sek.		Sehverm. 35 cm links	%
				Sehverm. 35 cm beidäugig	%

Gewicht [kg]:	**Taille** [cm]:	**WHR** (errechnet)**:**
Größe [cm]:	**Hüfte** [cm]:	

Ergometrie (1. BD-Messung)	**Ruhe**	**Belastung**	**Erholung**
Systolischer Blutdruck [mmHg]			
Diastolischer Blutdruck [mmHg]			
Puls [1/min]			
Belastungszeit [s] / gefahrene Meter	..... sek		..... m

Kniebeuge (2. BD-Messung)	**Ruhe**	**Belastung**	**Erholung**
Systolischer Blutdruck [mmHg]			
Diastolischer Blutdruck [mmHg]			
Puls [1/min]			
Belastungszeit [s]		..... sek / 20 Kniebeuge	

Stepps	**Ruhe**	**Belastung**	**Erholung**
Systolischer Blutdruck [mmHg]			
Diastolischer Blutdruck [mmHg]			
Puls [1/min]			
Belastungszeit [s]		..... sek / 25 Stepps	

ANH. B2: METHODISCHE ASPEKTE

B 2.1 Ergometrie-Programm der BauA-Studie

Ablauf			**Zeitdauer**	**Messung von BD und HF**
Vorruhe (VR_{erg})		Vorruhe auf Ergometer	3 min	1 + 3. Min
Männer	**Frauen**		Steigerung [Minuten]	
75 W	50 W	Belastungsstufe 1	3 min	3. min
100 W	75 W	Belastungsstufe 2	3 min	3. min
125 W	100 W	Belastungsstufe 3	3 min	3. min
150 W	125 W	Belastungsstufe 4	3 min	3. min
175 W	150 W	Belastungsstufe 5	3 min	3. min
200 W	175 W	Belastungsstufe 6	3 min	3. min
: : :	: : :	: : :	: : :	: : :
Submaximale Belastung (ERG_{sub})		**Abbruch** individuell in Abhängigkeit von der altersabhängigen submaximalen Herzfrequenz		Abbruch-Messung
Abbruchkriterium: 85 % der altersbezogenen maximalen Herzfrequenz				
Nachruhe (NR_{erg})		Nachruhe auf Ergometer	5 min	1. + 3. + 5. Min

B 2.2 Beispiel Protokoll der Ergebnisse der bioelektrischen Impedanzanalyse

BIA

Elke Musterfrau

30. Juli 2007

Unt.Nr.:	123456
Geb.Datum:	13. Mai 1954
Gewicht:	75,00 kg
Größe:	168 cm

Resistanz	667 Ohm
Reaktanz	61 Ohm

Körperzusammensetzung

	Wert	Normbereich		Normbereich			
		niedrig	hoch	zu niedrig	niedrig	hoch	zu hoch
Body Maß Index	26,6	19,0	24,0				
Fettmasse / kg	30,4	10,1	16,8				
Aktivzellmasse / kg	22,3	19,2	30,1				
Zellanteil %	50,1	50,0	56,0				
Körperwasser / kg	32,6	26,9	42,6				
Magermasse / kg	44,6	36,7	58,2				
Taille / Hüfte Verhältnis			< 0,85				

ANH. B3: ERGEBNISSE

ANH. B3.1: KOVARIABLEN

B 3.1.1 Korrelationen zwischen Kovariablen und kardiovaskulären Indikatoren (Differenzwerte) der Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) – Gesamtstichprobe (n = 66)

Kovariable		HF – Differenzwerte				SBD – Differenzwerte			
		ERGO		ST25		ERGO		ST25	
		RU – BEL	BEL – EH	RU – BEL	BEL – EH	RU – BEL	BEL – EH	RU – BEL	BEL – EH
Geschlecht	r-Wert	.21	.23	.37**	.34**	.06	.05	.00	-.06
	p-Wert	.094	.061	.003	.006	.636	.719	.984	.653
Alter	r-Wert	-.37**	-.18	-.12	-.08	-.03	.11	.00	.07
	p-Wert	.002	.142	.348	.552	.806	.399	.996	.590
BMI	r-Wert	-.42***	-.35**	-.19	-.13	-.17	-.04	-.10	-.13
	p-Wert	<.001	.004	.121	.314	.179	.765	.444	.298
Taille	r-Wert	-.44***	-.36**	-.33**	-.26*	-.08	.03	.01	-.01
	p-Wert	<.001	.003	.008	.036	.530	.821	.966	.962
WHR	r-Wert	-.40**	-.34**	-.47***	-.42***	-.04	.02	.06	.05
	p-Wert	.001	.006	<.001	<.001	.723	.852	.643	.664
WHtR	r-Wert	-.50***	-.38**	-.28*	-.22	-.11	.02	-.03	-.07
	p-Wert	<.001	.002	.025	.075	.386	.877	.803	.573
Sportstunden/Woche	r-Wert	.05	.16	-.11	-.04	.27*	.22	.15	.10
	p-Wert	.688	.204	.384	.742	.026	.075	.236	.405

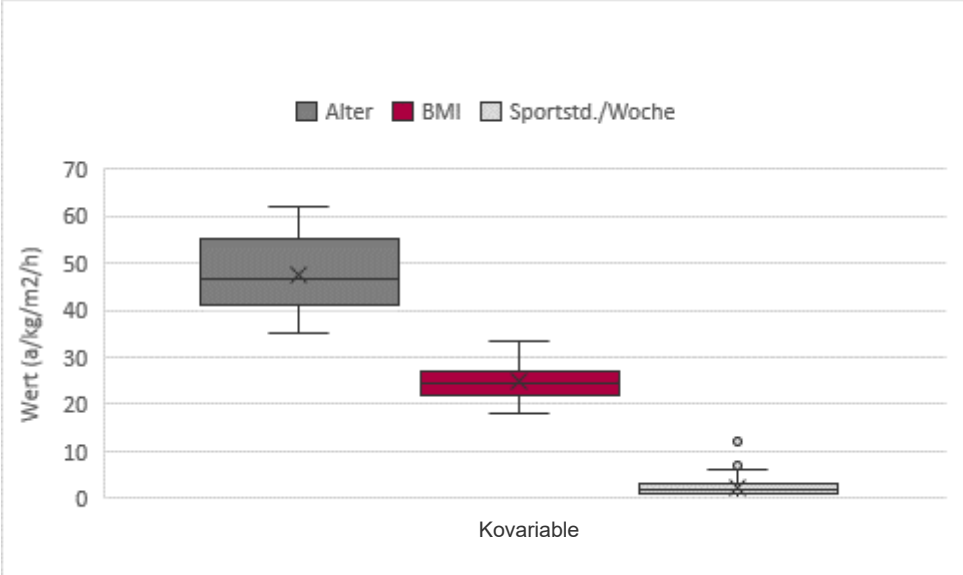
Anmerkungen: Differenzwerte: RU: Ruhe, BEL: Belastung, EH: Erholung; ERGO: Kurzergometrie auf Fahrradergometer, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen; BMI: Body-Mass-Index, WHR: Waist-to-Hip-Ratio, WHtR: Waist-to-Height-Ratio; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

B 3.1.2 Korrelationen zwischen Kovariablen und kardiovaskulären Indikatoren (Differenzwerte, PWC_{130}) des Belastungs-EKGs – Gesamtstichprobe (n = 66)

Kovariable		HF-Diff		SBD-Diff		PWC_{130}	
		RU – BEL	BEL – EH	RU – BEL	BEL – EH	absolut	Pro kg
Geschlecht	r-Wert	-.45***	-.19	-.38**	-.30*	-.58***	-.26*
	p-Wert	<.001	.124	.002	.015	<.001	.047
Alter	r-Wert	-.27	-.22	.31*	.29*	-.09	-.18
	p-Wert	.608	.090	.017	.026	.517	.173
BMI	r-Wert	.23	-.05	.41**	.36**	.12	-.37**
	p-Wert	.080	.702	.001	.004	.377	.004
Taille	r-Wert	.37**	-.04	.48***	.45***	.32*	-.21
	p-Wert	.004	.778	<.001	<.001	.012	.100
WHR	r-Wert	.37*	-.03	.35**	.33*	.43**	.02
	p-Wert	.004	.845	.006	.011	.001	.901
WHtR	r-Wert	.32*	-.05	.41**	.40**	.14	-.31*
	p-Wert	.012	.730	.001	.002	.270	.015
Sportstunden/Woche	r-Wert	-.08	.11	.06	.06	.17	.25
	p-Wert	.519	.389	.637	.646	.189	.057

Anmerkungen: Differenzwerte: RU: Ruhe, BEL: Belastung, EH: Erholung; PWC_{130}: Physical-Working-Capacity bei einer Herzfrequenz von 130; BMI: Body-Mass-Index, WHR: Waist-to-Hip-Ratio, WHtR: Waist-to-Height-Ratio; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

B 3.1.3 Boxplots der Kovariablen (Alter, BMI, Sportstunden/Woche) zur Ausreißerkontrolle – Gesamtstichprobe (n = 66)



B 3.1.4 Korrelationen zwischen ausgewählten Belastungsindikatoren der Belastungstests (ERGO, ST25, BEKG) und den Kovariablen (Alter, BMI, Sportstunden/Woche) – Männer (n = 37) und Frauen (n = 29)

Testsituation		Männer			Frauen		
		Alter	BMI	Sportstd. /Woche	Alter	BMI	Sportstd. /Woche
ERGO_HF_Belastung	r-Wert	-.34*	-.05	-.25	-.45*	**-.51****	.03
	p-Wert	.038	.792	.138	.014	.005	.882
ERGO_SBD_Belastung	r-Wert	.16	-.03	.21	.33	.44*	.02
	p-Wert	.339	.879	.218	.080	.016	.929
ERGO Belastungszeit	r-Wert	.33*	.08	.06	**.60****	.20	-.23
	p-Wert	.047	.659	.744	.001	.305	.233
ST25_HF_Belastung	r-Wert	-.22	.19	**-.50****	-.23	-.41*	.03
	p-Wert	.192	.264	.002	.234	.029	.888
ST25_SBD_Belastung	r-Wert	.39*	-.04	.22	.01	**.52****	-.33
	p-Wert	.018	.749	.167	.678	.004	.069
ST25 Belastungszeit	r-Wert	.35*	.07	.05	**.57****	.45*	.05
	p-Wert	.036	.668	.755	.001	.015	.816
BEKG HF höchste Belastungsstufe	r-Wert	-.39*	.13	-.33*	-.26	.04	-.11
	p-Wert	.016	.437	.044	.176	.850	.586
BEKG SBD höchste Belastungsstufe	r-Wert	.40*	.27	<.00	.37*	**.64*****	-.23
	p-Wert	.015	.101	.997	.047	<.001	.222
BEKG Belastungszeit	r-Wert	**-.52****	.35*	-.09	-.36	.32	-.02
	p-Wert	.001	.035	.588	.059	.089	.936

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m²]; ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEKG: Belastungs-Elektrokardiographie; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

ANH. B3.2: DESKRIPTIVE STATISTIK – KARDIOVASKULÄRE INDIKATOREN

B 3.2.1 Deskriptive Analyse der kardiovaskulären Indikatoren (Absolutwerte) der Kurzbelastungstests und des Belastungs-EKGs – Gesamtstichprobe (n = 66)

Test	Belastungs programm	GSP		Männer		Frauen		Signifikanzprüfung	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD	Prüfwert	p-Wert
Herzfrequenz[bpm]									
ERGO	Ruhe	72.8	12.0	72.8	12.7	72.8	11.2	.98	.515
	Belastung	108.7	23.3	105.2	23.4	113.1	22.7	.98	.604
	Erholung	77.8	16.7	77.5	16.6	78.2	17.2	.95	.011
ST25	Ruhe	72.9	12.5	72.5	12.8	73.5	12.2	.99	.718
	Belastung	94.8	21.3	89.3	20.3	101.9	20.9	.97	.115
	Erholung	72.3	13.5	71.3	12.8	73.6	14.5	.96	.030
BEKG	Ruhe	87.8	12.4	85.9	12.7	90.2	11.7	.97	.192
	Belastung	151.9	20.2	156.9	20.3	145.7	18.6	.98	.406
	Erholung	101.4	16.9	103.9	17.0	98.1	16.6	.99	.965
Systolischer Blutdruck [mmHg]									
ERGO	Ruhe	134.3	15.6	139.1	13.9	128.1	15.7	.98	.390
	Belastung	147.6	20.2	151.5	21.3	142.7	17.8	.98	.236
	Erholung	144.6	16.1	149.2	15.7	138.8	15.0	.96	.041
ST25	Ruhe	130.6	15.0	135.2	13.8	124.6	14.4	.99	.623
	Belastung	148.5	18.2	153.1	16.7	142.6	18.4	.97	.135
	Erholung	133.7	15.2	137.6	14.8	128.7	14.5	.96	.018
BEKG	Ruhe	120.6	14.0	121.9	10.3	118.9	17.7	.99	.948
	Belastung	177.2	27.2	187.1	27.5	164.6	21.3	.99	.723
	Erholung	127.9	16.9	132.8	16.6	121.7	15.5	.97	.089
Diastolischer Blutdruck [mmHg]									
ERGO	Ruhe	84.2	9.5	85.8	8.9	82.0	10.0	.98	.241
	Belastung	81.3	9.3	82.5	9.4	79.7	9.1	.99	.813
	Erholung	86.0	10.4	87.3	10.7	84.4	9.9	.98	.266
ST25	Ruhe	84.3	8.9	86.2	8.9	81.7	8.4	.98	.577
	Belastung	82.6	8.6	83.9	8.6	80.9	8.5	.98	.504
	Erholung	84.9	10.2	86.9	9.7	82.4	10.4	.97	.096
BEKG	Ruhe	81.0	10.5	81.7	11.3	80.0	9.4	.97	.180
	Belastung	91.8	17.6	94.4	16.0	88.7	19.2	.96	.051
	Erholung	80.8	12.0	85.4	10.7	74.9	11.0	.99	.773

Anmerkung: GSP: Gesamtstichprobe; MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung; ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEKG: Belastungs-Elektrokardiographie; Shapiro-Wilk-Test; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

B 3.2.2 Deskriptive Analyse der kardiovaskulären Indikatoren (Differenzwerte) der Kurzbelastungstests und des Belastungs-EKGs – Gesamtstichprobe (n = 66)

Test	Belastungsprogramm	GSP		Männer		Frauen		Signifikanzprüfung	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD	Prüfwert	p-Wert
Herzfrequenz - Differenz [bpm]									
ERGO	Ruhe – Belastung	35.9	19.0	32.4	18.6	40.3	18.8	.97	.136
	Belastung – Erholung	30.8	15.4	27.7	14.5	34.9	15.9	.97	.093
ST25	Ruhe – Belastung	21.9	15.9	16.8	13.7	28.4	16.3	.91	<.001
	Belastung – Erholung	22.5	15.2	18.0	13.2	28.3	15.9	.90	<.001
BEKG	Ruhe – Belastung	64.1	17.4	70.9	17.3	55.4	13.3	.97	.103
	Belastung – Erholung	50.6	14.2	52.9	12.6	47.5	15.7	.99	.783
Systolischer Blutdruck - Differenz [mmHg]									
ERGO	Ruhe – Belastung	13.4	17.6	12.5	19.5	14.6	15.1	.97	.057
	Belastung – Erholung	3.0	17.2	2.4	18.6	3.9	15.5	.98	.255
ST25	Ruhe – Belastung	17.9	14.5	17.9	15.7	18.0	13.1	.98	.275
	Belastung – Erholung	14.8	14.9	15.5	17.0	13.8	12.0	.96	.040
BEKG	Ruhe – Belastung	56.7	25.8	65.2	23.3	45.7	25.1	.99	.606
	Belastung – Erholung	49.3	19.2	54.3	20.2	42.9	16.1	.99	.751
Diastolischer Blutdruck - Differenz [mmHg]									
ERGO	Ruhe – Belastung	-2.9	10.4	-3.3	9.9	-2.3	11.1	.98	.391
	Belastung – Erholung	-4.8	10.1	-4.8	9.6	-4.8	10.9	.96	.032
ST25	Ruhe – Belastung	-1.7	7.6	-2.3	8.1	-.8	6.9	.99	.792
	Belastung – Erholung	-2.3	7.1	-2.9	7.2	-1.5	7.1	.96	.029
BEKG	Ruhe – Belastung	10.9	18.1	12.6	17.6	8.7	18.8	.94	.002
	Belastung – Erholung	11.1	15.2	9.0	14.0	13.7	16.6	.91	<.001

Anmerkung: GSP: Gesamtstichprobe; MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung; ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEKG: Belastungs-Elektrokardiographie; Shapiro-Wilk-Test; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

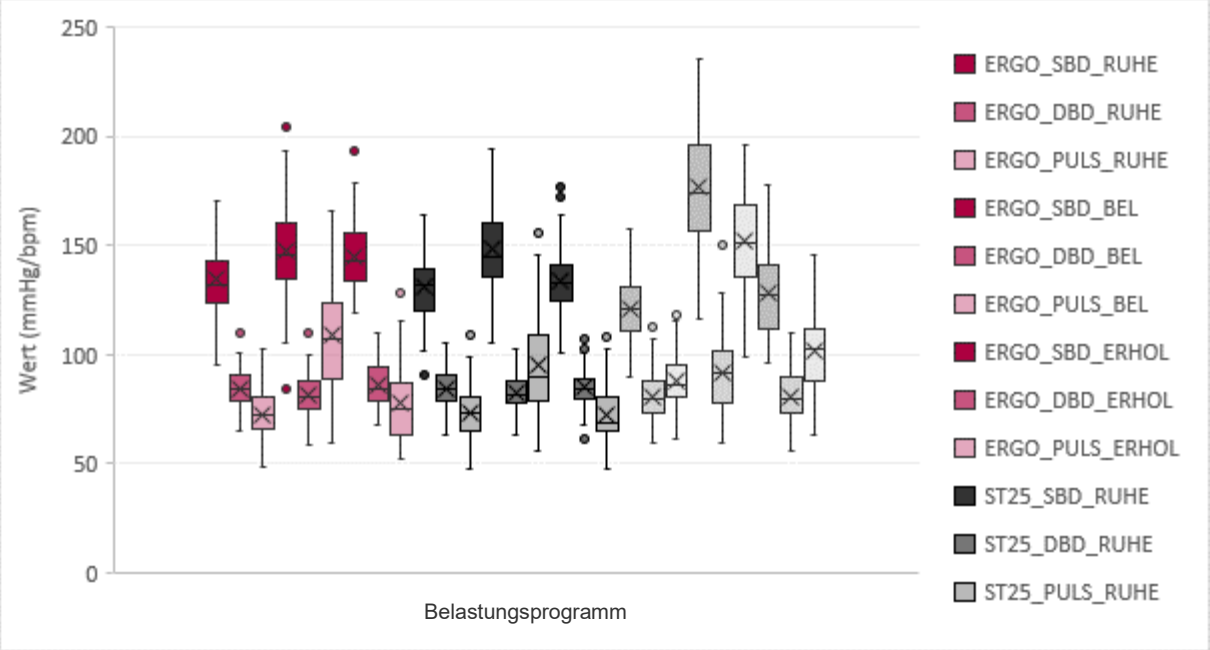
Die Standardabweichungen der Differenzmittelwerte der kardiovaskulären Indikatoren weisen teilweise links- bzw. rechtsschiefe Verteilungen auf. Das erfordert normalerweise die statistischen Maßzahlen Median und Quartil sowie nicht paarametrische Tests. Aus Vergleichsgründen wurde hier allerdings das statistische Wertepaar arithmetisches Mittel und Standardabweichung sowie der t-Test verwendet.

B 3.2.3 Signifikanzprüfungen zwischen Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) und Belastungs-EKG (BEKG) der Belastungszeit – Gesamtstichprobe (n = 66)

Test	MW	SD	MW	SD	r	Signifikanzprüfung t-Wert	Fehler df	p-Wert	Cohen´s d
ERGO - ST25	26.6	7.0	37.5	9.1	.36	9.60	65	**<.001*** **	1,32
ERGO - BEKG			734.5	215.5	-.29	26.4	65	**<.001*** **	5.22
ST25 - BEKG					-.03	26.2	65	**<.001*** **	4.63

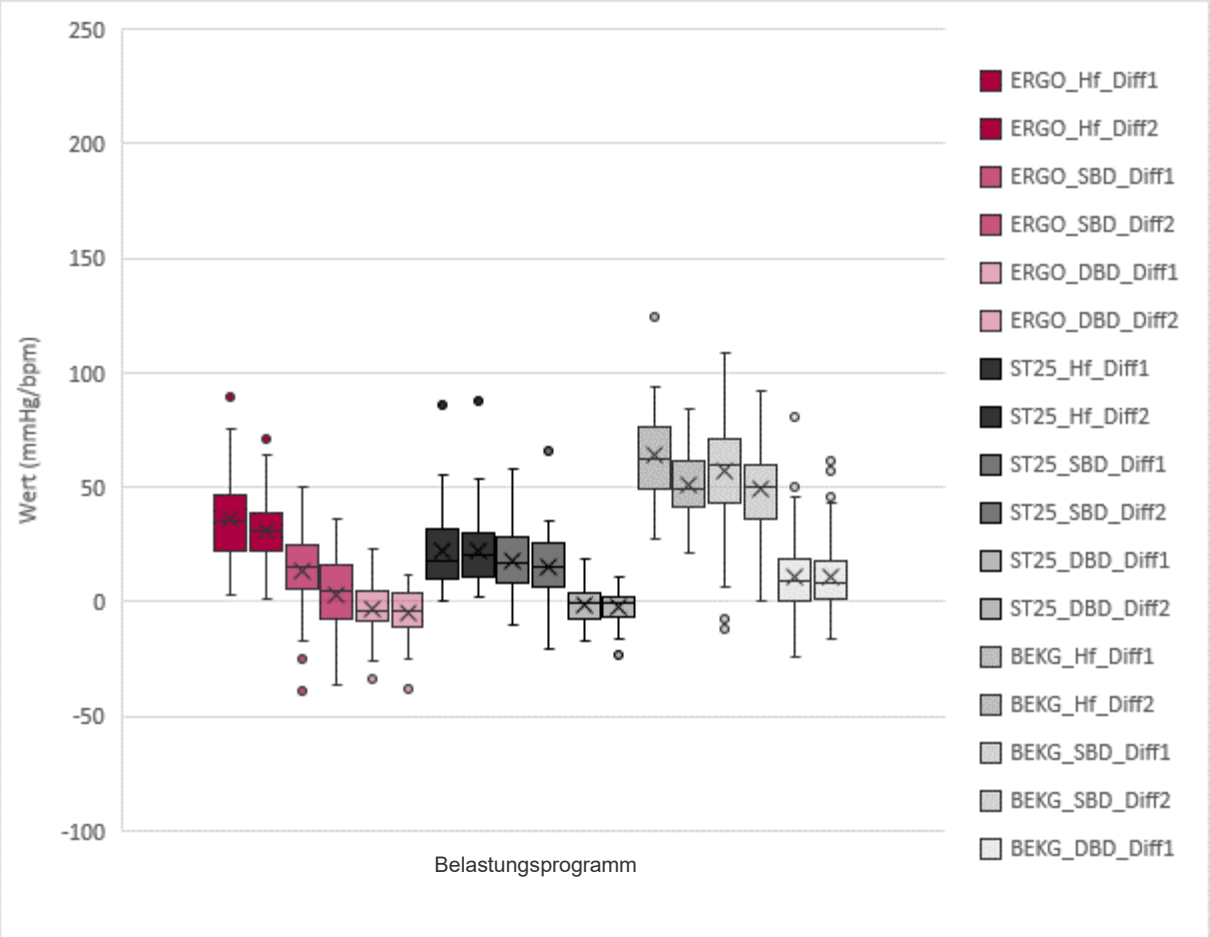
Anmerkungen: MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung; ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEKG: Belastungs-Elektrokardiographie; t-Test für abhängige Stichproben; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; Cohen´s d: Effektstärke d; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

B 3.2.4 Boxplots der kardiovaskulären Indikatoren (Absolutwerte) der Kurzbelastungstests und des Belastungs-EKGs zur Ausreißerkontrolle – Gesamtstichprobe (n = 66)



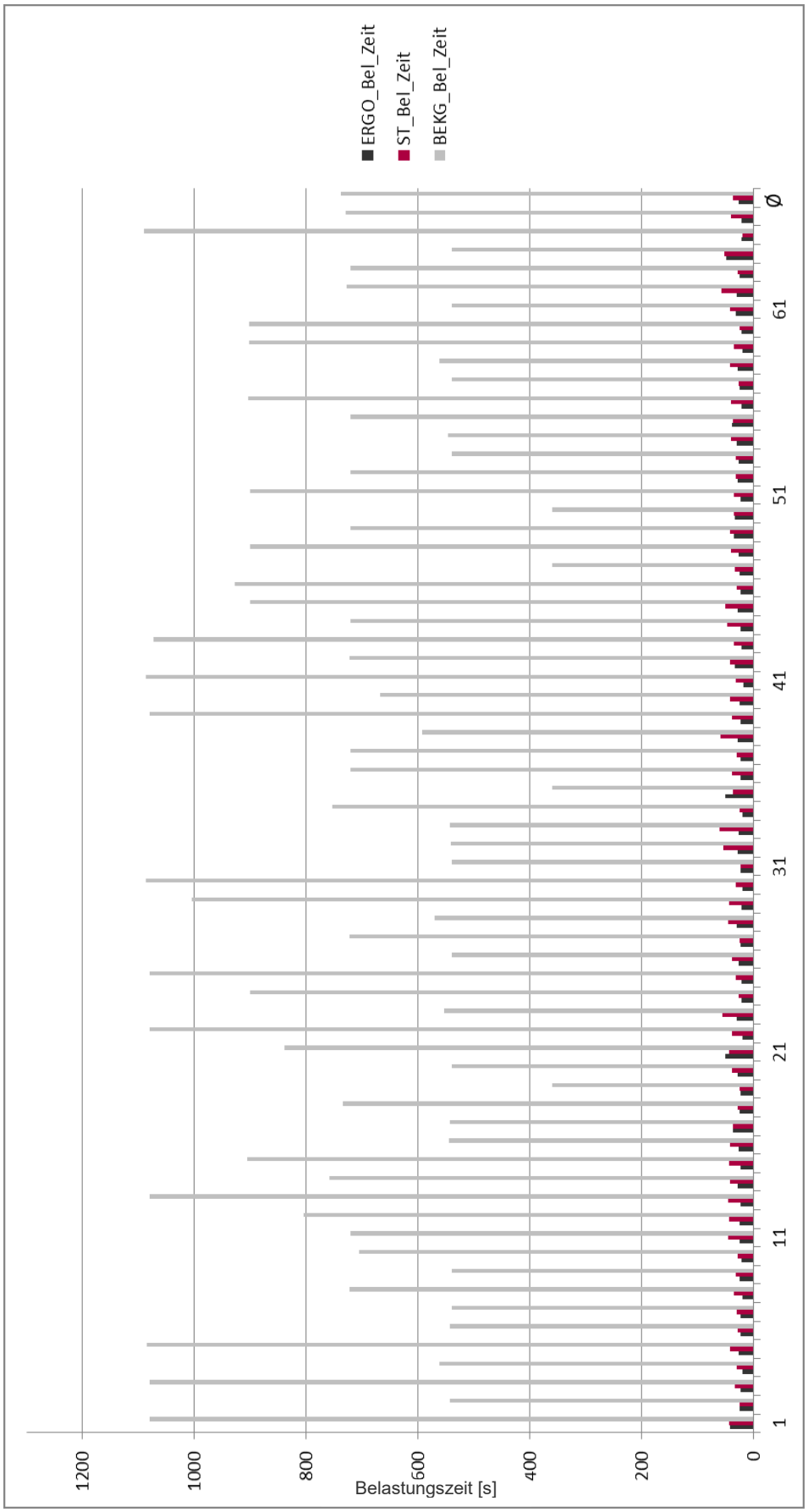
Anmerkungen: HF: Puls / Herzfrequenz, SBD: systolischer Blutdruck, DBD: diastolischer Blutdruck; ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEKG: Belastungs-EKG.

B 3.2.5 Boxplots der kardiovaskulären Indikatoren (Differenzwerte) der Kurzbelastungstests und des Belastungs-EKGs zur Ausreißerkontrolle – Gesamtstichprobe (n = 66)



Anmerkungen: HF: Herzfrequenz, SBD: systolischer Blutdruck, DBD: diastolischer Blutdruck; Diff1: Differenz zwischen Ruhe und Belastung, Diff2: Differenz zwischen Belastung und Erholung; ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEKG: Belastungs-EKG.

B 3.2.6 Belastungszeiten der Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) und des Belastungs-EKGs der Studienteilnehmer – Gesamtstichprobe (n = 66)



ANH. B3.3: ERGEBNISSE ZU FRAGESTELLUNG 1

B 3.3.1 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Faktoren Kurzbelastungstests (Test), Differenzwerte (DIFF), kardiovaskuläre Indikatoren (KI – ohne DBD) und Kovariaten – Gesamtstichprobe (n = 66)

Effekt	**Wert**	**F-Wert**	**Hypothesen-df**	**Fehler df**	**p-Wert**	**η^2**
Test	.043	2.62	1	61	.111	.041
Test * Geschlecht	.001	.09	1	61	.767	.001
Test * Alter	.021	1.31	1	61	.257	.021
Test * BMI	.018	1.11	1	61	.297	.018
Test * Sportstunden/Woche	.057	3.50	1	61	.066	.054
DIFF	.183	11.14	1	61	**.001****	.154
DIFF * Geschlecht	.002	.12	1	61	.728	.002
DIFF * Alter	.092	5.58	1	61	**.021***	.084
DIFF * BMI	.021	1.28	1	61	.263	.020
DIFF * Sportstunden/Woche	.002	.15	1	61	.698	.002
KI	.074	4.54	1	61	**.037***	.069
KI * Geschlecht	.029	1.76	1	61	.189	.028
KI * Alter	.023	1.39	1	61	.244	.022
KI * BMI	.006	.35	1	61	.554	.006
KI * Sportstunden/Woche	.016	.96	1	61	.331	.015
Kovariate	**MW^2**					
Konstanter Term	1271.528	25.78	1	-	<.001***	.297
Geschlecht	230.271	4.67	1	-	**.035***	.071
Alter	51.610	1.05	1	-	.310	.017
BMI	240.642	4.88	1	-	**.031***	.074
Sportstunden/Woche	121.935	2.47	1	-	.121	.039
Fehler	49.325		61			

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m²]; Allgemeines Lineares Modell mit Messwiederholung (Design: Konstanter Term + Geschlecht + Alter + BMI + Sportstunden/Woche); Innersubjektdesign: Test (ERGO, ST25) + DIFF (Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung) + KI (HF, SBD); Prüfgröße: F; MW^2: quadratischer Mittelwert; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05; η^2: partielles Eta-Quadrat.

B 3.3.2 Korrelationen zwischen den Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) für die kardiovaskulären Indikatoren (Differenzwerte) – Gesamtstichprobe (n = 66)

Kurztest			**Differenzwert – HF, SBD, DBD**	
			ST25	
ERGO	**Kardiovaskuläre Indikatoren**		Ruhe – Belastung	Belastung – Erholung
Differenz Ruhe – Belastung	Herzfrequenz	r-Wert	.58***	
		p-Wert	<.001	
	Systolischer Blutdruck	r-Wert	.38**	
		p-Wert	.002	
	Diastolischer Blutdruck	r-Wert	.20	
		p-Wert	.185	
Differenz Belastung – Erholung	Herzfrequenz	r-Wert		.48***
		p-Wert		<.001
	Systolischer Blutdruck	r-Wert		.40**
		p-Wert		.001
	Diastolischer Blutdruck	r-Wert		.24*
		p-Wert		.050

Anmerkungen: ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

ANH. B3.4: ERGEBNISSE ZU FRAGESTELLUNG 2

B 3.4.1 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Faktoren Belastungstests (Test), Differenzwerte (DIFF), kardiovaskuläre Indikatoren (KI – ohne DBD) und Kovariaten – Gesamtstichprobe (n = 66)

Effekt	Wert	F-Wert	Hypothesen-df	Fehler df	p-Wert	η^2
Test	.056	1.67	2	60	.197	.053
Test * Geschlecht	.328	9.85	2	60	**<.001*** **	.247
Test * Alter	.024	.72	2	60	.490	.024
Test * BMI	.216	6.49	2	60	**.003** **	.178
Test * Sportstunden/Woche	.060	1.79	2	60	.176	.056
DIFF	.053	3.26	1	61	.076	.051
DIFF * Geschlecht	.043	2.60	1	61	.112	.041
DIFF * Alter	.023	1.42	1	61	.238	.023
DIFF * BMI	.000	.03	1	61	.864	.000
DIFF * Sportstunden/Woche	.015	.90	1	61	.346	.015
KI	.210	12.78	1	61	**.001** **	.173
KI * Geschlecht	.027	1.63	1	61	.206	.026
KI * Alter	.079	4.83	1	61	**.032***	.073
KI * BMI	.031	1.91	1	61	.172	.030
KI * Sportstunden/Woche	.032	1.93	1	61	.170	.031
Kovariate	**MW^2**					
Konstanter Term	998.692	21.12	1	-	<.001***	.257
Geschlecht	12.951	.27	1	-	.603	.004
Alter	27.500	.58	1	-	.449	.009
BMI	.381	.01	1	-	.929	.000
Sportstunden/Woche	82.242	1.74	1	-	.192	.028
Fehler	47.291		61			

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m²]; Allgemeines Lineares Modell mit Messwiederholung (Design: Konstanter Term + Geschlecht + Alter + BMI + Sportstunden/Woche; Innersubjektdesign: Test (ERGO, ST25, BEKG) + DIFF (Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung) + KI (HF, SBD); Prüfgröße: F; MW^2: quadratischer Mittelwert; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05; η^2: partielles Eta-Quadrat.

B 3.4.2 Korrelationen zwischen den Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) und dem Belastungs-EKG (BEKG) sowie den kardiovaskulären Indikatoren (Differenzwerte) – Gesamtstichprobe (n = 66)

BEKG	Kardiovaskuläre Indikatoren		Differenz – HF, SBD, DBD					
			Ruhe – Belastung			Belastung – Erholung		
			ERGO	ST25	BEKG	ERGO	ST25	BEKG
Differenz Ruhe – Belastung	Herzfrequenz	r-Wert	.07	-.03	-	.08	.00	.65***
		p-Wert	.557	.803	-	.539	1.000	<.001
	Systolischer Blutdruck	r-Wert	-.05	-.02	-	.04	.02	.78***
		p-Wert	.711	.855	-	.730	.847	<.001
	Diastolischer Blutdruck	r-Wert	-.22	-.08	-	-.18	-.03	.78***
		p-Wert	.077	.501	-	.151	.786	<.001
Differenz Belastung – Erholung	Herzfrequenz	r-Wert	.13	.11	-	.19	.13	-
		p-Wert	.316	.400	-	.122	.291	-
	Systolischer Blutdruck	r-Wert	.04	.02	-	.15	.02	-
		p-Wert	.736	.879	-	.228	.865	-
	Diastolischer Blutdruck	r-Wert	-.18	-.10	-	-.12	-.01	-
		p-Wert	.146	.404	-	.348	.965	-

Anmerkungen: ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEKG: Belastungs-EKG; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05

B 3.4.3 Kardiovaskuläre Beanspruchung (Ruhe-Belastungs-Differenzwerte für HF, SBD, DBD) der Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) und des Belastungs-EKGs (BEKG) – Gesamtstichprobe (n = 66)

Indikator	Test	MW	SD	r	Signifikanzprüfung			
					t-Wert	Fehler df	p-Wert	Cohen´s d
HF Diff1	ERGO - ST25	14.0	16.2	.58	7.0	65	**<.001*** **	-.79
	ERGO - BEKG	-28.3	24.8	.07	-9.3	65	**<.001*** **	1.55
	ST25 - BEKG	-42.2	23.9	-.03	-14.4	65	**<.001*** **	2.53
SBD Diff1	ERGO - ST25	-4.5	18.1	.34	-2.0	65	**.046***	.28
	ERGO - BEKG	-43.3	31.9	-.02	-11.0	65	**<.001*** **	1.96
	ST25 - BEKG	-38.7	29.9	-.02	-10.5	65	**<.001*** **	1.85
DBD Diff1	ERGO - ST25	-1.2	11.8	.17	-.9	65	.396	.13
	ERGO - BEKG	-13.8	22.8	-.22	-4.9	65	**<.001*** **	.94
	ST25 - BEKG	-12.5	20.2	-.09	-5.0	65	**<.001*** **	.91

Anmerkungen: MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung; ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEGK: Belastungs-Elektrokardiographie; Diff1: Ruhe-Belastungs-Differenz; t-Test für abhängig Stichproben; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05; d: Effektstärke.

Die Standardabweichungen der Differenzmittelwerte der kardiovaskulären Indikatoren weisen teilweise links- bzw. rechtsschiefe Verteilungen auf. Das erfordert normalerweise die statistischen Maßzahlen Median und Quartil sowie nicht paarametrische Tests. Aus Vergleichsgründen wurde hier allerdings das statistische Wertepaar arithmetisches Mittel und Standardabweichung sowie der t-Test verwendet.

ANH. B3.5: ERGEBNISSE ZU FRAGESTELLUNG 3

B 3.5.1 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) des Faktors Belastungstest (Test), den Differenzwerten (DIFF) sowie den kardiovaskulären Indikatoren (KI ohne DBD) und der Kovariaten – Männer (n = 37) und Frauen (n = 29)

Effekt	Wert	F-Wert	Hypothesen-df	Fehler df	p-Wert	η^2
		Männer				
Test	.066	1.06	2	32	.359	.062
Test * Alter	.064	1.02	2	32	.372	.060
Test * BMI	.151	2.42	2	32	.105	.132
Test * Sportstunden/Woche	.037	.59	2	32	.563	.035
DIFF	.011	.37	1	33	.548	.011
DIFF * Alter	.003	.09	1	33	.772	.003
DIFF * BMI	.000	.00	1	33	1.000	<.001
DIFF * Sportstunden/Woche	.015	.48	1	33	.492	.014
KI	.167	5.49	1	33	**.025***	.143
KI * Alter	.244	8.05	1	33	**.008****	.196
KI * BMI	.000	.01	1	33	.910	<.001
KI * Sportstunden/Woche	.140	4.62	1	33	**.039***	.123
Kovariate	**MW^2**					
Konstanter Term	364.033	8.28	1	-	**.007****	.201
Alter	6.045	.14	1	-	.713	.004
BMI	5.842	.13	1	-	.718	.004
Sportstunden/Woche	11.761	.27	1	-	.608	.008
Fehler	43.956		33			
		Frauen				
Test	.075	.90	2	24	.419	.070
Test * Alter	.001	.01	2	24	.992	.001
Test * BMI	.327	3.92	2	24	**.034***	.246
Test * Sportstunden/Woche	.128	1.54	2	24	.234	.114
DIFF	.199	4.98	1	25	**.035***	.166
DIFF * Alter	.248	6.19	1	25	**.020***	.198
DIFF * BMI	.015	.37	1	25	.547	.015
DIFF * Sportstunden/Woche	.012	.29	1	25	.592	.012
KI	.341	8.54	1	25	**.007****	.255
KI * Alter	.006	.14	1	25	.710	.006
KI * BMI	.203	5.08	1	25	**.033***	.169
KI * Sportstunden/Woche	.050	1.25	1	25	.274	.048
Kovariate	**MW^2**					
Konstanter Term	656.778	12.73	1	-	**.001****	.337
Alter	122.442	2.37	1	-	.136	.087
BMI	7.599	.15	1	-	.704	.006
Sportstunden/Woche	140.369	2.72	1	-	.112	.098
Fehler	51.611		25			

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m^2]; Allgemeines Lineares Modell mit Messwiederholung (Design: Konstanter Term + Alter + BMI + Sportstunden/Woche); Innersubjektdesign: Test (ERGO, ST25, BEKG) + DIFF (Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung) + KI (HF, SBD); Prüfgröße: F; MW^2: quadratischer Mittelwert; η^2: partielles Eta-Quadrat; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

B 3.5.2 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Faktoren Belastungstest (Test), Differenzwerte (DIFF), kardiovaskuläre Indikatoren (KI – mit DBD) und Kovariaten – Männer (n = 37) und Frauen (n = 29)

Effekt	Wert	F-Wert	Hypothesen-df	Fehler df	p-Wert	η^2
			Männer			
Test	.026	.41	2	32	.668	.025
Test * Alter	.063	1.01	2	32	.376	.059
Test * BMI	.075	1.20	2	32	.313	.070
Test * Sportstunden/Woche	.055	.88	2	32	.426	.052
DIFF	.018	.60	1	33	.444	.018
DIFF * Alter	.007	.22	1	33	.646	.006
DIFF * BMI	.001	.04	1	33	.841	.001
DIFF * Sportstunden/Woche	.014	.47	1	33	.496	.014
KI	.528	8.44	2	32	**.001****	.345
KI * Alter	.245	3.92	2	32	**.030***	.197
KI * BMI	.015	.25	2	32	.783	.015
KI * Sportstunden/Woche	.145	2.32	2	32	.114	.127
Kovariate	**MW^2**					
Konstanter Term	136.925	4.85	1	-	**.035***	.128
Alter	7.447	.26	1	-	.611	.008
BMI	.811	.03	1	-	.866	.001
Sportstunden/Woche	6.054	.22	1	-	.646	.006
Fehler	28.208		33			
			Frauen			
Test	.086	1.03	2	24	.373	.079
Test * Alter	.013	.15	2	24	.859	.013
Test * BMI	.216	2.60	2	24	.095	.178
Test * Sportstunden/Woche	.019	.23	2	24	.794	.019
DIFF	.154	3.86	1	25	.061	.134
DIFF * Alter	.284	7.09	1	25	**.013***	.221
DIFF * BMI	.028	.69	1	25	.414	.027
DIFF * Sportstunden/Woche	.008	.19	1	25	.666	.008
KI	.494	5.93	2	24	**.008****	.331
KI * Alter	.070	.84	2	24	.445	.065
KI * BMI	.256	3.07	2	24	.065	.204
KI * Sportstunden/Woche	.055	.65	2	24	.529	.052
Kovariate	**MW^2**					
Konstanter Term	290.979	8.16	1	-	**.009****	.246
Alter	50.193	1.41	1	-	.247	.053
BMI	3.364	.09	1	-	.761	.004
Sportstunden/Woche	94.885	2.66	1	-	.115	.096
Fehler	35.665		25			

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m^2]; Allgemeines Lineares Modell mit Messwiederholung (Design: Konstanter Term + Alter + BMI + Sportstunden/Woche); Innersubjektdesign: Test (ERGO, ST25, BEKG) + DIFF (Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung) + KI (HF, SBD, DBD); Prüfgröße: F; MW^2: quadratischer Mittelwert; η^2: partielles Eta-Quadrat; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

B3.5.3 Signifikanzprüfungen zwischen Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) und Belastungs-EKG (BEKG) der kardiovaskulären Indikatoren (Ruhe-Belastungs-Differenzwerte) – Männer (n = 37) und Frauen (n = 29)

					Signifikanzprüfung			
Indikator	**Test**	**MW**	**SD**	**Standardfehler MW**	**t-Wert**	**Fehler df**	**p-Wert**	**Cohen´s d**
Männer								
HF Diff1	ERGO - ST25	15.6	17.7	2.9	5.4	36	**<.001*** **	-.96
	ERGO - BEKG	-38.5	22.3	3.7	-10.5	36	**<.001*** **	2.14
	ST25 - BEKG	-54.1	19.7	3.2	-16.7	36	**<.001*** **	3.47
SBD Diff1	ERGO - ST25	-5.4	19.9	3.3	-1.7	36	.106	.31
	ERGO - BEKG	-52.8	31.2	5.1	-10.3	36	**<.001*** **	2.45
	ST25 - BEKG	-47.4	29.0	4.8	-9.9	36	**<.001*** **	2.38
DBD Diff1	ERGO - ST25	-1.0	11.1	1.8	-.5	36	.586	0.11
	ERGO - BEKG	-16.0	23.1	3.8	-4.2	36	**<.001*** **	1.11
	ST25 - BEKG	-15.0	20.2	3.3	-4.5	36	**<.001*** **	1.09
Frauen								
HF Diff1	ERGO - ST25	11.9	13.9	2.6	4.6	28	**<.001*** **	-.68
	ERGO - BEKG	-15.2	21.8	4.1	-3.7	28	**.001** **	.93
	ST25 - BEKG	-27.0	20.0	3.7	-7.3	28	**<.001*** **	1.82
SBD Diff1	ERGO - ST25	-3.4	15.8	2.9	-1.2	28	.254	.24
	ERGO - BEKG	-31.2	29.1	5.4	-5.8	28	**<.001*** **	1.50
	ST25 - BEKG	-27.8	27.8	5.2	-5.4	28	**<.001*** **	1.38
DBD Diff1	ERGO - ST25	-1.6	12.9	2.4	-.6	28	.522	.16
	ERGO - BEKG	-11.0	22.4	4.2	-2.6	28	**.013***	.71
	ST25 - BEKG	-9.4	20.2	3.7	-2.5	28	**.018***	.67

Anmerkungen: MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEGK: Belastungs-Elektrokardiographie; Diff1: Ruhe-Belastungs-Differenz; t-Test für abhängige Stichproben; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

Die Standardabweichungen der Differenzmittelwerte der kardiovaskulären Indikatoren weisen teilweise links- bzw. rechtsschiefe Verteilungen auf. Das erfordert normalerweise die statistischen Maßzahlen Median und Quartil sowie nicht paarametrische Tests. Aus Vergleichsgründen wurde hier allerdings das statistische Wertepaar arithmetisches Mittel und Standardabweichung sowie der t-Test verwendet.

B 3.5.4 Deskriptive Analyse der Belastungszeit der Kurzbelastungstests und des Belastungs-EKGs – Männer (n = 37) und Frauen (n = 29)

Test	**GSP**		**Männer**		**Frauen**		**Signifikanzprüfung**		
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	Prüfwert	p-Wert	Cohen´s d
ERGO	26.6	7.0	25.2	6.7	28.4	7.0	1,93	.058	0.47
ST25	37.5	9.1	39.1	10.0	35.5	7.5	1,65	.104	0,40
BEKG	734.5	215.5	864.0	173.9	568.0	133.3	7,60	**< .001*** **	1,88

Anmerkung: GSP: Gesamtstichprobe; MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung, ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEGK: Belastungs-Elektrokardiographie; t-Test für abhängige Stichproben; Cohen´s d: Effektstärke d; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05

B 3.5.5 Signifikanzprüfungen zwischen Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) und Belastungs-EKG (BEKG) der Belastungszeit – Männer (n = 37) und Frauen (n = 29)

						Signifikanzprüfung			
Test	**MW**	**SD**	**MW**	**SD**	**r**	**t-Wert**	**Fehler df**	**p-Wert**	**Cohen´s d**
	Männer								
ERGO - ST25	25.2	6.7	39.1	10.0	.39	8.83	36	**<.001*** **	1.60
ERGO - BEKG			864.9	173.9	-.15	29.19	36	**<.001*** **	7.28
ST25 - BEKG					-.41	28.19	36	**<.001*** **	7.78
	Frauen								
ERGO - ST25	28.4	7.0	35.5	7.5	.52	5.32	28	**<.001*** **	.97
ERGO - BEKG			568.0	133.3	-.26	21.48	28	**<.001*** **	6.33
ST25 - BEKG					.13	21.64	28	**<.001*** **	5.30

Anmerkungen: MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung; ERGO: Kurzergometrie, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, BEGK: Belastungs-Elektrokardiographie; t-Test für abhängige Stichproben; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05; Cohen´s d: Effektstärke d

ANHANG C: IPAS-STUDIE

ANH. C1: FRAGEBÖGEN UND UNTERSUCHUNGSDOKUMENTE

C 1.1 Anamnesebogen IPAS-Studie (Seibt & Spitzer 2013)

Zur Vorbereitung auf die Belastungsstudie bitten wir Sie noch um einige anamnestische Angaben.

Geburtsdatum: _____

Frauen:derzeit Schwangerschaft?❑$_0$ nein❑$_1$ jaWelcher Monat? _____

Sehhilfe (Brille / Kontaktlinsen):❑$_0$ nein❑$_1$ ja⇨❑ Nahbrille ❑ Fernbrille

(Lesebrille) (Brille zum Autofahren)

	= weitsichtig	kurzsichtig
	seit: ___ (Alter)	seit: ___ (Alter)

Hörgerät:❑$_0$ nein❑$_1$ ja⇨seit: _____

Rauchen:❑$_0$ nein, noch nie

❑$_1$ ja (derzeit) ⇨ Menge pro Tag: _____ Zigaretten

Seit wann rauchen Sie?_____ (Alter)

❑$_2$ nein, nicht mehr ⇨ Seit wann nicht mehr?_____ (Alter)

Alkohol:❑$_0$ nein, nie ❑$_1$ ja, regelmäßig ❑$_2$ ja, gelegentlich

⇨ *Was und wie viel trinken Sie durchschnittlich in der Woche?*

Bier: _____ Glas / Woche

Wein / Sekt: _____ Glas / Woche

Schnaps / Cognac: _____ Glas / Woche

Sport:❑$_0$ nein, überhaupt nicht

❑$_1$ ja⇨***Wie häufig treiben Sie Sport?*** ❑ selten (z. B. im Urlaub / in den Ferien)❑ einmal pro Woche

❑ 2 bis 3 mal / Woche

❑ täglich

⇨***Wie vielen Stunden entspricht das pro Woche?***_____ Stunden

⇨***Welchen Sport betreiben Sie?***❑ Ausdauer (z. B. Laufen, Radfahren, Skilaufen, Schwimmen)

❑ Kraftsport (z. B. im Fitnessstudio)

❑ Kampfsport (z. B. Karate, Judo)

❑ Ballspiele (z. B. Tennis, Handball)

❑ Gymnastische Sportarten (z. B. Aerobic etc.)

❑ Entspannungstechniken (z. B. Yoga)

❑ andere Sportarten: _____

ANH. C2: METHODISCHE ASPEKTE

C 2.1 Untersuchungsprogramm IPAS-Studie Tag 1 und 2

Protokoll Tag 1:

P-C.: …….. VMP-Nr.: …….. Geburtsdatum: …….. ⇨ Alter: …… Jahre

1. Anamnese

Gewicht [kg]:	**Taille** [cm]:		**WHR** (errechnet)**:**
Größe [cm]:	**Hüfte** [cm]:		
2. Steps	**Ruhe**	**Belastung**	**Erholung**
Systolischer Blutdruck [mmHg]			
Diastolischer Blutdruck [mmHg]			
Ruhepuls [1/min]			
Belastungszeit [s]	…… s / 20 Steps		
3. BIA: RC (großer Wert):		XC (kleiner Wert):	
4. Ergometrie	**Ruhe**	**Belastung**	**Erholung**
Systolischer Blutdruck [mmHg]			
Diastolischer Blutdruck [mmHg]			
Ruhepuls [1/min]			
Belastungszeit [s] / gefahrene Meter	…….. s	…….. m	
5. Kniebeuge	**Ruhe**	**Belastung**	**Erholung**
Systolischer Blutdruck [mmHg]			
Diastolischer Blutdruck [mmHg]			
Ruhepuls [1/min]			
Belastungszeit [s]	…….. s / 20 Kniebeuge		
Anmerkungen: (z. B. aktuelle Beschwerden)			

☐ **Abbruch:** …… **Grund:** ☐ Erschöpfung ☐ Luftnot ☐ Brustschmerzen

Kontraindikationen:

☐ Herzkranzgefäßkrankheit ☐ Asthma

☐ Herzschwäche ☐ chronische Bronchitis

☐ andere Herzkrankheiten ☐ andere Lungenkrankheiten

☐ grippaler Infekt ☐ Blutdruck > 170/105 mmHg

☐ Puls > 120 S/min ☐ Herzmedikamente

☐ durchblutungsfördernde Medikamente

Kontraindikationen Spirometrie:

Haben Sie manchmal Luftnot, besonders beim Treppensteigen? ☐ nein☐ ja

Protokoll Tag 2:

P-C.: …….. VMP-Nr.: …….. Geburtsdatum: …….. ⇨ Alter: …… Jahre

1. Vitalkapazität l]			
2. Steps	**Ruhe**	**Belastung**	**Erholung**
Systolischer Blutdruck [mmHg]			
Diastolischer Blutdruck [mmHg]			
Ruhepuls [1/min]			
Belastungszeit [s]		…… s / 25 Steps	
→Auswertung BIA			
3. Steps	**Ruhe**	**Belastung**	**Erholung**
Systolischer Blutdruck [mmHg]			
Diastolischer Blutdruck [mmHg]			
Ruhepuls [1/min]			
Belastungszeit [s]		…… s / 30 Steps	
4. Giessen-Fragebogen (SK)			
5. Kniebeuge	**Ruhe**	**Belastung**	**Erholung**
Systolischer Blutdruck [mmHg]			
Diastolischer Blutdruck [mmHg]			
Ruhepuls [1/min]			
Belastungszeit [s]		…….. s / 20 Kniebeuge	
Anmerkungen:			

☐ Abbruch: …… Grund:

☐ Erschöpfung

☐ Luftnot

☐ Brustschmerzen

ANH. C3: ERGEBNISSE

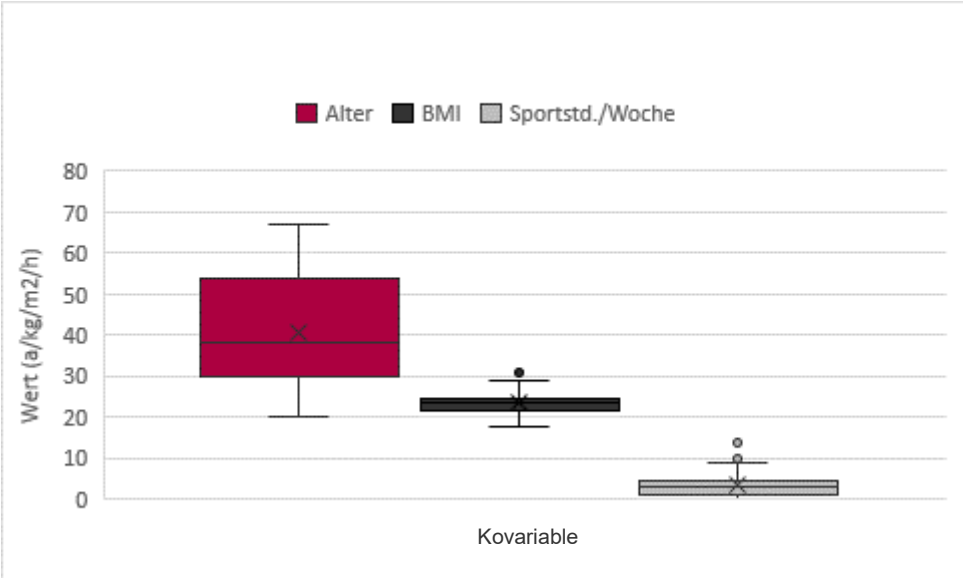
ANH. C3.1: KOVARIABLEN

C 3.1.1 Korrelationen zwischen Kovariablen, Kurzbelastungstests (ST20, ST25, ST30) und den kardiovaskulären Indikatoren (HF, SBD - Differenzwerte) – Gesamtstichprobe (n = 42)

Kovariable		Herzfrequenz – Differenzwerte						systolischer Blutdruck – Differenzwerte					
		ST20		ST25		ST30		ST20		ST25		ST30	
		RU – BEL	BEL – EH	RU – BEL	BEL – EH	RU – BEL	BEL – EH	RU – BEL	BEL – EH	RU – BEL	BEL – EH	RU – BEL	BEL – EH
Geschlecht	r-Wert	.39*	.26	.42**	.32*	**.57*** **	**.51****	.13	-.21	.08	.13	.18	.20
	p-Wert	.011	.100	.006	.036	<.001	.001	.422	.182	.628	.429	.269	.215
Alter	r-Wert	-.23	-.26	-.30	-.29	-.24	-.26	-.14	-.16	-.04	-.10	-.03	.02
	p-Wert	.143	.095	.053	.059	.120	.104	.376	.313	.785	.521	.831	.918
BMI	r-Wert	-.48**	-.39*	-.46**	-.38*	**-.55*****	-.46**	.01	.25	.06	-.01	-.08	-.19
	p-Wert	.001	.011	.002	.012	<.001	.002	.945	.105	.714	.972	.613	.231
Taille	r-Wert	-.40*	-.34*	-.41**	-.35*	**-.53*****	**-.55*****	-.20	.08	-.19	-.20	-.21	-.25
	p-Wert	.010	.027	.007	.023	<.001	<.001	.212	.626	.227	.197	.175	.118
WHR	r-Wert	-.45**	-.35*	-.45**	-.36*	**-.50****	**-.51****	-.23	.05	-.07	-.17	-.20	-.19
	p-Wert	.003	.021	.003	.019	.001	.001	.148	.760	.660	.282	.194	.228
WHtR	r-Wert	-.40**	-.35*	-.37*	-.32*	-.46**	**-.52*****	-.15	.07	-.09	-.16	-.15	-.22
	p-Wert	.009	.022	.014	.037	.002	<.001	.359	.669	.587	.309	.356	.170
Sportstd./ Woche	r-Wert	-.14	-.04	-.25	-.19	-.17	-.05	.18	.22	.26	.32*	.28	.32*
	p-Wert	.364	.795	.107	.232	.287	.762	.262	.171	.101	.041	.071	.039

Anmerkungen: Differenzwerte: RU: Ruhe, BEL: Belastung, EH: Erholung; ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen; BMI: Body-Mass-Index, WHR: Waist-to-Hip-Ratio, WHtR: Waist-to-Height-Ratio; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

C 3.1.2 Boxplots der Kovariablen (Alter, BMI, Sportstunden/Woche) zur Ausreißerkontrolle – Gesamtstichprobe (n = 42)



C 3.1.3 Korrelation zwischen ausgewählten Belastungsindikatoren der Belastungstests (ST20, ST25, ST30) und den Kovariablen (Alter, BMI, Sportstunden/Woche) – Männer (n = 18) und Frauen (n = 24)

Belastung		Männer			Frauen		
		Alter	BMI	Sportstd. /Woche	Alter	BMI	Sportstd. /Woche
ST20 HF - Belastung	r-Wert	-.22	-.23	-.03	-.41*	-.40	-.01
	p-Wert	.386	.350	.902	.048	.050	.980
ST20 SBD - Belastung	r-Wert	-.22	.34	**.50***	.32	.19	.01
	p-Wert	.381	.164	.036	.134	.363	.946
ST20 Belastungszeit	r-Wert	.39	.18	-.43	.19	-.39	-.19
	p-Wert	.109	.482	.075	.362	.063	.386
ST25 HF - Belastung	r-Wert	-.25	-.22	-.14	**-.60****	-.25	-.14
	p-Wert	.318	.370	.589	.002	.242	.529
ST25 SBD - Belastung	r-Wert	-.24	.26	**.61****	.19	.05	.06
	p-Wert	.348	.300	.007	.362	.825	.787
ST25 Belastungszeit	r-Wert	**.54***	.30	**-.52***	**.57****	-.03	.07
	p-Wert	.021	.228	.028	.004	.907	.739
ST30 HF - Belastung	r-Wert	-.28	-.25	.01	**-.71*****	-.35	-.02
	p-Wert	.261	.308	.974	<.001	.089	.920
ST30 SBD - Belastung	r-Wert	-.16	.28	**.56***	.33	.02	.13
	p-Wert	.517	.261	.015	.114	.910	.549
ST30 Belastungszeit	r-Wert	**.56***	.27	**-.57***	**.57****	-.07	.07
	p-Wert	.016	.273	.014	.003	.736	.750

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m²]; ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

ANH. C3.2: DESKRIPTIVE STATISTIK – KARDIOVASKULÄRE INDIKATOREN

C 3.2.1 Deskriptive Analyse der kardiovaskulären Indikatoren (Absolutwerte) – Gesamtstichprobe (n = 42)

Test	Belastungs-programm	GSP		Männer		Frauen		Signifikanzprüfung	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD	Prüfwert	p-Wert
Herzfrequenz [bpm]									
ST20	Ruhe	76.9	12.4	77.1	15.9	76.8	9.4	.98	.777
	Belastung	108.2	24.0	99.1	26.5	115.0	19.9	.98	.730
	Erholung	82.4	15.5	78.6	19.4	85.3	11.4	.99	.858
ST25	Ruhe	75.6	12.8	78.6	15.2	73.3	10.5	.96	.131
	Belastung	115.5	21.0	108.6	23.9	120.7	17.2	.94	.033
	Erholung	82.9	15.4	82.6	19.5	83.1	11.9	.97	.473
ST30	Ruhe	78.9	11.8	80.3	14.1	77.9	10.0	.98	.837
	Belastung	121.6	22.0	110.3	24.3	130.1	16.0	.92	.005
	Erholung	88.2	17.6	87.5	21.8	88.8	14.3	.96	.127
Systolischer Blutdruck [mmHg]									
ST20	Ruhe	126.6	17.2	139.2	13.6	117.3	13.1	.98	.729
	Belastung	149.2	24.8	159.1	27.5	141.8	20.1	.98	.601
	Erholung	133.8	17.3	139.4	14.6	129.7	18.3	.98	.603
ST25	Ruhe	119.9	14.2	129.7	13.4	112.6	9.8	.94	.031
	Belastung	144.5	19.7	153.1	24.2	138.1	12.6	.97	.265
	Erholung	135.3	17.0	146.0	14.7	127.2	14.1	.96	.099
ST30	Ruhe	124.3	16.3	133.8	16.3	117.2	12.5	.94	.037
	Belastung	147.1	23.1	152.9	26.6	142.8	19.5	.94	.022
	Erholung	138.7	18.8	149.0	19.2	131.0	14.5	.94	.034
Diastolischer Blutdruck [mmHg]									
ST20	Ruhe	77.1	9.3	81.2	8.9	74.0	8.5	.99	.913
	Belastung	83.0	13.0	84.7	16.4	81.8	9.9	.95	.068
	Erholung	82.8	10.0	82.6	12.0	83.0	8.5	.97	.437
ST25	Ruhe	74.8	8.8	80.5	7.8	70.6	6.9	.97	.400
	Belastung	81.3	12.2	82.6	15.0	80.3	9.7	.97	.405
	Erholung	80.2	7.9	82.6	8.4	78.5	7.2	.96	.173
ST30	Ruhe	79.9	9.0	83.3	9.1	77.4	8.2	.96	.195
	Belastung	83.9	12.8	84.2	14.6	83.7	11.5	.96	.109
	Erholung	81.9	8.9	82.7	10.1	81.2	8.0	.98	.683

Anmerkung: GSP: Gesamtstichprobe; MW: Mittelwert, SD: engl. „standard deviation“ Standardabweichung; ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen; Shapiro-Wilk-Test; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05

C 3.2.2 Deskriptive Analyse der kardiovaskulären Indikatoren (Differenzwerte) – Gesamtstichprobe (n = 42)

Test	Belastungsprogramm	GSP		Männer		Frauen		Signifikanzprüfung	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD	Prüfwert	p-Wert
Herzfrequenz - Differenz [bpm]									
ST20	Ruhe – Belastung	31.3	20.8	22.1	17.9	38.2	20.4	.94	.027
	Belastung – Erholung	25.8	18.0	20.5	15.6	29.8	19.0	.93	.013
ST25	Ruhe – Belastung	39.9	21.0	30.0	19.3	47.4	19.3	.98	.571
	Belastung – Erholung	32.6	17.8	26.1	15.9	37.6	17.8	.97	.293
ST30	Ruhe – Belastung	42.7	19.3	30.1	16.4	52.2	15.6	.97	.354
	Belastung – Erholung	33.4	18.2	22.8	14.7	41.3	16.8	.97	.349
Systolischer Blutdruck - Differenz [mmHg]									
ST20	Ruhe – Belastung	22.5	18.1	19.9	21.0	24.5	15.9	.97	.396
	Belastung – Erholung	15.3	18.1	19.7	18.1	12.1	17.7	.98	.607
ST25	Ruhe – Belastung	24.6	13.4	23.4	16.8	25.5	10.4	.99	.921
	Belastung – Erholung	9.3	14.9	7.1	19.6	10.9	10.3	.97	.303
ST30	Ruhe – Belastung	22.8	18.6	19.1	19.1	25.6	18.1	.98	.559
	Belastung – Erholung	8.4	20.2	3.9	22.6	11.8	17.9	.98	.822
Diastolischer Blutdruck - Differenz [mmHg]									
ST20	Ruhe – Belastung	5.9	10.8	3.4	13.4	7.8	8.1	.98	.527
	Belastung – Erholung	.2	9.2	2.1	9.4	-1.2	9.1	.99	.859
ST25	Ruhe – Belastung	6.5	11.8	2.1	14.5	9.8	8.3	.97	.244
	Belastung – Erholung	1.1	10.9	.0	14.1	1.8	7.9	.94	.036
ST30	Ruhe – Belastung	4.0	11.8	.9	12.9	6.3	10.6	.98	.581
	Belastung – Erholung	2.1	11.3	1.4	11.7	2.5	11.2	.98	.654

Anmerkung: GSP: Gesamtstichprobe; MW: Mittelwert, SD: engl. „standard deviation" Standardabweichung; ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen; Shapiro-Wilk-Test; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05

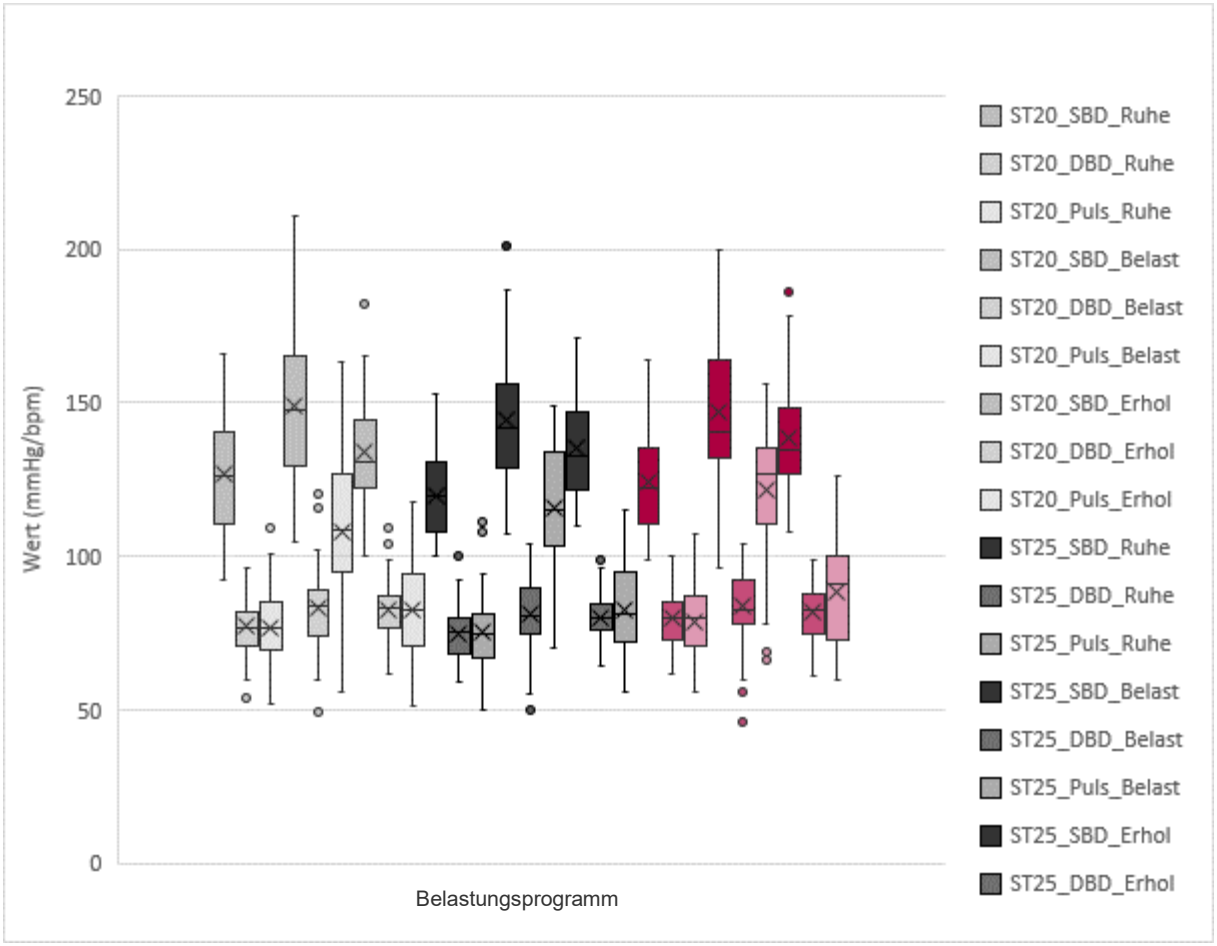
Die Standardabweichungen der Differenzmittelwerte der kardiovaskulären Indikatoren weisen teilweise links- bzw. rechtsschiefe Verteilungen auf. Das erfordert normalerweise die statistischen Maßzahlen Median und Quartil sowie nicht paarametrische Tests. Aus Vergleichsgründen wurde hier allerdings das statistische Wertepaar arithmetisches Mittel und Standardabweichung sowie der t-Test verwendet.

C 3.2.3 Signifikanzprüfungen der Belastungszeit der Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) – Gesamtstichprobe (n = 42)

						Signifikanzprüfung			
Test	**MW**	**SD**	**MW**	**SD**	**r**	**t-Wert**	**Fehler df**	**p-Wert**	**Cohen´s d**
ST20 - ST25	26.6	7.9	29.1	6.5	.72	2.91	41	**.006**	0.34
ST20 – ST30			33.5	7.9	.70	7.38	41	**<.001**	0.88
ST25 – ST30					.96	11.47	41	**<.001**	0.50

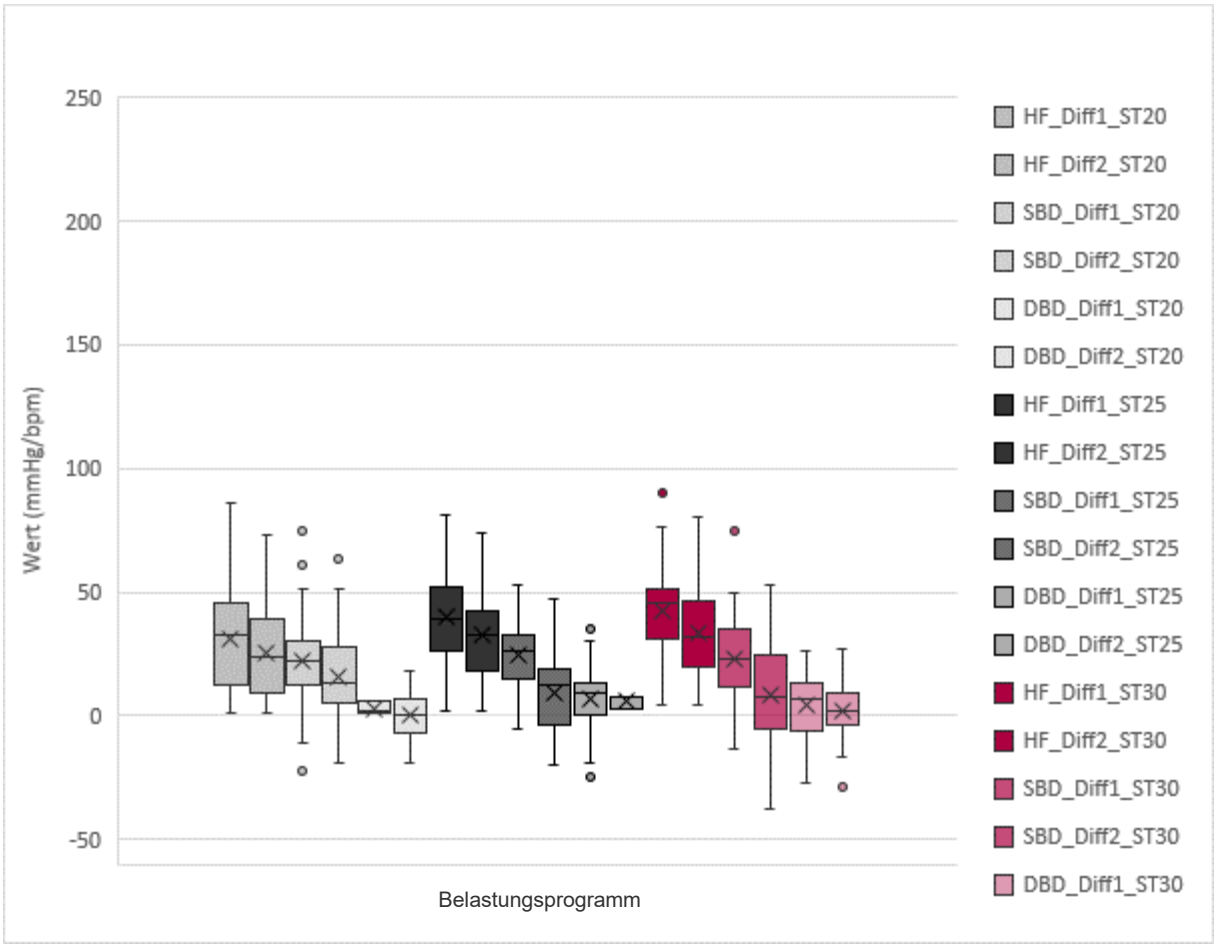
Anmerkungen: MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung; ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; t-Test für abhängige Stichproben; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05; Cohen´s d: Effektstärke d.

C 3.2.4 Boxplots der Absolutwerte zur Ausreißerkontrolle – Gesamtstichprobe (n = 42)



Anmerkungen: HF: Puls / Herzfrequenz, SBD: systolischer Blutdruck, DBD: diastolischer Blutdruck; ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen.

C 3.2.5 Boxplots der Differenzwerte zur Ausreißerkontrolle – Gesamtstichprobe (n = 42)



Anmerkungen: HF: Herzfrequenz, SBD: systolischer Blutdruck, DBD: diastolischer Blutdruck; ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen.

ANH. C3.3: ERGEBNISSE ZU FRAGESTELLUNG 1

C 3.3.1 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Faktoren Stepp-Test (ST), Differenzwerte (DIFF), kardiovaskuläre Indikatoren (KI – ohne DBD) und Kovariaten – Gesamtstichprobe (n = 42)

Effekt	Wert	F-Wert	Hypothesen-df	Fehler df	p-Wert	η^2
ST	.004	.07	2	36	.937	.004
ST * Geschlecht	.172	3.10	2	36	**.047**	.147
ST * Alter	.106	1.90	2	36	.164	.095
ST * BMI	.042	.76	2	36	.475	.040
ST * Sportstunden/Woche	.217	3.91	2	36	**.029***	.178
DIFF	.035	1.30	1	37	.261	.034
DIFF * Geschlecht	.083	3.08	1	37	.087	.077
DIFF * Alter	.020	.73	1	37	.398	.019
DIFF * BMI	.001	.04	1	37	.840	.001
DIFF * Sportstunden/Woche	.021	.78	1	37	.384	.021
KI	.163	6.05	1	37	**.019***	.140
KI * Geschlecht	.004	.14	1	37	.708	.004
KI * Alter	.029	1.09	1	37	.303	.029
KI * BMI	.042	1.54	1	37	.222	.040
KI * Sportstunden/Woche	.114	4.23	1	37	**.047***	.103
Kovariate	**MW^2**					
Konstanter Term	2036.184	15.95	1	-	.000	.301
Geschlecht	1363.078	10.68	1	-	**.002****	.224
Alter	452.948	3.55	1	-	.067	.088
BMI	98.686	.77	1	-	.385	.020
Sportstunden/Woche	108.835	.85	1	-	.362	.023
Fehler	127.644		37			

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m²]; multivariate Varianzanalyse: Allgemeines Lineares Modell mit Messwiederholung (Design: Konstanter Term + Geschlecht + Alter + BMI + Sportstunden/Woche; Innersubjektdesign: ST (ST20, ST25, ST30) + DIFF (Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung) + KI (HF, SBD); Prüfgröße: F; MW^2: Quadrat. Mittelwert; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05; η^2: partielles Eta-Quadrat.

C 3.3.2 Korrelationen zwischen den Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) und den kardiovaskulären Indikatoren (Differenzwerte) – Gesamtstichprobe (n = 42)

Test			Differenz – HF, SBD, DBD					
			Ruhe – Belastung			Belastung – Erholung		
ST20	Kardiovaskuläre Indikatoren		ST20	ST25	ST30	ST20	ST25	ST30
Differenz Ruhe – Belastung	Herzfrequenz	r-Wert	-	.68***	.72***	.88***	.66***	.55***
		p-Wert	-	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
	Systolischer Blutdruck	r-Wert	-	.51**	.73***	.77***	.40**	.41**
		p-Wert	-	.001	<.001	<.001	.009	.006
	Diastolischer Blutdruck	r-Wert	-	.56***	.57***	.57***	.44**	.46**
		p-Wert	-	<.001	<.001	<.001	.003	.002
Differenz Belastung – Erholung	Herzfrequenz	r-Wert	-	.66***	.68***	-	.65***	.61***
		p-Wert	-	<.001	<.001	-	<.001	<.001
	Systolischer Blutdruck	r-Wert	-	.43**	.58***	-	.44**	.34*
		p-Wert	-	.004	<.001	-	.004	.028
	Diastolischer Blutdruck	r-Wert	-	.19	.33*	-	.25	.38*
		p-Wert	-	.240	.033	-	.111	.014
ST25								
Differenz Ruhe – Belastung	Herzfrequenz	r-Wert	-	-	.82***	-	.93***	.68***
		p-Wert	-	-	<.001	-	<.001	<.001
	Systolischer Blutdruck	r-Wert	-	-	.57***	-	.69***	.48**
		p-Wert	-	-	<.001	-	<.001	.001
	Diastolischer Blutdruck	r-Wert	-	-	.62***	-	.76***	.46**
		p-Wert	-	-	<.001	-	<.001	.002
Differenz Belastung – Erholung	Herzfrequenz	r-Wert	-	-	.76***	-	-	.75***
		p-Wert	-	-	<.001	-	-	<.001
	Systolischer Blutdruck	r-Wert	-	-	.44**	-	-	.57***
		p-Wert	-	-	.004	-	-	<.001
	Diastolischer Blutdruck	r-Wert	-	-	.46**	-	-	.43**
		p-Wert	-	-	.002	-	-	.005
ST30								
Differenz Ruhe – Belastung	Herzfrequenz	r-Wert	-	-	-	-	-	.79***
		p-Wert	-	-	-	-	-	<.001
	Systolischer Blutdruck	r-Wert	-	-	-	-	-	.74***
		p-Wert	-	-	-	-	-	<.001
	Diastolischer Blutdruck	r-Wert	-	-	-	-	-	.74***
		p-Wert	-	-	-	-	-	<.001

Anmerkungen: ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen; HF: Herzfrequenz, SBD: systolischer Blutdruck, DBD: diastolischer Blutdruck; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

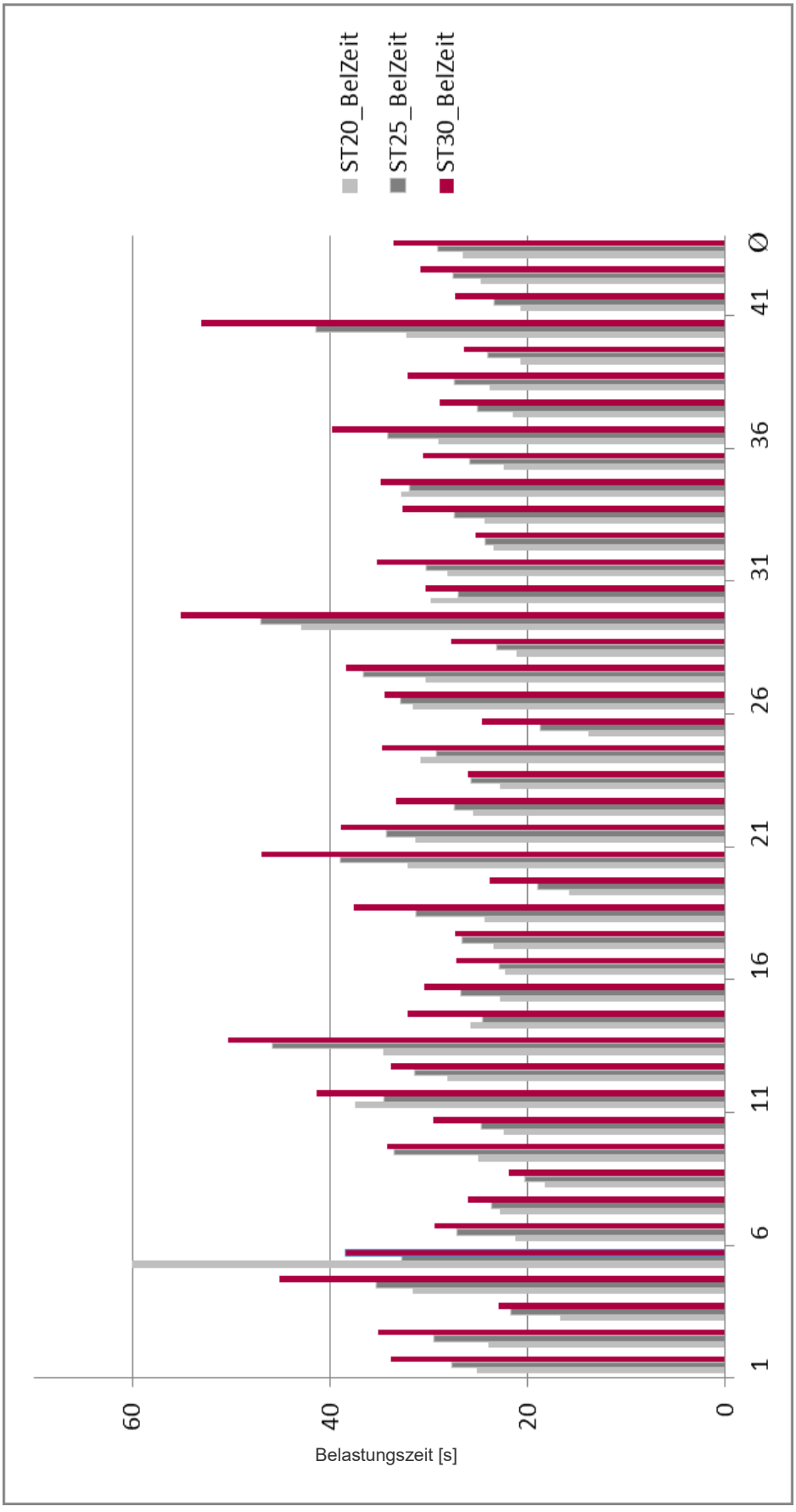
C 3.3.3 Kardiovaskuläre Beanspruchung (Ruhe-Belastungs-Differenzwerte für HF, SBD, DBD) der Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) - Gesamtstichprobe (n = 42)

					Signifikanzprüfung			
Indikator	**Test**	**MW**	**SD**	**r**	**t-Wert**	**Fehler df**	**p-Wert**	**Cohen´s d**
HF Diff1	ST20 - ST25	-8.6	16.8	.68	-3.3	41	**.002****	.43
	ST20 - ST30	-11.4	15.0	.72	-4.9	41	**<.001*****	.58
	ST25 - ST30	-2.8	12.3	.82	-1.5	41	.154	.13
SBD Diff1	ST20 - ST25	-2.1	16.1	.51	-.8	41	.404	.13
	ST20 - ST30	-.3	13.6	.72	-.1	41	.893	.02
	ST25 - ST30	1.8	15.5	.57	.8	41	.453	-.11
DBD Diff1	ST20 - ST25	-.5	10.7	.56	-.3	41	.753	.05
	ST20 - ST30	2.0	10.5	.57	1.2	41	.236	-.17
	ST25 - ST30	2.5	10.3	.62	1.6	41	.126	-.21

Anmerkungen: MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung; ST20, ST25, ST30: Stepp-Test mit 20, 25, 30 Stufen; Diff1: Ruhe-Belastungs-Differenz; HF: Herzfrequenz, SBD: systolischer Blutdruck, DBD: diastolischer Blutdruck; t-Test für abhängig Stichproben; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05; Cohen´s d: Effektstärke d.

Die Standardabweichungen der Differenzmittelwerte der kardiovaskulären Indikatoren weisen teilweise links- bzw. rechtsschiefe Verteilungen auf. Das erfordert normalerweise die statistischen Maßzahlen Median und Quartil sowie nicht paarametrische Tests. Aus Vergleichsgründen wurde hier allerdings das statistische Wertepaar arithmetisches Mittel und Standardabweichung sowie der t-Test verwendet.

C 3.3.4 Belastungszeiten der Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) pro Studienteilnehmer – Gesamtstichprobe (n = 42)



ANH. C3.4: ERGEBNISSE ZU FRAGESTELLUNG 2

C 3.4.1 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Faktoren Stepp-Test (ST), Differenzwerte (DIFF), kardiovaskuläre Indikatoren (KI – mit DBD) und der Kovariaten – Männer (n = 18) und Frauen (n = 24)

Effekt	Wert	F-Wert	Hypothesen - df	Fehler df	p-Wert	η^2
			Männer			
ST	.225	1.46	2	13	.268	.184
ST * Alter	.353	2.29	2	13	.140	.261
ST * BMI	.620	4.03	2	13	**.043***	.383
ST * Sportstunden/Woche	.375	2.44	2	13	.126	.273
DIFF	.004	.06	1	14	.811	.004
DIFF * Alter	.017	.24	1	14	.631	.017
DIFF * BMI	.000	.00	1	14	.981	.000
DIFF * Sportstunden/Woche	.005	.07	1	14	.799	.005
KI	.574	3.73	2	13	.052	.365
KI * Alter	.040	.26	2	13	.773	.039
KI * BMI	.086	.56	2	13	.584	.079
KI * Sportstunden/Woche	.391	2.54	2	13	.117	.281
Kovariate	**MW^2**					
Konstanter Term	72.800	1.38	1	-	.259	.090
Alter	12.228	.23	1	-	.637	.016
BMI	3.225	.06	1	-	.808	.004
Sportstunden/Woche	183.068	3.48	1	-	.083	.199
Fehler	52.661		14			
			Frauen			
ST	.035	.33	2	19	.721	.034
ST * Alter	.064	.61	2	19	.552	.061
ST * BMI	.070	.67	2	19	.524	.066
ST * Sportstunden/Woche	.173	1.64	2	19	.220	.147
DIFF	.275	5.50	1	20	**.029***	.216
DIFF * Alter	.009	.17	1	20	.683	.008
DIFF * BMI	.107	2.14	1	20	.159	.097
DIFF * Sportstunden/Woche	.082	1.65	1	20	.214	.076
KI	.112	1.06	2	19	.365	.101
KI * Alter	.161	1.53	2	19	.242	.139
KI * BMI	.107	1.01	2	19	.381	.097
KI * Sportstunden/Woche	.111	1.05	2	19	.369	.100
Kovariate	**MW^2**					
Konstanter Term	232.176	9.71	1	-	**.005****	.327
Alter	34.920	1.46	1	-	.241	.068
BMI	24.697	1.03	1	-	.322	.049
Sportstunden/Woche	4.435	.19	1	-	.671	.009
Fehler	23.904		20			

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m^2]; Allgemeines Lineares Modell mit Messwiederholung (Design: Konstanter Term + Alter + BMI + Sportstunden/Woche); Innersubjektdesign: Stepp-Test ST (ST20, ST25, ST30) + DIFF (Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung) + VP (Hf, SBD, DBD); Prüfgröße: F; MW^2: Quadrat. Mittelwert; η^2: partielles Eta-Quadrat; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

C 3.4.2 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Faktoren Stepp-Test (ST), Differenzwerte (DIFF), kardiovaskuläre Indikatoren (KI - ohne DBD) und Kovariaten – Männer (n = 18) und Frauen (n = 24)

Effekt	Wert	F-Wert	Hypothesen - df	Fehler df	p-Wert	η^2
		Männer				
ST	.088	.57	2	13	.578	.081
ST * Alter	.237	1.54	2	13	.250	.192
ST * BMI	.314	2.04	2	13	.170	.239
ST * Sportstunden/Woche	.260	1.69	2	13	.222	.207
DIFF	.026	.36	1	14	.559	.025
DIFF * Alter	.004	.05	1	14	.820	.004
DIFF * BMI	.001	.01	1	14	.926	.001
DIFF * Sportstunden/Woche	.001	.02	1	14	.903	.001
VP	.275	3.85	1	14	.070	.216
VP * Alter	.017	.23	1	14	.637	.016
VP * BMI	.086	1.21	1	14	.291	.079
VP * Sportstunden/Woche	.244	3.42	1	14	.086	.196
Kovariate	**MW^2**					
Konstanter Term	199.196	3.78	1	-	.072	.213
Alter	25.107	.48	1	-	.501	.033
BMI	7.759	.15	1	-	.707	.010
Sportstunden/Woche	84.984	1.61	1	-	.225	.103
Fehler	52.723		14			
		Frauen				
ST	.027	.26	2	19	.775	.026
ST * Alter	.109	1.04	2	19	.374	.098
ST * BMI	.060	.57	2	19	.574	.057
ST * Sportstunden/Woche	.168	1.60	2	19	.229	.144
DIFF	.144	2.89	1	20	.105	.126
DIFF * Alter	.001	.01	1	20	.915	.001
DIFF * BMI	.028	.56	1	20	.463	.027
DIFF * Sportstunden/Woche	.116	2.31	1	20	.144	.104
VP	.101	2.02	1	20	.170	.092
VP * Alter	.051	1.02	1	20	.324	.049
VP * BMI	.024	.47	1	20	.499	.023
VP * Sportstunden/Woche	.000	<0.01	1	20	.971	<.001
Kovariate	**MW^2**					
Konstanter Term	351.951	8.69	1	-	**.008****	.303
Alter	115.961	2.86	1	-	.106	.125
BMI	12.808	.32	1	-	.580	.016
Sportstunden/Woche	1.007	.02	1	-	.876	.001
Fehler	40.512		20			

Anmerkungen: BMI: Body-Mass-Index [kg/m^2]; Allgemeines Lineares Modell mit Messwiederholung (Design: Konstanter Term + Alter + BMI + Sportstunden/Woche); Innersubjektdesign: Test (ST20, ST25, ST30) + DIFF (Ruhe – Belastung, Belastung – Erholung) + KI (HF, SBD); Prüfgröße: F; MW^2: quadratischer Mittelwert; η^2: partielles Eta-Quadrat; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

C 3.4.3 Signifikanzprüfungen zwischen den Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) der kardiovaskulären Indikatoren (Ruhe-Belastungs-Differenzwerte) – Männer (n = 18) und Frauen (n = 24)

Indikator	Test	MW	SD	Standardfehler MW	t-Wert	Fehler df	p-Wert	Cohen´s d
				Männer				
HF Diff1	ST20 - ST25	-7.9	15.6	3.7	-2.2	17	**.045***	.42
	ST20 - ST30	-8.0	14.0	3.3	-2.4	17	**.027***	.47
	ST25 - ST30	-.1	14.2	3.4	.0	17	.987	.01
SBD Diff1	ST20 - ST25	-3.6	18.3	4.3	-.8	17	.421	.18
	ST20 - ST30	.8	14.4	3.4	.2	17	.821	-.04
	ST25 - ST30	4.3	13.6	3.2	1.4	17	.193	-.24
DBD Diff1	ST20 - ST25	1.4	13.4	3.2	.4	17	.666	-.09
	ST20 - ST30	2.6	10.6	2.5	1.0	17	.322	-.19
	ST25 - ST30	1.2	8.7	2.1	.6	17	.578	-.09
				Frauen				
HF Diff1	ST20 - ST25	-9.2	17.9	3.7	-2.5	23	**.020***	.46
	ST20 - ST30	-14.0	15.5	3.2	-4.4	23	**<.001*****	.77
	ST25 - ST30	-4.8	10.5	2.1	-2.2	23	**.036***	.27
SBD Diff1	ST20 - ST25	-1.0	14.6	3.0	-.3	23	.740	.07
	ST20 - ST30	-1.1	13.3	2.7	-.4	23	.693	.06
	ST25 - ST30	-.1	16.8	3.4	.0	23	.981	.01
DBD Diff1	ST20 - ST25	-2.0	8.1	1.7	-1.2	23	.251	.24
	ST20 - ST30	1.5	10.6	2.2	.7	23	.496	-.16
	ST25 - ST30	3.5	11.4	2.3	1.5	23	.150	-.37

Anmerkungen: MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung; ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen, ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen, ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen; Diff1: Ruhe-Belastungs-Differenz; t-Test für abhängige Stichproben; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

Die Standardabweichungen der Differenzmittelwerte der kardiovaskulären Indikatoren weisen teilweise links- bzw. rechtsschiefe Verteilungen auf. Das erfordert normalerweise die statistischen Maßzahlen Median und Quartil sowie nicht paarametrische Tests. Aus Vergleichsgründen wurde hier allerdings das statistische Wertepaar arithmetisches Mittel und Standardabweichung sowie der t-Test verwendet.

C 3.4.4 Deskriptive Analyse der Belastungszeit der Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) – Männer (n = 18) und Frauen (n = 24)

Test	GSP		Männer		Frauen		Signifikanzprüfung		
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	Prüfwert	p-Wert	Cohen´s d
ST20	26.6	7.9	24.8	6.0	28.0	8.9	1.31	.198	0.41
ST25	29.1	6.5	28.1	6.6	29.9	6.4	0.93	.360	0.29
ST30	33.5	7.9	31.9	7.7	34.8	8.0	1.17	.248	0.36

Anmerkung: GSP: Gesamtstichprobe; MW: Mittelwert, SD: engl. „standard deviation" Standardabweichung; ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen; ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen; ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen; t-Test für abhängige Stichproben; Cohen´s d: Effektstärke d; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05.

C 3.4.5 Signifikanzprüfungen der Belastungszeiten der Stepp-Tests (ST20, ST25, ST30) - Männer (n = 18) und Frauen (n = 24)

Test	MW	SD	MW	SD	r	Signifikanzprüfung			
						t-Wert	Fehler df	p-Wert	Cohen´s d
Männer									
ST20 - ST25	24.8	6.0	28.1	6.6	.86	4.02	18	**.001**	0.50.
ST20 - ST30			31.9	7.7	.86	7.55	18	**<.001**	0.94
ST25 - ST30					.96	6.82	18	**<.001**	0.46
Frauen									
ST20 - ST25	28.0	8.9	29.9	6.4	.66	1.40	24	.175	0.24
ST20 - ST30			34.8	8.0	.63	4.52	24	**<.001**	0.79
ST25 - ST30					.96	9.40	24	**<.001**	0.64

Anmerkungen: MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung; ST20: Stepp-Test mit 20 Stufen; ST25: Stepp-Test mit 25 Stufen; ST30: Stepp-Test mit 30 Stufen; Korrelationskoeffizient r: Pearson-Bravais; t-Test für abhängige Stichproben; Signifikanz (zweiseitig): *** p < .001 ** p < .01 * p < .05; Cohen´s d: Effektstärke d.

EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

Ich, Tim Kilian Krämer, versichere eidesstattlich durch eigenhändige Unterschrift, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht und ist in gleicher oder ähnlicher Weise noch nicht als Studienleistung zur Anerkennung oder Bewertung vorgelegt worden. Ich weiß, dass bei Abgabe einer falschen Versicherung die Prüfung als nicht bestanden zu gelten hat.

Rostock

(Abgabedatum) (Vollständige Unterschrift)

DANKSAGUNG

Hiermit bedanke ich mich bei Frau Prof. Dr. med. habil. Regina Stoll vom Institut für Präventivmedizin der Universität Rostock für die Vergabe dieses Themas. Gerade die Arbeit im Bereich der Prävention erscheint mir besonders notwendig, sinnvoll und zukunftsweisend.

Besonders dankbar bin ich Frau Dr. rer. nat. Reingard Seibt für ihre fachliche Betreuung, die zugewandte Unterstützung und konstruktive Kritik. Ich fühlte mich jederzeit willkommen und hatte stets das Gefühl, mit meinen Anliegen auf Interesse und Verständnis zu stoßen.

Mein Dank gebührt auch Herrn Frank Weber, durch dessen Erklärungen ich die Hintergründe der statistischen Verfahren besser zu verstehen gelernt habe.

An dieser Stelle danke ich auch meiner Freundin und meinen Eltern, die mich immer liebevoll und umfassend unterstützen.

THESEN

1. Eingeschränkte kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit ist ein Risikofaktor für die Entwicklung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Es fehlt ein Testverfahren, das ortsunabhängig, schnell und ökonomisch zur Screeningdiagnostik für präventivmedizinische Fragestellungen eingesetzt werden kann und verlässliche Aussagen über Belastbarkeit, Leistungs- und Erholungsfähigkeit des kardiovaskulären Systems ermöglicht.
2. In zwei Studien (BAuA-Studie; IPAS-Studie) war zu klären, ob ortsunabhängig einzusetzende Kurztests (hier: Kurzergometrie, Stepp-Tests) verlässliche Aussagen über die Leistungsfähigkeit des kardiovaskulären Systems ermöglichen und damit eine Alternative zur derzeitigen Standardmethode, dem Belastungs-EKG, sein können (BAuA-Studie) und welche Testdauer bzw. Stufenanzahl für Stepp-Tests eine zuverlässige Beurteilung der Belastbarkeit und Erholungsfähigkeit des kardiovaskulären Systems ermöglicht (IPAS-Studie). Da in bisherigen Studien geschlechtsspezifische Analysen fehlen, wurden die Fragestellungen ergänzend auch für Männer und Frauen getrennt untersucht.
3. **BAuA-Studie:** Gegenstand der BAuA-Studie (n = 66 Testpersonen; ♂: n = 37, ♀: n = 29; Alter: 48 ± 8 Jahre) war die Untersuchung der kardiovaskulären Beanspruchung und Erholung von zwei unterschiedlichen Kurztests (Kurzergometrie - ERGO, Stepp-Tests mit 25 Stepps - ST25) und deren Vergleich mit dem klassischen Belastungs-EKG (Goldstandard: Fahrradergometrie - BEKG).

   IPAS-Studie: In der IPAS-Studie (n = 42 Testpersonen; ♂: n = 18, ♀: n = 24; Alter: 41 ± 14 Jahre) wurden kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung bei drei Stepp-Tests mit unterschiedlicher Stufenanzahl (20, 25, 30 Stepps - ST20, ST25; ST30) verglichen, um den Stepp-Test zu identifizieren, der die stärkste Beanspruchung des kardiovaskulären Systems induziert und damit eine zuverlässige Aussage zur kardiovaskulären Fitness sichert.
4. Als kardiovaskuläre Indikatoren dienten Herzfrequenz (HF), systolischer (SBD) und diastolischer Blutdruck (DBD). In allen Kurztests und dem Belastungs-EKG wurden diese Indikatoren unmittelbar vor der Untersuchung (*Ruhe*), direkt nach der Belastung (*Belastung*) und drei Minuten danach (*Erholung*) sowie die Belastungszeiten gemessen. Das Belastungs-EKG erfolgte standardisiert nach festgelegtem Protokoll. Belastungswerte waren hier HF- und BD-Werte, die in der letzten erreichten Leistungsstufe gemessen wurden. Als Einflussfaktoren auf die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung wurden die Kovariablen *Geschlecht, Alter, BMI, Sportstunden/Woche* beachtet.

5. Um Haupt- und Wechselwirkungseffekte der Belastungstests und Einflussfaktoren herauszuarbeiten, wurden Allgemeine Lineare Modelle mit Messwiederholung (ALM) berechnet - sowohl für die Gesamtstichprobe als auch für Männer und Frauen getrennt. In diese Modelle gingen neben den Faktoren *Test* (ERGO, ST25, BEKG bzw. ST20, ST25, ST30), *kardiovaskulärer Indikator* (*KI*: HF, SBD, DBD) und *Absolutwerte* (*AW: Ruhe, Belastung, Erholung*) oder *Differenzwerte (DIFF*: *Ruhe – Belastung (Reaktivität), Belastung - Erholung, Erholung – Ruhe*) auch die Kovariablen ein.

BAuA-Studie

6. Der Verlauf von HF und BD (*Ruhe, Belastung, Erholung*) unterschied sich erwartungsgemäß für die Kurzbelastungstests (ERGO, ST25) und das Belastungs-EKG nicht (Faktor *Test* p = .371): Für alle Belastungstests bestätigte sich ein vergleichbares Verhaltensmuster: Anstieg von HF und SBD unter *Belastung* und ihr Abfall in der *Erholung*. Bei *Belastung* bestanden Mittelwertunterschiede für HF und BD zwischen Kurztests und Belastungs-EKG (p < .001). Beeinflusst wurden kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung in allen Belastungstests durch das *Geschlecht* und den *BMI* (p = .010 - .002).
7. Kurztests lösten eine "leichte" Belastung aus (Ausbelastung bei ERGO 63 % und bei ST25 55 %), die mit einer signifikant geringeren kardiovaskulären Beanspruchung einherging als beim Belastungs-EKG (Ausbelastung: 87 %). Die Belastungszeiten überschritten im Belastungs-EKG die Zeiten der Kurztests um mehr als das 20-fache (ERGO: Ø 27 s; ST25: Ø 38 s; BEKG: Ø 737 s, p < .001).
8. Geschlechtseffekte bestätigten sich für BD-Niveauwerte, die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit (BEKG) und damit einhergehend die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung. Männer wiesen unter allen Testbedingungen einen höheren BD auf als Frauen, ihre Reaktivität auf *Belastung* war aber in den Kurztests geringer und zeigte sich in der HF; ihre höhere Leistungsfähigkeit war im Belastungs-EKG sichtbar.
9. Bei Männern wurde von einer geringeren Beanspruchung ausgegangen, für die ein Zusammenhang zur körperlichen Fitness bestand. Bei Frauen hatte vor allem das *Alter* Einfluss auf ihre kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung. Die Standardabweichungen verdeutlichten eine individuell unterschiedliche Reaktion auf *Belastung*.
10. Mit den Kurztests wurde der submaximale Belastungsbereich nicht erreicht. Es ließ sich aber ein vergleichbares Verhaltensmuster zum Belastungs-EKG zeigen, sodass kurze Belastungstests, insbesondere der einfach und ortsunabhängig durchzuführende Stepp-

Test ST25, als präventivmedizinisches Screeningverfahren zur Ermittlung der kardiovaskulären Fitness zu empfehlen ist.

Bei der Ergebnisinterpretation sind *Geschlechtseffekte*, körperliche Fitness und *Alter* zu beachten. Diese Effekte verstärken sich mit zunehmender Belastung.

IPAS-Studie

11. Der Verlauf von HF und BD (*Ruhe, Belastung, Erholung*) unterschied sich zwischen den drei Stepp-Tests nicht (Faktor *Stepp-Test* p = .435). Der ST30 wies den stärksten, der ST20 den geringsten HF-Anstieg (Ø 43 vs. 31 bpm, p = .005) sowie die längste bzw. kürzeste Zeit zur Test-Bewältigung auf (Ø 34 vs. 27 s, p < .001).
12. HF und BD zeigten bei allen Stepp-Tests höhere Reaktivitätswerte (*Ruhe - Belastung*) als Erholungswerte (*Belastung - Erholung*) (p < .001), d. h. bei allen kardiovaskulären Indikatoren in allen Stepp-Tests reichte die Erholungsphase nicht aus, um wieder die Ausgangswerte in *Ruhe* zu erreichen. Beeinflusst wurde die kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung in den Stepp-Tests durch *Geschlecht* (p = .002) und *Sportstunden/Woche* (p = .025) und damit durch die körperliche Fitness.
13. Bei den Stepp-Tests ST25 und ST30 wurde eine durchschnittliche Ausbelastung von 65 % bzw. 68 % erreicht, was einer mittleren Belastung entspricht. Der ST20 war mit 61 % Ausbelastung als "leichte" Belastung einzuordnen (Pescatello et al. 2014). Der submaximale Belastungsbereich (76 - 95 % HF_{max}) wurde bei den Stepp-Tests nicht erreicht. Kein Teilnehmer brach die Untersuchung frühzeitig ab.
14. Unterschiede zwischen Männern und Frauen waren für das BD-Niveau sowie die kardiovaskuläre Reaktivität und Erholung zu konstatieren: Männer wiesen gegenüber Frauen generell einen höheren BD sowie geringere HF- und BD-Anstiege unter *Belastung* (Reaktivität) auf.
15. Für Männer wurden eine geringere kardiovaskuläre Beanspruchung und eine schnellere Erholungsphase nachgewiesen; auch hier bestand ein Zusammenhang zur körperlichen Fitness. Bei den Frauen hatte vor allem wieder das *Alter* Einfluss auf ihre kardiovaskuläre Beanspruchung und Erholung.
16. Alle drei Stepp-Tests führten zu einer durchschnittlichen Ausbelastung des Herz-Kreislauf-Systems von ≥ 60 % und lieferten als Screeningdiagnostik einen ersten Eindruck über die körperliche Fitness bzw. Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems einer Person. Mit ansteigender Stufenzahl verlängerte sich die Belastungszeit, und es ist von

einer zunehmenden kardiovaskulären Beanspruchung auszugehen, die bei ST30 zur höchsten Ausbelastung (68 %) führte, sich aber nur gering von ST25 (65 %) unterschied.

17. Mit welcher Stufenanzahl (z. B. 20, 25, 30) ein Stepp-Test zum Einsatz kommt, ist zuerst in Abhängigkeit von der körperlichen Fitness und dem *Alter* zu entscheiden. Auch eine Steigerung der Stufenanzahl könnte zur weiteren Belastungssteigerung erwogen werden. Die Stufenhöhe muss für kleinere und größere Personen individuell einstellbar sein. Weitere Diagnostik bei Beschwerden und auffälligen Ausprägungen der kardiovaskulären Indikatoren wird dringend empfohlen.
18. In Folgeuntersuchungen sollten die hier vorgestellten und untersuchten Testmethoden weiter überprüft werden. Die Früherkennung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen ist ein entscheidender Bestandteil der Prävention und muss Gegenstand der Forschung bleiben. Aus Vergleichsgründen wären bei den Stepp-Tests, aber auch bei dem Belastungs-EKG das Etablieren und das Validieren von Standards zur Datenerhebung notwendig.

    Der Vergleich von ST30 und BEKG sollte in einer großangelegten Studie neu betrachtet werden. Bezüge zu kardiovaskulären Krankheitsbildern sollten hergestellt und unter Beachtung von Kovariablen bei Männern und Frauen systematisch untersucht werden.

LEBENSLAUF

Persönlicher Lebenslauf:

Name:	Tim Kilian Krämer
Anschrift:	Dorfstr. 32 24229 Strande
E-Mail:	tim.kraemer@uni-rostock.de
Geburtsdatum und -ort:	26.01.1994 in Kiel
Schulbildung:	2011-2013 Gemeinschaftsschule Friedrichsort Landeshauptstadt Kiel Abschluss: Abitur (Naturwissenschaftliches Profil; Note: 1,6) 2004-2011 Hebbelschule Gymnasium Kiel 2000-2004 Grundschule
Auslandsaufenthalte:	11/2013-05/2014 Rucksackreise durch Süd- und Nordamerika 10/2011 Wirtschaftspraktikum bei Microsoft Redmond, WA, USA 2006-2011 Teilnahme an diversen Schüleraustausch-Programmen u. a. ERASMUS
Studium:	10/2014 – 12/2020 Medizinstudium an der Universität Rostock

Medizinischer Lebenslauf:

Pflegepraktikum:	08/2014-03/2016 drei Monate in der Inneren Medizin und der Notaufnahme, imland Klinik, Eckernförde
Famulaturen:	02-03/2019 Gynäkologie UKSH, Kiel 09-10/2018 Neurologische Praxis Raethjen/Wasner, Kiel 02-03/2018 Geriatrische Station, Städtisches Krankenhaus, Kiel 08-09/2017Anästhesie/Intensivmedizin, imland Klinik, Eckernförde 02-03/2017 Hausärztliche Praxis Jessen/ Grimm, Altenholz
PJ (geplant):	11/19-03/20 Westküstenklinikum Heide, Chirurgie 03/20-06/20 UKSH Kiel, Anästhesie 06/20-10/20 Städtisches Krankenhaus Kiel, Innere
Fort- und Weiterbildungen:	02/2018 Fortbildung - Medizin an Bord von Dr. F. Steffen 11/2016 Fortbildung - Auskultation des Herzens von Dr. med. V. Bohlscheid 05/2015 Fortbildung - Arthroskopietechniken 03/2015 Kurs - Grundlagen des Tapens
Wahlpflichtfächer und	seit 10/2016 studentischer Mitarbeiter und Ausbilder des

Arbeitsgemeinschaften:	Skillslab Rostock SS 19 Wahlfach „Notfallmedizin bei Großveranstaltungen“ SS 19 Wahlfach „Perinatologie“ WS 18/19 Wahlfach „Vom EKG zur Therapie“ 12/2017 Wahlfach „Wirbelsäulenchirurgie“ von Dr. M. Reinhold, Innsbruck (Österreich) WS 17/18 Wahlfach „Rechtsmedizin und Leichenschau“ WS 17/18 Wahlfach „Urologie – klinische Visite“ WS 17/18 Wahlfach „Kinder- und Jungendpsychiatrie/ Psychotherapie“

Kenntnisse und Fertigkeiten:

Praktische Erfahrungen:	seit 2004 Leistungssegeln mit Teilnahme an nationalen und internationalen Veranstaltungen seit 06/2009 ehrenamtlicher Segeltrainer für Kinder und Jugendliche im Kieler Yacht Club seit 2013 Organisation von Gruppenreisen
Lizenzen:	Trainer C Breitensport und Trainer C Leistungssport „Segeln“
Führerscheine:	Auto: B, BE Boote: SBF See und Binnen, SKS, Pyro Funk: LRC, SRC, UBI
Sprachkenntnisse:	Deutsch: Muttersprache Englisch: Cambridge Certificate in Advanced English Spanisch: Grundkenntnisse in Wort und Schrift Latein: Kleines Latinum
Computerkenntnisse:	gute Kenntnisse in MS Office gute Kenntnisse in SPSS
Hobbys:	Segelsport im Verein, Snowboarden, Klettern, Volleyball, handwerkliche Tätigkeiten

Kiel, 07.12.2020

(Vollständige Unterschrift)