

Aus der Abteilung Sportmedizin
Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie (CMSC) / CC 9 (Orthopädie und Unfallchirurgie)
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Zum Einfluss von Fitnesslevel, Geschlecht, Alter und Ergometrieart auf die subjektiv
empfundene Anstrengung bei leistungsdiagnostischen Untersuchungen

Influence of physical activity status, gender, age and type of ergometry on ratings of
perceived exertion during exercise testing

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Maximilian Grummt

aus Bayreuth

Datum der Promotion: 06.09.2019

Inhaltsverzeichnis

1. Abstract.....	3
2. Einleitung und Zielsetzung.....	5
2.1 Sport als Prävention	5
2.2 Möglichkeiten der Trainingssteuerung.....	6
2.2.1 Rate of Perceived Exertion (RPE)	6
2.2.2 Herzfrequenz.....	6
2.2.3 Laktatschwellenkonzepte	7
2.3 Synopsis: RPE, Laktatkonzentration und Herzfrequenz	9
2.4 Zielsetzung	11
3. Material und Methoden	12
3.1 Studiendesign, Setting und Probanden.....	12
3.2 Variablen und Messmethoden.....	12
3.3 Auswertung Leistungsdiagnostik und Bestimmung individueller Laktatschwellen	13
3.4 Subgruppenanalyse: Einteilung in Geschlecht, Fitnesslevel, Alter und Ergometrieart .	14
3.5 Regression RPE an festen Laktatkonzentrationen und individuellen Laktatschwellen .	15
3.6 Statistische Analyse.....	16
4. Ergebnisse.....	19
4.1 Primärdaten und Populationsbeschreibung	19
4.2 RPE an festen Laktatkonzentrationen und individuellen Laktatschwellen	22
4.2.1 Gesamtpopulation	22
4.2.2 Einflussfaktor Fitnesslevel.....	23
4.2.2.1 Feste Laktatkonzentrationen.....	23
4.2.2.2 Individuelle Laktatschwellen.....	26
4.2.3 Einflussfaktor Geschlecht	30
4.2.3.1 Feste Laktatkonzentrationen.....	30
4.2.3.2 Individuelle Laktatschwellen.....	31
4.2.4 Einflussfaktor Alter.....	32
4.2.4.1 Feste Laktatkonzentrationen.....	32
4.2.4.2 Individuelle Laktatschwellen.....	35

4.2.5	Einflussfaktor Ergometrieart.....	39
4.2.5.1	Feste Laktatkonzentrationen.....	39
4.2.5.2	Individuelle Laktatschwellen.....	40
5.	Diskussion	43
5.1	Key Findings – zentrale Ergebnisse	43
5.2	Interpretation und kritische Einordnung der Studienergebnisse	44
5.2.1	Gesamtpopulation	44
5.2.2	Fitnesslevel	45
5.2.3	Geschlecht.....	46
5.2.4	Alter	47
5.2.5	Ergometrieart	48
5.3	Implikation der Studienergebnisse auf individuelle Trainingsempfehlungen.....	50
5.4	Limitationen	52
6.	Literaturverzeichnis	54
7.	Eidesstattliche Versicherung	61
8.	Lebenslauf	62
9.	Bescheinigung über Art und Umfang der statistischen Bearbeitung.....	63
10.	Danksagung	64

1. Abstract

Einleitung: Die Borg Skala ist eine einfache und weit verbreitete Möglichkeit zur Einschätzung der subjektiv empfundenen Anstrengung und der Steuerung von Trainingsintensitäten bei sportlicher Aktivität. Die American College of Sports Medicine empfiehlt hierfür die RPE- Werte 9 – 11 für leichte Intensität, 12 – 13 für moderate Intensität und 14 – 17 für hohe Intensität, wobei keine Empfehlungen für interindividuelle Unterschiede ausgegeben werden.

Zielsetzung: Ziel dieser Studie ist die Untersuchung des Einflusses von Fitnesslevel, Geschlecht, Alter und Ergometrieart auf die subjektive empfundene Anstrengung anhand der 15-stufigen Borg-Skala bei sportlicher Aktivität.

Methode: In der Querschnittsstudie wurden 2096 retrospektive, pseudonymisierte Belastungsuntersuchungen weiblicher und männlicher Probanden, bei denen im Rahmen von Stufentests die Parameter Laktat, Herzfrequenz und Borg-Skala (6 bis 20) gemessen wurden, statistisch ausgewertet. Dabei wurden vorab RPE- Werte an definierten Laktatkonzentrationen 2 mmol/l, 3 mmol/l und 4 mmol/l und individuellen Laktatschwellen LT und IAS mit Hilfe quadratischer Regressionen errechnet und in Form von Subgruppenanalysen für die genannten Einflussfaktoren auf signifikante Unterschiede untersucht und Effektstärken (d nach Cohen) berechnet.

Ergebnisse: Bei Probanden mit dem höchsten Fitnesslevel 1 konnten gegenüber Probanden mit schlechterer Fitness höhere RPE- Werte am deutlichsten bei Laktatkonzentration 2 mmol/l (RPE 13.44 (\pm 1.79) Fitnesslevel 1 vs. 11.67 (\pm 2.77) Fitnesslevel 4, $p < .001$, $d = 0.60$) beobachtet werden. Altersspezifische Unterschiede waren am deutlichsten zwischen Probanden im hohen Erwachsenenalter (> 60 Jahre) und Probanden im frühen Erwachsenenalter (18 – 39.9 Jahre) bei der Laktatschwelle IAS (RPE 15.04 (\pm 1.71) vs. 14.42 (\pm 1.57), $p < .001$, $d = 0.38$) zu sehen. Geschlechtsspezifische Unterschiede konnten nicht beobachtet werden (alle $p > .05$). Bei der Fahrradergometrie gaben die Probanden höhere RPE- Werte an, mit dem stärksten Effekt bei der Laktatschwelle LT (RPE 12.31 (\pm 1.87) Fahrrad vs. 11.28 (\pm 2.01) Laufband, $p < .001$, $d = 0.51$).

Zusammenfassung: Wir konnten zeigen, dass signifikante Unterschiede der RPE- Werte bei der Stratifizierung in Subgruppen nach Fitnesslevel, Alter und Ergometrieart zu beobachten waren, nicht jedoch für das Geschlecht. Nach unseren Ergebnissen empfehlen wir leichte Intensität bei RPE 12 – 13, moderate Intensität bei RPE 14 – 15 und hohe Intensität bei RPE > 15 . Für die Empfehlungen aus der Laufbandergometrie leichte Intensität bei RPE 11 – 12, moderate Intensität RPE 13 – 14 und hohe Intensität bei RPE > 14 .

Introduction: The Borg's Scale is an easy and widely used tool to assess subjective perceived exertion and to regulate training intensities during physical activity and exercise testing. The American College of Sports Medicine recommends RPE (rating of perceived exertion) values of 9 – 11 for light intensity training, 12 – 13 for moderate intensity training and 14 – 17 for high intensity training without any individual recommendations.

Objectives: The aim was to investigate the influence of the level of fitness, gender, age and type of ergometry on ratings of perceived exertion using the Borg's Scale during physical activity.

Methods: In the retrospective cross sectional study we statistically analyzed 2096 exercise tests of male and female participants performed in routine outpatient diagnostics. During the incremental tests blood lactate concentration, heart rate and RPE (Borg's Scale 6 to 20) values were measured. Quadratic regression was used to calculate RPE values for/at defined blood lactate concentrations 2 mmol/l, 3 mmol/l and 4 mmol/l and individual lactate thresholds LT (lactate threshold) and IAT (individual anaerobic threshold). Differences in subgroups of physical activity status, gender, age and type of ergometry were analysed and values of effect sizes (Cohen's d) were calculated.

Results: Participants with the highest fitness level had significant higher RPE than participants with lower fitness levels, strongest influence at blood lactate concentration 2 mmol/l (RPE 13.44 (± 1.79) fitness level 1 vs. 11.67 (± 2.77) fitness level 4, $p < .001$, $d = 0.60$). The highest age related difference on RPE had participants aged over 60 compared to participants aged 18 to 39.9 at IAT (RPE 15.04 (± 1.71) vs. 14.42 (± 1.57), $p < .001$, $d = 0.38$). Gender had no significant influence on RPE (all $p > .05$). Exercise testing had high influence on RPE with significant higher RPE on bicycle ergometer versus treadmill ergometer, especially at LT (RPE 12.31 (± 1.87) bicycle vs. 11.28 (± 2.01) treadmill, $p < .001$, $d = 0.51$).

Conclusion: The results suggests that there is an influence of fitness level, age and type of ergometry on RPE values. In general, we recommend a RPE of 12 – 13 for light intensity training, for moderate intensity training a RPE of 14 – 15 and for high intensity training RPE values > 15 . Furthermore, for treadmill ergometry we propose RPE values of 11 – 12 for light intensity training, for moderate intensity training a RPE of 13 – 14 and for high intensity training RPE values > 14 .

2. Einleitung und Zielsetzung

2.1 Sport als Prävention

Es ist unumstritten, dass sportliche Aktivität zur Gesundheitsförderung und –prävention beiträgt. So verbessert Sport das kardiovaskuläre Risikoprofil, reduziert das Risiko für das Auftreten von Krebserkrankungen, wie Brust- und Darmkrebs, wird zur Therapie von chronischen Erkrankungen (z.B. Diabetes) eingesetzt und reduziert die Mortalität im Gesamten (1-5). Zur praktischen Ausgestaltung von sportlicher Aktivität im Alltag wurden bereits mehrfach Empfehlungen für die Bevölkerung aufgestellt. Die aktuellen Empfehlungen für Erwachsene im Alter von 18 bis 65, für Erwachsene im Alter über 65 Jahre sowie im Alter zwischen 50 und 64 mit chronischen Erkrankungen und/oder funktionellen Limitationen sind in Tab. 1 gegenübergestellt.

Tabelle 1: Empfehlungen für wöchentliche sportliche Aktivität (6, 7).

Frequenz	Erwachsene (18 – 65 Jahre)		Erwachsene (> 65 Jahre alt, sowie 50 bis 64 Jahre mit chronischen Erkrankungen und funktionellen Limitationen ¹)	
	Typ + Intensität	Dauer	Typ + Intensität	Dauer
mind. 5 Tage pro Woche	Ausdauerbelastung, moderate Intensität (3 – 6 METs)	mind. 30 Minuten pro Einheit	Ausdauerbelastung, moderate Intensität (individueller Fitness-Status, 10-Punkte-Skala ² : 5 bis 6)	mind. 30 Minuten pro Einheit
<u>oder</u> mind. 3 Tage pro Woche	Ausdauerbelastung, hohe Intensität (> 6 METs)	mind. 20 Minuten pro Einheit	Ausdauerbelastung, hohe Intensität (individueller Fitness-Status, 10-Punkte-Skala ² : 7 bis 8)	mind. 20 Minuten pro Einheit
<u>oder</u> Kombination beider Intensität				
mind. 2x/Woche	Krafttraining der Hauptmuskelgruppen, Intensität nicht spezifiziert	nicht spezifiziert	Krafttraining der Hauptmuskelgruppen, moderate bis hohe Intensität	8 bis 10 Übungen mit je 10 bis 15 Wieder- holungen pro Übung
mind. 2x/Woche	-	-	Übungen zur Aufrechterhaltung und Erhöhung der Flexibilität	mind. 10 Minuten pro Einheit
zusätzlich nach Risikoprofil	-	-	Balanceübungen zur Risiko- reduktion von Stürzen bei Sturzneigung	nicht spezifiziert

¹ funktionelle Limitationen, die das Bewegungsvermögen, Fitness oder physische Aktivität beeinflussen; ² 10-Punkte-Skala (0 keine Anstrengung, 10 höchste Anstrengung), MET (metabolisches Äquivalent)

2.2 Möglichkeiten der Trainingssteuerung

2.2.1 Rate of Perceived Exertion (RPE)

Die wohl einfachste Art der Steuerung von sportlicher Aktivität stellt die eigene Einschätzung der Anstrengung dar. Bei der Beschreibung der subjektiven Anstrengung wird meist die Borg Skala mit der Abstufung zwischen 6 und 20 (Tab. 3) (8, 9) sowie die modifizierte CR-10 Skala (10) verwendet. Dabei bieten beide Skalen den großen Vorteil, dass sie u.a. leicht zu erklären, im täglichen Alltag praktikabel und ohne finanziellen Aufwand anwendbar sind. Über den Nutzen als Messparameter über Leistungsdiagnostika hinaus setzt man RPE zur Trainingssteuerung von Ausdauerbelastungen, Intervalltraining und sogar Krafttraining ein (11-14). So werden den Intensitäten in den Sportempfehlungen der American College of Sports Medicine folgenden RPE-Werte zugeordnet: leichte Intensität mit RPE zwischen 9 und 11, moderate Intensität mit RPE zwischen 12 und 13 und hohe Intensität mit RPE zwischen 14-17 (15).

Tabelle 2: 15 stufige Borg-Skala der subjektiv empfundenen Anstrengung sportlicher Belastung (8, 9)

RPE	Beschreibung	RPE	Beschreibung
6	keine Anstrengung	14	
7	sehr, sehr leicht	15	anstrengend
8		16	
9	sehr leicht	17	sehr schwer
10		18	
11	relativ leicht	19	sehr, sehr schwer
12		20	maximale Anstrengung
13	etwas anstrengend		

RPE (Rate of Perceived Exertion)

2.2.2 Herzfrequenz

Die Herzfrequenz ermöglicht eine weitere Form der Trainingssteuerung. Im Gegensatz zur aufwändigeren Laktatleistungsdiagnostik ist die Messung der Herzfrequenz über technische Geräte (Pulsuhren, Fitnesstracker) mit finanziell und materiell geringerem Aufwand möglich. Zur Berechnung der Herzfrequenzbereiche für verschiedene Intensitäten sind folgende abhängige Werte die meist genutzten: Die maximale Herzfrequenz oder die Herzfrequenzreserve (16). Die Empfehlung der Trainingsintensitäten in Bezug auf Herzfrequenzparameter ist in Tab. 3 dargestellt. Die maximale Herzfrequenz (HR_{max}) lässt sich dabei u.a. über die Formeln $HR_{max} = 220 - \text{Alter}$ oder $HR_{max} = 208 - (0.7 \times \text{Alter})$ schätzen (17, 18). Die Berechnung der

Herzfrequenzreserve (HRR) erfolgt mit Hilfe der Formel $HRR = HR_{max} - HR_{rest}$ (HR_{rest} : Herzfrequenz in Ruhe), womit man anschließend den Trainingsbereich mit $HR_{ziel} = HRR \times (\% \text{ Intensität}) + HR_{rest}$ erhält (15).

Tabelle 3: Intensitätsbereiche sportlicher Belastung nach Herzfrequenzen nach (15, 19)

Intensität	HR_{max} (%)	HRR (%)
Leicht	50 - < 64	20 - < 40
Moderat	64 - < 77	40 - < 60
Hoch	77 - < 94	60 - < 85
Sehr hoch	94 - < 100	85 - < 100
Maximal	100	100

HR_{max} : maximale Herzfrequenz; HRR: Herzfrequenzreserve

2.2.3 Laktatschwellenkonzepte

Sowohl für die Einschätzung der sportlichen Leistungsfähigkeit und Antizipation einer Wettkampfleistung, als auch für die der Empfehlung von individuellen Trainingsbereichen bei Ausdauerbelastungen sind Laktatschwellenkonzepte von herausragender Bedeutung (20). Obgleich den einzelnen Konzepten unterschiedliche Berechnungen zu Grunde liegen und die Terminologie nicht einheitlich ist, spricht man im deutschsprachigen Wissenschaftsbereich grundsätzlich von zwei Laktatschwellen: der aeroben und der anaeroben Laktatschwelle (Abb. 1). Dabei spiegelt die aerobe Laktatschwelle den ersten Anstieg der Laktatkurve über das Ausgangsniveau und die anaerobe Schwelle den Punkt, an dem die Laktatproduktion und der -abbau sich im Gleichgewicht befinden, wider (20-26). Die festen Laktatkonzentrationen von 2 mmol/l werden zudem von einigen Autoren als aerobe Laktatschwelle und die bei 4 mmol/l als anaerobe Schwelle näherungsweise angesehen, wobei dies zu Gunsten der individuellen Laktatschwellen an Bedeutung verloren hat (21, 27-31). Zur Analyse der individuellen Laktat-Leistungskurven werden Ergometrie-Stufentests durchgeführt, bei denen submaximale Belastungsparameter, wie Laktat, Herzfrequenz und Borg Skala, gemessen werden. Bei mehrfacher Testung im Intervall spiegelt sich eine veränderte Fitness in einer Verschiebung der Laktatleistungskurve wider: Eine Rechtsverschiebung wird als Verbesserung, eine Linksverschiebung als Verschlechterung der Leistungsfähigkeit angesehen (32-34). Natürlich sind solche Testungen von einer Vielzahl an Einflussfaktoren abhängig, wie beispielsweise dem Belastungsprotokoll oder der Versorgung mit Kohlehydraten (35-37). Möchte man aus dem Laktatschwellenkonzept einen praktischen Bezug zu individuellen Trainingsempfehlungen

vornehmen, kann man wie folgt vorgehen: Bei Training im Bereich unterhalb der aeroben Schwelle, spricht man von sehr leichtem Ausdauertraining. Im aeroben-anaeroben Transitionsbereich, also bei Training im Laktatbereich zwischen der aeroben und der anaeroben Schwelle, spricht man von leichten bis moderaten Intensitäten. Und bei Training mit Laktatkonzentrationen über der anaeroben Schwelle erreicht man letztlich hohe Intensitäten (20). Dies ermöglicht eine gezielte und individuelle Steuerung des Trainings, ist jedoch mit einem hohen materiellen und finanziellen Aufwand verbunden und ist in der klinischen Routine meist nicht praktikabel. Aus diesem Grund sind die weiteren Steuerungsparameter Borg-Skala oder Herzfrequenz von entsprechend großer Bedeutung.

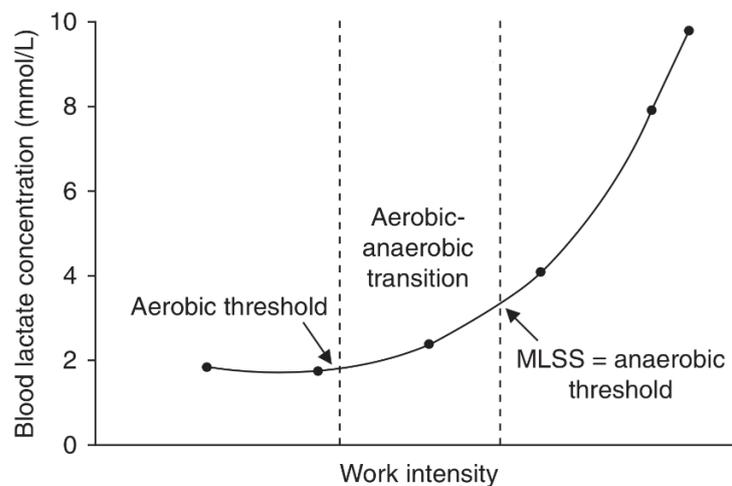


Abbildung 1 aus (20), modifiziert: Schematische Darstellung der Laktat-Leistungs-Kurve mit aerober und anaerober Schwelle (aerobic/anaerobic threshold). Unterhalb der aeroben Schwelle befindet sich regeneratives Training, im aerob-anaeroben Transitionsbereich leichte bis moderate Intensität, über der anaeroben Schwelle Intensitäten für Intervalltraining, hohe Intensität. MLSS (maximal lactate steady state)

2.3 Synopsis: RPE, Laktatkonzentration und Herzfrequenz

Es ist nachgewiesen, dass zwischen RPE, der Laktatkonzentration und der Herzfrequenz ein Zusammenhang besteht (14, 38, 39). Dabei hat sich gezeigt, dass zwischen RPE und der Herzfrequenz sowie zwischen RPE und der Trainingsintensität ein linearer Zusammenhang vorzufinden ist (38, 39). Die Herzfrequenz kann mit Hilfe der 15-stufigen Borg-Skala in etwa der Formel $HR = RPE \times 10$ abgeschätzt werden (9). Für den Zusammenhang zwischen RPE und der Laktatkonzentration herrscht dagegen kein Konsens über die näherungsweise am besten passende Funktion (20). Vergangene Arbeiten haben bei der Regression von RPE- Werten zu Laktatkonzentrationen quadratische (10, 38), lineare (14) und exponentielle Modelle (40) sowie lineare Interpolationen (31) verwendet. Gleichzeitig wird für die subjektiv empfundene Anstrengung keine einheitliche Skala genutzt, so wurden die 15-stufige Borg-Skala (38, 39, 41, 42), die CR-10 Skala (12, 14, 39, 41) oder die CR-100 Skala (43) verwendet. Somit ist schon aus diesen zwei Gründen heraus eine Vergleichbarkeit von Ergebnissen nur mit Einschränkung gegeben. Allein bei den in Tab. 4 beispielhaft verglichenen Studien, die allesamt die 15-stufige Borg-Skala nutzten, ist eine deutliche Inhomogenität untereinander zu erkennen. So beschreiben Hetzer et al. und Abe et al. eine junge Kohorte (31.5 ± 4.8 bzw. 23.3 ± 2.9) mit einer kleinen Stichprobengröße ($n = 29$ bzw. $n = 32$) (40, 44). Eine ältere Population (Männer 45.3 ± 3.8 ; Frauen 46.0 ± 2.4) jedoch mit ebenso kleinen Stichprobengröße ($n = 36$) untersuchten Irving et al. (45). Die bis heute größte Stichprobengröße ($n = 2560$), die den Zusammenhang zwischen RPE und Laktat untersucht hat, wurde von Scherr et al. publiziert (38). Zwar wurde in diesem Fall eine große Anzahl an Probanden ($n = 2560$) untersucht, der Altersmedian lag allerdings mit 28 Jahren (Interquartilabstand 17 – 44) bei einer eher jungen Population. Zusammengefasst kann man feststellen, dass bisher keine Studie mit einer hohen Stichprobengröße durchgeführt wurde, die Probanden im höheren Erwachsenenalter abbilden konnte. Dazu untersuchte keine der hier verglichenen Studien die RPE- Werte an der festen Laktatkonzentration 2 mmol/l, die wie oben beschrieben näherungsweise als aerobe Schwelle angesehen werden kann.

Tabelle 4: RPE (15 stufige Borg-Skala) an festen Laktatkonzentrationen 3 mmol/l und 4 mmol/l und individuellen Laktatschwellen LT₁ und LT₂

		LT ₁	3 mmol/l	LT ₂	4 mmol/l
Scherr et al. (38)	Gesamt (n = 2560)	10.8 (± 1.8)	12.8 (± 2.1)*	13.6 (± 1.8)	14.1 (± 2.0)
	Athleten (n = 1187)	10.4 (± 1.7)	12.8 (± 1.9)*	13.5 (± 1.7)	14.1 (± 1.8)
	Hobbysportler (n = 1195)	11.2 (± 1.7)	12.7 (± 2.1)*	13.6 (± 1.8)	14.0 (± 2.1)
	Fahrrad (n = 1521)	11.2 (± 1.7)	12.8 (± 2.1)*	13.6 (± 1.8)	14.1 (± 2.1)
	Laufband (n = 1039)	10.2 (± 1.7)	-	13.6 (± 1.8)	14.1 (± 1.9)
Irving et al. (45)	Gesamt (n = 36)	10.1 (± 0.4)	-	-	15.6 (± 0.4)
Abe et al. (40)	UT (n = 11)	11.2 (± 1.5)	-	15.6 (± 2.1)	-
	DR (n = 15)	12.3 (± 1.6)	-	16.7 (± 1.8)	-
	RW (n = 6)	13.0 (± 1.6)	-	16.9 (± 1.8)	-
Hetzler et al. (44)	Fahrrad (n = 29)	10.2 (± 2.2)	-	-	16.0 (± 2.3)
	Laufband (n = 29)	10.8 (± 1.9)	-	-	16.2 (± 2.6)

Werte für RPE als Mittelwerte ± Standardabweichung, RPE (Rate of Perceived Exertion), LT₁ (Lactate threshold 1 = aerobe Laktatschwelle), LT₂ (Lactate threshold 2 = anaerobe Laktatschwelle), UT (Untrainierte), DR (Distanzläufer), RW (Geher), *Laktatkonzentration 3 mmol/l nur bei Fahrradergometrie

Zusätzlich haben vergangene Studien den Einfluss von individuellen Faktoren auf das subjektive Empfinden von sportlicher Aktivität untersucht, allerdings keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Geschlecht, Ergometrieart und Alter erhalten (38, 44, 46). Scherr et al. (38) und Demello et al. (46) sahen ebenfalls keine Unterschiede bei Betrachtung des Fitnesslevels, wobei Abe et al. (40) höhere RPE- Werte bei Distanzläufern und Gehern im Gegensatz zu Untrainierten nachweisen konnte (40). Dabei ist zu beachten, dass sich die Beschreibung des Fitnessstatus auf selbst berichtete Angaben bezieht und die Abstufung des Parameters in Altersgruppen aus der Literatur nicht herauszunehmen ist (38, 46). Zudem gilt hier, wie bereits beschrieben, die Einschränkung, dass die bisher untersuchten Stichproben, sofern sie eine große Population betrachteten, eher junge Probanden beinhalteten (38).

2.4 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung von Einflussfaktoren auf die subjektiv empfundene Anstrengung bei sportlicher Aktivität und die möglichen Implikationen auf individuelle Empfehlungen zu Trainingsintensitäten anhand der Borg-Skala. Dabei sollen aus retrospektiven Daten von Laktatleistungsdiagnostiken die RPE- Werte an festen Laktatkonzentrationen (2 mmol/l, 3 mmol/l und 4 mmol/l) und individuellen Laktatschwellen (aerobe/anaerobe Schwelle) per Regression errechnet werden und anschließend Subgruppenanalysen durchgeführt werden. Die zu untersuchenden Einflussfaktoren und somit Einteilung in Subgruppen sind stratifiziert nach

- Geschlecht,
- Fitnessstatus,
- Alter und
- Ergometrieart.

Zahlreiche Studien zeigten, dass ein Zusammenhang zwischen der Laktatkonzentration und der subjektiv empfundenen Anstrengung besteht (siehe 2.3) und daraus eine Steuerung von Trainingsintensitäten anhand dieser einfachen und weit verbreiteten Methode für jeden Sporttreibenden möglich ist. Bisher sind dabei allerdings nur allgemeine Empfehlungen zu finden, die eventuelle interindividuelle Unterschiede vernachlässigen. Daher sollen zur Untersuchung von interindividuellen Unterschieden die oben genannten Parameter auch in Subgruppen bezüglich der RPE- Werte an Laktatkonzentrationen/Laktatschwellen untersucht werden. Nach unserem Kenntnisstand ist dies die erste Studie mit einer hohen Stichprobenzahl und einer älteren Population, die diesen Zusammenhang untersucht. Dabei soll erstmalig der Fitnessstatus mit Hilfe einer objektiven Perzentileneinteilung untergliedert werden. Eine softwaregestützte Standardisierung erfolgt anhand der individuellen anaeroben Schwelle, abhängig vom Alter, Geschlecht und Ergometrieart. Darüber hinaus sollen alle Subgruppenanalysen neben den festen Laktatkonzentrationen 3 mmol/l und 4 mmol/l, auch bei 2 mmol/l durchgeführt werden.

Wir erhoffen uns von dieser Arbeit einen Wissensgewinn in der individuellen Beurteilung von subjektiver Anstrengung sportlicher Belastung und mögliche Konsequenzen für Trainingsberatungen/-empfehlungen in der klinischen Routine sportmedizinischer Leistungsuntersuchungen.

3. Material und Methoden

3.1 Studiendesign, Setting und Probanden

Die vorliegende Studie ist eine Querschnittsstudie zur Untersuchung von Einflussfaktoren auf die subjektiv empfundene Anstrengung von sportlicher Aktivität. Dabei sollen RPE- Werte an festen Laktatkonzentrationen und individuellen Laktatschwellen ausgegeben und in Subgruppenanalysen in Bezug auf Einflussfaktoren verglichen werden. Die Studie fand im Rahmen der Studienserie „Wissenschaftliche Aufarbeitung retrospektiver, pseudonymisierter Patientendaten der sportmedizinischen Hochschulambulanz der Humboldt-Universität zu Berlin“ statt (Ethikkommission HU-KSBF-EK_2018_0004). Es wurden retrospektiv 2814 pseudonymisierte Patientendaten der Abteilung für Sportmedizin der Charité – Universitätsmedizin aus dem Zeitraum vom 01.01.2015 – 02.01.2018 untersucht, bei denen im Rahmen von klinischen Untersuchungen auch Laktatleistungsdiagnostiken durchgeführt wurden. Datensätze wurden ausgeschlossen, sofern eines der folgenden Kriterien erfüllt war:

1. Mindestens ein RPE-, Laktat-, HF-Wert fehlend für mind. eine Stufe
2. Maximaler RPE- Wert ≤ 16 (nicht ausreichender Ausbelastung)
3. Laktatwert an der IAS nicht vorhanden (für die Einteilung in die Perzentile entscheidend)
4. Einordnung in Perzentile nicht vorhanden (Einteilung Fitnesslevel nicht möglich)
5. Stufenanzahl ≤ 3 (ungenügende Anzahl an Werte für Regression)

3.2 Variablen und Messmethoden

Im Rahmen der Anthropometrie wurden Größe (in Meter) und Gewicht (in Kilogramm) gemessen (seca GmbH & Co. KG, Hamburg, Deutschland), aus welchen der Body Mass Index (BMI in kg/m^2) berechnet werden konnte. Die Laktatleistungsdiagnostiken erfolgten als submaximale Stufentests auf dem Fahrrad- (LC6 Monark, Vansbro, Schweden; ergoselect 100K ergoline GmbH, Bitz, Deutschland) oder dem Laufbandergometer (T170 h/p/cosmos, Traunstein, Deutschland; mercury h/p/cosmos, Traunstein, Deutschland) anhand eines vordefinierten Protokolls. Die Auswahl der Ergometrieart und das durchzuführende Protokoll (Tab. 5) wurden vor der Belastung im Arzt-Patienten-Gespräch festgelegt und waren abhängig von der anamnestisch erhobenen Leistungsfähigkeit, der Konstitution sowie weiteren individuellen Faktoren. Dies ermöglichte für jeden Patienten die Analyse der jeweiligen individuellen Laktatschwellen und eine Über-/Unterforderung konnte vermieden werden. Vor jeder Ergometrieuntersuchung wurde der Patient

ausführlich über das zu absolvierende Protokoll sowie den kompletten Ablauf aufgeklärt und er konnte Rückfragen adressieren. Die 15-stufige Borg-Skala wurde dem Patienten ebenfalls erklärt. Die Einstellung des Sitzes auf dem Fahrradergometer konnten die Patienten nach deren individuellen Wünschen einstellen. Ein Abbruch des Tests durch den Patienten war zu jeder Zeit möglich.

Tabelle 5: Protokollvarianten für Fahrrad- und Laufbandergometrie

Ergometrieart	Fahrrad	Laufband
Initiale Leistung	10-100 Watt	3-10 km/h
Stufendauer	3 Minuten	3 Minuten
Anstieg der Last je Stufe	10-50 Watt	1-2 km/h
Inkrement	-	1°

Während der Belastung erfolgte eine kontinuierliche 12-Kanal-EKG (cardio 110BT customed, Ottobrunn, Deutschland) Ableitung inkl. Herzfrequenz. Daneben wurden innerhalb der letzten 30 Sekunden der jeweiligen Stufe die Messwerte auf der 15-stufigen Borg-Skala, Blutdruck (nur bei Fahrradergometrie während der Belastung) erhoben sowie 20 µl Blut am Ohrläppchen mit einer Kunststoff Kapillare (EKF Diagnostic, Barleben, Deutschland) abgenommen und in 1 ml definierte Glukose/Laktat Hämolyselösung (EKF Diagnostic, Barleben, Deutschland) gegeben. Die Analyse des Blutlaktatwertes erfolgte anschließend vollautomatisch (Biosen S-line EKF Diagnostic, Barleben, Deutschland). Alle Messwerte wurden kontinuierlich in ein standardisiertes Protokoll eingetragen. Der Patient wurde gebeten, die Belastung bis zur maximalen Anstrengung durchzuführen. Darüber hinaus waren Abbruchkriterien für den durchführenden Mitarbeiter u.a. das Unterschreiten der Trittfrequenz von mind. 70 pro Minute bei der Fahrradergometrie und Verlassen der Laufhöhe des Patienten auf dem Laufband, EKG Veränderungen (z.B. ST-Strecken-Hebungen >2mV in den Brustwandableitungen und >1mV in den Extremitätenableitungen) und das Überschreiten der individuellen Blutdruckgrenze (in Abhängigkeit vom spezifischen Patientenlientel). Die standardisierte Raumtemperatur betrug 19 – 20.5 °C.

3.3 Auswertung Leistungsdiagnostik und Bestimmung individueller Laktatschwellen

Nach Abschluss der Ergometrie erfolgte die Eingabe der im Protokoll notierten Messwerte in die Software Ergonizer (Version 5.0.1, Freiburg i. Brsg., Deutschland). Die individuellen Laktatschwellen wurden als LT (Lactate threshold, aerobe Schwelle) und IAS (individuelle

anaerobe Schwelle) ausgegeben, die nach standardisierter Methodik des Ergonizer-Programmes erfolgten (47-49). Dabei lag die LT an dem Punkt des ersten Laktatanstieges über dem Ausgangsniveaus und die IAS, in Form der hier genutzten Dickhuth Schwelle, bei der Summe der Laktatkonzentration der LT plus 1,5 mmol/l ($IAS = LT + 1,5 \text{ mmol/l}$) (25, 26, 37, 48-51).

3.4 Subgruppenanalyse: Einteilung in Geschlecht, Fitnesslevel, Alter und Ergometrieart

Zur Untersuchung von Einflussfaktoren auf die subjektiv empfundene Anstrengung haben wir uns für die Betrachtung von vier folgenden Aspekten entschieden: Geschlecht, Fitnesslevel, Alter und Ergometrieart. Das Geschlecht wurde in weiblich und männlich unterteilt. Die Untersuchung des Fitnesslevels erfolgte durch Unterteilung der Stichprobenpopulation in 4 Fitnesslevels. Die Zuteilung der Probanden in die Fitnesslevel erfolgte dabei mit Hilfe der Perzentilfunktion des Programms Ergonizer (Version 5.0.1, Freiburg i. Brsg., Deutschland), die eine objektive Einteilung der Ergebnisse der Laktatleistungsdiagnostiken ermöglichte. Dabei wurde jede Einzelbelastung, im Speziellen die Leistung an der anaeroben Schwelle innerhalb der Vergleichsgruppe verglichen und eine Perzentile ausgegeben. Die Vergleichsgruppe berücksichtigte dabei wiederum das Alter, Geschlecht und die Ergometrieart (47, 52). Die Zuordnung der Perzentilwerten in die Fitnesslevel ist in Tab. 6 dargestellt. Zur Untersuchung des Einflussfaktors Alter haben wir die Population ebenfalls in vier Subgruppen wie folgt unterteilt: Probanden im Kindes-/Jugendalter (< 18 Jahre), Probanden im frühen Erwachsenenalter (18 – 39.9 Jahre), Probanden im mittleren Erwachsenenalter (40 – 59.9 Jahre) und Probanden im hohen Erwachsenenalter (≥ 60 Jahre). Die Unterteilung der Erwachsenen in die genannten 3 Altersgruppen wurde aufgrund der höchsten maximalen Ausdauerleistung im Alter von ca. 35 Jahren (frühes Erwachsenenalter bis 39.9 Jahre) und einem beginnenden Abfall der Leistungsfähigkeit bis zum 60. Lebensjahr (mittleres Erwachsenenalter 40 – 59.9 Jahre) und einer progressiven Reduktion der maximalen Leistungsfähigkeit über 60 Jahre hinaus (hohes Erwachsenenalter > 60 Jahre) getroffen (53-55). Die Einteilung der Ergometrieart erfolgte anhand der Belastungsgerätes in Laufband- und Fahrradergometrie.

Tabelle 6: Einteilung in Fitnesslevel auf Grundlage der Perzentilwerte aus dem Ergonizer Programm

PERZENTILE	FITNESSLEVEL
0 – 24.9	4
25 – 49.9	3
50 – 74.9	2
75 – 100	1

3.5 Regression RPE an festen Laktatkonzentrationen und individuellen Laktatschwellen

Für jede Stufe der Laktatleistungsdiagnostik waren Datenpaare von RPE- Werten und Laktatkonzentrationen gegeben. Zur Untersuchung der vorliegenden Fragestellung war es erforderlich, den festen Laktatkonzentrationen 2 mmol/l, 3 mmol/l und 4 mmol/l sowie den individuellen Laktatschwellen LT und IAS die entsprechenden RPE- Werte zuzuordnen. Für die Regression dieses Zusammenhangs von Laktat (y) zu RPE (x) haben wir uns wie Scherr et al. (38), für das quadratische Modell entschieden. Dabei erfolgte für jede einzelne Ergometrie eine eigene quadratische Regression und die Ermittlung der RPE- Werte über das Einsetzen der Laktatkonzentrationen. Die Laktatkonzentrationen an den Laktatschwellen konnten aus den Ergonizer Auswertungen entnommen werden. Die Regression der einzelnen Gleichungen wie auch die Berechnung der RPE- Werte erfolgte mit der Funktion polyfit in Matlab V2012 (MathWorks, Natick, USA).

3.6 Statistische Analyse

Die statistischen Analysen erfolgten mit SPSS 24 für Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois/USA). Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden Mittelwerte und Standardabweichung für die gesamte Stichprobe sowie die entsprechenden Untergruppen gebildet. Die Untersuchung der Mittelwertunterschiede erfolgte mittels ANOVA (> 2 Gruppen) und t-Test (2 Gruppen) bzw. Kruskal-Wallis-Test (> 2 Gruppen) und Mann-Whitney-U-Test (2 Gruppen). Dabei war aufgrund der großen Gruppengrößen ($n = < 200$) die Normalverteilung der Mittelwerte als gegeben gesehen, wonach die Untersuchung auf Varianzgleichheit durchzuführen war. Die Prüfung auf Varianzgleichheit erfolgte mit dem Levene Test. Das statistische Vorgehen ist in Abb. 2 dargestellt. Bei Homogenität der Varianzen (Levene Test, $p > .05$) erfolgte zur Untersuchung von Gruppenunterschieden ein t-Test (2 Gruppen) oder eine einfaktorische ANOVA (> 2 Gruppen). Dabei wurde das Signifikanzniveau mit $\alpha = 0.05$ definiert. Sofern signifikante Gruppenunterschiede beobachtet wurden, wurden Post-Hoc-Tests (t-Tests) mit Bonferroni-Korrektur für Mehrfachvergleiche durchgeführt. Die Effektstärke d nach Cohen wurde mit Hilfe der Formel 1 berechnet. Dabei hat man die mittlere Differenz zwischen zwei Gruppen ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2$) aus den Post-Hoc-Tests und die einzelnen Gruppengrößen (n) über die deskriptive Statistik erhalten. Die gepoolte Standardabweichung (σ_{pooled}) berechnete SPSS im Rahmen der Post-Hoc-Tests und nutzt diese für die Ermittlung des Standardfehlers, anhand dessen, sowie der Gruppengrößen (n) mit Hilfe Formel 2 auf die gepoolte Standardabweichung zurückgerechnet werden kann. Bei Variablen mit inhomogenen Varianzen (Levene Test, $p > .05$) erfolgte zur Untersuchung von Gruppenunterschieden der Mann-Whitney-U-Test (2 Gruppen) oder der Kruskal-Wallis-Test (> 2 Gruppen). Dabei wurde das Signifikanzniveau ebenfalls mit $\alpha = 0.05$ definiert. Sofern man signifikante Gruppenunterschiede beobachtete, wurden Post-Hoc-Tests (Mann-Whitney-U-Tests) mit Bonferroni Korrektur für paarweise Vergleiche durchgeführt. Danach konnte die Effektstärke r mit Hilfe der Formel 3 berechnet werden. Dabei waren die Werte für z im Rahmen des Post-Hoc-Tests bei paarweisen Vergleichen als „Standard Teststatistik“ angegeben. Die Gruppengrößen konnte man wiederum der deskriptiven Statistik entnehmen. Die Umrechnung der Effektstärke r in die Effektstärke d nach Cohen erfolgte nach Formel 4. Die Interpretation der Effektstärken d nach Cohen erfolgte nach kein, kleiner, mittlerer oder großer Effekt (Tab. 7). Die graphische Darstellung der Ergebnisse in Form von Boxplots wurde mit SPSS 25 für MAC (SPSS Inc., Chicago, Illinois/USA), in Form von Ergebnistabellen mit Excel (Excel 2016 für Windows, Redmond, Washington/USA) und in Form von Flowcharts mit Windows Word (Word 2016 für Windows, Redmond, Washington/USA) erstellt.

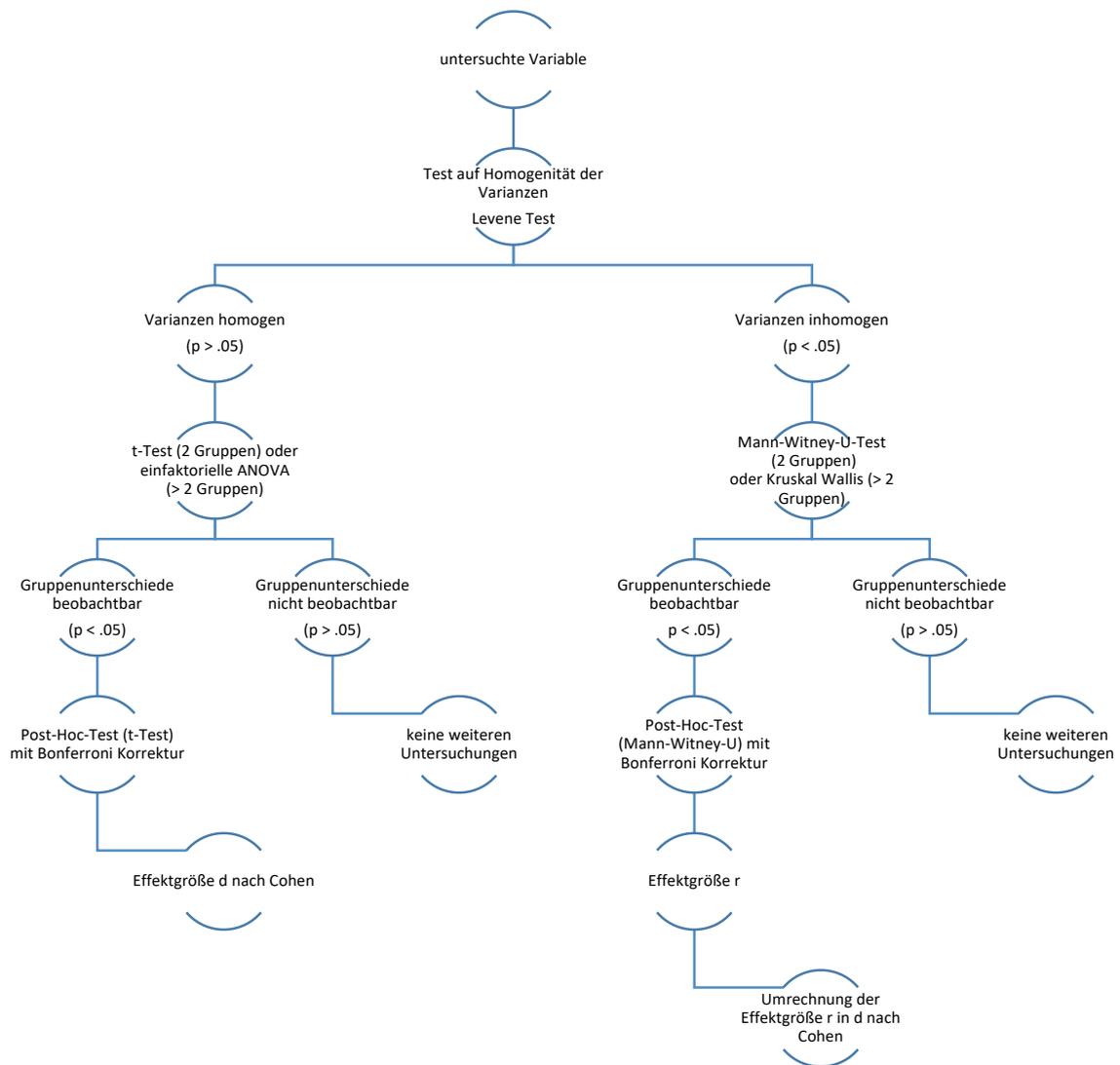


Abbildung 2: Statistisches Vorgehen bei der Untersuchung von Variablen und deren Gruppenunterschiede bei der Untersuchung von Einflussfaktoren

$$d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{pooled}}$$

d : Effektstärke d nach Cohen
 \bar{x}_1 : Mittelwert Untergruppe 1
 \bar{x}_2 : Mittelwert Untergruppe 2
 σ_{pooled} : gepoolte Standardabweichung

Formel 1: Berechnung Effektstärke d nach Cohen, nach (56, 57)

$$\sigma_{pooled} = \frac{\text{Standardfehler}}{\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

σ_{pooled} : gepoolte Standardabweichung
 n_1 : Anzahl Patienten Gruppe 1
 n_2 : Anzahl Patienten Gruppe 2

Formel 2: Berechnung der gepoolten Standardabweichung

$$r = \frac{z}{\sqrt{n_1 + n_2}}$$

r : Effektstärke r
 z : Standard Teststatistik (Post-Hoc-Test)
 n_1 : Anzahl Patienten Gruppe 1
 n_2 : Anzahl Patienten Gruppe 2

Formel 3: Berechnung der Effektstärke r , nach (58)

$$r = \frac{d}{\sqrt{d^2 + 4}}$$

r : Effektstärke r
 d : Effektstärke d nach Cohen

Formel 4: Umrechnung der Effektstärke r in d nach Cohen, nach (56, 57)

Tabelle 7: Interpretation der Effektstärken d nach Cohen, nach (57)

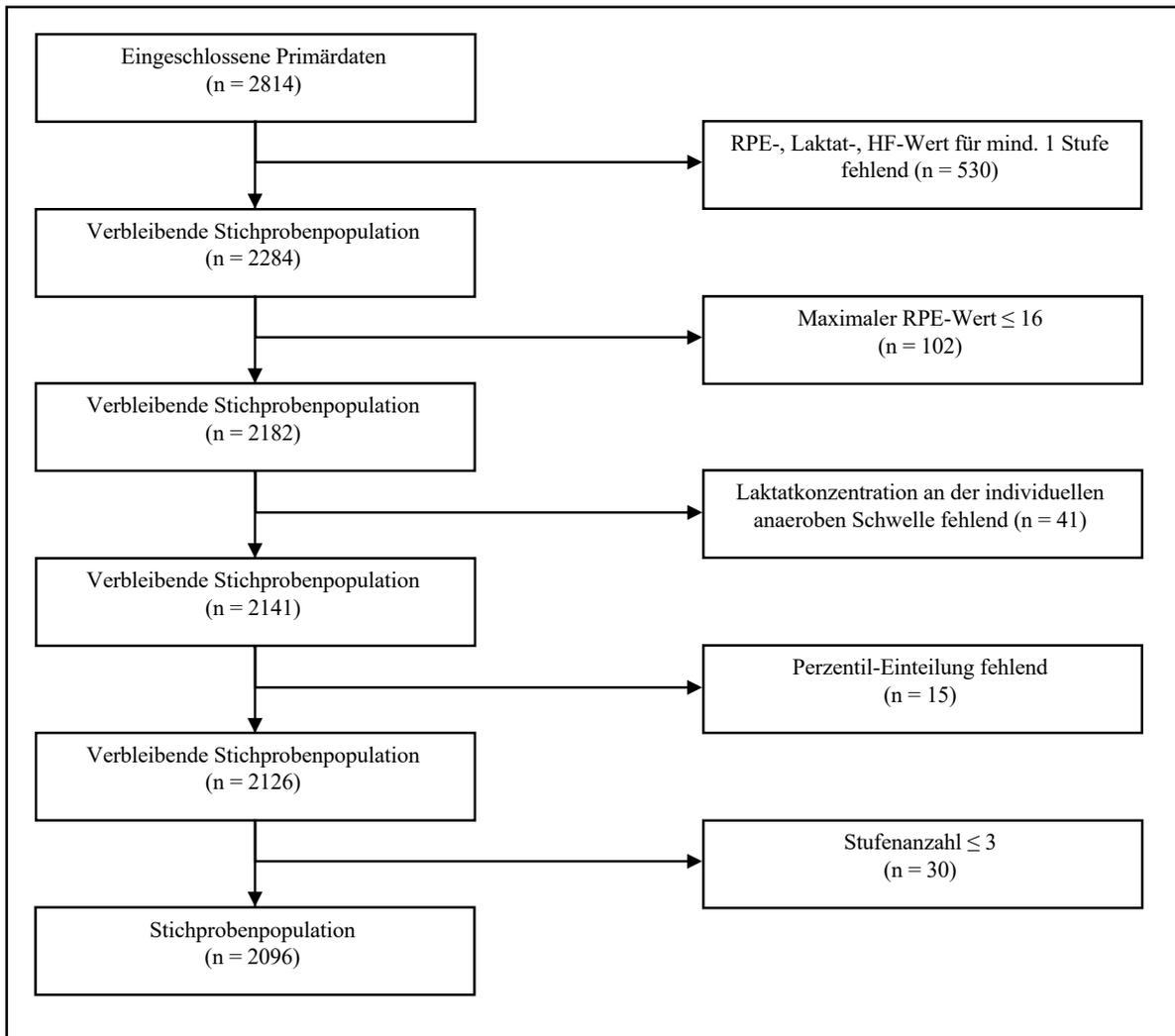
d nach Cohen	Interpretation
< 0.2	kein Effekt
≥ 0.2	kleiner Effekt
≥ 0.5	mittlerer Effekt
≥ 0.8	großer Effekt

4. Ergebnisse

4.1 Primärdaten und Populationsbeschreibung

2814 Primärdatensätze konnten für die Querschnittsstudie generiert werden. Davon wurden aufgrund der definierten Kriterien 718 Datensätze ausgeschlossen. Der statistischen Analyse stand somit eine Stichprobenpopulation von $n = 2096$ zur Verfügung. Der Ausschlussprozess ist in Abb. 3 visualisiert.

Abbildung 3: Fließdiagramm zum Ein- und Ausschluss der Studienpopulation



Die Ausgangswerte der finalen Population (n = 2096) sowie der Unterteilung in Geschlecht, Fitnesslevel und Altersgruppe sind in Tab. 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Probandenausgangswerte der gesamten Population sowie unterteilt in Geschlecht, Fitnesslevel und Altersgruppe

		Alter (Jahre)	Body Mass Index (kg/m ²)	Körpergröße (cm)	Körpergewicht (kg)
Total	(n = 2096)	39.33 (± 18.59)	24.41 (± 3.81)	176.57 (± 11.29)	76.56 (± 15.73)
Geschlecht	weiblich (n = 700)	40.79 (± 19.23)	23.34 (± 4.00)	167.03 (± 8.59)	65.17 (± 11.88)
	männlich (n = 1396)	38.59 (± 18.22)	24.95 (± 3.60)	181.35 (± 9.27)	82.27 (± 14.25)
Fitnesslevel	1 (n = 955)	34.23 (± 16.61)	23.03 (± 2.62)	177.68 (± 10.99)	73.34 (± 13.88)
	2 (n = 509)	39.45 (± 17.91)	24.24 (± 3.01)	177.59 (± 11.18)	76.99 (± 14.56)
	3 (n = 426)	47.38 (± 19.84)	25.92 (± 4.03)	173.46 (± 11.70)	78.35 (± 15.93)
	4 (n = 206)	46.01 (± 18.29)	28.11 (± 5.75)	175.29 (± 10.83)	86.73 (± 20.51)
Alter (in Jahren)	< 18 (n = 261)	16.09 (± 2.24)	21.34 (± 2.84)	177.42 (± 14.58)	68.30 (± 16.20)
	18 - 39.9 (n = 929)	27.63 (± 5.79)	23.76 (± 2.82)	179.41 (± 10.88)	77.08 (± 14.77)
	40 - 59.9 (n = 501)	49.40 (± 5.48)	25.44 (± 4.04)	176.24 (± 9.43)	79.53 (± 16.59)
	≥ 60 (n = 405)	68.66 (± 4.77)	26.61 (± 4.31)	169.89 (± 8.84)	77.00 (± 14.71)
Ergometricart	Fahrrad (n = 1254)	45.57 (± 19.40)	25.23 (± 4.21)	174.96 (± 10.80)	77.70 (± 16.47)
	Laufband (n = 842)	30.02 (± 12.46)	23.19 (± 2.71)	178.96 (± 11.58)	74.85 (± 14.39)

Mittelwerte (± SD) für Alter, BMI, Körpergröße und Körpergewicht

Nach Einteilung der BMI Werte nach WHO waren 1262 (60.2 %) Probanden normalgewichtig (BMI 18.5 - 24.9 kg/m²), 624 (29.8 %) Probanden beginnend übergewichtig/prädipös (25 - 29.9 kg/m²) und 58 (2,8 %) Probanden untergewichtig (BMI <18.5 kg/m²). Darüber hinaus wiesen 119 (5.7 %) Probanden eine Adipositas Grad 1 (BMI 30 - 34.9 kg/m²), 26 (1.2 %) Probanden eine Adipositas Grad 2 (BMI 35 - 39.9 kg/m²) und 7 (0.3 %) Probanden sogar eine extreme Adipositas / Grad 3 (≥ 40 kg/m²) auf.

Es wurden 1254 (59.8 %) Fahrrad- und 842 (40.2 %) Laufbandergometrien eingeschlossen. Der RPE- Wert der maximalen Stufe betrug bei 951 (45.4 %) Probanden 20/20, bei 789 (37.6 %) Probanden 19/20, bei 192 (9.2 %) Probanden 18/20 und bei 164 (7.8%) Probanden 17/20. Die Anzahl der Probanden mit maximal absolvierter Stufe ist in Tab. 9 dargestellt. Es brachen mehr als die Hälfte der Probanden (50.29 %) bei den Stufen 6 oder 7 die Belastung ab, 1 Proband erst bei Stufe 20. Die höchste Belastungsstufe betrug bei der Laufbandergometrie 22 km/h (n = 11) und bei der Fahrradergometrie 480 Watt (n = 1).

Tabelle 9: Zahl der Probanden, die an deren maximaler Stufe abgebrochen haben

maximale Stufe	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	20	Gesamt
Anzahl Probanden	138	312	581	473	248	137	92	71	27	8	4	2	1	1	1	2096
Prozent	6.58	14.89	27.72	22.57	11.83	6.54	4.39	3.39	1.29	0.38	0.19	0.10	0.05	0.05	0.05	100
Kumulierte Prozente	6.58	21.47	49.19	71.76	83.59	90.12	94.51	97.90	99.19	99.57	99.76	99.86	99.90	99.95	100.00	100

4.2 RPE an festen Laktatkonzentrationen und individuellen Laktatschwellen

4.2.1 Gesamtpopulation

Die RPE- Mittelwerte bei den Laktatkonzentrationen 2 mmol/l, 3 mmol/l und 4 mmol/l sowie an den Laktatschwellen LT und IAS der Gesamtpopulation sind in Tab. 10 und Abb. 4 dargestellt. Dabei sieht man, dass sich die RPE- Mittelwerte der Laktatkonzentration 3 mmol/l und der Laktatschwelle IAS nahezu gleichen, der RPE- Mittelwert der Laktatschwelle LT am geringsten und der RPE- Mittelwert der Laktatkonzentration 4 mmol/l am höchsten ist. Die Mittelwerte der Laktatkonzentrationen der individuellen Laktatschwellen betragen für LT 1.52 mmol/l (± 0.61) und für IAS 3.02 mmol/l (± 0.61).

Tabelle 10: RPE an definierten Laktatkonzentrationen und individuellen Laktatschwellen in der Gesamtpopulation

	2 mmol/l	3 mmol/l	4 mmol/l	LT	IAS
Total (n = 2096)	12.89 (± 2.12)	14.53 (± 1.85)	15.82 (± 1.78)	11.90 (± 1.99)	14.60 (± 1.65)

RPE- Mittelwerte (\pm SD), LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

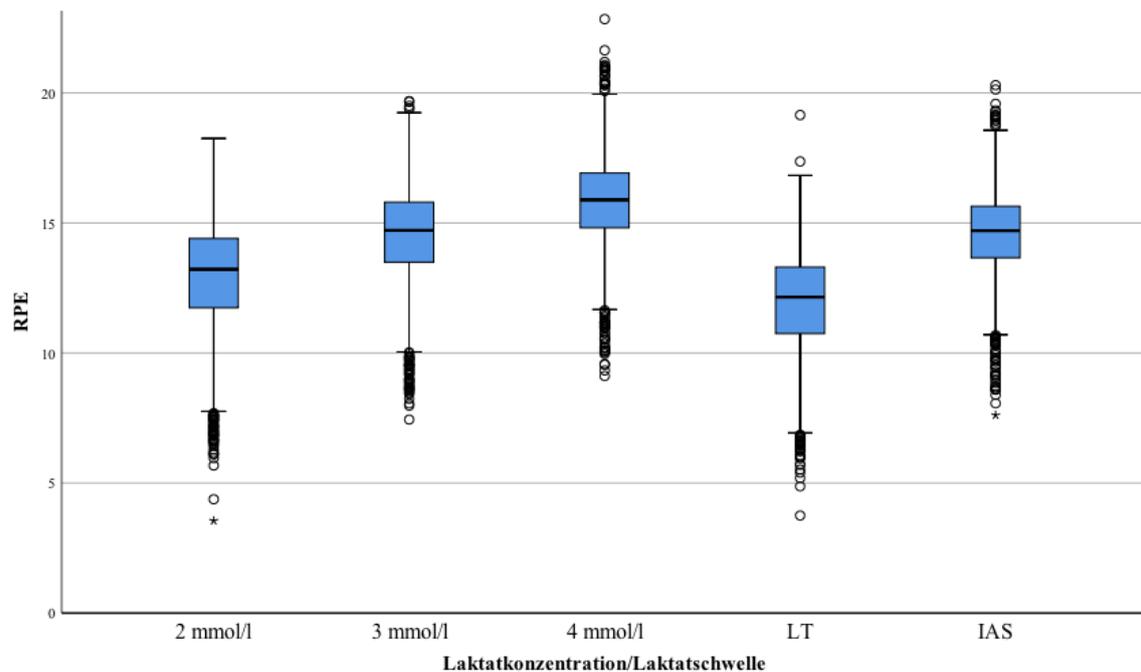


Abbildung 4: Boxplot RPE an definierten Laktatkonzentrationen und individuellen Laktatschwellen. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle). n = 2096

4.2.2 Einflussfaktor Fitnesslevel

4.2.2.1 Feste Laktatkonzentrationen

Die RPE- Mittelwerte bei den festen Laktatkonzentrationen 2 mmol/l, 3 mmol/l und 4 mmol/l in Abhängigkeit des Fitnesslevels sind in Tab. 11 und Abb. 5 dargestellt. Bei der Laktatkonzentration 2 mmol/l konnte man signifikant höhere RPE- Werte der Fitnessgruppe 1 im Vergleich zur Fitnessgruppe 2 (13.44 vs. 12.88, $p = .001$), Fitnessgruppe 3 (13.44 vs. 12.27, $p < .001$) und Fitnessgruppe 4 (13.44 vs. 11.67, $p < .001$) beobachten. Darüber hinaus sah man signifikant höhere RPE- Werte bei Fitnessgruppe 2 im Vergleich zur Fitnessgruppe 3 (12.88 vs. 12.27, $p < .001$) und Fitnessgruppe 4 (12.88 vs. 11.67, $p < .001$). Der größte absolute Unterschied der RPE- Werte befand sich zwischen der Fitnessgruppe 1 und Fitnessgruppe 4 ($\Delta = 1.77$). Bei der Laktatkonzentration 3 mmol/l wies die Fitnessgruppe 1 ebenfalls signifikant höhere RPE- Werte im Vergleich zur Fitnessgruppe 2 (14.95 vs. 14.53, $p < .001$), Fitnessgruppe 3 (14.95 vs. 14.07, $p < .001$) und Fitnessgruppe 4 (14.95 vs. 13.57, $p < .001$) auf. Die Fitnessgruppe 2 gab signifikant höhere RPE- Werte vergleichend zur Fitnessgruppe 3 (14.53 vs. 14.07, $p < .01$) und Fitnesslevel 4 (14.53 vs. 13.57, $p < .001$) an. Der absolut größte Unterschied lag hier ebenfalls zwischen Fitnessgruppe 1 und Fitnessgruppe 4 ($\Delta = 1.38$). Auch bei der Laktatkonzentration 4 mmol/l konnte man signifikant höhere RPE- Werte der Fitnessgruppe 1 im Vergleich zur Fitnessgruppe 2 (16.12 vs. 18.81, $p < .01$), Fitnessgruppe 3 (16.12 vs. 15.50, $p < .001$) und Fitnessgruppe 4 (16.12 vs. 15.09, $p < .001$) beobachten. Die Fitnessgruppe 2 wies signifikant höhere RPE- Werte vergleichend zu Fitnessgruppe 4 (15.81 vs. 15.09, $p < .01$), jedoch entgegen der anderen festen Laktatkonzentrationen nicht zur Fitnessgruppe 3 (15.81 vs. 15.50, $p > .05$) auf. Der absolut größte Unterschied bestand auch hier zwischen dem Fitnesslevel 1 und Fitnesslevel 4 ($\Delta = 1.03$). Die Effektstärken d nach Cohen sind in Tab. 12 – 14 dargestellt. Den größten Effekt konnte man bei der festen Laktatkonzentration 2 mmol/l zwischen der Fitnessgruppe 1 und Fitnesslevel 4 beobachten ($d = 0.60$, mittlerer Effekt). Bei gleicher Laktatkonzentration bestand zwischen Fitnessgruppe 1 und Fitnessgruppe 3 ($d = 0.55$) ebenfalls ein mittlerer Effekt, zwischen Fitnessgruppe 1 und Fitnessgruppe 2 ($d = 0.28$) sowie zwischen Fitnessgruppe 2 verglichen zu Fitnessgruppen 3 ($d = 0.29$) und 4 ($d = 0.43$) ein kleiner Effekt. Bei der Laktatkonzentration 3 mmol/l konnte ein mittlerer Effekt nur noch zwischen Fitnessgruppe 1 und Fitnessgruppe 4 ($d = 0.53$) beobachtet werden. Die zuvor bestehenden kleinen Effekte konnten auch hier bestätigt werden, dazu kam der nun kleine Effekt zwischen Fitnessgruppe 1 und Fitnessgruppe 3 ($d = 0.45$). Bei der Laktatkonzentration 4 mmol/l konnte kein mittlerer Effekt mehr beobachtet werden. Zwischen der Fitnessgruppe 1 und den Fitnessgruppen 3 ($d = 0.34$) und 4 ($d = 0.44$) bestanden kleine Effekte, wie ebenfalls zwischen der Fitnessgruppe 4 und der Fitnessgruppe 2 ($d = 0.34$).

Hinzu kam hier ein weiterer kleiner Effekt zwischen der Fitnessgruppe 4 und Fitnessgruppe 3 ($d = 0.20$), zwischen denen bei den unteren Laktatkonzentrationen kein Effekt beobachtet werden konnte. Zusammengefasst nahmen somit mit zunehmender Laktatkonzentration die Effektstärken grundsätzlich ab, dem konträr verhielt sich die Fitnessgruppe 3 zur Fitnessgruppe 4, zwischen denen mit steigender Laktatkonzentration die Effektstärke anstieg (2 mmol/l: $d = 0.17$; 3 mmol/l: $d = 0.19$; 4 mmol/l: $d = 0.20$).

Tabelle 11: RPE an definierten Laktatkonzentrationen in Abhängigkeit des Fitnesslevels

	2 mmol/l	3mmol	4mmol
Fitnesslevel 1 (n = 955)	13.44 (± 1.79) ^{1 2 3}	14.95 (± 1.51) ^{1 2 3}	16.12 (± 1.45) ^{2 3 6}
Fitnesslevel 2 (n = 509)	12.88 (± 1.99) ^{1 4 5}	14.53 (± 1.76) ^{1 5 7}	15.81 (± 1.70) ^{5 6}
Fitnesslevel 3 (n = 426)	12.27 (± 2.16) ^{2 4}	14.07 (± 1.99) ^{2 7}	15.50 (± 1.95) ²
Fitnesslevel 4 (n = 206)	11.67 (± 2.77) ^{3 5}	13.57 (± 2.55) ^{3 5}	15.09 (± 2.55) ^{3 5}

RPE- Mittelwerte (\pm SD) an definierten Laktatkonzentrationen (mmol/l), abhängig vom Fitnesslevel

¹ $p < .001$ Fitnesslevel 1 vs. Fitnesslevel 2

² $p < .001$ Fitnesslevel 1 vs. Fitnesslevel 3

³ $p < .001$ Fitnesslevel 1 vs. Fitnesslevel 4

⁴ $p < .001$ Fitnesslevel 2 vs. Fitnesslevel 3

⁵ $p < .001$ Fitnesslevel 2 vs. Fitnesslevel 4

⁶ $p < .01$ Fitnesslevel 1 vs. Fitnesslevel 2

⁷ $p < .01$ Fitnesslevel 2 vs. Fitnesslevel 3

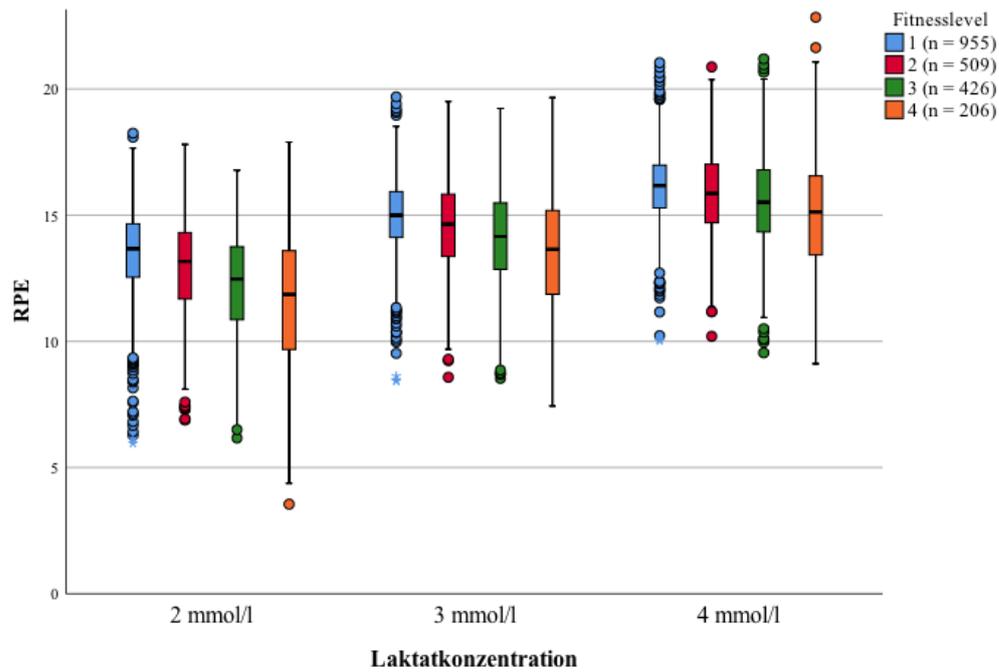


Abbildung 5: Boxplot RPE an definierten Laktatkonzentrationen, stratifiziert nach Fitnesslevel

Tabelle 12: Effektstärke d nach Cohen bei Laktatkonzentration 2 mmol/l zwischen jeweils zwei Fitnesslevel-Gruppen

	1	2	3	4
1		0,28	0,55	0,60
2	0,28		0,29	0,43
3	0,55	0,29		0,17
4	0,60	0,43	0,17	

Fitnesslevel
 1 (n = 955)
 2 (n = 509)
 3 (n = 426)
 4 (n = 206)

■ Kein Effekt
■ Kleiner Effekt
■ Mittlerer Effekt

Tabelle 13: Effektstärke d nach Cohen bei Laktatkonzentration 3 mmol/l zwischen jeweils zwei Fitnesslevel-Gruppen

	1	2	3	4
1		0,23	0,45	0,53
2	0,23		0,23	0,40
3	0,45	0,23		0,19
4	0,53	0,40	0,19	

Fitnesslevel
 1 (n = 955)
 2 (n = 509)
 3 (n = 426)
 4 (n = 206)

■ Kein Effekt
■ Kleiner Effekt
■ Mittlerer Effekt

Tabelle 14: Effektstärke d nach Cohen bei Laktatkonzentration 4 mmol/l zwischen jeweils zwei Fitnesslevel-Gruppen

	1	2	3	4
1		0,19	0,34	0,44
2	0,19		0,16	0,34
3	0,34	0,16		0,20
4	0,44	0,34	0,20	

Fitnesslevel

1 (n = 955)

2 (n = 509)

3 (n = 426)

4 (n = 206)

■ Kein Effekt

■ Kleiner Effekt

4.2.2.2 Individuelle Laktatschwellen

Die RPE- Mittelwerte bei den individuellen Laktatschwellen LT und IAS in Abhängigkeit des Fitnesslevels sind in Tab. 15 und Abb. 6 dargestellt. Gleich zur Tendenz bei den festen Laktatkonzentrationen konnte man bei der Laktatschwelle LT signifikant höhere RPE- Werte der Fitnessgruppe 1 gegenüber der Fitnessgruppe 3 (12.09 vs. 11.57, $p < .001$) und Fitnessgruppe 4 (12.09 vs. 11.59, $p < .05$) beobachten. Der größte absolute Unterschied bestand zwischen der Fitnessgruppe 1 und Fitnessgruppe 3 ($\Delta = 0.52$). Auch an der Laktatschwelle IAS gab die Fitnessgruppe 1 signifikant höhere RPE- Werte gegenüber der Fitnessgruppe 3 (14.75 vs. 14.38, $p < .01$) und Fitnessgruppe 4 (14.75 vs. 14.33, $p < .05$) an. Hier verringerte sich der absolut größte Unterschied auf $\Delta = 0.42$ zwischen Fitnessgruppe 1 und Fitnessgruppe 4. Die Effektstärken (Tab. 16, 17) betrachtend war einzig an der Laktatschwelle LT zwischen der Fitnessgruppe 1 und Fitnessgruppe 3 ein kleiner Effekt zu erkennen ($d = 0.22$). Zur Laktatschwelle IAS nahm die Effektstärke ab und wies dann keinen Effekt mehr auf ($d = 0.18$). Ebenfalls nahmen die Effektstärken zwischen Fitnessgruppe 2 und Fitnessgruppe 3 von der LT zur IAS ab. Die Effektstärken zwischen Fitnessgruppe 4 und den übrigen Fitnessgruppen nahmen dagegen von der LT zur IAS zu, die Effektstärke zwischen Fitnessgruppe 1 und Fitnessgruppe 2 blieb konstant.

Tabelle 15: RPE an individuellen Laktatschwellen in Abhängigkeit des Fitnesslevels

	LT	IAS
Fitnesslevel 1 (n = 955)	12.09 (± 1.75) ^{1 3}	14.75 (± 1.34) ^{2 3}
Fitnesslevel 2 (n = 509)	11.92 (± 2.02)	14.62 (± 1.64)
Fitnesslevel 3 (n = 426)	11.57 (± 2.14) ¹	14.38 (± 1.86) ²
Fitnesslevel 4 (n = 206)	11.59 (± 2.50) ³	14.33 (± 2.29) ³

RPE- Mittelwerte (± SD) an individuellen Laktatschwellen abhängig vom Fitnesslevel. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

¹ p < .001 Fitnesslevel 1 vs. Fitnesslevel 3

² p < .01 Fitnesslevel 1 vs. Fitnesslevel 3

³ p < .05 Fitnesslevel 1 vs. Fitnesslevel 4

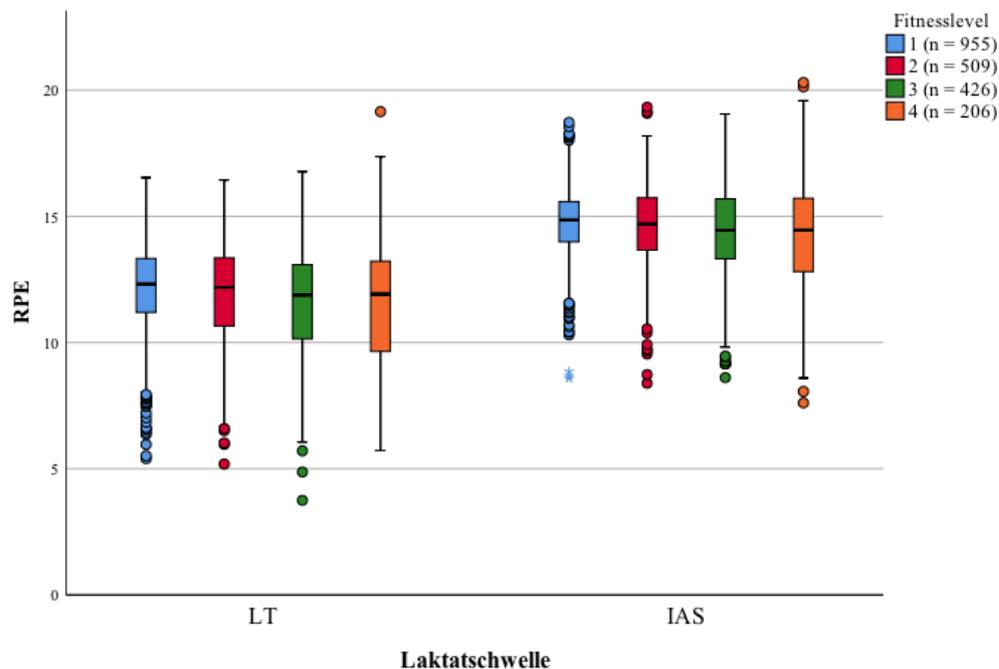


Abbildung 6: Boxplot RPE an individuellen Laktatschwellen, stratifiziert nach Fitnesslevel. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

Tabelle 16: Effektstärke d nach Cohen an der Laktatschwelle LT zwischen jeweils zwei Fitnesslevel-Gruppen

	1	2	3	4
1		0,07	0,22	0,17
2	0,07		0,17	0,14
3	0,22	0,17		0,02
4	0,17	0,14	0,02	

Fitnesslevel

1 (n = 955)

2 (n = 509)

3 (n = 426)

4 (n = 206)

■ Kein Effekt

■ Kleiner Effekt

Tabelle 17: Effektstärke d nach Cohen an der Laktatschwelle IAS zwischen jeweils zwei Fitnesslevel-Gruppen

	1	2	3	4
1		0,07	0,18	0,18
2	0,07		0,12	0,15
3	0,18	0,12		0,04
4	0,18	0,15	0,04	

Fitnesslevel

1 (n = 955)

2 (n = 509)

3 (n = 426)

4 (n = 206)

■ Kein Effekt

Die Mittelwerte der Laktatkonzentrationen der individuellen Laktatschwellen LT und IAS wurden in Tab. 18 und Abb. 7 dargestellt. Die niedrigsten Laktatkonzentrationen an LT und IAS wies die stärkste Fitnessgruppe 1 aus, mit absteigender Fitness nahmen die Laktatkonzentrationen an beiden Laktatschwellen zu. Die beobachteten Unterschiede waren an beiden Laktatschwellen im Vergleich aller Fitnessgruppen untereinander signifikant ($p < .01$). Der größte absolute Unterschied bestand auch hier zwischen dem Fitnesslevel 1 und Fitnesslevel 2 (LT: $\Delta = 0.66$ mmol/l; IAS: $\Delta = 0.66$ mmol/l).

Tabelle 18: Laktatkonzentration an individuellen Laktatschwellen in Abhängigkeit des Fitnesslevels

	LT	IAS
Fitnesslevel 1 (n = 955)	1.32 (± 0.53) ^{1 2 3}	2.82 (± 0.53) ^{1 2 3}
Fitnesslevel 2 (n = 509)	1.56 (± 0.60) ^{1 4 6}	3.06 (± 0.60) ^{1 4 6}
Fitnesslevel 3 (n = 426)	1.70 (± 0.59) ^{2 5 6}	3.20 (± 0.59) ^{2 5 6}
Fitnesslevel 4 (n = 206)	1.98 (± 0.62) ^{3 4 5}	3.48 (± 0.62) ^{3 4 5}

Mittelwerte (± SD) der Laktatkonzentrationen (mmol/l) an individuellen Laktatschwellen, abhängig vom Fitnesslevel. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

¹ p < .001 Fitnesslevel 1 vs. Fitnesslevel 2

² p < .001 Fitnesslevel 1 vs. Fitnesslevel 3

³ p < .001 Fitnesslevel 1 vs. Fitnesslevel 4

⁴ p < .001 Fitnesslevel 2 vs. Fitnesslevel 4

⁵ p < .001 Fitnesslevel 3 vs. Fitnesslevel 4

⁶ p = .001 Fitnesslevel 2 vs. Fitnesslevel 3

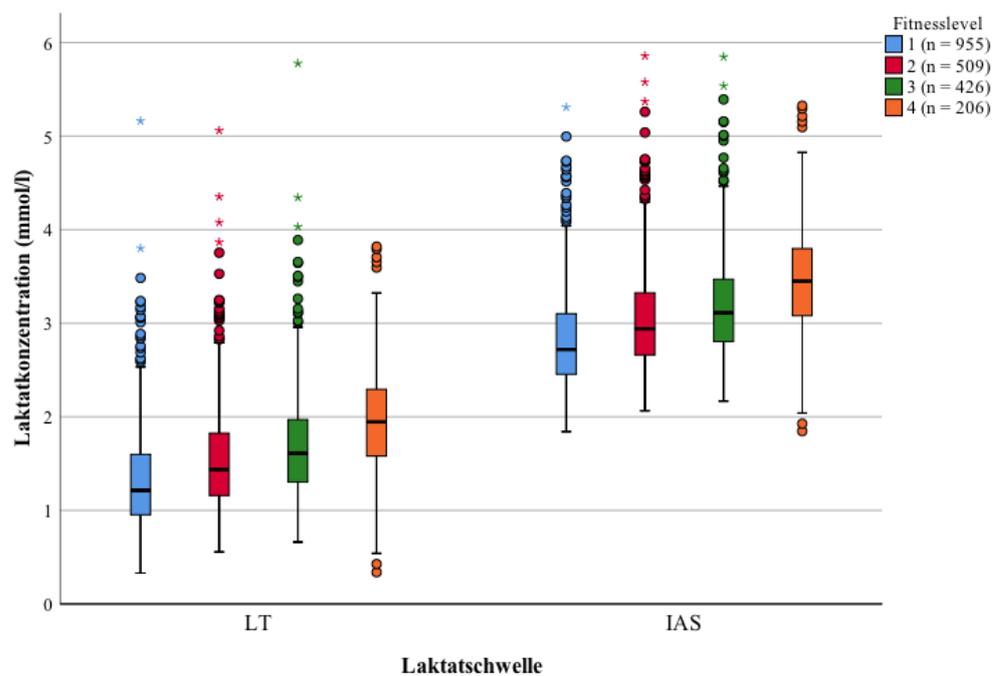


Abbildung 7: Boxplot Laktatkonzentration (mmol/l) an individuellen Laktatschwellen, stratifiziert nach Fitnesslevel. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

4.2.3 Einflussfaktor Geschlecht

4.2.3.1 Feste Laktatkonzentrationen

Die RPE- Mittelwerte bei den festen Laktatkonzentrationen 2 mmol/l, 3 mmol/l und 4 mmol/l in Abhängigkeit des Geschlechts wurden in Tab. 19 und Abb. 8 dargestellt. Signifikante geschlechterspezifische Unterschiede konnten dabei nicht herausgestellt werden ($p > .05$ bei allen festen Laktatkonzentrationen).

Tabelle 19: RPE an definierten Laktatkonzentrationen in Abhängigkeit des Geschlechts

	2 mmol/l	3 mmol/l	4 mmol/l
Weiblich (n = 700)	12.83 (\pm 2.17)	14.53 (\pm 1.92)	15.89 (\pm 1.89)
Männlich (n = 1396)	12.93 (\pm 2.09)	14.53 (\pm 1.82)	15.78 (\pm 1.73)

RPE- Mittelwerte (\pm SD) an definierten Laktatkonzentrationen (mmol/l), abhängig vom Geschlecht

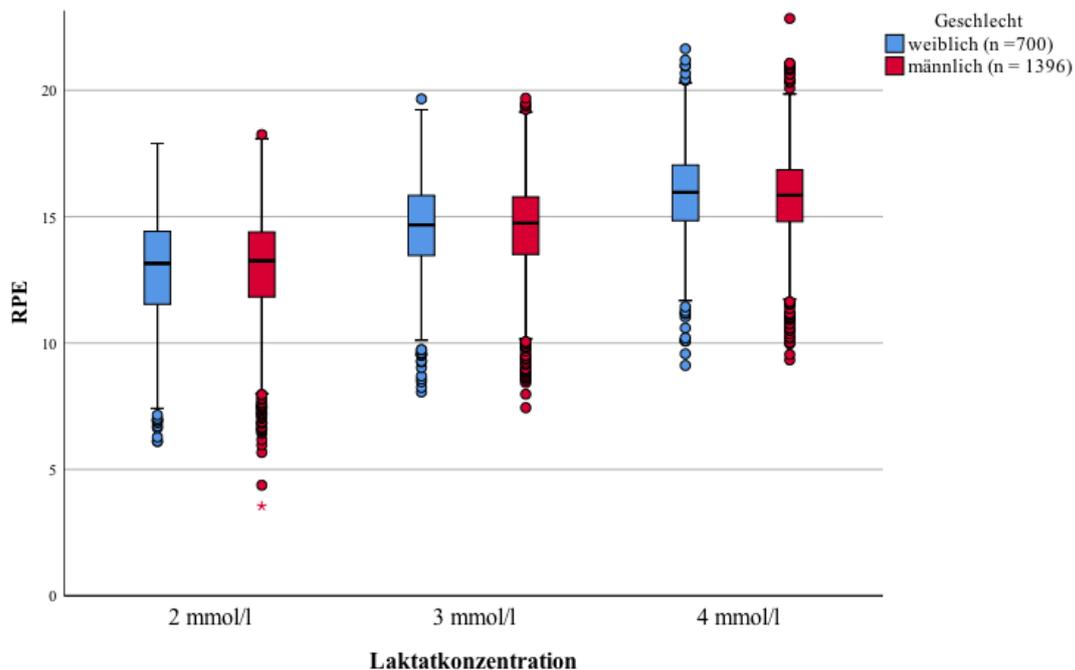


Abbildung 8: Boxplot RPE an definierten Laktatkonzentrationen, stratifiziert nach Geschlecht

4.2.3.2 Individuelle Laktatschwellen

Die RPE- Mittelwerte bei den individuellen Laktatschwellen LT und IAS in Abhängigkeit des Geschlechts sind in Tab. 20 und Abb. 9 dargestellt. Analog zu den festen Laktatkonzentrationen konnten an den individuellen Laktatschwellen keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede beobachtet werden ($p > .05$ an beiden individuellen Laktatschwellen). Die Laktatkonzentrationen an den individuellen Laktatschwellen entsprachen bei der LT bei Frauen 1.52 mmol/l (± 0.63) und Männern 1.52 mmol/l (± 0.60), an der IAS bei Frauen 3.02 mmol/l (± 0.63) und bei Männern 3.02 mmol/l (± 0.60) (alle $p > .05$)

Tabelle 20: RPE an individuellen Laktatschwellen in Abhängigkeit des Geschlechts

	LT	IAS
Weiblich (n = 700)	11.80 (± 2.02)	14.60 (± 1.70)
Männlich (n = 1396)	11.94 (± 1.98)	14.60 (± 1.62)

RPE- Mittelwerte (\pm SD) an individuellen Laktatschwellen, abhängig vom Geschlecht. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

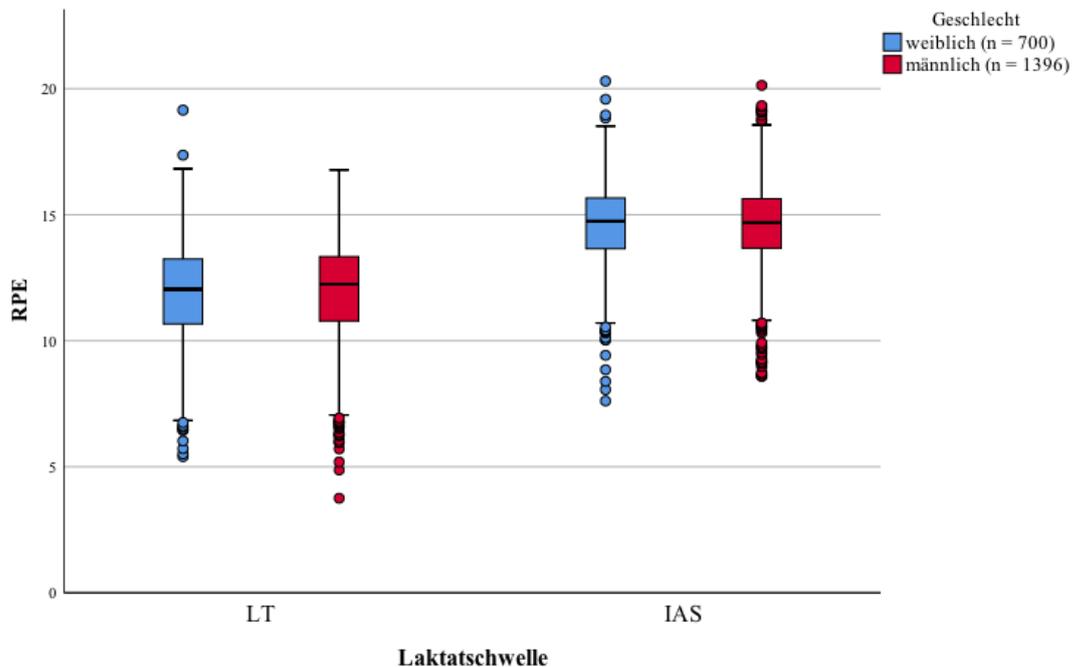


Abbildung 9: Boxplot RPE an individuellen Laktatschwellen, stratifiziert nach Geschlecht. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

4.2.4 Einflussfaktor Alter

4.2.4.1 Feste Laktatkonzentrationen

Die RPE- Mittelwerte bei den festen Laktatkonzentrationen 2 mmol/l, 3 mmol/l und 4 mmol/l in Abhängigkeit des Alters wurden in Tab. 21 und Abb. 10 dargestellt. Bei der Laktatkonzentration 3 mmol/l ließen sich signifikant höhere RPE- Werte der Probanden im hohen Erwachsenenalter (≥ 60 Jahre) zu den Probanden im mittleren Erwachsenenalter (40 – 59.9 Jahre) (14.80 vs. 14.39, $p < .01$) und Probanden im frühen Erwachsenenalter (18 – 39.9 Jahre) (14.80 vs. 14.45, $p > .01$) beobachten. Auch bei der Laktatkonzentration von 4 mmol/l gaben Probanden im hohen Erwachsenenalter signifikant höhere RPE- Werte verglichen zu Probanden im mittleren Erwachsenenalter (16.25 vs. 15.64, $p < .001$) und Probanden im frühen Erwachsenenalter (16.25 vs. 16.65, $p < .001$) an. Zusätzlich konnte man hier höhere RPE- Werte der Probanden im Kindes-/Jugendalter (< 18 Jahre) zu Probanden im mittleren Erwachsenenalter (16.06 vs. 15.64, $p = .001$) und Probanden im frühen Erwachsenenalter (16.06 vs. 15.65, $p = .001$) beobachten. Der größte absolute Unterschied bestand sowohl bei der Laktatkonzentration 3 mmol/l als auch der Laktatkonzentration 4 mmol/l zwischen den Probanden im hohen Erwachsenenalter und den Probanden im mittleren Erwachsenenalter (3 mmol/l: $\Delta = 0.44$; 4 mmol/l: $\Delta = 0.61$). An der Laktatkonzentration 2 mmol/l konnten keine altersspezifischen Unterschiede beobachtet werden. Die Effektstärken betrachtend (Tab. 22 - 24) sah man eine Zunahme der Effekte von keinen Effekten bei der Laktatkonzentration 2 mmol/l, über einen kleinen Effekt zwischen den Probanden im hohen Erwachsenenalter und Probanden im mittleren Erwachsenenalter ($d = 0.22$) bei der Laktatkonzentration 3 mmol/l, zu ebenfalls kleinen Effekten zwischen den Probanden im hohen Erwachsenenalter und Probanden im mittleren Erwachsenenalter ($d = 0.35$) sowie Probanden im frühen Erwachsenenalter ($d = 0.31$) und zwischen Probanden im Kindes-/Jugendalter und Probanden im mittleren Erwachsenenalter ($d = 0.27$) und Probanden im frühen Erwachsenenalter ($d = 0.22$) bei der Laktatkonzentration 4 mmol/l. Eine Abnahme der Effektstärken erwies sich zwischen den Probanden im hohen Erwachsenenalter und Probanden im Kindes-/Jugendalter, sowie zwischen Probanden im mittleren Erwachsenenalter und Probanden im frühen Erwachsenenalter.

Tabelle 21: RPE an definierten Laktatkonzentrationen in Abhängigkeit des Alters

	2 mmol/l	3 mmol/l	4 mmol/l
< 18 (n = 261)	12.91 (± 2.20)	14.69 (± 1.85)	16.06 (± 1.76) ^{3,4}
18 - 39,9 (n = 929)	12.89 (± 2.11)	14.45 (± 1.80) ⁶	15.65 (± 1.69) ^{2,4}
40 - 59,9 (n = 501)	12.81 (± 2.11)	14.39 (± 1.85) ⁵	15.64 (± 1.79) ^{1,3}
≥ 60 (n = 405)	13.00 (± 2.09)	14.80 (± 1.94) ^{5,6}	16.25 (± 1.92) ^{1,2}

RPE- Mittelwerte (± SD) an definierten Laktatkonzentrationen (mmol/l), abhängig vom Alter

¹ p < .001 Altersgruppe ≥ 60 vs. Altersgruppe 40 – 59.9

² p < .001 Altersgruppe ≥ 60 vs. Altersgruppe 18 – 39.9

³ p = .001 Altersgruppe 40 – 59.9 vs. Altersgruppe < 18

⁴ p = .001 Altersgruppe 18 – 39.9 vs. Altersgruppe < 18

⁵ p < .01 Altersgruppe ≥ 60 vs. Altersgruppe 40 – 59.9

⁶ p < .01 Altersgruppe ≥ 60 vs. Altersgruppe 18 – 39.9

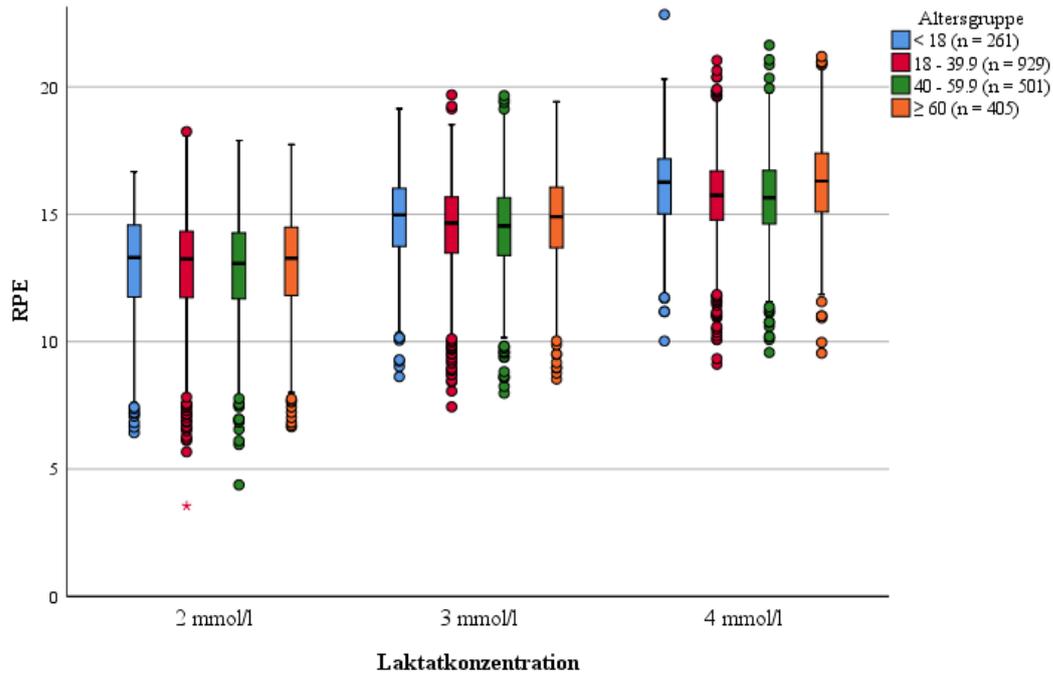


Abbildung 10: Boxplot RPE an definierten Laktatkonzentrationen, stratifiziert nach Altersgruppen

Tabelle 22: Effektstärke d nach Cohen bei Laktatkonzentration 2 mmol/l zwischen jeweils zwei Altersgruppen

	< 18	18 - 39,9	40 - 59,9	≥ 60	
< 18		0,01	0,05	0,04	Altersgruppe < 18: n = 261 18 – 39,9: n = 929 40 – 59,9: n = 501 ≥ 60: n = 405
18 - 39,9	0,01		0,04	0,05	
40 - 59,9	0,05	0,04		0,09	
≥ 60	0,04	0,05	0,09		

■ Kein Effekt
■ Kleiner Effekt

Tabelle 23: Effektstärke d nach Cohen bei Laktatkonzentration 3 mmol/l zwischen jeweils zwei Altersgruppen

	< 18	18 - 39,9	40 - 59,9	≥ 60	
< 18		0,13	0,16	0,06	Altersgruppe < 18: n = 261 18 – 39,9: n = 929 40 – 59,9: n = 501 ≥ 60: n = 405
18 - 39,9	0,13		0,03	0,19	
40 - 59,9	0,16	0,03		0,22	
≥ 60	0,06	0,19	0,22		

■ Kein Effekt
■ Kleiner Effekt

Tabelle 24: Effektstärke d nach Cohen bei Laktatkonzentration 4 mmol/l zwischen jeweils zwei Altersgruppen

	< 18	18 - 39,9	40 - 59,9	≥ 60	
< 18		0,22	0,27	0,07	Altersgruppe < 18: n = 261 18 – 39,9: n = 929 40 – 59,9: n = 501 ≥ 60: n = 405
18 - 39,9	0,22		0,02	0,31	
40 - 59,9	0,27	0,02		0,35	
≥ 60	0,07	0,31	0,35		

■ Kein Effekt
■ Kleiner Effekt

4.2.4.2 Individuelle Laktatschwellen

Die RPE- Mittelwerte bei den individuellen Laktatschwellen LT und IAS in Abhängigkeit des Alters sind in Tab. 25 und Abb. 11 dargestellt. Bei der Laktatschwelle LT gaben die Probanden im hohen Erwachsenenalter signifikant höhere RPE- Werte im Vergleich zu Probanden im frühen Erwachsenenalter (12.18 vs. 11.78, $p < .01$) an. Der absolute größte Unterschied bestand zwischen diesen zwei Altersgruppen ($\Delta = 0.40$). Bei der Laktatschwelle IAS konnten signifikant höhere RPE- Werte der Probanden im hohen Erwachsenenalter zu Probanden im mittleren Erwachsenenalter (15.05 vs. 14.51, $p < .001$) und Probanden im frühen Erwachsenenalter (15.04 vs. 14.42, $p < .001$) beobachtet werden. Zusätzlich gaben Probanden im Kindes-/Jugendalter signifikant höhere RPE- Werte im Vergleich zu Probanden im frühen Erwachsenenalter (14.74 vs. 14.42, $p < .05$) an. Der absolut größte Unterschied bestand an der IAS zwischen den Probanden im hohen Erwachsenenalter und Probanden im frühen Erwachsenenalter ($\Delta = 0.62$). Zwischen diesen beiden Gruppen konnte man sowohl bei der LT, als auch der IAS die numerisch größte Effektstärke beobachten (LT: $d = 0.20$; IAS: $d = 0.38$), die kleinen Effekten entsprachen. Bei der IAS konnten weitere kleine Effekte zwischen den Probanden im hohen Erwachsenenalter und Probanden im mittleren Erwachsenenalter ($d = 0.32$) sowie zwischen Probanden im Kindes-/Jugendalter zu Probanden im frühen Erwachsenenalter ($d = 0.20$) ermittelt werden (Tab. 26, 27). Analog zu den festen Laktatkonzentrationen konnte auch bei den individuellen Laktatschwellen eine Abnahme der Effektstärken zwischen den Probanden im hohen Erwachsenenalter und Probanden im Kindes-/Jugendalter sowie zwischen Probanden im mittleren Erwachsenenalter und Probanden im frühen Erwachsenenalter beobachtet werden. Zwischen den übrigen Gruppen sah man einen Anstieg der Effektstärken.

Tabelle 25: RPE an individuellen Laktatschwellen in Abhängigkeit des Alters

	LT	IAS
< 18 (n = 261)	11.79 (± 2.13)	14.74 (± 1.72) ⁴
18 - 39,9 (n = 929)	11.78 (± 2.01) ³	14.42 (± 1.57) ^{2,4}
40 - 59,9 (n = 501)	11.94 (± 1.94)	14.51 (± 1.63) ¹
≥ 60 (n = 405)	12.18 (± 1.89) ³	15.04 (± 1.71) ^{1,2}

RPE- Mittelwerte (± SD) an individuellen Laktatschwellen, abhängig vom Alter. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

¹ p < .001 Altersgruppe ≥ 60 vs. Altersgruppe 40 – 59,9

² p < .001 Altersgruppe ≥ 60 vs. Altersgruppe 18 – 39,9

³ p < .01 Altersgruppe ≥ 60 vs. Altersgruppe < 18 – 39,9

⁴ p < .05 Altersgruppe 18 – 39,9 vs. Altersgruppe < 18

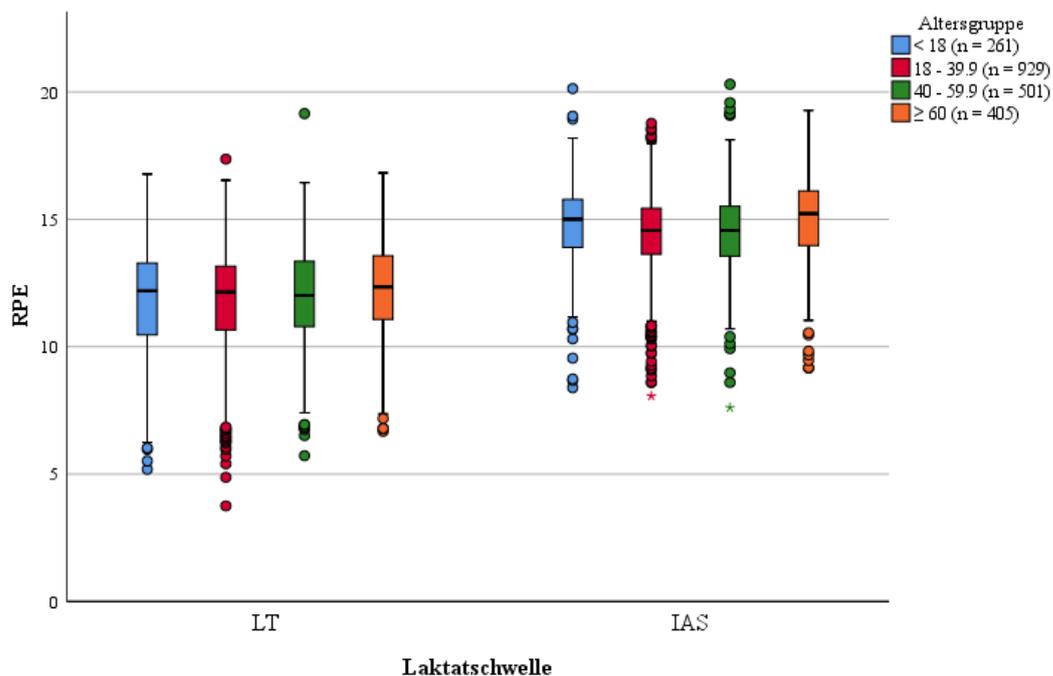


Abbildung 11: Boxplot RPE an individuellen Laktatschwellen, stratifiziert nach Altersgruppen. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

Tabelle 26: Effektstärke d nach Cohen an der Laktatschwelle LT zwischen jeweils zwei Altersgruppen

	< 18	18 - 39,9	40 - 59,9	≥ 60	
< 18		0,01	0,08	0,19	Altersgruppe < 18: n = 261 18 – 39,9: n = 929 40 – 59,9: n = 501 ≥ 60: n = 405
18 - 39,9	0,01		0,08	0,20	
40 - 59,9	0,08	0,08		0,12	
≥ 60	0,19	0,20	0,12		

■ Kein Effekt
■ Kleiner Effekt

Tabelle 27: Effektstärke d nach Cohen an der Laktatschwelle IAS zwischen jeweils zwei Altersgruppen

	< 18	18 - 39,9	40 - 59,9	≥ 60	
< 18		0,20	0,14	0,18	Altersgruppe < 18: n = 261 18 – 39,9: n = 929 40 – 59,9: n = 501 ≥ 60: n = 405
18 - 39,9	0,20		0,06	0,38	
40 - 59,9	0,14	0,06		0,32	
≥ 60	0,18	0,38	0,32		

■ Kein Effekt
■ Kleiner Effekt

Die Mittelwerte der Laktatkonzentrationen an den individuellen Schwellen LT und IAS sind in Tab. 28 und Abb. 12 dargestellt. An der Laktatschwelle LT konnten bei Probanden im hohen Erwachsenenalter signifikant höhere Laktatkonzentrationen im Vergleich zu Probanden im frühen Erwachsenenalter (1.64 mmol/l vs. 1.45 mmol/l, $p < .001$) und Probanden im Kindes-/Jugendalter (1.64 mmol/l vs. 1.48 mmol/l, $p < .01$) beobachtet werden. Zusätzlich hatten Probanden im mittleren Erwachsenenalter signifikant höhere Laktatkonzentrationen als Probanden im frühen Erwachsenenalter (1.56 mmol/l vs. 1.45 mmol/l, $p < .01$). Analog zur LT wiesen an der Laktatschwelle IAS die Probanden im hohen Erwachsenenalter signifikant höhere Laktatkonzentrationen verglichen zu Probanden im frühen Erwachsenenalter (3.14 mmol/l vs. 2.96 mmol/l, $p < .001$) und Probanden im Kindes-/Jugendalter (3.14 mmol/l vs. 2.98 mmol/l, $p < .01$) auf. Ebenfalls hatten die Probanden im mittleren Erwachsenenalter signifikant höhere Laktatkonzentrationen im Vergleich zu Probanden im frühen Erwachsenenalter (3.07 mmol/l vs. 2.96 mmol/l, $p < .01$).

Tabelle 28: Laktatkonzentration an individuellen Laktatschwellen in Abhängigkeit des Alters

	LT	IAS
< 18 (n = 261)	1.48 (± 0.57) ²	2.98 (± 0.57) ²
18 - 39,9 (n = 929)	1.45 (± 0.61) ^{1,3}	2.96 (± 0.61) ^{1,3}
40 - 59,9 (n = 501)	1.56 (± 0.61) ³	3.07 (± 0.61) ³
≥ 60 (n = 405)	1.64 (± 0.60) ^{1,2}	3.14 (± 0.60) ^{1,2}

Mittelwerte (± SD) der Laktatkonzentrationen (mmol/l) an individuellen Laktatschwellen, abhängig vom Alter. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

¹ p < .001 Altersgruppe ≥ 60 vs. Altersgruppe 18 – 39.9

² p < .01 Altersgruppe ≥ 60 vs. Altersgruppe < 18

³ p < .01 Altersgruppe 40 – 59.9 vs. Altersgruppe 18 – 39.9

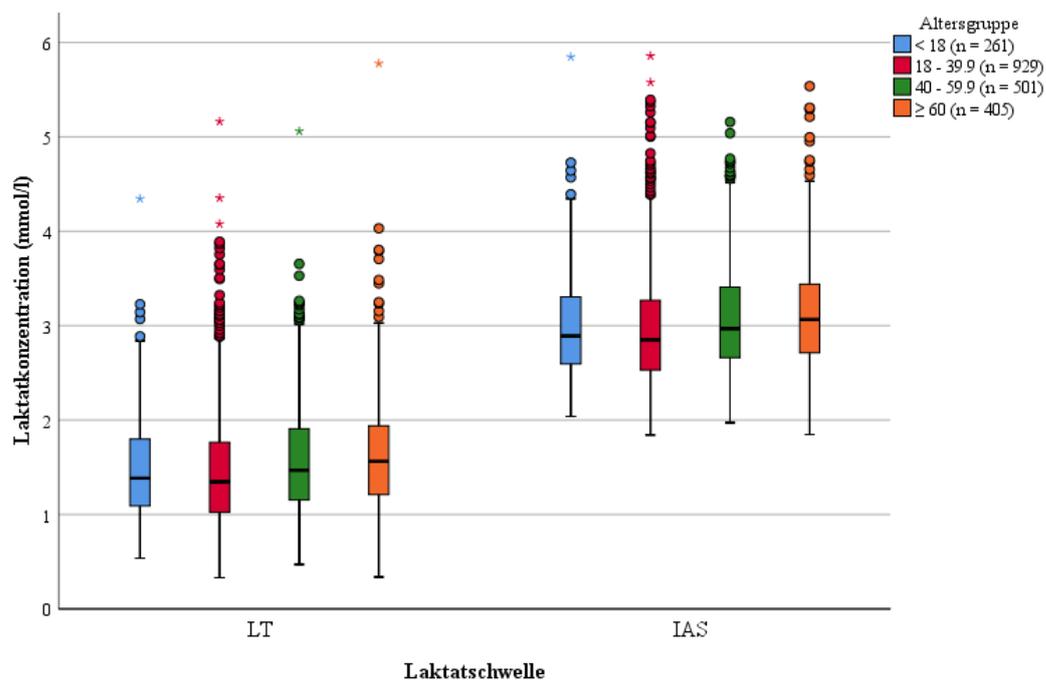


Abbildung 12: Boxplot Laktatkonzentration (mmol/l) an individuellen Laktatschwellen, stratifiziert nach Altersgruppen. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

4.2.5 Einflussfaktor Ergometrieart

4.2.5.1 Feste Laktatkonzentrationen

Die RPE- Mittelwerte bei den festen Laktatkonzentrationen 2 mmol/l, 3 mmol/l und 4 mmol/l in Abhängigkeit der Ergometrieart wurden in Tab. 29 und Abb. 13 dargestellt. Bei allen drei festen Laktatkonzentrationen konnten signifikant höhere RPE- Werte bei der Fahrradergometrie im Vergleich zur Laufbandergometrie beobachtet werden (2 mmol/l: 13.04 vs. 12.69; 3 mmol/l: 14.66 vs. 14.34; 4 mmol/l: 15.96 vs. 15.60; alle $p < .001$). Der größte absolute Unterschied bestand dabei bei der Laktatkonzentration 4 mmol/l ($\Delta = 0.36$) mit minimalem Unterschied gefolgt von der Laktatkonzentration 2 mmol/l ($\Delta = 0.35$) und der Laktatkonzentration 3 mmol/l ($\Delta = 0.32$). Die Effektstärken d nach Cohen betrachtend konnten keine Effekte beobachtet werden (2 mmol/l: $d = 0.17$; 3 mmol/l: $d = 0.17$; 4 mmol/l: $d = 0.16$).

Tabelle 29: RPE an definierten Laktatkonzentrationen in Abhängigkeit der Ergometrieart

	2 mmol/l	3 mmol/l	4 mmol/l
Fahrrad (n = 1254)	13.04 (± 2.11) ¹	14.66 (± 1.89) ¹	15.96 (± 1.84) ¹
Laufband (n = 842)	12.69 (± 2.11) ¹	14.34 (± 1.79) ¹	15.60 (± 1.67) ¹

RPE- Mittelwerte (\pm SD) an definierten Laktatkonzentrationen (mmol/l), abhängig von der Ergometrieart

¹ $p < .001$ Fahrrad vs. Laufband

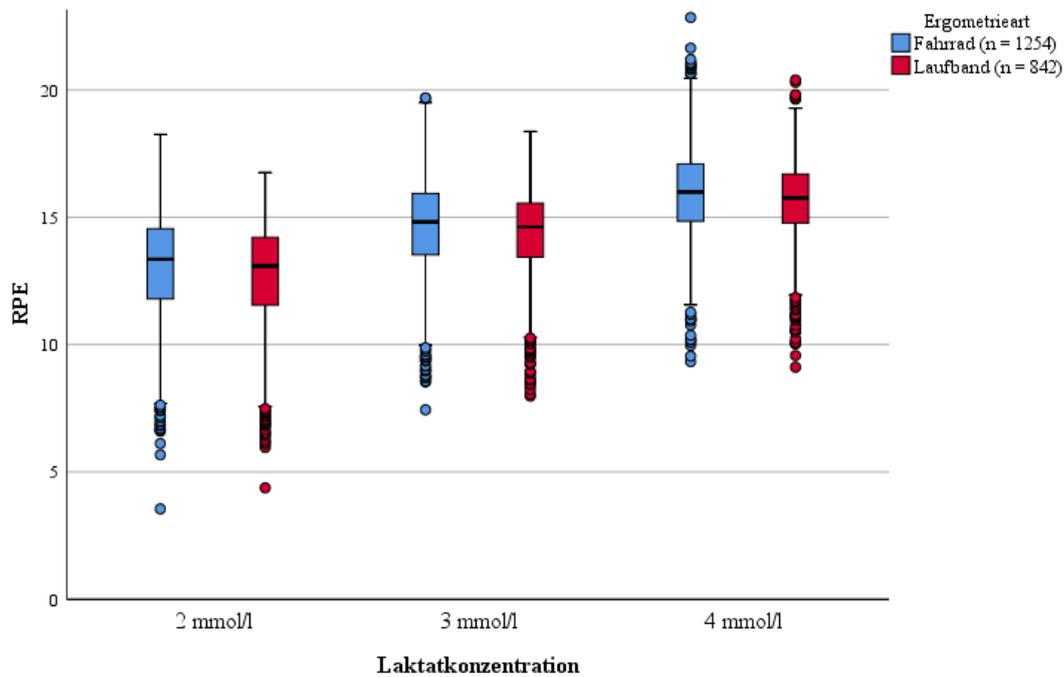


Abbildung 13: Boxplot RPE an definierten Laktatkonzentrationen, stratifiziert nach Ergometrieart

4.2.5.2 Individuelle Laktatschwellen

Die RPE- Mittelwerte bei den individuellen Laktatschwellen LT und IAS in Abhängigkeit der Ergometrieart sind in Tab. 30 und Abb. 14 dargestellt. Gleich zur Tendenz bei den festen Laktatkonzentrationen konnte man bei den individuellen Laktatschwellen LT und IAS signifikant höhere RPE- Werte bei der Fahrradergometrie im Vergleich zur Laufbandergometrie beobachten (LT: 12.31 vs. 11.28; IAS: 14.87 vs. 14.20; alle $p < .001$). Dabei war der absolute Unterschied an der Laktatschwelle LT ($\Delta = 1.03$) größer als an der Laktatschwelle IAS ($\Delta = 0.67$). Die Effektstärken d nach Cohen betrachtend zeigte sich an der IAS ein kleiner Effekt ($d = 0.42$), an der LT ein mittlerer Effekt ($d = 0.51$).

Tabelle 30: RPE an individuellen Laktatschwellen in Abhängigkeit der Ergometrieart

	LT	IAS
Fahrrad (n = 1254)	12.31 (± 1.87) ¹	14.87 (± 1.64) ¹
Laufband (n = 842)	11.28 (± 2.01) ¹	14.20 (± 1.57) ¹

RPE- Mittelwerte (\pm SD) an individuellen Laktatschwellen, abhängig vom Alter. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

¹ $p < .001$ Fahrrad vs. Laufband

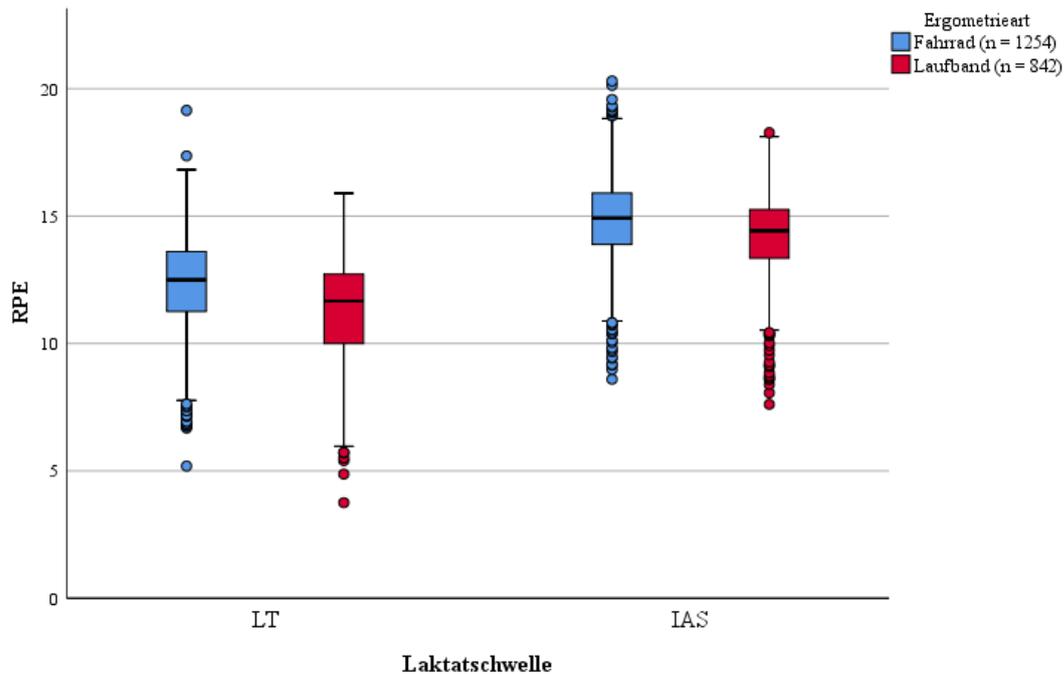


Abbildung 14: Boxplot RPE an individuellen Laktatschwellen, stratifiziert nach Ergometrieart. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

Die Mittelwerte der Laktatkonzentrationen an den individuellen Schwellen LT und IAS sind in Tab. 31 und Abb. 15 dargestellt. An beiden individuellen Laktatschwellen konnten signifikant höhere Laktatkonzentrationen bei der Fahrradergometrie im Vergleich zur Laufbandergometrie beobachtet werden (LT: 1.62 vs. 1.37; IAS: 3.12 vs. 2.88; alle $p < .001$).

Tabelle 31: Laktatkonzentration an individuellen Laktatschwellen in Abhängigkeit der Ergometrieart

	LT	IAS
Fahrrad (n = 1254)	1.62 (\pm 0.63) ¹	3.12 (\pm 0.63) ¹
Laufband (n = 842)	1.37 (\pm 0.53) ¹	2.88 (\pm 0.53) ¹

Mittelwerte (\pm SD) der Laktatkonzentrationen (mmol/l) an individuellen Laktatschwellen, abhängig von der Ergometrieart. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

¹ $p < .001$ Fahrrad vs. Laufband

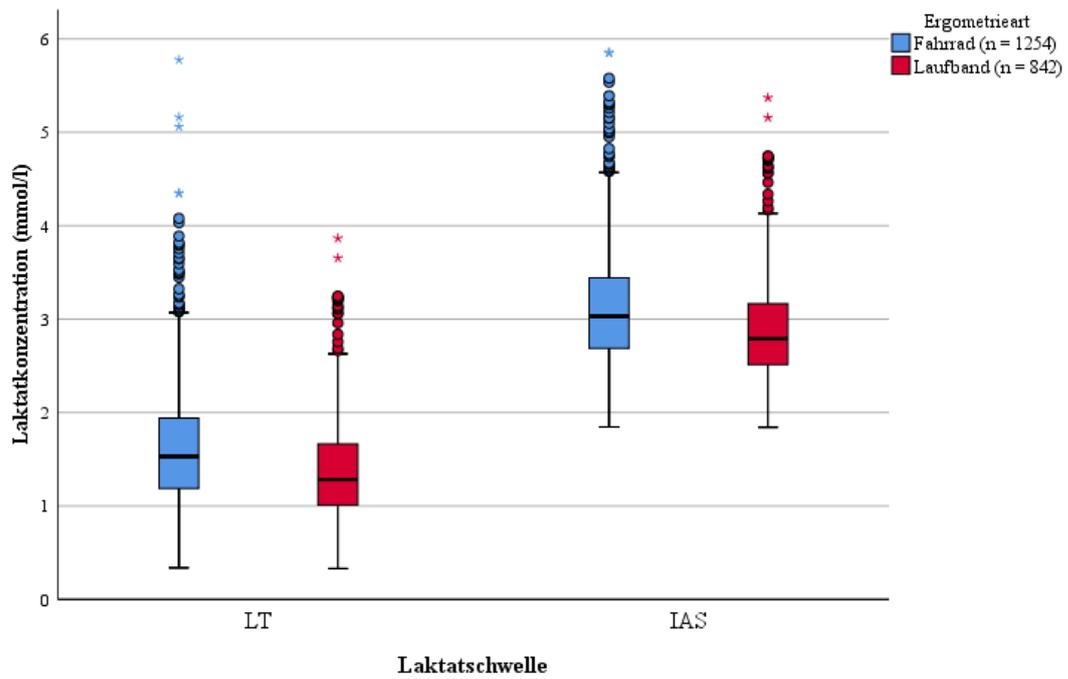


Abbildung 15: Boxplot Laktatkonzentration (mmol/l) an individuellen Laktatschwellen, stratifiziert nach Ergometrieart. LT (lactate threshold), IAS (individuelle anaerobe Schwelle)

5. Diskussion

5.1 Key Findings – zentrale Ergebnisse

Wir vermuteten, dass bei der subjektiven Beurteilung der Anstrengung anhand der 15-stufigen Borg-Skala während sportlicher Aktivität - bei gleichen objektiven Parametern in Form von definierten Laktatkonzentrationen 2 mmol/l, 3 mmol/l und 4 mmol/l sowie individuelle Laktatschwellen LT und IAS - interindividuelle Unterschiede bestehen. Durch Stratifizierung der Stichprobe in Subgruppen nach Fitnesslevel, Geschlecht, Alter und Ergometrieart können folgende zentrale Aussagen getroffen werden:

- Fitnesslevel: Probanden mit höherem Fitnesslevel geben höhere RPE- Werte bei definierten Laktatkonzentrationen und individuellen Laktatschwellen an, am stärksten bei niedrigen Laktatkonzentrationen. Dabei ist der Anstieg der RPE- Werte zwischen zwei definierten Laktatkonzentrationen bei der stärksten Fitnessgruppe flacher als bei Probanden mit geringerer Fitness. Daraus ergibt sich für fitte Probanden ein kleinerer RPE-Bereich für den aeroben-anaeroben Transitionsbereich.
- Geschlecht: Zwischen Frauen und Männer konnten keine geschlechtsspezifischen Unterschiede beobachtet werden.
- Alter: Probanden im hohen Erwachsenenalter und Kindes-/Jugendalter geben mit steigender Intensität und somit mit steigender Laktatkonzentration höhere RPE- Werte an als Probanden im frühen und mittleren Erwachsenenalter. Damit ist für Probanden im hohen Erwachsenenalter und Kindes-/Jugendalter ein steilerer Anstieg der RPE- Werte zu beobachten als bei Probanden im frühen und mittleren Erwachsenenalter.
- Ergometrieart: Bei der Fahrradergometrie werden höhere RPE- Werte, vor allem bei den individuellen Laktatschwellen LT und IAS, im Vergleich zur Laufbandergometrie angegeben.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass signifikante Unterschiede der RPE - Werte bei der Stratifizierung in Subgruppen nach Fitnesslevel, Alter und Ergometrieart zu beobachten waren, nicht jedoch bei Geschlecht. Somit kann unsere Hypothese, dass bei der subjektiven Beurteilung der Anstrengung bei sportlicher Aktivität interindividuelle Unterschiede vorherrschen, für die Einflussfaktoren Fitnesslevel, Alter und Ergometrieart bestätigt werden.

5.2 Interpretation und kritische Einordnung der Studienergebnisse

5.2.1 Gesamtpopulation

Nach unserem Wissenstand ist dies die erste Studie, die neben einer ausreichend großen ($n = 2096$), gleichzeitig auch eine im Durchschnitt ältere Studienpopulation (Mittelwert 39.33 Jahre) untersuchte. In der Betrachtung der gesamten Stichprobe variieren die RPE- Werte zum Teil umfassend mit bisher veröffentlichten Studien. Im Vergleich zu Scherr et al. (38) konnten wir konsistent höhere RPE- Werte bei Laktatkonzentration 3 mmol/l, 4 mmol/l, der Laktatschwelle LT und IAS beobachten, mit absoluten Unterschieden zwischen 1.0 – 1.7 RPE. Ebenfalls höhere RPE- Werte konnten wir gegenüber Irving et al. (45) und Hetzler et al. (44) an der Laktatschwelle LT mit dem Trend der gleichen RPE- Werte bei beiden Studien an der Laktatkonzentration 4 mmol/l berichten. Für den hier aufgeführten Vergleich sind dabei die Studienergebnisse von Scherr et al. (38) unter methodischen Aspekten am höchsten einzuschätzen, da zur Regression der RPE- Werte an festen Laktatkonzentrationen und individuellen Laktatschwellen das quadratische Modell gewählt wurde. Eine Übereinstimmung der individuellen Laktatschwellen LT und IAS mit den Laktatkonzentrationen 2 mmol bzw. 4 mmol/l, die bei Faude et al. und Kindermann et al. (20, 21) beschrieben wird, ist in unserer Population nicht zu bestätigen, viel mehr zwischen der IAS und der Laktatkonzentration 3 mmol/l, hier konnten wir im Gegensatz zu Scherr et al. (38) nahezu gleiche RPE- Werte beobachten. Warum wir gegenüber Scherr et al. (38) so deutlich höhere RPE- Werte beobachteten, können wir abschließend nicht klären.

Nach den aktuellen Daten des statistischen Bundesamtes liegt in der Allgemeinbevölkerung der Altersdurchschnitt bei 44.3 Jahren und der BMI bei 25.9 kg/m², der geschlechtsspezifische BMI bei Frauen 25.0 kg/m² und bei Männern 26.5 kg/m² (59, 60). Mit einem Durchschnittsalter unserer Stichprobenpopulation von 39.3 Jahren und einem BMI von 24.4 kg/m², einem BMI der weiblichen Probanden von 23.3 kg/m² und der männlichen Probanden von 25.0 kg/m² sind unsere Probanden etwas jünger und schlanker als die Allgemeinbevölkerung, wenngleich der Unterschied nicht übermäßig groß erscheint und wir in unserer Stichprobenpopulation die Gesamtbevölkerung grundsätzlich abgebildet sehen. Anzumerken ist dabei, dass die Probanden, also die Personen der Routineversorgung der sportmedizinischen Hochschulambulanz, tendenziell einen aktiven Lebensstil anstreben und sportlich aktiv sind. Dies wird zusätzlich durch die Verteilung der BMI Werte im Vergleich zur Gesamtbevölkerung (Mikrozensus 2013) unterstrichen. Deutliche Unterschiede zeigen sich bei einem erhöhten Anteil der Probanden im Bereich „normalgewichtig“ (BMI 18.5 – 24.9 kg/m²) (60.2 % Charité Sportmedizin vs. 45.5 % Mikrozensus), sowie geringere Anteile in den Bereichen Präadipositas (BMI 25 – 29.9 kg/m²) (29.8 % Charité Sportmedizin vs.

36.7 % Mikrozensus) und der Summe der Bereiche Adipositas Grad 1 und Grad 2 (BMI 30 – 39.9 kg/m²) (6.9 % Charité Sportmedizin vs. 14.7 % Mikrozensus) (59).

5.2.2 Fitnesslevel

Unsere Ergebnisse zeigen, dass Personen mit höherem Fitnesslevel auch höhere RPE- Werte angeben. Am deutlichsten zeigt sich dies bei den festen Laktatkonzentrationen 2 mmol/l, 3 mmol/l und 4 mmol/l, jedoch auch im Trend bei den individuellen Laktatkonzentrationen LT und IAS. Wenn wir die Laktatkonzentrationen der individuellen Laktatschwellen LT und IAS einbeziehen, ist zu beobachten, dass die Laktatkonzentrationen von der stärksten Fitnessgruppe zur schwächsten Fitnessgruppe 4 jeweils ansteigen (IAS = LT + 1,5 mmol/l). Aus dieser Kenntnis, in Verbindung gesetzt mit den RPE- Werten an den festen Laktatkonzentrationen, lässt sich schließen, dass nach dem Konzept der Laktatschwellen bei einer festen Laktatkonzentrationen für die stärkste Fitnessgruppe eine höhere objektive Anstrengung vorliegt als für Personen mit schwächerer Fitness. Dies könnte eine Erklärung der höchsten RPE- Werte der stärksten Fitnessgruppe bei den festen Laktatkonzentrationen 2 mmol/l, 3 mmol/l und 4 mmol/l und dem Abfall der RPE- Werte von der stärksten zur schwächsten Fitnessgruppe sein. Die RPE- Werte an den individuellen Laktatschwellen LT und IAS betrachtend, sind diese im Trend ebenfalls abnehmend von den höchsten RPE- Werten bei Fitnessgruppe 1 zu den niedrigsten RPE- Werten bei Fitnessgruppe 3 bzw. 4, obgleich hier geringere Signifikanzen bzw. Effektstärken zu sehen sind. Wenn man die Ergebnisse an den individuellen Laktatschwellen berücksichtigt, sehen wir somit einen Einfluss des Fitnesslevels auf die subjektiv empfundene Anstrengung. Vorherige Studien konnten bisher unterschiedliche Subgruppenunterschiede bei der Betrachtung des Fitnessstatus nachweisen. Unsere Ergebnisse unterstützen die Studie von Abe et al. (40), die - entgegen Scherr et al. (38) und Demello et al. (46) - Unterschiede bei RPE- Werten in Abhängigkeit des Fitnessstatus sehen. Hervorzuheben ist an dieser Stelle nochmals die Einteilung des Fitnesslevels in Perzentilen anhand der Leistung an der individuellen anaeroben Schwelle, bezogen auf Ergometrieart, Geschlecht und Alter. Die hier genannten Studien teilten ihrerseits die Probanden nach den von ihnen selbst berichteten sportlichen Aktivität ein. Somit ist in der objektiven Einteilung des Fitnesslevels, wie in dieser Studie vorgenommen, von einer höheren Validität auszugehen.

Im Vergleich von trainierten zu schwächeren Probanden sind allgemein Charakteristika zu erkennen. So ist bei fitteren Probanden bei geringer Geschwindigkeit/Watt-Zahl ein Baseline Level über mehrere Stufen zu beobachten, bevor die Laktatkurve ansteigt. Bei schwächeren

Probanden erfolgt dieser Anstieg bereits früher. Grund hierfür sind die Ökonomisierung des Stoffwechsels, der Muskulatur und der Motorik beispielhafte Einflussfaktoren, die an dieser Stelle einzubeziehen sind. Nach dem ersten Anstieg der Laktatkonzentration über das Baseline-Level ermöglichen die zuvor genannten Gründe eine Belastung über eine längere Zeit und höheren Lastanstieg bei fitteren Probanden, im Gegensatz dazu schreitet die Laktatakkumulation bei weniger fitten Probanden schneller voran. Daraus schließend lässt sich also vermuten, dass schwächere Probanden viel früher nach Beginn der Belastung an deren individuellen Laktatschwellen ankommen und aus mentalen/psychischen Aspekten die Belastung als noch nicht so hoch einschätzen, wie fittere Probanden, die bereits länger den Leistungstest durchführen. Gleichzeitig ist zu erkennen, dass der Anstieg der RPE- Werte bei den festen Laktatkonzentrationen und den individuellen Laktatschwellen bei fitteren Probanden flacher verläuft als bei schwächeren Probanden. Daher nehmen auch die Effektstärken von 2 mmol/l bis 4 mmol/l - bis auf einen Einzelfall - ab. Somit lässt sich interpretieren, dass bei den fitteren Probanden bei einer Erhöhung eines definierten Laktatwertes die Differenz der RPE- Werte kleiner ist als bei schwächeren Probanden. Umgekehrt ist bei einer definierten RPE- Erhöhung bei fitteren Probanden eine höhere Differenz der Laktatkonzentrationen zu erwarten. Von hoher praktischer Bedeutung ist hier im Umkehrschluss der kleinere RPE- Bereich im aeroben-anaeroben Transitionsbereich bei fitteren Probanden im Gegensatz zu schwächeren Probanden, der vor allem für individuellen Trainingsempfehlungen berücksichtigt werden sollte.

5.2.3 Geschlecht

Unsere Ergebnisse zeigen, dass kein geschlechtsspezifischer Unterschied bei der subjektiv empfundenen Anstrengung anhand der RPE- Werte bei definierten Laktatkonzentrationen und individuellen Laktatschwellen vorliegt. Diese Erkenntnis ist konsistent mit bisher veröffentlichten Studienergebnissen (38, 46, 61, 62), wengleich Skatrud-Mickelson et al. (63) einen Trend zur Überschätzung bei Frauen sahen. In unseren Daten konnten wir einen Trend der Überschätzung der Intensitäten anhand der RPE- Werte bei Frauen lediglich bei der Laktatkonzentration 4 mmol/l beobachten, die weiteren betrachteten Werte waren identisch bzw. die Männer haben die Intensität im Trend überschätzt. Mit einem maximalen absoluten Unterschied von 0.14 RPE und keinen Signifikanzen ist allerdings von keiner Relevanz auszugehen. Unter dem Aspekt der geringen Alters- und BMI- Unterschiede sehen wir die Ergebnisse als reliabel an.

5.2.4 Alter

Unsere Ergebnisse zeigen, dass Probanden im hohen Erwachsenenalter und Kindes-/Jugendalter mit steigenden Intensitäten und somit ansteigender Laktatkonzentration die Anstrengung subjektiv höher einschätzen als Probanden im frühen und mittleren Erwachsenenalter. Damit widerlegt unsere Studie die These von Scherr et al. (38), die Alter als keinen beeinflussenden Faktor auf RPE- Werte sahen. Ausgehend von nahezu identischen RPE bei 2 mmol/l in allen Altersgruppen nehmen die Geraden der Probanden im hohen Erwachsenenalter und Kindes-/Jugendalter einen steileren Verlauf als die Geraden der Probanden im frühen und mittleren Erwachsenenalter. Unterstrichen wird dies durch ansteigende Signifikanzen und Effektstärken im Verlauf von Laktatkonzentration 2 mmol/l zu 4 mmol/l. So ergibt sich für Probanden im frühen und mittleren Erwachsenenalter ein kleinerer RPE- Bereich im aeroben-anaeroben Transitionsbereich, für Probanden im hohen Erwachsenenalter und Kindes-/Jugendalter ein höherer RPE- Bereich für den aeroben-anaeroben Transitionsbereich. Umgekehrt bedeutet dies wiederum, dass eine Steigerung einer definierten Laktatkonzentration bei Probanden im hohen Erwachsenenalter und Kindes-/Jugendalter eine höhere RPE- Zunahme bewirkt als bei Probanden im frühen und mittleren Erwachsenenalter, eine Steigerung eines definierten RPE- Wertes einen geringeren Laktatanstieg bei Personen im hohen Erwachsenen- und Kindes-/Jugendalter bewirkt als bei Personen im frühen und mittleren Erwachsenenalter.

Mit höherem Alter nimmt die maximale Leistungsfähigkeit ab. Dabei ist die maximale Ausdauerleistung im Alter von ca. 35 Jahren am höchsten mit einem beginnenden Abfall bis zum 50.-60. Lebensjahr und einer progressiven Reduktion darüber hinaus (53-55). Insgesamt scheint dabei die fortlaufende Minderung der VO_{2max} der korrelierende Faktor in der Abnahme der maximalen Leistungsfähigkeit im Alter darzustellen (64, 65). Dies wird wiederum begründet durch zentrale Faktoren, wie die Abnahme des maximalen kardialen Outputs, der maximalen Herzfrequenz und des Schlagvolumens sowie der verminderten maximalen arteriovenösen Sauerstoffdifferenz als periphere Determinante (55, 66-69). Aus soziologischer Sichtweise für den Rückgang der maximalen Leistungsfähigkeit im Alter wird die Reduktion des Trainingsstimulus im Gesamten gesehen, mit steigendem Alter die Zunahme von Arbeits- und familiärer Belastung als limitierende Zeit- und Energiefaktoren für intensives Training zur Aufrechterhaltung der Wettkampffähigkeit (55). Zusätzlich dient sportliche Aktivität im höheren Alter mehr der generellen Gesundheitsförderung, Gewichtskontrolle und/oder der Gesellschaft mit anderen Läufern, für Jüngere dagegen steht das Streben nach einem persönlichen (Wettkampf-)Ziel im Vordergrund (70). Konsistent mit diesen Faktoren sind die Ergebnisse der Personen im hohen

Erwachsenenalter einzuschätzen. Nicht nur durch die verminderte Leistungsfähigkeit, sondern vor allem aus soziologischen und psychologischen Aspekten erschließt sich der Zusammenhang deutlich. Sofern Personen im hohen Erwachsenenalter sportlich aktiv sind, hat dies meist einen gesundheitsfördernden und/oder gesellschaftlichen Charakter, entsprechend liegen die Intensitäten meist im unteren Bereich. Durchlaufen diese Personen nun einen Belastungstest in gleicher Modalität wie alle anderen Altersgruppen und kontinuierlich steigenden Stufen, erreicht diese Altersgruppe Intensitäten und hohe Laktatbereiche, die sie im normalen sportlichen Alltag nicht mehr gewohnt sind und dadurch die Belastung im Umkehrschluss subjektiv überschätzen. Zusätzlich ist vorstellbar, dass mit höherem Alter die Motivation für eine vollständige Ausbelastung sinkt und die subjektive Anstrengung psychisch höher eingeschätzt wird, als diese im Vergleich zum frühen und mittleren Erwachsenenalter ist (70).

Die Ergebnisse der Probanden im Kindes-/Jugendalter sehen wir ebenfalls durch mehrere Faktoren begründet. Obgleich Zelener & Schneider (71) für Adoleszente akkurate Einschätzung der Intensitäten durch RPE- Werte nachwiesen, sehen wir in unseren Ergebnissen die leichte Überschätzung der Intensitäten durch psychische und motorische Aspekte determiniert. Für junge Probanden ist es meist der erste Belastungstest und mit dem ärztlichen Umfeld der sportmedizinischen Ambulanz ein psychischer Stressor, der in eine erhöhte Aufregung münden kann. Daneben ist es möglich, dass Geschwindigkeiten auf der Laufband- und Widerstände bei der Fahrradergometrie erreicht werden, die einen erhöhten motorischen Anspruch für diese Altersgruppe bedeuten und im sportlichen Alltag eher weniger Anwendung finden, somit in einer Überforderung und Überschätzung der RPE- Werte münden können.

5.2.5 Ergometrieart

Unsere Ergebnisse zeigen, dass bei der Fahrradergometrie höhere RPE- Werte bei allen definierten Laktatkonzentrationen und individuellen Laktatschwellen im Vergleich zur Laufbandergometrie angegeben werden. Diese Aussage widerspricht den Studienergebnissen von Scherr et al. (38) und Hetzler et al. (44), die keinen Einfluss des Belastungsgerätes beobachtet haben.

Auffällig bei Betrachtung der Probandenausgangswerte ist der große Altersunterschied der Mittelwerte von 30.02 Jahren bei der Laufband- und 45.57 Jahren bei der Fahrradergometrie. Auch wenn im Durchschnitt dadurch beide Gruppen im frühen bzw. mittleren Erwachsenenalter liegen, kann man davon ausgehen, dass in der Gruppe der Laufbandergometrie eine hohe Anzahl an jüngeren Probanden und umgekehrt in der Gruppe der Fahrradergometrie eine hohe Anzahl an

älteren Probanden enthalten sind. Grundlegend für diesen großen Unterschied ist die Auswahl der Belastungsmodalität durch den Arzt im Arzt-Patienten-Gespräch vor der Belastungsuntersuchung. Für ältere Probanden ist die Laufbandbelastung aufgrund altersbedingter Verminderung der Koordination und Körperbalance durch neuronale, sensorische und muskuloskeletale Veränderungen mit einem höheren Risiko für Verletzungen durch Stürze o.Ä. verbunden, dadurch wird vorzugsweise die Fahrradergometrie genutzt (72). Bei jüngeren Probanden fällt die Entscheidung aufgrund der bevorzugten Belastungsmodalität während des Trainings oder des Wettkampfes. Wenn man davon ausgeht, dass bei der Fahrradergometrie ein höherer Anteil v.a. an Probanden über 60 Jahren besteht, sind die unterschiedlichen RPE- Werte bei dem Einflussfaktor Ergometrieart mit den Altersunterschieden (unter 5.2.4) möglicherweise erklärbar.

Darüber hinaus ist anzumerken, dass bei der Fahrradergometrie ein geringerer Prozentsatz der Gesamtmuskelmasse bei der Belastungsuntersuchung angesteuert wird als bei der Laufbandergometrie, was durch geringere Herzfrequenzen bei der Fahrradergometrie unterstrichen wird (51, 73). Natürlich gibt es hier interindividuelle Unterschiede, so ist vorstellbar, dass bei einem Radrennfahrer durch erhöhte Kapillarisation und Ökonomisierung der Oberschenkelmuskulatur diese in solcher Weise ausgeprägt ist, dass diese Muskeln mit einem hohen Herz-Zeit-Volumen versorgt werden. Davon können wir beim Durchschnittsprobanden allerdings nicht ausgehen. Eine weitere Erklärung für die erhöhten RPE- Werte in der Fahrradergometrie im Vergleich zur Laufbandergometrie könnte somit durch erhöhte lokale Laktatkonzentrationen aufgrund einer höheren lokalen Minderversorgung der Oberschenkelmuskulatur und letztlich erhöhtem Schmerz-/Belastungsgefühl begründet sein.

Welcher dieser beiden Faktoren – Alter und/oder Muskelmasse/Laktatverteilung – einen höheren Einfluss auf die Ergebnisse bedingen, ist an dieser Stelle nicht eindeutig zu klären. Eine Beteiligung beider Determinanten ist hier jedoch vorstellbar.

5.3 Implikation der Studienergebnisse auf individuelle Trainingsempfehlungen

Die American College of Sports Medicine (ACSM) empfiehlt für sportliche Aktivität und Steuerung unter Beachtung der 15-stufigen Borg-Skala die RPE- Werte 9 – 11 für leichte Intensität, 12 – 13 für moderate Intensität und 14 – 17 für hohe Intensität. Daneben rät die Deutsche Gesellschaft für Prävention und Rehabilitation und die European Society of Cardiology zu Orientierung an ähnlichen Werte, mit geringeren Bereichen bei leichter und hoher Intensität (Tab. 32) (15, 74, 75). Im Bereich zwischen den Laktatschwellen LT und IAS befinden sich die Intensitäten leichte und moderate Intensität und somit empfiehlt die ACMS im aeroben-anaeroben Transitionsbereich RPE- Werte zwischen 9 und 13.

Tabelle 32: Trainingsempfehlungen internationaler Medizingesellschaften für Intensitätsbereiche anhand RPE- Werten

	leichte Intensität	moderate Intensität	hohe Intensität
Deutsche Gesellschaft für Prävention und Rehabilitation (DGPR) (75)	10 – 11	12 – 13	14 - 16
European Society of Cardiology (74)	10 – 11	12 – 13	14 – 16
American College of Sports Medicine (15)	9 – 11	12 – 13	14 – 17

RPE: Rating of perceived exertion (15-stufige Borg-Skala)

Unsere Ergebnisse zeigen dagegen einen kleineren und höheren RPE- Bereich im aeroben-anaeroben Transitionsbereich zwischen 11.90 und 14.60. Dieser liegt, wie bereits unter 5.2.1 beschrieben, im Vergleich zu Scherr et al. (38) um ca. 1 RPE höher (RPE LT: 10.8; RPE IAS: 13.6), wengleich in deren Schlussfolgerung leichte Intensitäten zwischen 11 – 13 für weniger Trainierte und intensiveres, noch aerobes Training – für uns interpretierbar mit moderater Intensität – zwischen 13 – 15 empfohlen werden. Nach unseren Ergebnissen empfehlen wir im Allgemeinen leichte Intensität bei RPE 12 – 13, moderate Intensität bei RPE 14 – 15 und hohe Intensität bei RPE > 15 und sehen hier leichte Abweichungen zu Scherr et al. (38). In Betrachtung der Subgruppenanalysen der Einflussfaktoren Geschlecht, Fitnesslevel und Alter geben wir in Bezug auf die Intensitätsbereiche gleiche Empfehlungen, wengleich bei Fitnesslevel und Alter signifikante Unterschiede beobachtet werden konnten, die im numerischen Ausdruck der RPE Intensitätsbereiche jedoch keine Differenzierung ergeben. Dem gegenüber ergab der Parameter

Ergometrieart abweichende Empfehlungen, die für Laufbandergometrie leichte Intensität bei RPE 11 – 12, moderate Intensität RPE 13 – 14 und hohe Intensität bei RPE > 14 (Tab. 33) verorten.

Tabelle 33: Differenzierte Empfehlung der Trainingssteuerung anhand RPE in Abhängigkeit der Ergometrieart

	leichte Intensität	moderate Intensität	hohe Intensität
Fahrradergometrie	12 – 13	14 – 15	> 15
Laufbandergometrie	11 – 12	13 – 14	> 14

RPE: Rating of perceived exertion (15-stufige Borg-Skala)

Wenngleich wir keine numerische, praktische Differenzierung der signifikanten Einflussfaktoren Fitnesslevel und Alter sehen, sind die RPE- Verläufe für den individuellen Beratungsalltag von Bedeutung. Probanden im frühen und mittleren Erwachsenenalter wie auch solche mit hohem Fitnesslevel stehen ein geringerer absoluter RPE- Bereich in der aeroben-anaeroben Transition zur Verfügung, umgekehrt Probanden im Kindes-/Jugendalter und hohen Erwachsenenalter sowie sportlich Untrainierte ein größerer absoluter RPE- Bereich. Für den Fall des engeren RPE- Bereiches im aeroben-anaeroben Transitionsbereich wäre daher die Steuerung des Trainings darüber hinaus mit etwa der Geschwindigkeiten/Wattzahlen und Herzfrequenzen an den individuellen Laktatschwellen zu überlegen. Bei Leistungssportlern ist denkbar, dass bei auftretender kumulativer Trainingsbelastung und nachfolgender Ermüdung bei alleiniger Steuerung des Trainings anhand der RPE die subjektive Erschöpfung höher als die objektiv messbare Belastung ist und damit die zusätzliche Trainingssteuerung in diesen Fällen über andere Parameter nötig machen könnte. Bei Hobbysportlern mit einer Trainingsbelastung von 3-4x/Woche kann man dagegen von einer häufiger kompletten zentralnervösen und metabolischen Erholung ausgehen, sodass die RPE- Nutzung meist möglich ist. Wichtig an dieser Stelle ist zudem zu nennen, dass eine Belastungsuntersuchung für unfittere, jüngere sowie alte Probanden die Möglichkeit gibt, Intensitäten bis zur vollständigen Ausbelastung zu durchlaufen und somit eine optimierte Einschätzung für die spätere sportliche Aktivität zu erreichen, wonach der präventive Aspekt einer sportmedizinischen Belastungsuntersuchung betont werden kann und darüber hinaus die Tauglichkeit zum Sport untersucht wird, um das Risiko durch Belastungen auszuschließen und ein effektives Training gestaltet werden kann.

5.4 Limitationen

Die vorliegende Studie weist folgende Limitationen auf

- Studiendesign: Datengrundlage der Querschnittsstudie bildeten pseudonymisierte retrospektive Daten der sportmedizinischen Hochschulambulanz. Durch hohe Qualitätsanforderungen an die Datenverarbeitungsprogramme und deren Anwender können wir von qualitativ hochwertigen Daten ausgehen, wenngleich bei dieser hohen Anzahl an Einzelbelastungen und des großen Zeitraums einzelne Anwender- bzw. Technikfehler nicht ausgeschlossen werden können. Mit Hilfe der Ausschlusskriterien wurden daher zur weiteren Qualitätssteigerung der Daten geeignete Merkmale festgelegt.
- Durchführung der Leistungsdiagnostik: Die Belastungsuntersuchungen erfolgten sowohl bei der Fahrrad- als auch bei der Laufbandergometrie auf jeweils zwei Ergometriegeräten. Obgleich wir darin keine großen Einschränkungen der Datenqualität sehen, wäre die Nutzung von jeweils einem Ergometriegerät mit einer noch höheren Qualitätssicherung verbunden. Darüber hinaus fanden die Belastungsuntersuchungen nicht alle zum gleichen Zeitpunkt statt, meist am Vormittag, jedoch zeitbedingt auch am Nachmittag. Die Temperatur wurde standardisiert zwischen 19 und 20.5°C gehalten, retrospektiv können wir ein Über- oder Unterschreiten des Temperaturbereiches aufgrund von geöffneten Fenstern oder parallel durchgeführte Belastungen nicht ausschließen. Studien im prospektiven Design haben hier durch vordefinierte Protokolle den Vorteil einer höheren Steuerungsmöglichkeit.
- Stichprobenpopulation: Insgesamt 45.56 % (n = 955) der Probanden befanden sich in der Fitnessgruppe 1, weitere 24.28 % (n = 509) in der Fitnessgruppe 2. Somit können wir im Durchschnitt von einer eher fitten, sportlich aktiven Studienpopulation ausgehen. Dies ist begründbar durch den bevorzugten Zugang von dieser Probandenklientel zu sportmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen bzw. zur Leistungsdiagnostik. Nicht destotrotz sind mit 30.15 % (n = 632) Probanden aus den beiden unteren Perzentilengruppen (0 – 49.9 Perzentile) auch sportlich inaktivere, mit geringerem Fitnesslevel vertreten. Somit wird dem gesamten Bevölkerungsspektrum Rechnung getragen, wenngleich der erhöhte Anteil sportlich aktiverer Probanden berücksichtigt werden muss. Dies wird zusätzlich durch die Verteilung der BMI- Werte (siehe 5.2.1) unterstrichen. So ist der in der Gesamtbevölkerung mittlerweile sehr große Anteil an eher inaktiven, tendenziell übergewichtigen Bevölkerungsschichten in unserer Studienpopulation vermutlich unterrepräsentiert, wenngleich durch die

Subgruppenanalysen geeignete Unterscheidungsparameter, z.B. zum Fitnesslevel, durchgeführt wurden.

- Individuelle anaerobe Schwelle: Neben der hier verwendeten individuellen anaeroben Schwelle nach Dickhuth (25) nutzten z.B. Snyder et al. (76) zur Berechnung dieser Schwelle bei Fahrradergometrien bei der Addition zur LT eine Laktatkonstante von 1 mmol/l anstelle 1.5 mmol/l, die durch den geringeren Anteil der angesteuerten Muskelmasse begründet wird (73). Die Nutzung der geringeren Laktatkonstante würde eine Minderung der RPE- Werte der Fahrradergometrie nach sich ziehen und somit eine Überschätzung der Unterschiede unter den Ergometriearten bedeuten.
- Regression der RPE- Werte an definierten Laktatkonzentrationen und individuellen Laktatkonzentrationen: In dieser Studie wurde das quadratische Modell für die Regression der RPE- Werte und Laktatkonzentrationen gewählt. Andere Modelle, wie bspw. das exponentielle Modell oder die lineare Interpolation, wurden in der Vergangenheit genutzt (10, 14, 38, 40). Welches der Varianten der Regression/Interpolation der wirklichen RPE- Laktat-Kurve am genauesten verläuft, ist abschließend nicht geklärt. Eine Ungenauigkeit des in dieser Studie genutzten quadratischen Modells ist nicht auszuschließen, je nach Kurvenverlauf sind erhöhte oder erniedrigte RPE- Werte v.a. bei höheren Laktatkonzentrationen möglich.
- Anthropometrische Parameter als Einflussfaktor auf die RPE: In der Querschnittsstudie werden anthropometrische Charakteristika (BMI, Größe, Gewicht) als eigene Einflussfaktoren auf die subjektiv empfundene Anstrengung von sportlicher Aktivität nicht einzeln untersucht, sodass ein möglicher Einfluss dieser auf die hier untersuchten Einflussfaktoren nicht ausgeschlossen werden kann. Wir sehen hier einen Ansatzpunkt für weitere Studien zur diesen Parametern.

6. Literaturverzeichnis

1. Paffenbarger RSJ, Hyde RT, Wing AL, Lee I-M, Jung DL, Kampert JB. The Association of Changes in Physical-Activity Level and Other Lifestyle Characteristics with Mortality among Men. *New England Journal of Medicine*. 1993;328(8):538-45.
2. Knowler WC, Barrett-Connor E, Fowler SE, Hamman RF, Lachin JM, Walker EA, Nathan DM. Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *The New England journal of medicine*. 2002;346(6):393-403.
3. Kyu HH, Bachman VF, Alexander LT, Mumford JE, Afshin A, Estep K, Veerman JL, Delwiche K, Iannarone ML, Moyer ML, Cercy K, Vos T, Murray CJ, Forouzanfar MH. Physical activity and risk of breast cancer, colon cancer, diabetes, ischemic heart disease, and ischemic stroke events: systematic review and dose-response meta-analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *BMJ (Clinical research ed)*. 2016;354:i3857.
4. Hussain N, Gersh BJ, Gonzalez Carta K, Sydo N, Lopez-Jimenez F, Kopecky SL, Thomas RJ, Asirvatham SJ, Allison TG. Impact of Cardiorespiratory Fitness on Frequency of Atrial Fibrillation, Stroke, and All-Cause Mortality. *The American journal of cardiology*. 2018;121(1):41-9.
5. Fan M, Yu C, Guo Y, Bian Z, Li X, Yang L, Chen Y, Li M, Li X, Chen J, Chen Z, Lv J, Li L, China Kadoorie Biobank Collaborative G. Effect of total, domain-specific, and intensity-specific physical activity on all-cause and cardiovascular mortality among hypertensive adults in China. *Journal of hypertension*. 2018;36(4):793-800.
6. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, Macera CA, Heath GW, Thompson PD, Bauman A. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and science in sports and exercise*. 2007;39(8):1423-34.
7. Nelson ME, Rejeski WJ, Blair SN, Duncan PW, Judge JO, King AC, Macera CA, Castaneda-Sceppa C, American College of Sports M, American Heart A. Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*. 2007;116(9):1094-105.
8. Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*. 1970;2(2):92-8.
9. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and science in sports and exercise*. 1982;14(5):377-81.

10. Noble BJ, Borg GA, Jacobs I, Ceci R, Kaiser P. A category-ratio perceived exertion scale: relationship to blood and muscle lactates and heart rate. *Medicine and science in sports and exercise*. 1983;15(6):523-8.
11. Eston RG, Davies BL, Williams JG. Use of perceived effort ratings to control exercise intensity in young healthy adults. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1987;56(2):222-4.
12. Garnacho-Castano MV, Dominguez R, Munoz Gonzalez A, Feliu-Ruano R, Serra-Paya N, Mate-Munoz JL. Exercise Prescription Using the Borg Rating of Perceived Exertion to Improve Fitness. *International journal of sports medicine*. 2018;39(2):115-23.
13. Lins-Filho Ode L, Robertson RJ, Farah BQ, Rodrigues SL, Cyrino ES, Ritti-Dias RM. Effects of exercise intensity on rating of perceived exertion during a multiple-set resistance exercise session. *Journal of strength and conditioning research*. 2012;26(2):466-72.
14. Dantas JL, Doria C, Rossi H, Rosa G, Pietrangelo T, Fano-Illic G, Nakamura FY. Determination of blood lactate training zone boundaries with rating of perceived exertion in runners. *Journal of strength and conditioning research*. 2015;29(2):315-20.
15. Medicine ACoS. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 9th ed. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins 2014.
16. Mann T, Lamberts RP, Lambert MI. Methods of prescribing relative exercise intensity: physiological and practical considerations. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2013;43(7):613-25.
17. Fox SM, 3rd, Naughton JP, Haskell WL. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Annals of clinical research*. 1971;3(6):404-32.
18. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*. 2001;37(1):153-6.
19. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR, Jr., Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Medicine and science in sports and exercise*. 2011;43(8):1575-81.
20. Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2009;39(6):469-90.
21. Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1979;42(1):25-34.

22. Yoshida T, Chida M, Ichioka M, Suda Y. Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1987;56(1):7-11.
23. Ivy JL, Withers RT, Van Handel PJ, Elger DH, Costill DL. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*. 1980;48(3):523-7.
24. Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International journal of sports medicine*. 1981;2(3):160-5.
25. Dickhuth H-H, Huonker M, Münzel T, Drexler H, Berg A, Keul J, editors. *Individual Anaerobic Threshold for Evaluation of Competitive Athletes and Patients with Left Ventricular Dysfunction* 1991; Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
26. Dickhuth HH, Yin L, Niess A, Rocker K, Mayer F, Heitkamp HC, Horstmann T. Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *International journal of sports medicine*. 1999;20(2):122-7.
27. Sjodin B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International journal of sports medicine*. 1981;2(1):23-6.
28. Mader A, Liesen H, Heck H, Philippi H, Rost R, Schürch P, Hollmann W. Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt und Sportmedizin*. 1976(27):80-8, 109-12.
29. Weltman A, Seip R, Bogardus AJ, Snead D, Dowling E, Levine S, Weltman J, Rogol A. Prediction of lactate threshold (LT) and fixed blood lactate concentrations (FBLC) from 3200-m running performance in women. *International journal of sports medicine*. 1990;11(5):373-8.
30. Beneke R, Leithauser RM, Ochentel O. Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *International journal of sports physiology and performance*. 2011;6(1):8-24.
31. Held T, Marti B. Substantial influence of level of endurance capacity on the association of perceived exertion with blood lactate accumulation. *International journal of sports medicine*. 1999;20(1):34-9.
32. Yoshida T, Udo M, Chida M, Ichioka M, Makiguchi K, Yamaguchi T. Specificity of physiological adaptation to endurance training in distance runners and competitive walkers. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1990;61(3):197-201.
33. Acevedo EO, Goldfarb AH. Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance. *Medicine and science in sports and exercise*. 1989;21(5):563-8.

34. Mujika I, Padilla S. Cardiorespiratory and metabolic characteristics of detraining in humans. *Medicine and science in sports and exercise*. 2001;33(3):413-21.
35. Bentley DJ, Newell J, Bishop D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2007;37(7):575-86.
36. Maassen N, Busse MW. The relationship between lactic acid and work load: a measure for endurance capacity or an indicator of carbohydrate deficiency? *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1989;58(7):728-37.
37. Prettin S, Roecker K, Ruehl S, Deibert P, Schumacher YO, Hirschmuller A, Dickhuth HH. Changes in blood lactate concentrations during different treadmill exercise test protocols. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 2011;51(2):179-84.
38. Scherr J, Wolfarth B, Christle JW, Pressler A, Wagenpfeil S, Halle M. Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European journal of applied physiology*. 2013;113(1):147-55.
39. Ueda T, Kurokawa T. Relationships between perceived exertion and physiological variables during swimming. *International journal of sports medicine*. 1995;16(6):385-9.
40. Abe D, Yoshida T, Ueoka H, Sugiyama K, Fukuoka Y. Relationship between perceived exertion and blood lactate concentrations during incremental running test in young females. *BMC sports science, medicine & rehabilitation*. 2015;7:5.
41. Ciolac EG, Mantuani SS, Neiva CM, Verardi C, Pessoa-Filho DM, Pimenta L. Rating of perceived exertion as a tool for prescribing and self regulating interval training: a pilot study. *Biology of sport*. 2015;32(2):103-8.
42. Madrid B, Pires FO, Prestes J, Cesar Leite Vieira D, Clark T, Tiozzo E, Lewis JE, Grubert Campbell CS, Gustavo Simoes H. Estimation of the Maximal Lactate Steady State Intensity by the Rating of Perceived Exertion. *Perceptual and motor skills*. 2016;122(1):136-49.
43. Fabre N, Mourot L, Zerbini L, Pellegrini B, Bortolan L, Schena F. A novel approach for lactate threshold assessment based on rating of perceived exertion. *International journal of sports physiology and performance*. 2013;8(3):263-70.
44. Hetzler RK, Seip RL, Boutcher SH, Pierce E, Snead D, Weltman A. Effect of exercise modality on ratings of perceived exertion at various lactate concentrations. *Medicine and science in sports and exercise*. 1991;23(1):88-92.
45. Irving BA, Rutkowski J, Brock DW, Davis CK, Barrett EJ, Gaesser GA, Weltman A. Comparison of Borg- and OMNI-RPE as markers of the blood lactate response to exercise. *Medicine and science in sports and exercise*. 2006;38(7):1348-52.

46. Demello JJ, Cureton KJ, Boineau RE, Singh MM. Ratings of perceived exertion at the lactate threshold in trained and untrained men and women. *Medicine and science in sports and exercise*. 1987;19(4):354-62.
47. Roecker K, Niess AM, Horstmann T, Striegel H, Mayer F, Dickhuth HH. Heart rate prescriptions from performance and anthropometrical characteristics. *Medicine and science in sports and exercise*. 2002;34(5):881-7.
48. Roecker K, Mayer F, Striegel H, Dickhuth HH. Increase characteristics of the cumulated excess-CO₂ and the lactate concentration during exercise. *International journal of sports medicine*. 2000;21(6):419-23.
49. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985)*. 1985;59(6):1936-40.
50. Roecker K, Schotte O, Niess AM, Horstmann T, Dickhuth HH. Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Medicine and science in sports and exercise*. 1998;30(10):1552-7.
51. Roecker K, Striegel H, Dickhuth HH. Heart-rate recommendations: transfer between running and cycling exercise? *International journal of sports medicine*. 2003;24(3):173-8.
52. Die Ergonizer-Perzentilenfunktion bietet einen objektiven Vergleich. Roecker, K, 1993-2015 (Accessed May 5, 2018, at <https://www.ergonizer.de/perzentile.html>.)
53. Tanaka H, Seals DR. Age and gender interactions in physiological functional capacity: insight from swimming performance. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985)*. 1997;82(3):846-51.
54. Tanaka H, Seals DR. Invited Review: Dynamic exercise performance in Masters athletes: insight into the effects of primary human aging on physiological functional capacity. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985)*. 2003;95(5):2152-62.
55. Tanaka H, Seals DR. Endurance exercise performance in Masters athletes: age-associated changes and underlying physiological mechanisms. *The Journal of physiology*. 2008;586(1):55-63.
56. Cohen BH. *Explaining psychological statistics*, 3rd ed. Hoboken, NJ, US: John Wiley & Sons Inc; 2008.
57. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates; 1988.
58. Rosenthal R, DiMatteo MR. Meta-analysis: recent developments in quantitative methods for literature reviews. *Annual review of psychology*. 2001;52:59-82.

59. Mikrozensus - Fragen zur Gesundheit - Körpermaße der Bevölkerung. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2014. (Accessed May 5, 2018, at https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Gesundheitszustand/Koerpermasse5239003139004.pdf?__blob=publicationFile.)
60. Pressemitteilung: Altersdurchschnitt der Bevölkerung sank 2015 auf 44 Jahre und 3 Monate. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2017. (Accessed May 5, 2018, at https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2017/06/PD17_197_12411.pdf.pdf?__blob=publicationFile.)
61. Robertson RJ, Moyna NM, Sward KL, Millich NB, Goss FL, Thompson PD. Gender comparison of RPE at absolute and relative physiological criteria. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000;32(12):2120-9.
62. Faulkner J, Parfitt G, Eston R. Prediction of maximal oxygen uptake from the ratings of perceived exertion and heart rate during a perceptually-regulated sub-maximal exercise test in active and sedentary participants. *European journal of applied physiology*. 2007;101(3):397-407.
63. Skatrud-Mickelson M, Benson J, Hannon JC, Askew EW. A comparison of subjective and objective measures of physical exertion. *Journal of sports sciences*. 2011;29(15):1635-44.
64. Fuchi T, Iwaoka K, Higuchi M, Kobayashi S. Cardiovascular changes associated with decreased aerobic capacity and aging in long-distance runners. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1989;58(8):884-9.
65. Marcell TJ, Hawkins SA, Tarpenning KM, Hyslop DM, Wiswell RA. Longitudinal analysis of lactate threshold in male and female master athletes. *Medicine and science in sports and exercise*. 2003;35(5):810-7.
66. Rivera AM, Pels AE, 3rd, Sady SP, Sady MA, Cullinane EM, Thompson PD. Physiological factors associated with the lower maximal oxygen consumption of master runners. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985)*. 1989;66(2):949-54.
67. Ogawa T, Spina RJ, Martin WH, 3rd, Kohrt WM, Schechtman KB, Holloszy JO, Ehsani AA. Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation*. 1992;86(2):494-503.
68. Heath GW, Hagberg JM, Ehsani AA, Holloszy JO. A physiological comparison of young and older endurance athletes. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*. 1981;51(3):634-40.
69. Hagberg JM, Allen WK, Seals DR, Hurley BF, Ehsani AA, Holloszy JO. A hemodynamic comparison of young and older endurance athletes during exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985)*. 1985;58(6):2041-6.

70. Ogles BM, Masters KS. Older vs. Younger Adult Male Marathon Runners: Participative Motives and Training Habits. *Journal of Sport Behavior*. 2000;23(2):130.
71. Zelener J, Schneider M. Adolescents and Self-Reported Physical Activity: An Evaluation of the Modified Godin Leisure-Time Exercise Questionnaire. *International journal of exercise science*. 2016;9(5):587-98.
72. Maki BE, McIlroy WE. Postural control in the older adult. *Clinics in geriatric medicine*. 1996;12(4):635-58.
73. Beneke R, von Duvillard SP. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Medicine and science in sports and exercise*. 1996;28(2):241-6.
74. Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S, Albus C, Brotons C, Catapano AL, Cooney MT, Corra U, Cosyns B, Deaton C, Graham I, Hall MS, Hobbs FDR, Locher ML, Lollgen H, Marques-Vidal P, Perk J, Prescott E, Redon J, Richter DJ, Sattar N, Smulders Y, Tiberi M, Bart van der Worp H, van Dis I, Verschuren WMM. 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). *Atherosclerosis*. 2016;252:207-74.
75. Bjarnason-Wehrens B, Schulz O, Gielen S, Halle M, Dürsch M, Hambrecht R, Lowis H, Kindermann W, Schulze R, Rauch B. Leitlinie körperliche Aktivität zur Sekundärprävention und Therapie kardiovaskulärer Erkrankungen. *Clinical Research in Cardiology Supplements*. 2009;4(3):1-44.
76. Snyder AC, Woulfe T, Welsh R, Foster C. A simplified approach to estimating the maximal lactate steady state. *International journal of sports medicine*. 1994;15(1):27-31.

7. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Maximilian Grummt, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Zum Einfluss von Fitnesslevel, Geschlecht, Alter und Ergometrieart auf die subjektiv empfundene Anstrengung bei leistungsdiagnostischen Untersuchungen“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Berlin, 14.06.2018

8. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

9. Bescheinigung über Art und Umfang der statistischen Bearbeitung

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



HU | Kultur-, Sozial- und Bildungswissenschaftliche Fakultät | 10099 Berlin
Institut für Sportwissenschaft

**Kultur-, Sozial- und
Bildungswissenschaftliche
Fakultät**

Institut für Sportwissenschaft

**Medizinische Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin
Campus Virchow-Klinikum
Promotionsbüro
Augustenburger Platz 1
13353 Berlin**

Trainings- und
Bewegungswissenschaften

Arno Schroll

**Bescheinigung über Art und Umfang der statistischen
Bearbeitung nach PO-2017
für Grummt, Maximilian, [REDACTED]**

Datum:
16.05.2018

Sehr geehrte Damen und Herren,

im Rahmen der Bearbeitung des Dissertationsthemas „Zum Einfluss von Fitnesslevel, Geschlecht, Alter und Ergometrieart auf die subjektiv empfundene Anstrengung bei leistungsdiagnostischen Untersuchungen“ habe ich Herrn Maximilian Grummt, [REDACTED], zur statistischen Methodik vor und während der Arbeit beraten und bescheinige Ihnen hiermit die statistische Bearbeitung der Dissertationsleistung zum o.g. Titel nach PO-2017 in Art und Umfang als ausreichend zur Erlangung des akademischen Grades Doctor medicinae (Dr. med.).

In meiner Tätigkeit als Diplom-Mathematiker am Institut für Sportwissenschaft der Humboldt-Universität zu Berlin berate ich dieses im Bereich der Statistik und bin für die Lehre quantitativer Methoden/Statistik zuständig.

Für Rückfragen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

[REDACTED]

Dipl.-Mathematiker Arno Schroll

Postanschrift:
Humboldt-Universität zu Berlin
Unter den Linden 6
10099 Berlin
Telefon: +49 30 2093- 46021
Telefax: +49 30 2093- 46046

sebastian.bohm@hu-berlin.de
www.tbw.hu-berlin.de

Sitz:
Philippstr. 13, Haus 11
Raum 1.20
10115 Berlin

10. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Univ.- Prof. Bernd Wolfarth für die umfassende Betreuung zu jeder Phase dieser Dissertation sowie der Überlassung des Studienthemas und der Ergometriedaten. Das entgegengebrachte Vertrauen in meine Arbeit, die fachlichen Gespräche, hilfreichen Anregungen und Ratschläge, die in diesem Maße diese Dissertation erst ermöglicht haben, schätze ich sehr.

Dipl.- Math. Arno Schroll danke ich für die Beratung zu allen Aspekten der statistischen Methoden sowie für seine große Hilfsbereitschaft bei Rückfragen und seine Offenheit für weiterführende Analysen.

Danken möchte ich meinen Kollegen Dr. med. Matthias Kieb und Dr. med. Paul Schmidt, die mich stets mit Ihren Gedankenanstößen und motivierenden Diskussionen weiter angetrieben haben.

Für die professionelle, stets freundliche und herzliche Zusammenarbeit möchte ich mich ebenso bei allen Kolleginnen und Kollegen der Abteilung für Sportmedizin der Charité – Universitätsmedizin Berlin und der Humboldt-Universität zu Berlin bedanken.

Mein Dank gilt der Stiftung der Deutschen Wirtschaft für die ideelle und finanzielle Förderung durch das Stipendium des Studienförderwerkes Klaus Murmann und für die zusätzliche Unterstützung während des Forschungssemesters für diese Dissertation.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden, die mich in den letzten Jahren und explizit in dieser intensiven Phase begleitet haben, allen voran meinen beiden Eltern, Dirk Grummt und Susan Mayerhoefer, bedanken.