

Aus dem Institut für Bewegungs- und Arbeitsmedizin
des Universitätsklinikums
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br.

Die Effekte eines kontrollierten, angeleiteten Ausdauertrainings bei Asthma-Patienten

-Eine klinische Interventionsstudie-

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des „doctor medicinae“
der Medizinischen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg i.Br.

vorgelegt 2016 von

Kristian Matthias Jöllenbeck
geboren in Freiburg im Breisgau

Dekanin: Frau Professor Dr. Kerstin Krieglstein

1.Gutachter: Herr Professor Dr. Kai Röcker

2.Gutachter: Herr Professor Dr. Peter Deibert

Jahr der Promotion: 2016

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen herzlich danken, die den Prozess von der Planung über Umsetzung der Studie bis zur Fertigstellung dieser Dissertation mit begleitet und unterstützt haben.

Zunächst danke ich Herrn Prof. Dr. Kai Röcker für die Überlassung des interessanten Themas dieser klinischen Studie. Die intensive, zuverlässige und angenehme Betreuung von Professor zu Doktorand „auf Augenhöhe“ hat es mir auch in schwierigen Situationen erleichtert, das Ziel nicht aus den Augen zu verlieren.

Ein großer Dank gilt allen Studienteilnehmern, Asthmatikern wie Gesunden, die erst für das Zustandekommen der Ergebnisse und den erfolgreichen Abschluss gesorgt haben. Im Verlauf der Studie zeigten sie ein hohes Maß an Engagement, Zuverlässigkeit sowie, jahresezeitunabhängig, physischer und psychischer Ausdauer.

Ebenfalls möchte ich mich bei den medizinisch-technischen Assistentinnen Kirsten König, Iris Pippers und Sabine Jotterand für die zielführende Einarbeitung und die wertvollen Tipps bei der Durchführung der Untersuchungen bedanken.

Ich danke den Mitarbeiterinnen im Sekretariat der Sportmedizin, Frau Wiedemann, Frau Walzer und Frau Najderek, für die stets zuverlässige und freundliche Zusammenarbeit bei der Terminplanung und -koordinierung der Untersuchungen.

Weiterhin gilt mein Dank Prof. Dr Marco Idzko für die produktive Zusammenarbeit bei der Kooperation zwischen beiden Abteilungen. Der „Arbeitsgruppe Idzko“ danke ich für die Mitbetreuung der Studie und den fruchtbaren inhaltlichen Austausch.

Besonderer Dank gilt meiner Familie und engsten Freunden, die mich während des gesamten Prozesses mit begleitet haben und dabei ausreichend Geduld, ein offenes Ohr und ein gutes Wort zur rechten Zeit für mich hatten. Insbesondere danke ich hierbei den korrigierenden Lektoren, die bei der Fertigstellung der Arbeit vor so manches grammatikalische, statistische, semantische und inhaltliche Problem gestellt wurden und immer passende Lösung parat hatten.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurde evaluiert, ob ein Ausdauertrainingsprogramm bei einer Asthma-Gruppe (AG) zu vergleichbaren Leistungsverbesserungen führt, wie bei gesunden Probanden einer Kontroll-Gruppe (KG). Zusätzlich wurde die subjektive Intensität der Dyspnoe unter körperlicher Belastung anhand der Borg-Skala (BS) im Rahmen der sportmedizinischen Untersuchung erfragt. Der Effekt des Ausdauertrainings in Bezug auf die Lebensqualität und die Symptomwahrnehmung wurde innerhalb der AG anhand des St. George's Respiratory Questionnaire (SGRQ) vor und nach der Trainingsphase bewertet.

Nach Absolvierung des 12-wöchigen Ausdauertrainings identischen Umfangs und identischer Belastungsintensität zeigte die AG anhand der Zielgrößen maximale Sauerstoffaufnahme (+7,6%, $p < 0,01$) und Geschwindigkeit an der individuellen anaeroben Laktatschwelle (+9,3%, $p < 0,05$) eine der KG (+11,9%, $p < 0,01$; bzw. +13,4%, $p < 0,01$) ebenbürtig ausgeprägte Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit ohne signifikante Unterschiede im Zwischengruppenvergleich ($p > 0,05$).

Die Angaben für die subjektiv empfundene Dyspnoe auf der BS zeigten für die Asthma-Gruppe im Verlauf und im Vergleich zur Kontroll-Gruppe eine signifikante Reduktion von signifikant höheren Ausgangswerten (AG: 15,0; KG: 12,5; $p < 0,05$) bis auf das unveränderte Niveau der KG (AG: 13,0; KG: 12,9; $p > 0,05$) nach Beendigung des Trainingsprogramms. In Bezug auf die Lebensqualität kam es nach dem Ausdauertraining zum signifikanten Rückgang im Symptom- (-32,9%, $p < 0,01$) und Total-Score (-54,4%, $p < 0,01$) des SGRQ.

Es konnte gezeigt werden, dass bei Patienten mit leicht- bis mittelgradigem Asthma bronchiale durch Ausdauertraining gleichwertige Trainingseffekte wie bei einer gesunden Kontroll-Gruppe ausgelöst werden können. Darüber hinaus führte das Ausdauertraining bei den untersuchten Patienten zu einer Verbesserung der Lebensqualität, sowie zu einer geringeren Wahrnehmung der Dyspnoe unter körperlichen Belastungen.

Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass das Vorliegen von Asthma bronchiale bei Patienten dieses Schweregrades keine Einschränkung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Trainierbarkeit darstellt. Ein Ausdauertraining mit den gewählten Belastungskomponenten kann daher der entsprechenden Patientengruppe empfohlen und sollte langfristig in Therapiekonzepte integriert werden.

Abkürzungsverzeichnis

AG	-	Asthma-Gruppe
AT	-	anaerobic threshold
ATP	-	Adenosintriphosphat
avDO ₂	-	arterio-venöse Sauerstoffdifferenz
AZV	-	Atemzugvolumen
BAL	-	bronchio-alveoläre Lavage
BMI	-	Body-Mass-Index
BS	-	Borg-Skala
CARG	-	COPD und Asthma Research Group
CO ₂	-	Kohlendioxid
DC	-	dendritische Zelle(n)
DFG	-	Deutsche Forschungs-Gesellschaft
EKG	-	Elektrokardiogramm
Eq	-	Atemäquivalent
EqCO ₂	-	Atemäquivalent für Kohlendioxid
EqO ₂	-	Atemäquivalent für Sauerstoff
ERV	-	expiratorisches Reservevolumen
FEV ₁	-	Einsekundenkapazität
GINA	-	Global Initiative of Asthma
h	-	Stunde
HF	-	Herzfrequenz
HF(max)	-	maximale Herzfrequenz
HMV	-	Herzminutenvolumen
HrQoL	-	health-related quality of life
IAS	-	individuelle anaerobe Schwelle
IgE	-	Immunglobulin E
IL-4 (-5; -10)	-	Interleukin-4 (-5; -10)
IRV	-	inspiratorisches Reservevolumen
KG	-	Kontroll-Gruppe
KHK	-	koronare Herzkrankheit
km	-	Kilometer
km/h	-	Kilometer pro Stunde

kNV	-	keine Normalverteilung
l	-	Liter
ml	-	Milliliter
Lak(max)	-	maximale Laktatkonzentration
LT	-	lactate threshold
m	-	Meter
m/s	-	Meter pro Sekunde
maxLASS	-	maximal lactate steady state
MEF ₅₀	-	maximum expiratory flow (bei 50% der VC)
min	-	Minuten
mmol	-	Millimol
NV	-	Normalverteilung
O ₂	-	Sauerstoff
p	-	Geschwindigkeit
p(max)	-	maximale Geschwindigkeit
PEF	-	peak expiratory flow
RCP	-	respiratorische Kompensationspunkt
RPE	-	rate of perceived exertion
s	-	Sekunde
SD	-	Standardabweichung
SGRQ	-	St. George's Respiratory Questionnaire
V'E	-	Atemmniutenvolumen
$\dot{V}CO_2$	-	Kohlendioxidabgabe
VC	-	Vitalkapazität
$\dot{V}O_2$	-	Sauerstoffaufnahme
$\dot{V}O_2$ (max)	-	maximale Sauerstoffaufnahme
VT	-	ventilatory threshold
Wo.	-	Woche/Wochen

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	10
1.1. Allgemeine Einführung	10
1.2. Lebensqualität unter Asthma bronchiale	12
1.2.1. Definition der Lebensqualität	12
1.2.2. Lebensqualität unter Asthma bronchiale	13
1.3. Sport als gesundheitsfördernder Faktor	16
1.4. Ausdauertraining und Asthma bronchiale	18
1.5. Die Einbettung der vorliegenden Studie in das Forschungsprojekt der CARG	20
1.6. Fragestellungen der vorliegenden Dissertation	23
2. Theoretische Grundlagen	25
2.1. Asthma bronchiale	25
2.1.1. Geschichte und Begriffserklärung des Asthma bronchiale	25
2.1.2. Definition des Asthma bronchiale	25
2.1.3. Einteilung des Asthma bronchiale	26
2.1.4. Epidemiologie und Ursachen des Asthma bronchiale	28
2.1.5. Klinik des Asthma bronchiale	30
2.1.6. Diagnostik des Asthma bronchiale	31
2.1.7. Therapie des Asthma bronchiale	33
2.2. Sportmedizinische Grundlagen	37
2.2.1. Laktat, körperliche Belastung und Schwellenkonzepte	37
2.2.2. Prinzip der Spiroergometrie	38
2.2.3. Allgemeine Trainingsprinzipien	40
2.2.4. Einführung ins Ausdauertraining	43
2.2.5. Anpassungsvorgänge des Organismus auf Ausdauertraining	44
3. Material und Methodik	47
3.1. Studienprotokoll und Ablauf der Studie	47
3.1.1. Studiendesign allgemein	47
3.1.2. Probandenrekrutierung und Aufnahme der Probanden	47
3.1.3. Einschlusskriterien	48
3.1.4. Ausschlusskriterien	48
3.1.5. Abbruchkriterien	49
3.1.6. Ablauf und Durchführung der Eingangs- und Nachuntersuchungen	50
3.2. Anthropometrische Daten der Gruppen	51
3.2.1. Alter, Körpergewicht, Körpergröße und Body-Mass-Index	51
3.3. Drop-Outs	51
3.4. Atemgasanalysen	52
3.4.1. Spiroergometrisch ermittelte Messgrößen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit	52
3.4.2. Subjektive Beurteilung der Ausbelastung mittels Borg-Skala	57
3.4.3. Objektive Beurteilung der Ausbelastung	58
3.5. Das durchgeführte Ausdauertraining	59
3.5.1. Zielsetzungen des Ausdauertrainings	59
3.5.2. Anwendung der Trainingsprinzipien auf das Patientengut	59
3.5.3. Übertragung der Ergometrie-Ergebnisse auf das Ausdauertraining	61
3.5.4. Gestaltung der individuellen Trainingspläne	61
3.5.5. Anleitungen zum Ausdauertraining	62
3.6. Der verwendete Fragebogen zur Lebensqualität	63

3.6.1. Auswahl des Fragebogens	63
3.6.2. Aufbau, Struktur und Methodik des St. George's Respiratory Questionnaire	63
3.7. Versuchsprotokoll und Versuchsablauf	67
3.7.1. Leistungsdiagnostik mittels Laufbandergometrie	67
3.7.2. Spiroergometrie mittels „Breath-by-Breath-Analyse“	69
3.7.3. Belastungs-Elektrokardiografie	69
3.7.4. Kapilläre Blutentnahme zur Laktatbestimmung	70
3.7.5. Ablauf der Erhebung des St. George's Respiratory Questionnaire	70
3.7.6. Detaillierter Ablauf der durchgeführten Untersuchungen	70
3.7.7. Steuerung und Überwachung des Ausdauertrainings mittels Herzfrequenzmessgerät	73
3.7.8. Individuelle Dokumentation des Ausdauertrainings	74
3.7.9. Trainingsablauf und -dokumentation durch die Probanden	74
3.8. Erhebung der gesammelten Daten	76
3.8.1. Datenerhebung der Laufbandergometrie	76
3.8.2. Datenerhebung der Spirometrie	76
3.8.3. Datenerhebung des SGRQ	76
3.8.4. Datenerhebung der Trainingsdokumentation	79
3.9. Statistische Auswertungen	80
3.9.1. Datenverarbeitung	80
3.9.2. Zielsetzungen der statistischen Auswertung	80
3.9.3. Angewandte statistische Verfahren	80
3.9.4. Veranschaulichung der Auswertungen	83
4. Ergebnisse	86
4.1. Deskriptive Variablen	86
4.1.1. Anthropometrische Merkmale der Probanden bei Studienbeginn	87
4.1.2. Ausdauerleistungszustand beider Gruppen vor Aufnahme des Trainingsprogrammes	87
4.1.3. Werte von Asthma- und Kontroll-Gruppe im Vergleich	87
4.1.4. Veränderung des BMI	88
4.1.5. Fazit zu den deskriptiven Variablen	89
4.2. Ausbelastungskriterien	90
4.2.1. Objektive Ausbelastungskriterien	90
4.2.2. Fazit zu den objektiven Ausbelastungskriterien:	92
4.2.3. Subjektiver Belastungsgrad während der Laufbandergometrie anhand der Borg-Skala	93
4.2.4. Fazit zu den subjektiven Ausbelastungskriterien:	95
4.3. Ergebnisse der Trainingsdokumentation	97
4.3.1. Prüfung auf Einhaltung der Trainingsvorgaben	97
4.3.2. Herzfrequenz an der individuellen anaeroben Schwelle (HF(IAS)) als Orientierung für die Trainingssteuerung	98
4.3.3. Analyse des absolvierten Ausdauertrainings	99
4.3.4. Fazit zu den Ergebnissen der Trainingsdokumentation:	104
4.4. Ergebnisse der errechneten leistungsdiagnostischen Messgrößen	106
4.4.1. Geschwindigkeit an der IAS	106
4.4.2. Errechnete relative maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ rel.)	108
4.4.3. Fazit zu den Ergebnissen der leistungsdiagnostischen Messgrößen	109
4.5. Ergebnisse der spiroergometrischen Messgrößen	111
4.5.1. Gemessene relative maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ rel.) in [ml/min/kg]	111
4.5.2. Atemäquivalente für O_2 und CO_2	112
4.5.3. Fazit zu den Ergebnissen der spiroergometrischen Messgrößen:	113
4.6. Ergebnisse des St. George's Respiratory Questionnaire (SGRQ)	115
4.6.1. Fazit zu den Ergebnissen des SGRQ:	117
4.7. Korrelation zwischen leistungsdiagnostischen Messgrößen und Lebensqualität	118
4.7.1. Korrelation zwischen Ausdauerleistungsfähigkeit und dem Niveau der Lebensqualität	119
4.7.2. Korrelation zwischen der Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit und der Verbesserung im SGRQ	120

4.7.3. Fazit zu den Untersuchungen zur Korrelation zwischen Ausdauerleistungsfähigkeit und dem SGRQ-Score:	122
5. Diskussion	124
5.1. Art und Wertigkeit der vorliegenden Studie	124
5.2. Diskussion der Methodik	124
5.2.1. Drop-Outs	124
5.2.2. Spiroergometrische Untersuchung	124
5.2.3. Diskussion des verwendeten Fragebogens	128
5.3. Diskussion der Ergebnisse	131
5.3.1. Diskussion der Ergebnisse der deskriptiven Variablen	131
5.3.2. Diskussion der Ergebnisse der Ausbelastungskriterien	131
5.3.3. Diskussion der Ergebnisse der Trainingsdokumentation	135
5.3.4. Diskussion der Ergebnisse der errechneten leistungsdiagnostischen Ergebnisse	135
5.3.5. Diskussion der Ergebnisse der spiroergometrisch gemessenen Messgrößen	140
5.3.6. Diskussion der Ergebnisse des SGRQ	142
5.3.7. Diskussion der Ergebnisse der Prüfung auf Korrelationen	149
5.4. Grenzen der Aussagekraft innerhalb dieser Studie	152
5.4.1. Probandenauswahl und Rekrutierungsprozess	152
5.4.2. Einschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit	153
5.4.3. Angaben der Trainingsdokumentation	153
5.4.4. Angaben der Borg-Skala	154
5.4.5. Angaben im St. George's Respiratory Questionnaire (SGRQ)	154
5.4.6. Auswertungsprozess	154
5.5. Zusammenfassende Schlussfolgerung der Arbeit und Ausblick	155
6. Literaturverzeichnis	158
6.1. Quellenangaben	158
6.2. Abbildungsverzeichnis	168
7. Anhang	169
7.1. Abstract dieser Dissertation zum wissenschaftlichen Vortrag	169
7.2. St. George's Respiratory Questionnaire	171
7.3. Borg-Skala	177
7.4. Trainingsanweisung	179
7.5. Trainingsdokumentation	180
7.6. Weitere Ergebnisse	181
7.6.1. Ruheherzfrequenz (HF(Ruhe))	181
7.6.2. Weitere Ergebnisse der subjektiven Ausbelastungskriterien	181
7.6.3. Maximal erreichte Geschwindigkeit ($p(\max)$)	183
7.6.4. Errechnete absolute maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ abs.)	184
7.6.5. Spiroergometrisch gemessene absolute maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ abs.)	185
7.7. Detaillierte Darstellung der statistischen Auswertung	186

1. Einleitung

1.1. Allgemeine Einführung

Asthma bronchiale ist eine Erkrankung mit weltweit Bedeutung: Schätzungen gehen von ungefähr 300 Millionen betroffenen Menschen aus, mit hoher Prävalenz besonders in den Industrienationen (Braman, 2006; Fitzgerald et al., 2012). Es wird davon ausgegangen, dass sich die Prävalenz alle zehn Jahre um 50% erhöht (Braman, 2006). Masoli et al. definieren die Erkrankung prägnant folgendermaßen:

„Asthma bronchiale ist eine chronisch-entzündliche Erkrankung der Atemwege, an der eine Vielzahl von Zellen und zellulären Bestandteilen beteiligt ist. Die chronische Entzündung bewirkt eine gesteigerte Reaktivität der Atemwege (bronchiale Hyperreagibilität), die zu rezidivierenden, besonders nächtlichen und frühmorgendlichen Episoden von Atemnot, Kurzatmigkeit, Engegefühl der Brust oder Hustenanfällen führt. Diese Episoden gehen üblicherweise mit ausgedehnter aber variabler Obstruktion der Atemwege einher, die entweder spontan oder unter therapeutischer Anwendung reversibel ist“ (Masoli et al., 2004).

Endstrecke der chronischen Entzündung ist das sogenannte „remodelling“. Darunter versteht man irreversible Schädigungen und strukturelle Veränderungen im Lungengewebe und in zellulären Bestandteilen, hervorgerufen durch die chronische Entzündung bei langwierigem Verlauf.

Asthma bronchiale kann durch die verursachten Symptome mit erheblichen Einschränkungen im körperlichen, psychischen, sozialen und gesellschaftlichen Leben der Betroffenen und damit einer insgesamt deutlich herabgesetzten Lebensqualität einhergehen.

In Deutschland hat Asthma bronchiale als Volkskrankheit aufgrund seiner Verbreitung und Auswirkungen einen erheblichen sozioökonomischen Einfluss: Laut Kroegel ergeben die Totenscheindiagnosen pro Jahr insgesamt mehr als 6000 Todesfälle durch Folgen der Erkrankung, dies entspricht einem Sterbefall pro Stunde (Kroegel, 2002). Im Jahr 1999 wurden die direkten und indirekten Kosten durch Asthma bronchiale auf 2,7 Milliarden Euro geschätzt. Die indirekten Kosten machten daran drei

Viertel (74,8%) der Gesamtkosten aus und wurden zu mehr als der Hälfte für Krankengeld veranschlagt (Stock et al., 2005).

Dies offenbart ein großes Einsparpotential, insbesondere durch eine bessere Kontrolle über die Symptome. Der adäquaten Therapie und Prävention von Komplikationen der Erkrankung kommt daher eine bedeutende ökonomische und gesundheitspolitische Rolle in unserer Gesellschaft zu.

Die derzeitige demografische Entwicklung führt im deutschen Gesundheitssystem dazu, dass eine steigende Zahl Versorgungsbedürftiger von einer abnehmenden Zahl an Beitragszahlern getragen werden muss. Kostengünstigen Konzepte und Alternativen in der Prophylaxe von Krankheiten, im langfristigen Erhalt von Gesundheit und in der Vermeidung der Verschlechterung des aktuellen Zustands kommen daher eine große Bedeutung zu.

Dies gilt besonders für Programme, die, ohne das Gesundheitssystem strukturell und finanziell stark zu belasten, durch den Patienten unkompliziert selbst gewählt und gesteuert werden können.

Körperliche Aktivität und Training sind mittlerweile zu aussichtsreichen Bestandteilen in der Rehabilitation bei Asthmatikern geworden. Forschungen konnten nachweisen, dass Ausdauertraining eine entscheidende Rolle im Bereich der Pathophysiologie der Erkrankung und der Symptomkontrolle unter den Patienten spielen kann. Insbesondere bei Kindern berichten mehrere Studien übereinstimmend von einer Verbesserung der Lungenfunktion (z.B. einer Vergrößerung der Vitalkapazität) und einem Rückgang der Symptome durch Ausdauertraining (Neder et al., 1999; Ramazanoglu und Kraemer, 1985; Ram et al., 2000). Zudem konnte unter Ausdauertraining eine Reduktion im Gebrauch von Kortikosteroiden als Therapeutika nachgewiesen werden (Fanelli et al., 2007).

Dies deutet auf einen entzündungshemmenden oder zumindest entzündungsmodulierenden Effekt durch Ausdauertraining innerhalb der komplexen Entzündungsreaktion bei Asthma bronchiale hin.

Weiterhin konnten verschiedene Studien in Tierversuchen zeigen, dass Ausdauertraining die Hauptausprägungen der asthmatischen Entzündungsreaktion reduzieren kann: So sollen sowohl die Abläufe der Entzündungsreaktion als auch das „remodelling“ und die bronchiale Hyperreagibilität gehemmt oder blockiert werden. Forschungsgruppen führen die protektiven Effekte von Ausdauertraining übereinstimmend auf eine veränderte Vermittlung der Entzündungsmediatoren (z.B. IL-4, IL-5,

IL-10) innerhalb der Entzündungskaskade zugunsten der anti-inflammatorischen Faktoren zurück (Hewitt et al., 2009; Silva et al., 2010; Vieira et al., 2008, 2007).

Vermeehrt widmen sich Forschungsgruppen daher der Fragestellung, ob und wie stark diese gewonnenen Erkenntnisse auch im Patientenversuch auf den Menschen übertragen werden können, um so etwaige Therapieansätze für Betroffene abzuleiten.

1.2. Lebensqualität unter Asthma bronchiale

1.2.1. Definition der Lebensqualität

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) definiert Lebensqualität folgendermaßen:

"Lebensqualität ist die subjektive Wahrnehmung einer Person über ihre Stellung im Leben in Relation zur Kultur und den Wertsystemen, in denen sie lebt und in Bezug auf ihre Ziele, Erwartungen, Standards und Anliegen".

Lebensqualität bedeutet nach obiger Definition die individuelle Wahrnehmung der Partizipation des betroffenen Individuums. Der Begriff Lebensqualität ist bei Patienten daher ganzheitlich anzuwenden: Ist der Patient in seinem gesamten psychosozialen Umfeld eingeschränkt? Muss er auf bestimmte Dinge verzichten? Ist er in alltäglichen Situationen isoliert? Behindern ihn Einschränkungen der Körperfunktionen?

Die Erforschung der Lebensqualität bezieht sich daher auf ein sehr weit gefasstes bio-psycho-soziales Krankheitsmodell, die Bewertung der Lage im Rahmen dieses Modells erfolgt allein durch eine subjektive Wahrnehmung des Patienten.

Bedeutendes Wort in der oben aufgeführten Definition ist das Wort „subjektiv“, das eine autonome Einschätzung des Betroffenen zum Ausmaß und der Ausprägung seiner Krankheit verlangt, die bei der Beurteilung von außen durch andere Personen zu berücksichtigen ist.

Herkömmliche Studien widmen sich meist Funktionstests der durch Krankheit betroffenen Organe. Nur selten werden die Alltagsbeeinträchtigungen, die durch Krankheiten hervorgerufen werden, untersucht. Die individuellen körperlichen, emotionalen, psychischen und sozialen Veränderungen spielen jedoch für den Patienten meist

eine größere und bedeutendere Rolle als Laborwerte oder diagnostische Funktionstests, die in Studien häufig größere Beachtung finden.

1.2.2. Lebensqualität unter Asthma bronchiale

Asthma bronchiale ist eine Erkrankung, die, je nach Schweregrad, mit erheblichen physischen, sozialen, emotionalen und psychischen Einschränkungen des alltäglichen Lebens einhergehen kann. Schon ältere Studien belegen, dass chronisch-obstruktive Erkrankungen wie Asthma bronchiale zu einer z.T. deutlich verminderten Lebensqualität führen (McSweeney et al., 1982; Schrier et al., 1990). Bei Asthmatikern konnte auch eine erhöhte Prävalenz von Depressivität und Angststörungen nachgewiesen werden. Da Asthmaanfälle auch durch solch emotionale Instabilitäten hervorgerufen werden können, ist ein gegenseitiges Auslösen und Verschlimmern in individuellen Situationen durchaus möglich und zu beachten (Lehrer et al., 2002).

Im Buch „Lebensqualität und Asthma“ zeigt eine Studie von Wegner et al., dass die Lebensqualität nicht mit klinischen Werten, wie z.B. dem Ausmaß der Atemwegsobstruktion oder dem Grad der Überblähung, korreliert (Wegner et al in: Petermann und Bergmann, 1994). Die einfache Annahme eine Verbesserung der Lebensqualität durch Verbesserung der physiologischen Parameter zu erreichen, wird daher durch die Autoren angezweifelt (Petermann und Bergmann, 1994).

Asthma-Patienten geben häufig Angst vor erneuten und meist unvorhersehbaren Anfällen an. Je nach Schweregrad ist dabei der ubiquitäre und sofortige Zugang zu den Bedarf-Inhalationssprays von Nöten. Der Gedanke an die Krankheit kann Betroffene daher sprichwörtlich „auf allen ihren Wegen“ begleiten. Manche Asthmatiker müssen ihre Medikamente für den „(An-)Fall der Fälle“ überall, auch zu den alltäglichsten Aktivitäten, mitnehmen. Die Anfälle können sich bei entsprechender Ausprägung überall, unangekündigt und auch in aller Öffentlichkeit ereignen.

Folglich kann der Gedanke an den nächsten Anfall dem Betroffenen nicht nur der durchzumachenden Symptome, sondern auch der Stigmatisierung wegen, deutliches Unbehagen bereiten.

Gleichzeitig bedeutet dies auch ein Ausgeliefertsein, das einer autonomen Lebensführung und Alltagsgestaltung entgegensteht. Schon 1988 unterteilte Jones drei Hauptbereiche, in denen Betroffene in ihrer Lebensqualität durch Asthma bronchiale

eingeschränkt sind. Er verknüpfte diese Bereiche direkt mit negativen Konsequenzen für das Umfeld des Patienten (Jones, 1988):

- *Einschränkung der körperlichen Beweglichkeit mit konsekutiver Isolation von Freizeitaktivitäten und sozialen Kontakten*
- *Beeinträchtigung des Asthmatikers und seiner nächsten Bezugspersonen durch seine Symptome. Bei nächtlichem Auftreten können Schlafstörungen und Einschränkungen der Leistungsfähigkeit beider Parteien resultieren*
- *Stigmatisierung als Kranker durch Applikation seiner Medikamente, insbesondere Dosieraerosole, in der Öffentlichkeit.*

In einer Studie unter Schulkindern zeigten Asthmatiker eine deutlich geringere Lebensqualität als gesunde Kinder. Auch im erhobenen Test zur Gesamtgesundheit schnitten Asthmatiker signifikant schlechter ab als ihre gesunden Mitschüler (Merikallio et al., 2005). Bei Tätigkeiten wie Sport, Alltags- oder Schulaufgaben oder bei Aktivitäten mit Freunden oder Haustieren zeigten sich Kinder mit allergischen Erkrankungen (Asthma bronchiale oder Heuschnupfen) durch die hervorgerufenen Symptome deutlich eingeschränkt. Die asthmatischen Symptome, v.a. das Husten, werden als besonders belastend empfunden (Covaciu et al., 2013; Juniper, 1997a; Petsios et al., 2009). Durch das Auftreten von Asthmaanfällen sind betroffene Kinder häufiger aufgeregt und verängstigt und fühlen sich bei Aktivitäten unter Freunden regelmäßig ausgegrenzt und als Außenseiter (Juniper, 1997b).

Ein systematischer Review weiterer Studien aus dem Jahre 2009 zeigte, dass der Asthma-Schweregrad bei Kindern umgekehrt mit der Lebensqualität korreliert (Everhart und Fiese, 2009). Besonders die Kontrolle der Asthma-Erkrankung ist im Zusammenhang mit der angegebenen Lebensqualität von großer Bedeutung: In Studien mit Asthmatikern im Jugendlichen- und Erwachsenenalter (>12 Jahren) konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Krankheitskontrolle und der Lebensqualität nachgewiesen werden. Patienten mit guter Krankheitskontrolle gaben eine geringere Beeinträchtigung ihres täglichen Lebens an und bei ihnen zeigte sich eine höhere Punktzahl im Score der Lebensqualität (Bateman et al., 2002). Ein Anstieg der Krankheitskontrolle führt direkt zu einem Anstieg der Lebensqualität (Alpaydin et al., 2012). Auch bei Kindern ist eine gute Asthmakontrolle mit einem signifikant höheren Wert der Lebensqualität assoziiert, als in Vergleichsgruppen mit schlechterer Krankheitskontrolle. Dagegen ist mangelnde Krankheitskontrolle und

schlechtes Therapiemanagement mit einem erniedrigten Level der Lebensqualität verbunden (Petsios et al., 2013). Eine hohe Symptomkontrolle sollte daher ein übergeordnetes Ziel der Asthmatherapie sein (Covaciu et al., 2013).

Die „Global Initiative for Asthma bronchiale“ (GINA) gibt jedes Jahr aktualisierte Leitlinien für eine adäquate Therapie von Asthma bronchiale heraus. Diese GINA-Leitlinien erweisen sich als geeignet, um eine gute Therapiekontrolle zu erreichen: Studien belegen, dass leitliniengerechte Therapie die Lebensqualität verbessert, sowohl bei geringer als auch bei bereits hoher Krankheitskontrolle (Alpaydin et al., 2012; Bateman et al., 2007, 2002).

Grundsätzlich sollte als oberstes Therapieziel der größte ganzheitliche Nutzen für den Patienten stehen. Dieser ganzheitliche Nutzen lässt sich durch Erhebung der individuellen Lebensqualität erfassen.

Oben aufgeführte Studienergebnisse weisen darauf hin, dass sich das Ausmaß der Lebensqualität nicht ausschließlich durch Verbesserung physiologischer Parameter und klinischer Werte, wohl aber mit durch zusätzliche Asthma-Kontrolle (d.h. Vermeidung von Symptomen sowie Verschlechterung der Erkrankung) beeinflussen lässt. Da eine direkte Korrelation zwischen Asthmakontrolle und erhobener Lebensqualität besteht, sollte neben den herkömmlichen klinischen Werten auch die krankheitsassoziierte Lebensqualität für Diagnostik, Therapieverlauf und -kontrolle berücksichtigt werden (Everhart und Fiese, 2009; Juniper, 1997a, 1997b). Allerdings wird auch darauf hingewiesen, dass sich bei der Interpretation von Fragebögen zur Lebensqualität, besonders bei Kindern, Probleme ergeben können. Angeführt werden z.B. Lese- und Verständnisschwierigkeiten, Alters- und Entwicklungsmerkmale, sowie der Einfluss der Eltern beim Beantworten der Fragen (Bender, 1996).

Wegen oben angeführten Gründen hat die Deutsche Atemwegsliga u.a. neben der Normalisierung der Lungenfunktion, dem Vermeiden von Nebenwirkungen und der Vermeidung der Progredienz der Erkrankung, die Vermeidung krankheitsbedingter Beeinträchtigung der psychischen, physischen und geistigen Entwicklung sowie die Vermeidung krankheitsbedingter Beeinträchtigungen der körperlichen und sozialen Aktivitäten im Alltag als eigenständiges Therapieziel aufgeführt (Buhl et al., 2006).

1.3. Sport als gesundheitsfördernder Faktor

Als allgemein anerkannt gilt, dass Sport und regelmäßige körperliche Ertüchtigung in vielen Bereichen eine gesundheitsfördernde Wirkung haben. Ein jeder, der selbst Sport treibt, kann bestätigen, dass sich durch körperliches Training kurzfristig Glücksgefühle einstellen und langfristig ein stabiler gesundheitlicher Zustand erreichen lässt. Zwei Dinge, die sich auch auf die subjektive Lebensqualität äußerst positiv auswirken können.

Schon Platon (428-327 v.Chr.) etablierte neben Musik und Kunst auch den Sport als eine wichtige Säule seines Erziehungskonzeptes (Heigel, 2010). Mittlerweile konnte sich der Sport als therapeutischer Ansatz und als kostengünstige Methode bereits in vielen Bereichen der Medizin durchsetzen. Der Begriff „Gesundheitssport“ hat sich ebenfalls im allgemeinen Sprachgebrauch verfestigt.

In der deutschen Gesellschaft wächst die Altersgruppe der über 65-jährigen bis 2030 stark an (+33%), wohingegen der Anteil der Personen im erwerbsfähigen Alter, üblicherweise zwischen 20 und 65 Jahren, mit 15% deutlich zurückgeht (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2011). Die Notwendigkeit effektiver und kostengünstiger Therapiekonzepte ist daher nicht nur aus medizinischer, sondern auch aus volkswirtschaftlicher Sicht von großer Bedeutung. Effektive und breit zugängliche Maßnahmen in Primärprävention (Verringerung der Auftretenshäufigkeit), Tertiärprävention (Verhinderung von Verschlimmerung oder Wiederauftreten bereits bestehender Erkrankungen) und adäquater Rehabilitationsmaßnahmen spielen eine große Rolle.

Nach Erhebungen des statistischen Bundesamtes stellten Herz-Kreislauf-Erkrankungen mit nahezu 40% aller Todesfälle im Jahr 2012 die Haupttodesursache dar (Statistisches Bundesamt, 2014). Große prospektive populationsbasierte Studien haben in den letzten Jahrzehnten immer wieder die Wirksamkeit von körperlichem Training für ein reduziertes Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen bestätigen können (Johansson et al., 1988; Leon und Conett, 1991; Li und Siegrist, 2012). Körperliche Aktivität kann dabei die kardiovaskuläre Mortalität um bis zu 40% senken (Giannuzzi et al., 2003). Sport zeigte sich in Studien als überaus geeignete Methode, die Risikofaktoren, auf deren Boden sich Herz-Kreislauf-Erkrankungen etablieren, zu minimieren (Knowler et al., 2002).

In der Therapie z.B. des metabolischen Syndroms und von Diabetes mellitus stellt körperliche Aktivität heutzutage einen Eckpfeiler dar.

Doch nicht nur in der Primärprävention zeigen sport- und bewegungstherapeutische Ansätze nützliche Effekte. Auch bei Patienten mit Krebserkrankungen hat Sport nachgewiesenermaßen positive Effekte auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität generell und auf bestimmte Teilaspekte wie Selbstbild, emotionale Ausgeglichenheit, Sexualität, Schlafstörungen, soziales Umfeld, Ängstlichkeit, Müdigkeit und Schmerzen hat (Mishra et al., 2012a, 2012b). Hierbei zeigen sich stärkere Effekte unter moderatem und intensivem Training, als unter niedrigen körperlichen Aktivitätsniveau. Die positiven Effekte konnten z.B. auch für erwachsene Patienten mit chronischen Nierenerkrankungen gezeigt werden. In Studien zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen regelmäßigem körperlichem Training und förderlichen Effekten für körperliche Fitness, Gehfähigkeit, kardiovaskulären Bedingungen (Blutdruck, Puls), Ernährungsparametern und der Lebensqualität (Heiwe und Jacobson, 2011).

Mit zunehmendem Alter nimmt auch die Wirksamkeit pharmakologischer Therapieansätze ab, so dass körperliches Training mehr und mehr als nützliche Alternative zur Therapie kognitiver und psychischer Probleme angesehen wird. Besonders als Behandlungsoption bei Depression wurde körperliches Training häufig untersucht. Training, welches zunächst auf die Verbesserung körperlicher Funktionen bei älteren Erwachsene ausgelegt war, zeigte ebenso positive Effekte auf psychologischer Ebene im Sinne der Reduktion depressiver Symptome. Die Effekte eines körperlichen Trainings auf depressive Symptome in dieser Altersklasse unterscheiden sich dabei nicht von pharmakotherapeutischen und verhaltenstherapeutischen Ansätzen (Behrman und Ebmeier, 2014). Besonders in Fällen mit verringertem Ansprechen oder Intoleranz der Pharmakotherapie kann Sport daher helfen. Training hat des Weiteren einen moderaten positiven Effekt auf die Fähigkeiten des alltäglichen Lebens und kognitive Funktionen bei Demenzerkrankungen. Kontinuierlichem Training im mittleren Alter werden positive Auswirkungen für die spätere kognitive Funktionalität zugeschrieben (Behrman und Ebmeier, 2014).

Sport hat - wie aufgeführt - nachgewiesenermaßen positive Effekte in der Primärprävention großer volkswirtschaftlich relevanter Erkrankungen und stellt eine wirksame Maßnahme dar, diesen entgegenzuwirken.

Des Weiteren sind bei verschiedenen Erkrankungen die Mortalität und die Progredienz durch körperliche Aktivität reduzierbar. Im Kontext des bio-psycho-sozialen

Krankheitsmodells kann Sport in vielerlei Bereichen durch Verbesserung der Lebensqualität auch den Umgang des Patienten mit seiner Krankheit und die Auswirkungen der Krankheit für das Umfeld des Patienten verbessern.

Eine aktuelle, so genannte, Mega-Analyse wertete 39 Meta-Analysen aus und zeigte dass Sport sehr positive Effekte auf Ängstlichkeit und Depressivität hat, die einer pharmakotherapeutischen Behandlung ebenbürtig ist (Wegner et al., 2014). Aus diesen Gründen sollten sport- und bewegungstherapeutische Aspekte einer möglichst großen Population innerhalb einer Gesellschaft zugänglich gemacht und empfohlen werden.

1.4. Ausdauertraining und Asthma bronchiale

Entgegen dem früher vorherrschenden Gebot der körperlichen Schonung bei Asthma bronchiale, findet besonders in den letzten Jahrzehnten in Bezug auf körperliche Aktivität ein Paradigmenwechsel statt. Zeitschriften motivieren und animieren Betroffene zu regelmäßigen körperlichem Training. Es bestehe „kein Grund für Asthmatiker, nicht zu laufen“ meldet z.B. die Zeitschrift „fitforfun“ auf ihrer Internetpräsenz und berichtet von „98% beschwerdefreien Läufern“. Mehrere Vereine, wie die „Asthma bronchiale Foundation of Victoria“, bieten mittlerweile professionell geschulte Trainer speziell für Asthmatiker-Laufgruppen an.

Hauptgrund hierfür ist sicherlich die verbesserte Erforschung des Pathomechanismus der Erkrankung Asthma bronchiale. Dies hat in den letzten Jahren dazu beigetragen, dass bei Betroffenen eine frühzeitige Diagnostik und durch die Einordnung von Patienten in verschiedene Gruppen früh eine adäquate Therapiestrategie eingeleitet werden konnte. Zudem konnten durch klinische Studien mit betroffenen Patienten klare Aussagen in Bezug auf körperliche Aktivität getroffen werden:

Mendes et al. untersuchten 2013 bei 88 Probanden mit moderatem und schwergradigem Asthma bronchiale die Beziehung zwischen der Ausdauerfähigkeit und der krankheitsbezogenen Lebensqualität (engl. health-related quality of life = HRQoL), Lungenfunktion sowie der Ausprägung von Depressivität und Ängstlichkeit. Die Ergebnisse zeigen, dass eine geringe Ausdauerleistungsfähigkeit direkt und signifikant mit einer geringen Lebensqualität sowie erhöhtem Vorliegen depressiver Symptome korreliert. Geschlecht, Alter, BMI oder die Lungenfunktion hatten keine Auswirkungen auf diese Korrelation. Die Autoren fordern daher bei Asthmatikern die körperliche

Leistungsfähigkeit und den psychosozialen Zustand mit zu erheben, um eine interdisziplinäre Herangehensweise für eine adäquate Therapie zu gewährleisten (Mendes et al., 2013).

Eine prospektiv angelegte Studie zum Effekt eines 3-monatigen aeroben Ausdauertrainings unter Asthmatikern zeigte einen signifikanten Anstieg der HRQoL und der symptomfreien Tage, sowie eine signifikante Reduktion in den erfragten Bereichen Ängstlichkeit und Depression. Zudem konnte in dieser Studie eine lineare Korrelation zwischen der Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit und dem Zuwachs an symptomfreien Tagen gezeigt werden. Diese Effekte bestanden in den Vergleichsgruppen ohne Intervention nicht. Die Autoren sehen im Ausdauertraining einen wichtigen therapeutischen Ansatz, der insbesondere bei Patienten mit höhergradigen psychosozialen Einschränkungen nützlich sein könnte (Mendes et al., 2010).

Auswertungen mehrerer Studien bestätigen diese Ergebnisse: Eichenberger et al. werteten 2013 in einem systematischen Review 17 Studien aus und konnten einen Zuwachs an Lebensqualität und symptomfreien Tagen durch Training aufzeigen. Zudem konnten, im Vergleich zu den Kontrollgruppen, positive Auswirkungen auf klinische Parameter und die bronchiale Hyperreagibilität erhoben werden (Eichenberger et al., 2013).

Carson et al. konnten bei der Auswertung von 21 Studien ebenfalls eine Verbesserung der Lebensqualität unter einer Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit feststellen (Carson et al., 2013).

In seiner Übersichtsarbeit bestätigt Satta ebenfalls die positiven Effekte auf die Lebensqualität (Satta, 2000). Auch bei Kindern konnte Crosbie eine Verbesserung der HRQoL durch verbesserte Leistungsfähigkeit zeigen (Crosbie, 2012). Im Vergleich zu Eichenberger sahen letztgenannte Autoren allerdings keine Auswirkungen auf die Lungenfunktion. Dies beschreibt auch Ram in seiner Auswertung von 8 Studien, unterstreicht aber die positiven Effekte in Bezug auf die Verbesserung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit (Ram et al., 2000).

Allen Autoren und Auswertungen ist somit gemein, dass sich durch ein Ausdauertraining auch bei Asthmatikern die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit sehr positiv entwickeln lässt. In welchem Ausmaß dies in Relation zu gesunden Kontrollen geschieht, ist allerdings in der aktuellen Literatur nicht ausführlich untersucht worden.

In allen o.g. Studien, die auch eine Analyse der Lebensqualität vollzogen haben, zeigte sich Sport jedoch als positiver Impuls.

Ob durch körperliches Training auch eine Verbesserung der Lungenfunktion in Ruhe einhergeht, lässt sich nicht abschließend klären. Neben dem Review von Eichenberger konnte keine der aufgeführten Studien diesen Aspekt unterstützen. Allerdings sollte diese Tatsache auch dahingehend interpretiert und ausgelegt werden, dass Ausdauertraining bei Asthmatikern zumindest keine Verschlechterung der Lungenfunktion bewirkt.

Satta und Ram werten dies ebenfalls als hilfreiches Signal, um Asthmatiker mit stabilem Gesundheitszustand zu körperlichem Training zu motivieren, da es in keiner Studie zu einer Verschlechterung der Lungenfunktion kommt und auch gut toleriert wird (Ram et al., 2000; Satta, 2000).

Die Wirksamkeit für die HRQoL zeichnet sich aber in den untersuchten Studien ausnahmslos ab, so dass manche Autoren, neben einer multidisziplinären Herangehensweise, sogar die Etablierung körperlichen Trainings als Therapieform bei Asthmatikern fordern (Eichenberger et al., 2013).

Im Kapitel 1.2.2 (Lebensqualität unter Asthma bronchiale) wurde die hohe Bedeutung der Lebensqualität für den individuellen Patienten hervorgehoben. Eine Verbesserung dieser HRQoL, wie sie durch Ausdauertraining in obigen Studien übereinstimmend nachgewiesen werden konnte, ist für den Patienten von absolut relevanter Bedeutung.

1.5. Die Einbettung der vorliegenden Studie in das Forschungsprojekt der CARG

Die COPD und Asthma bronchiale Research Group (CARG) der Abteilung Pneumologie des Universitätsklinikums Freiburg leitete eine auf fünf Jahre angelegte Forschungsarbeit unter dem Titel „The Role of Dendritic Cells on the Anti-inflammatory Effects of Aerobic Exercise“.

In diesem Forschungsprojekt sollten die genauen Mechanismen des protektiven Effekts von Ausdauertraining auf die asthmatische Entzündungsreaktion zunächst im Tiermodell, und im weiteren Verlauf in einer prospektiven klinischen Studie am Menschen, evaluiert werden. Der Schwerpunkt wurde dabei auf die Rolle der dendritischen Zellen (DC) als Vermittler innerhalb der Entzündungskaskade gelegt.

Bei der prospektiven klinischen Studie mit asthmatischen Patienten sollte untersucht werden, ob Ausdauertraining die Anzahl, Funktionalität und das Verhalten der DC

beeinflusst. Ziel des Projektes war es zu klären, ob der protektive Effekt von Ausdauertraining auf eine gestörte oder veränderte Funktion der DC zurückzuführen ist. Eingeschlossene Probanden wurden dazu in zwei Gruppen (gesunde Kontrollen und Asthma-Probanden) aufgeteilt. Vor Aufnahme des Ausdauertrainings erfolgte die Analyse des „status quo“: Die Anzahl und Funktionalität der DC im peripheren Blut (durch Blutentnahme) und im Bronchialschleim (durch bronchio-alveoläre Lavage (BAL) im Rahmen einer Bronchoskopie) wurden gemessen. Mögliche Veränderungen durch das Ausdauertraining sollten nach dessen Absolvierung durch dieselben Untersuchungsverfahren evaluiert werden.

Die Rekrutierung der Probanden, deren Zuteilung und die Koordinierung der Untersuchungen erfolgte durch den Doktoranden der vorliegenden Dissertation.

Die prospektive klinische Studie zum Ausdauertraining wurde in Kooperation mit der Abteilung für rehabilitative und präventive Sportmedizin des Universitätsklinikums Freiburg durchgeführt. Dieser Abteilung kam die Aufgabe der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik, der Ausarbeitung eines Trainingsplans auf Grundlage der durchgeführten Diagnostik, die Anleitung dessen und einer abschließenden Evaluation des Trainingseffektes zu.

Dieser Teilbereich innerhalb der prospektiven klinischen Studie des Forschungsprojektes der CARG lieferte die Aufgabenbereiche und Zielsetzungen der vorliegenden Dissertation.

Aus den Zielsetzungen der Asthma-Studie ergaben sich Grundvoraussetzungen für die sportmedizinischen Zuständigkeiten und die vorliegende Dissertation:

Zunächst sollte eine zuverlässige Analyse des „status quo“ in der Eingangsuntersuchung stattfinden. Auf ihr beruhte die Trainingssteuerung, so dass einer zuverlässigen und vergleichbaren Methode große Bedeutung zukam. Das ausgewählte Trainingsprogramm musste als solches alle eingeschlossenen Probanden einbeziehen und erforderte eine genaue Abstimmung an die individuellen Voraussetzungen der Probanden. Ein Effekt durch Ausdauertraining ist für die Pneumologie nur zu messen, wenn das gewählte Trainingsprogramm so aufgebaut war, dass dieser Effekt auch zuverlässig und reproduzierbar eintreten konnte. Umfang und Intensität des Trainings mussten dementsprechend gewählt werden.

Bestenfalls lässt sich daraus eine allgemeine Trainingsempfehlung für Betroffene ableiten. Um die stattgehabten Trainingseffekte gut vergleichen zu können, sollte

sich die Trainingsgestaltung an einer einheitlichen Zielvorgabe orientieren. Die Zielvorgabe musste weiterhin so gestaltet werden, dass alle Probanden sie mit ihren physischen und psychischen Voraussetzungen erreichen konnten und dennoch ein möglichst ausgeprägter Trainingseffekt erzielbar war.

1.6. Fragestellungen der vorliegenden Dissertation

Im einführenden Abschnitt wurde dargelegt, dass Asthma bronchiale eine Erkrankung mit vielfältigen, zum Teil schwerwiegenden Auswirkungen auf die alltäglichen körperlichen Belastungen und die Lebensqualität von Betroffenen ist.

In der aktuellen Literatur finden sich Ansätze für eine Verbesserung von Lungenfunktion und Lebensqualität durch Ausdauertraining bei Asthmatikern.

In der Studie dieser Dissertation wurden eine Asthma-Gruppe und eine Kontrollgruppe einer Intervention (Ausdauertraining) zugeführt. Durch den Vergleich von Erstuntersuchung vor Aufnahme des Ausdauertrainings mit der Nachuntersuchung soll anschließend evaluiert werden, ob und wie stark leistungsdiagnostisch messbare Veränderungen eintreten. Weiterhin soll durch einen Fragebogen untersucht werden, ob sich im Verlauf des Ausdauertrainings Veränderungen der Lebensqualität erheben lassen.

In der angegebenen Literatur zu positiven Auswirkungen von Ausdauertraining finden sich keine einheitlichen Angaben über Art, Umfang und Intensität des durchgeführten Trainings und die dadurch erzielten Trainingseffekte. Die Angaben bezüglich des Ausdauertrainings sind sehr heterogen. Bevor sich jedoch die Frage nach dem Ausmaß der Veränderung stellt, ist zunächst von Interesse, ob sich bei den untersuchten Asthma-Patienten durch das angeleitete Ausdauertraining dieser Studie überhaupt ein Trainingseffekt in Bezug auf die Leistungsfähigkeit auslösen lässt. Aus dieser Fragestellung wird die erste Hypothese dieser Dissertation abgeleitet:

- *Hypothese 1: Durch das kontrollierte und angeleitete Ausdauertraining dieser Studie lassen sich bei den untersuchten Asthma-Patienten Verbesserungen der Ausdauerleistungsfähigkeit hervorrufen.*

Des Weiteren soll untersucht werden, wie ausgeprägt diese Effekte innerhalb der beiden Gruppen ist. Besondere Gewichtung soll folgenden Fragen zum Vergleich zwischen der Asthma-Gruppe und den gesunden Kontrollen beigemessen werden:

Führen die gleichen Trainingsvorgaben bei Asthmatikern im Vergleich zu gesunden Kontrollen auch zu ebenbürtigen Effekten? Oder müssen Asthmatiker stärker trainieren als Gesunde, um die gleichen Trainingseffekte zu erreichen?

Sollte dies der Fall sein, könnte daraus abgeleitet werden, dass sie, „a priori“, also aufgrund ihrer Erkrankung, eine geringere Trainierbarkeit und damit eine geringere Leistungsfähigkeit aufweisen.

In der Literatur findet sich keine Studien zum Vergleich der Ausprägung von Trainingseffekten zwischen Asthmatikern und gesunden Probanden, so dass dieser Aspekt eine interessante, weil neue Fragestellung darstellt. Daraus leitet sich die nächste Hypothese dieser Dissertation ab:

- *Hypothese 2: Bei den untersuchten Asthma-Patienten lässt sich im Vergleich zu den gesunden Kontrollen durch ein gleichwertiges Trainingsprogramm eine gleichwertige Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit hervorrufen.*

In der Literatur wird übereinstimmend davon berichtet, dass eine sportliche Intervention bei Asthmatikern einen signifikanten Zugewinn an Lebensqualität mit sich bringt. Mehreren Studien zufolge führt Ausdauertraining dabei besonders zu einer Reduktion der Symptommhäufigkeit und -ausprägung bei Asthma-Patienten. Es soll daher ebenfalls untersucht werden, ob und wie ausgeprägt Ausdauertraining diese Rolle auch bei den untersuchten asthmatischen Probanden dieser Studie einnehmen kann. Folgende weitere Hypothesen sollen daher im Rahmen dieser Dissertation ebenso evaluiert werden:

- *Hypothese 3: Das gewählte Ausdauertraining dieser Studie steigert die subjektive Lebensqualität bei den untersuchten Asthma-Patienten.*
- *Hypothese 4: Das gewählte Trainingsprogramm dieser Studie führt zu einer signifikanten Reduktion in der subjektiven Symptomwahrnehmung der untersuchten Asthma-Patienten.*

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Asthma bronchiale

2.1.1. Geschichte und Begriffserklärung des Asthma bronchiale

Das deutsche Wort Asthma bronchiale soll dem griechischen Wortschatz entstammen. Das dort verwendete Wort „ἄσθμα“ hat laut etymologischen Nachforschungen Anlehnung an den indogermanischen Wortstamm „hma“, welcher mit der heutigen Bedeutung des Wortes „atmen“ übereinstimmen soll (Kluge, 2010).

Bereits 400 v.Chr. wurde das Wort „Asthma“ von Hippokrates, dem berühmtesten Arzt des Altertums, für kurzatmige und keuchende Atmung verwendet (Marketos und Ballas, 1982). Dies kommt dem klinischen Erscheinungsbild bereits sehr nahe.

Über viele Jahrzehnte hielt sich die Vorstellung, dass Asthma bronchiale eine Erkrankung der Muskulatur der Bronchien ist, die durch neuronale, physikalische oder chemische Stimuli ausgelöst wird. Wie genau die Zusammenhänge zwischen auslösendem Agens und Bronchokonstriktion aussehen, konnte durch kein Modell zufriedenstellend erklärt werden. Durch Fortschritte in diagnostischen Methoden (v.a. der Immunpathologie) konnte diese Ansicht aber grundlegend widerlegt werden. Aus heutiger Sicht gilt die Aussage, dass Asthma bronchiale eine primär entzündliche Krankheitsform darstellt, als allgemein anerkannt.

2.1.2. Definition des Asthma bronchiale

Die Deutsche Atemwegsliga definiert Asthma bronchiale als eine

„chronische entzündliche Erkrankung der Atemwege, die durch eine bronchiale Hyperreaktivität und variable Atemwegsobstruktion charakterisiert ist“ (Buhl et al., 2006).

Somit ergeben sich drei typische Charakteristika dieser Erkrankung:

- *Entzündung der Bronchialschleimhaut*
- *Bronchiale Hyperreagibilität*
- *Endobronchiale Obstruktion.*

Obstruktion (lat. „obstructio“) bezeichnet in der Medizin den Verschluss von Hohlorganen oder -gefäßen durch Verlegung oder Verstopfung von innen oder durch Kompression von außen. Beim Asthma bronchiale geschieht dies durch Anspannung der glatten Muskulatur, die die Bronchien und Bronchiolen begleitet, durch entzündliche Schleimhautschwellung und durch Hypersekretion von zähem Schleim (Dyskrinie) in die Luftwege. Leitsymptom der Erkrankung ist eine im Anfall auftretende Atemnot, die mit einem expiratorischen Stridor einhergeht. Als weitere klassische Symptome gelten ein Engegefühl der Brust sowie nächtlicher oder besonders frühmorgendlicher Husten.

Ein über längere Dauer bestehendes Asthma bronchiale kann durch Umbau der Atemwege zu einer strukturell fixierten Obstruktion, dem so genannten „airway remodelling“, führen. Die Ursachen für diese Prozesse sind immer noch nicht bis ins letzte Detail geklärt. Der Schweregrad der Erkrankung hängt ab vom Ausmaß der strukturellen Veränderungen, der Intensität der Hyperreagibilität auf bestimmte Trigger, Allergene und Noxen, sowie der Neigung zu Exazerbationen infolge von hinreichenden Faktoren wie Medikamenten, Aktivitäten oder Infekten. Zudem spielt eine genetische Disposition eine Rolle.

2.1.3. Einteilung des Asthma bronchiale

Grundsätzlich wird zwischen zwei Formen des Asthma bronchiale unterschieden: dem extrinsischen (oder allergischen) und dem intrinsischen (nicht-allergischen) Asthma bronchiale. Die Unterscheidung dieser Formen wird anhand von diagnostischen und anamnestischen Kriterien und dem Vorhandensein der allergischen Diathese vorgenommen. Unter Diathese versteht man in der Medizin die Neigung zu bestimmten Krankheitsbildern. Diese prinzipielle Unterteilung ist sinnvoll, weil hier eine Abtrennung anhand der zu Grunde liegenden Mechanismen vorgenommen wird, denen die weiteren Asthma-Formen zugeordnet werden können. Diese befassen sich mit den auslösenden Faktoren (z.B. kortikosteroid-abhängiges Asthma, analgetikainduziertes Asthma, berufsbedingtes Asthma, anstrengungsinduziertes Asthma bronchiale etc.) oder mit dem Zeitpunkt des Auftretens (z.B. nokturnales Asthma).

Je 30% der erwachsenen Asthmatiker sind von einer Reinform des extrinsischen bzw. des intrinsischen Asthmas betroffen, der Rest der Betroffenen an einer Misch-

form aus beiden (GINA (Global Initiative for Asthma), 2004). Für die allergische Form findet sich eine genetische Basis, diese folgt jedoch keinem klaren Muster (Renz-Polster, 2010).

Das **extrinsische Asthma bronchiale** wird durch allergisierende Stoffe in der Umwelt verursacht. Diese sind v.a. saisonale Pollen von Gräsern oder Blüten, Hausstaubmilbenkot, Tierhaare und –schuppen und Schimmelpilze oder berufsbedingte Noxen im Arbeitsalltag z.B. Mehlstaub beim „Bäcker-Asthma“ (Holt und Thomas, 2005; Vernon et al., 2012).

Dem allergischen Asthma bronchiale liegt eine immunologische Schädigungskaskade zugrunde, die einher geht mit einer Erhöhung der eosinophilen Granulozyten, dem Gesamt- und dem allergenspezifischen Immunglobulin E (IgE) im Blut, sowie, entsprechend dem Ausmaß der Exposition zu Allergenen, dem Vorhandensein aktiver CD4+-Zellen sowie TH2-zellassoziierter Zytokine in den Atemwegen. Das extrinsische Asthma bronchiale manifestiert sich überwiegend im Kindes- und frühen Jugendalter und tritt häufig zusammen mit Heuschnupfen oder dem atopischen Ekzem auf (Herrmann-Kunz, 2000). Die Neigung zu allergischen Krankheiten (allergische Diathese) in der Familie ist meist bereits bekannt. Hier finden sich allergische Überempfindlichkeitsreaktionen vom Soforttyp (Typ-I-Allergie), die als Atopie bezeichnet werden. Atopiker haben die genetische Prädisposition, auf ansonsten harmlose Substanzen der Umwelt, mit einer überschießenden Immunreaktion zu antworten, die durch erhöhte Bildung von IgE (s.o.) gekennzeichnet wird.

Dagegen betrifft das **intrinsische Asthma bronchiale** eher Erwachsene im fortgeschrittenen Alter (>40 Jahre) und wird von nicht-allergenen Umweltnoxen (v.a. Viren, körperliche Anstrengung, kalte Luft, Stress, Emotionen, Inhalationsnoxen) hervorgerufen. Meist ist es Folge einer Atemwegsinfektion. Eine allergische Diathese besteht nicht, dementsprechend findet sich auch keine Erhöhung von IgE. Beim intrinsischen Asthma bronchiale liegt meist eine deutlichere Eosinophilie vor, die keinen saisonalen Schwankungen unterliegt (Daum, 1992; Kroegel, 2002; Renz-Polster, 2010). Tabelle 1 fasst die wichtigsten Punkte zur Unterteilung der beiden Formen nochmals zusammen:

Tabelle 1 - Unterteilung des Asthma bronchiale

	<i>Extrinsisch (allergisch)</i>	<i>Intrinsisch (nicht-allergisch)</i>
Auftreten	v.a. Kindheit und frühe Jugend	Erwachsene (>40. LJ)
Auslöser	Umweltallergene: Pollen, Hausstaubmil- den, Tierhaare, Insektenallergene u.a.	Nicht-allergene Umwelteinflüsse: Kalte Luft, virale Infekte, körperliche Anstrengung, Stress, Emotionen, Inhalationsnoxen
Anamnese	Allergische Diathese in der Familienana- mnese	-/-
Laborbefunde	Saisonal rezidiv. Eosinophilie	Starke, persistierende Eosinophilie
	Erhöhung Gesamt-IgE	-/-
	Erhöhung allergenspezif. IgE	-/-

2.1.4. Epidemiologie und Ursachen des Asthma bronchiale

Asthma bronchiale zählt weltweit zu den bedeutendsten Erkrankungen. Sie gilt als die mit Abstand häufigste chronisch-entzündliche Erkrankung des Menschen überhaupt, mit, besonders bei Kindern, weltweit steigender Prävalenz (Renz-Polster, 2010; Riedl-Seifert, 2004). Die Global Initiative of Asthma bronchiale (GINA) schätzte 2004 die Zahl der weltweit an Asthma bronchiale Leidenden auf etwa 300 Millionen, wobei die Zahl bei Anlegung strengerer diagnostischer Kriterien noch deutlich höher liegen dürfte (Fitzgerald et al., 2012).

Asthma bronchiale und andere Erkrankungen des atopischen Formenkreis (Heuschnupfen, Neurodermitis) sind eng miteinander assoziiert und verzeichnen, im Gegensatz zum Auftreten infektiöser Erkrankungen wie Masern, Mumps oder Tuberkulose, die seit den 1950er Jahren stark abgenommen haben, in den europäischen Industrienationen einen starken Anstieg. Während der letzten Jahrzehnten zeigte Asthma bronchiale dabei einen besonders starken Zuwachs (Marketos und Ballas, 1982).

Einigen internationalen Studien zufolge scheint die Prävalenz von Asthma bronchiale und allergischen Erkrankungen im Kindesalter in Industrienationen auf hohem Niveau ein Plateau erreicht zu haben. In Entwicklungs- und Schwellenländern mit ehemals niedrigen Zahlen sei dagegen ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Im weltweiten Vergleich gestaltet sich die Prävalenz immer noch sehr variabel: Es bestehen bis zu 20-fache Unterschiede zwischen stark und schwach betroffenen Regionen (GINA (Global Initiative for Asthma), 2004; Hatzler et al., 2012; von Mutius,

2001). Bei den Erwachsenen zeigen internationale Studien aus Industrienationen weiterhin einen steigenden Trend der Asthma-Prävalenz. Dies wird vor allem auf einen Anstieg innerhalb der Gruppe jüngerer Erwachsener zurückgeführt (Australian Center for Asthma bronchiale Monitoring (ACAM), 2007; Pleis et al., 2008).

Innerhalb Europas besteht ein Ost-West-Gefälle mit signifikant schlechterer Prognose für die westliche, ganz besonders die angelsächsische Bevölkerung (Hatzler et al., 2012; von Mutius, 2001).

Zur aktuellen Prävalenz von Asthma bronchiale in Deutschland liegen unterschiedliche Aussagen vor, sie liegen zwischen 5 und 9%, es wird aber angenommen, dass Asthma bronchiale in Deutschland generell unterdiagnostiziert ist (Bergmann et al., 1993; GINA (Global Initiative for Asthma), 2004; Herold, 2010; Langen et al., 2013; Renz-Polster, 2010). Laut einer vom Robert-Koch-Institut durchgeführten Erhebung zum Gesundheitszustand der deutschen Bevölkerung, dem Bundesgesundheitsurvey (BGS98) von 1998, sollen ca. 10% der Kinder und 5-7% der Erwachsenen betroffen sein. Übereinstimmend wird von einer signifikanten Zunahme der Lebenszeitprävalenz von Asthma bronchiale in Deutschland in den letzten Jahren berichtet. Dieser Anstieg soll auf die Zunahme der Erkrankung bei jungen Erwachsenen, aber auch auf die gesteigerte öffentliche Wahrnehmung und bessere diagnostische Einbeziehung zurück gehen (Gesundheit in Deutschland aktuell (GEDA) - Prävalenz von Asthma bronchiale, 2009; Herrmann-Kunz, 2000; Pleis et al., 2008).

Frühere Studien zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen West und Ost, entsprechend der Studienlage zur Verteilung in Europa (Herrmann-Kunz, 1999; Wiesner et al., 1994).

Warum es gerade in den fortschrittlichen Industrienationen trotz hygienischem und medizinischem Fortschritt zu einem signifikanten Anstieg gekommen ist, erklären viele Studien mit einer Interaktion zwischen genetischen Faktoren und Umwelteinflüssen. Genetisch prädisponierte Menschen sind empfindlicher für die Entwicklung für Asthma bronchiale oder andere allergische Erkrankungen, wenn sie bestimmten Einflüssen aus ihrer Umwelt ausgesetzt sind. Dazu zählt unter anderem Passiv-Rauchen (Kurz und Riedler, 2003; von Mutius et al., 1992).

Viele Studien bestätigen die Assoziation von Lebensstilfaktoren wie sozioökonomischem Status, Geschwisteranzahl, Infekte in früher Kindheit, Stillpraktiken, Aufwachsen in anthroposophisch orientierten Familien und dem Auftreten atopischer Erkrankungen.

Grundsätzlich werden in Deutschland Frauen häufiger als Männer betroffen und Kinder eher als Erwachsene. Ein hoher sozioökonomischer Status erhöht die Prävalenz ebenso wie das Wohnen in großen Städten gegenüber der Landbevölkerung. Kinder die in anthroposophischen Familien, auf dem Land und besonders auf Bauernhöfen, aufwachsen, haben ebenso eine günstigere Prognose seltener Asthma bronchiale zu entwickeln, wie Kinder mit vielen Geschwister, durchgemachten Infekten in der Kindheit und positiver Stillanamnese (Bener et al., 2007; Ehlayel und Bener, 2008; Genuneit et al., 2013; Hatzler et al., 2012; Marsh und Blumenthal, 1990; Rzehak, 2013). Zwar sind nicht alle Zusammenhänge detailliert verstanden und es werden noch mehr Zusammenhänge im Laufe der Jahre diskutiert werden, doch zeichnen sich die oben genannten Faktoren immer deutlicher ab. Urbanisierung und der sich ändernde westliche Lebensstil mit veränderten Ernährungs- und Stillgewohnheiten, sozialen Gegebenheiten und unsere „sterile“ Wohn- und Lebensweise scheinen relevant zu sein.

2.1.5. Klinik des Asthma bronchiale

Asthma bronchiale ist eine potentiell tödliche Erkrankung. Der Asthmaanfall ist die typische klinische Erscheinungsform der Asthma-Erkrankung und kann schlimme Ausmaße annehmen.

Er ist gekennzeichnet durch plötzlich auftretende Atemnot mit dem charakteristischen expiratorischen Pfeifen/Giemen. Durch die Luftnot bedingt, nimmt der Betroffene meist eine sitzende Position ein und verwendet zur Unterstützung häufig die Atemhilfsmuskulatur durch Aufstützen der Arme auf Stuhl oder Oberschenkel.

Je nach Schwere des Anfalls kann sich die Atemnot (Dyspnoe) als so genannte „Sprechdyspnoe“ manifestieren unter der nach jedem Wort Luft geholt werden muss. In schweren Fällen kann eine Tachykardie, Tachypnoe und ein abgeschwächtes Atemgeräusch („silent chest“) vorliegen. Bei zunehmender Erschöpfung, Bradykardie und Eintrübung besteht Lebensgefahr und spätestens dann die Notwendigkeit der assistierten Beatmung. Dauert die Symptomatik trotz therapeutischer Maßnahmen länger als 24 Stunden an spricht man vom „Status asthmaticus“. Häufig ist der Asthmatiker jedoch asymptomatisch.

Oft sind Belastungsdyspnoe sowie nächtlicher oder morgendlicher Husten die einzigen apparenten Symptome und können deswegen leicht fehlinterpretiert werden.

2.1.6. Diagnostik des Asthma bronchiale

Die bronchiale Hyperreagibilität, variable Atemwegsobstruktion und die Entzündung der Atemwege sind die drei charakteristischen Merkmale der Erkrankung (s.o.).

Die entzündlichen Vorgänge lassen sich ohne invasive Maßnahmen allerdings nicht sicher validieren, so dass als objektiver und essentieller Nachweis die reversible bronchiale Obstruktion und/oder ein hyperreagibles Bronchialsystem dienen.

Am Anfang der Diagnostik steht die gründliche Anamnese, die bei Angabe der charakteristischen Merkmale (Symptome, Auftreten, Allergie, Umfeld, Alter) richtungweisend ist. Bei anamnestischen Hinweisen auf Asthma bronchiale schließt sich die Lungenfunktionsdiagnostik als Basisdiagnostik an. Hierbei werden verschiedene Lungenvolumina bei In- und Expiration gemessen, indem der Patient (unter Anleitung) durch ein Messgerät (Spirometer) atmet:

- **Atemzugvolumen (AZV):** *Das Volumen aus Inspiration und Expiration bei Ruheatmung*
- **In- bzw. expiratorisches Reservevolumen (IRV/ERV):** *, Volumen das bei verstärkter Atmung zusätzlich zum AZV mobilisierbar ist*
- **Vitalkapazität (VC):** *Maximal mobilisierbares Lungenvolumen, das bei forcierter Atmung erreicht werden kann. Es setzt sich aus AZV sowie den zusätzlich mobilisierbaren Volumina IRV und ERV zusammen und ist ein Maß für gesamte Atembreite. Bei restriktiven Lungenerkrankungen mit verminderter Dehnbarkeit der Lunge ist sie verringert.*
- **Residualvolumen (RV):** *Das Volumen, das auch bei forcierter Expiration in der Lunge verbleibt.*
- **FEV₁ (sog. Einsekundenkapazität):** *Bezeichnet, das Volumen, welches innerhalb einer Sekunde maximal ausgeatmet werden kann. Häufig wird der Tiffeneau-Index verwendet, der das FEV₁ auf die Vitalkapazität bezieht (FEV₁/VC x 100%). Dies ist zur Abgrenzung zu restriktiven Lungenerkrankungen von Vorteil, da durch Abnahme der VC der Tiffeneau-Wert normal sein kann.*
- **PEF (peak expiratory flow):** *Ist der durch forcierte Ausatmung maximal erreichbare Atemfluss.*
- **MEF₅₀:** *Ist der maximale expiratorische Fluss bei 50% der VC.*

Veranschaulicht werden die gemessenen Werte in einem Volumen-Zeit-Diagramm oder in einem Fluss-Volumen-Diagramm (siehe Abbildung 1).

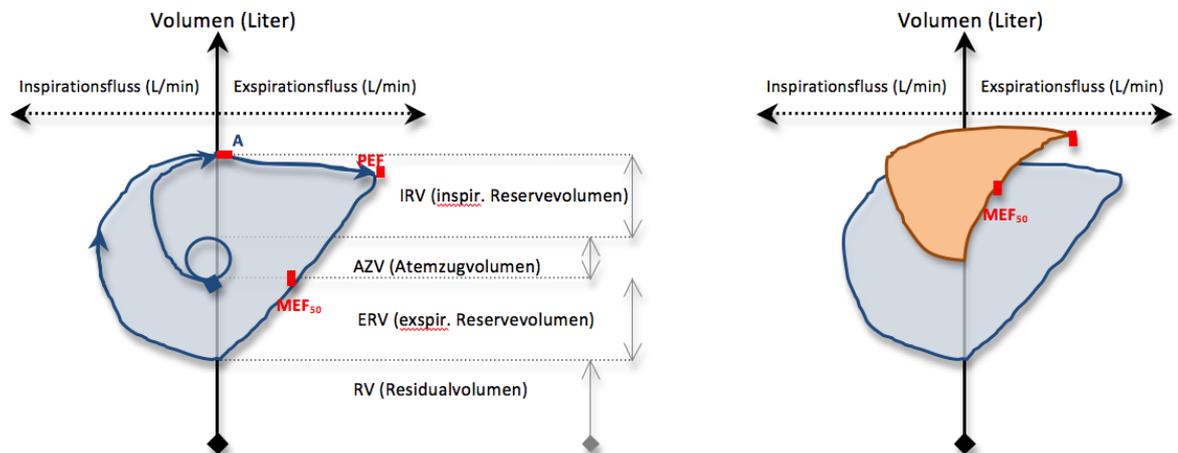


Abbildung 1 – Selbst erstelltes Fluss-Volumen-Diagramm mit typischem Kurvenverlauf

Der Verlauf der Kurve bei Normalbefund ist links bzw. dunkelblau dargestellt. Rechts bzw. orange überlagert ist ein pathognomonisch veränderter Verlauf bei Asthma bronchiale abgebildet.

In der Mitte der Normalkurve sieht man die Ruheatmung (Kreis) gefolgt von tiefer Inspiration (Strecke zu Punkt A). Durch die Obstruktion der Atemwege ist bei forcierter Expiration ein „Knick“ auszumachen. PEF und MEF₅₀ sind typischerweise vermindert. Bei leichtgradiger (Asthma bronchiale) bzw. schwerer (Emphysem) Lungenüberblähung kann es bei den obstruktiven Lungenerkrankungen zur Erhöhung des Residualvolumens kommen (abzulesen an einer Verschiebung der Flusskurve nach oben).

Die charakteristischen Veränderungen im Fluss-Volumen-Diagramm (Abnahme von PEF, MEF₅₀, FEV₁ bzw. Tiffeneau-Index) legen den Verdacht auf eine obstruktive Atemwegserkrankung nahe. Verbessert sich die gemessene Obstruktion bei erneuten Messungen spontan oder nach Gabe eines bronchienerweiternden Medikaments (β_2 -Sympathomimetika) im sogenannten Bronchodilatationstest, gilt dies als nahezu beweisend für die Diagnose.

Bei normaler Lungenfunktion gilt Asthma bronchiale ebenfalls als diagnostiziert, wenn zusätzlich zur typischen Anamnese eine bronchiale Hyperreagibilität nachweisbar ist. Der Nachweis soll mittels standardisiertem mehrstufigen inhalativen Provokationstest oder durch nachgewiesene Variabilität des PEF erbracht werden (Buhl et al., 2006; Fitzgerald et al., 2012; Kardos, 2005). Die Messung der PEF-Variabilität ist ein gutes Mittel zur Diagnose vor allem zur Verlaufskontrolle unter Therapie, da mit Hilfe kleiner, unkomplizierter peak-flow-Geräte ein konstantes Monitoring erfolgen kann. Diese Methode soll sich auch zur Vorhersage von akuten klinischen Exazerbationen bewährt haben (Tattersfield et al., 1999).

Allerdings ist hierfür eine intensive individuelle Betreuung und Compliance des Patienten unerlässlich.

Im Kindes- und Jugendalter stellen Allergien die häufigsten Ursachen für Asthma bronchiale dar. Auch im Erwachsenenalter sind sie sehr häufig vorzufinden. Bei Hinweisen sollte in allen Altersklassen eine allergologische Stufendiagnostik durchgeführt werden (Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF), 2011). Tabelle 2 fasst die verschiedenen Bestandteile der Asthma-Diagnostik nochmals zusammen:

Tabelle 2 - Bestandteile der Asthma-Diagnostik

<p>1. Anamnese</p> <p><i>(und körperliche Untersuchung v.a. im akuten Anfall)</i></p>	<p>-Symptome: <i>Dyspnoe, Giemen, Pfeifen (v.a. expiratorisch), trockener Husten (v.a. morgens)</i></p> <p>-Aufreten: <i>anfallsartig, rezidivierend, saisonal</i></p> <p>-Auslöser: <i>Allergene, körperliche Anstrengung, Berufsalltag...</i></p> <p>-allergische Diathese bzw. positive Familienanamnese</p> <p>-typisches Alter (in Abhängigkeit der Asthmaform)</p>
<p>2. Lungenfunktionsdiagnostik</p>	<p>Messwerte: <i>Vitalkapazität, FEV₁, MEF₅₀, PEF</i></p> <p>-Obstruktion: <i>FEV₁/VC <70% bzw. <75% bei Kindern</i></p> <p>-Reversibilität: <i>FEV₁ >15% - im Bronchodilatationstest - oder nach Therapieansatz PEF-Variabilität >20%</i></p> <p>- Hyperreagibilität: <i>Abfall der FEV₁ um >20% im Provokationstest</i></p> <p>-Prick-Hauttest zum Nachweis einer Atopie</p>
<p>3. Allergiediagnostik</p>	<p>-Such- und Bestätigungstests mit verdächtigem Allergen</p> <p>- spezifische IgE-Bestimmung im Serum</p> <p>-ggf. inhalativer Provokationstest</p>

2.1.7. Therapie des Asthma bronchiale

Asthma bronchiale ist eine potentiell tödliche Erkrankung. Nicht oder nicht angemessen therapiertes Asthma bronchiale kann zu strukturell fixierten Schädigungen der Atemwege führen. Ein frühzeitiges adäquates Einschreiten und eine hohe therapeutische Motivation seitens des behandelnden Arztes unter Einbeziehung des Patienten sind daher von großer Bedeutung.

In der Asthma-Therapie wird zwischen Allgemeinmaßnahmen und medikamentöser Therapie unterschieden. Eine gründliche Patientenaufklärung und -schulung ist unabdingbare Voraussetzung für den Therapieerfolg.

Hierzu zählt als präventive Maßnahme vor allem das Vermeiden auslösender Faktoren am Arbeitsplatz, im Alltag und in der Umwelt: z.B. Allergenkarenz, Rauchentwöhnung, Infektvermeidung, Durchführung von Impfungen oder Gewichtsreduktion. Neben diesen Maßnahmen ist die Schulung im Umgang mit diagnostischem und therapeutischem Vorgehen (z.B. „peak-flow-Messungen“, Symptomerkennung) für eine etwaige Therapieanpassung bei Veränderungen im Krankheitsverlauf von großer Bedeutung.

Die pharmakologische Therapie beruht auf den drei pathophysiologischen Charakteristika beim Asthma bronchiale. Die therapeutischen Ansätze basieren dementsprechend auf antiobstruktiven (Bronchien erweiternden) und antiinflammatorischen Maßnahmen:

<u>Charakteristikum</u>	<u>Therapieform</u>
○ <i>Bronchiale Obstruktion</i>	<i>antiobstruktiv</i>
○ <i>Bronchiale Hyperreaktivität</i>	<i>antiobstruktiv + antientzündlich</i>
○ <i>Bronchiale Entzündung</i>	<i>antientzündlich</i>

Hierbei wird zwischen Bedarfsmedikamenten („Reliever“) und dauerhaft einzunehmenden Medikamenten („Controller“) unterschieden.

Die „Reliever“ (β_2 -Sympathomimetika) wirken symptomatisch und sollen bei Bedarf die akut auftretende Atemnot bekämpfen. Dies bewirken sie durch Entspannung der glatten Bronchialmuskulatur. Die Kontrollmedikamente (v.a. inhalative Glukokortikoide) wirken kausal und werden aufgrund ihrer anti-entzündliche Wirkung vor allem zur Verhinderung der Folgeschäden der Entzündungsreaktion („airway remodelling“) eingesetzt.

Genauere Leitlinien sorgen für klares Vorgehen in der Therapie. Hierfür werden Patienten anhand von Symptommhäufigkeit und Werten der Lungenfunktionsdiagnostik in verschiedene Schweregrade eingeteilt. Das Therapiekonzept der pharmakologischen Intervention folgt einem genauen Stufenplan und orientiert sich an diesen klinischen und symptomatischen Gesichtspunkten.

In Tabelle 3 werden die Definitionen der verschiedenen Schweregrade und die dafür vorgesehene medikamentöse Therapie in einer Übersicht dargestellt. Für eine ad-

äquate Therapie muss der aktuelle Krankheitszustand durch den betreuenden Arzt und vom Patienten selbst immer wieder reevaluiert werden.

Hierfür ist neben einer guten Arzt-Patient-Beziehung die konsequente und kontinuierliche Mitarbeit des Patienten notwendig.

Bei der medikamentösen Therapie gilt der so genannte „step-down-Ansatz“: Es soll lieber eine Stufe zu hoch begonnen und anschließend reduziert werden, als pharmakologisch zu niedrig einzusteigen (Herold, 2010; Renz-Polster, 2010).

Tabelle 3 – Schema zur Stufentherapie des Asthma bronchiale **

Schweregrad	Stufe I = Intermittierend	Stufe II = geringgradig persistierend	Stufe III = mittelgradig persi- stierend	Stufe IV = schwergradig persistierend
FEV₁ (Soll- oder Bestwert*)	≥80%	≥80%	60-80%	≤60%
PEF-Variabilität	<20%	20-30%	20-30%	>30%
Symptome tagsüber	<1x pro Woche	>1x pro Woche <1x pro Tag	Täglich	Dauersymptome
Symptome nachts	≤2x pro Monat	>2x pro Monat	>1x pro Woche	häufig
Medikamentöse Therapie	Kurzwirksame β ₂ -Sympathomimetika als Bedarfsmedikation			
		+ Inhalative Kortikosteroide		
		Niedrige Dosis	mittlere Dosis	Hohe Dosis
		+ Langwirksame β ₂ -Sympathomimetika Ggf. zusätzliche Optionen (Montelukast, Theophyllin, orales β ₂ -Mimetikum)		
				+ systemische Glukokortikoide, Anti-IgE

* Sollwerte nach Formeln der Europäischen Gesellschaft für Kohle und Stahl (EGKS)

**Tabelle manuell erstellt nach den Therapieanweisungen der Deutschen Atemwegsliga e.V. und Deutschen Gesellschaft für Pneumologie: Kurzfassung. Stuttgart; New York: Thieme; 2005 Leitlinie zur Diagnostik und Therapie von Asthma, zusammengefasst von P.Kardon

Die GINA klassifiziert neben dem Schweregrad der Asthmaerkrankung auch das Ansprechen auf die jeweilige Therapie. Hierbei wird anhand von Vorhandensein und Häufigkeit von Symptomen, Einschränkungen, Exazerbationen sowie dem Medikamentenbedarf das Ausmaß der Kontrolle über die Asthma-Erkrankung definiert (siehe Tabelle 4).

Je nach Ausmaß der Kontrolle soll im Stufenschema der Therapie eine Anpassung an das aktuelle Krankheitsgeschehen vorgenommen werden:

Tabelle 4 - Definition der Asthma-Kontrolle*

Kriterium	Kontrolliert <i>(alle Kriterien erfüllt)</i>	Teilweise kontrolliert <i>(1 Kriterium in einer Woche erfüllt)</i>	Nicht-kontrolliert
Symptome tagsüber	Keine ≤ 2 pro Woche	> 2 pro Woche	
Einschränkung von Aktivitäten	Keine	Ja	
Nächtliche Symptome	Keine	Ja	3 oder mehr Kriterien des „teilweise kontrollierten Asthmas“ innerhalb einer Woche erfüllt
Bedarf Reliever/ Notfallmedikation	Keine ≤2 pro Woche	> 2 pro Woche	
Lungenfunktion (PEF oder FEV1)	Normal	<80% des Sollwerts (FEV1) oder des pers. Bestwerts (PEF)	
Exazerbation	keine	> 1x pro Jahr	

*Tabelle manuell erstellt nach den Empfehlungen der Global Initiative for Asthma bronchiale (GINA): Global Strategy for Asthma bronchiale Management und Prevention, 2012, available from: <http://www.ginasthma.org>

2.2. Sportmedizinische Grundlagen

Im folgenden Abschnitt werden jene Grundlagen thematisiert, die für das Verständnis und die Interpretation der in dieser Studie durchgeführten sportmedizinischen Untersuchungen und die Trainingssteuerung und -gestaltung von Bedeutung sind. Diese Grundlagen beruhen auf allgemein gültigen Annahmen und formulierten Gesetzmäßigkeiten, die heutzutage als Basiswissen angesehen werden. Daher sind sie nur noch selten Gegenstand aktueller Forschung und bei aktuellen Literaturrecherchen nur noch selten erfasst. Einige Gesetzesmäßigkeiten entstammen daher Grundlagenliteratur, die keinem Gutachterverfahren unterliegt.

2.2.1. Laktat, körperliche Belastung und Schwellenkonzepte

Als Laktate bezeichnet man die Salze und Ester der Milchsäure. In Ruhe liegt Laktat in einer Konzentration von ungefähr 1 mmol/L im Blut vor (Dickhuth, 2000). Laktat entsteht in der Skelettmuskelzelle als Hauptprodukt des anaeroben Energiestoffwechsels, um eine rasche Energienachlieferung über die anaerobe Glykolyse zu gewährleisten. Zwar ist die Energieausbeute der aeroben (d.h. unter Oxidation und Verbrauch von Sauerstoff) deutlich höher, als bei der anaeroben Energiegewinnung, jedoch ist die Energienachlieferung bzw. Bildungsrate der anaeroben Energiegewinnung den aeroben Prozessen um ein Vielfaches überlegen.

Bei körperlichen Belastungen, die die Produktionsfähigkeit der aeroben Energiegewinnung überfordern, läuft zunehmend die anaerobe Glykolyse ab, um weiterhin eine rasche Nachlieferung an Energie zu gewährleisten.

Die Laktatbildungsrate ist daher abhängig von der Intensität der Belastung, die eine erhöhte Energieanforderung an den Organismus stellt. Der Anstieg von Laktat entspricht dem Überschreiten der aeroben Kapazität und der Kompensation des Energiebedarfs durch anaerobe Glykolyse. Steigt die Konzentration an Laktat in der Muskelzelle, wird es sukzessive ins Blut abgegeben. Dort ist seine Konzentration messbar und für diagnostische Aussagen verfügbar. Je nach Trainingszustand unterscheidet sich der Zeitpunkt und die Geschwindigkeit des Anstiegs der Laktatkonzentration im Blut unter Belastung (siehe Kapitel 2.2.5 „Anpassungsvorgänge des Organismus auf Ausdauertraining“). Die Laktatkonzentration kann daher als Repräsentant der anaeroben Energiegewinnung zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit

benutzt werden. Ein Anstieg bei geringerer Belastungsintensität bzw. eine höhere Laktatkonzentration bei niedrigeren, oder vergleichbaren Leistungsintensitäten spricht daher für eine niedrigere Ausdauerleistungsfähigkeit.

Der erste messbare Anstieg der Laktatkonzentration im Blut wird als „Anaerobic threshold“ (AT) oder „Lactate threshold“ (LT) bezeichnet. Zeitgleich steigt durch zunehmende Abpufferung des sauren Laktats durch Bikarbonat die CO₂-Produktion. Dieser CO₂-Anstieg ist spirometrisch messbar und wird als „ventilatorische anaerobe Schwelle“ (VT) bezeichnet (Dickhuth et al., 2010).

Auch bei körperlicher Belastung oberhalb der LT bleibt die Laktatkonzentration in einem gewissen Bereich stabil. Laktatproduktion und -elimination stehen im Gleichgewicht, einem so genannten „steady state“. Der maximale Laktat steady state (maxLASS) beschreibt eine individuelle Belastungsintensität oberhalb der LT, bei der für eine definierte Belastungsdauer die Laktatkonzentration noch auf konstantem Niveau bleibt.

Erst bei Leistungen oberhalb dieser Intensität oder Dauer kommt es zu einer weiteren Akkumulation der Laktatkonzentration im Blut, die zu Ermüdung und Erschöpfung führt. Die so ausgelöste steigende Azidose führt zur einer überproportionalen Hyperventilation, welche den so genannten respiratorischen Kompensationspunkt (RCP) darstellt und per Atemgasanalyse messbar ist (Dickhuth, 2000).

Da die Intensität der maxLass physiologisch aber nicht eindeutig definiert und methodisch schwer erfassbar ist, werden verschiedene Konzepte zur Erfassung der sportartspezifischen Ausdauerleistung durch Messen der Laktatkonzentration angewandt (K. Röcker in: Dickhuth et al., 2010): Eine probandenspezifisch individuelle anaerobe Schwelle (IAS) wird anhand eines empirisch festgelegten Nettoanstiegs der Laktatkonzentration im Verlauf der Belastungsuntersuchung definiert.

2.2.2. Prinzip der Spiroergometrie

Die Spiroergometrie ist ein seit langem etabliertes diagnostisches Verfahren zur Feststellung der Leistungsfähigkeit der untersuchten Person. Sie ist die Kombination aus zwei Komponenten: Ergometerbelastung und Erfassung des Gasstoffwechsels. Belastungsgeräte können Laufband oder Fahrradergometer sein.

Auf dem Laufbandergometer läuft der Proband entgegen der Bandumlaufgeschwindigkeit. Die erbrachte Leistung des Probanden entspricht daher der Geschwindigkeit

des Laufbandes und wird gewöhnlich in m/s oder km/h angegeben. Die Geschwindigkeit wird stufenweise erhöht, um die sukzessive Belastung des Organismus zu erfassen. Je nach Protokoll lässt sich die Ausgangsgeschwindigkeit, die Dauer auf einer Stufe, das Inkrement der Geschwindigkeit und die Pausenlänge beliebig variieren.

Mit dem Spirometer werden neben den ventilatorischen Messgrößen auch Atemgase erfasst. So kann die Sauerstoffaufnahme $\dot{V}O_2$ und die Kohlendioxidabgabe $\dot{V}CO_2$ registrieren. Der Maximalwert, die maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$), ist ein bedeutender und häufig angeführter Wert zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit und wird in Absatz 3.4.1.2 ausführlicher thematisiert.

Im Zusammenspiel mit der Laufbandergometrie lassen sich so Aussagen zu den ventilatorischen Kapazitäten bei bestimmten Belastungsgraden treffen. Für eine zeitlich exakte Auflösung der getätigten Gasmengen ist ein Gerät mit einer „Breath-by-breath-Methode“ vonnöten. Bei dieser Methode werden die Gasmengen für jeden Atemzug separat errechnet und können so auch für Bewertungen der Änderungskinetik herangezogen werden (Röcker in: Dickhuth et al., 2010).

Die Herzfrequenz wird mittels auf der Haut aufgebrachter Elektroden erfasst.

In der Regel findet sich bei linearer Erhöhung der Belastungsintensität ein linearer Anstieg der Herzfrequenz (HF) und der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$), wohingegen die Laktatkonzentration exponentiell ansteigt. Die gemessenen Einzelwerte von Herzfrequenz und Laktatkonzentration lassen sich, durch spezielle Computerprogramme graphisch interpoliert, zu einer Verlaufskurve verbinden. Diese können dann gemeinsam in Relation zur Belastung (d.h. Geschwindigkeit) in einem Schaubild abgebildet werden. Einer bestimmten Belastungsintensität lässt sich dabei anhand von HF und Laktatkonzentration ein Auslastungszustand des Organismus ablesen.

Ziel einer spiroergometrischen Untersuchung ist, möglichst die subjektive und objektive Ausbelastung des Probanden zu erreichen, um neben einer harmonischen und umfassenden Erfassung der untersuchten Variablen auch die Maximalwerte (u.a. $\dot{V}O_2(\max)$, maximale Herzfrequenz (HF(max)), maximale Laktatkonzentration (Lak(max)) zu erhalten.

Die Ausbelastungskriterien dieser Studie sind die subjektive Erschöpfung sowie die HF(max) und Lak(max).

2.2.3. Allgemeine Trainingsprinzipien

Für das Verständnis von Leistungsentwicklungen und der Gestaltung einer Trainingsform sollen hier grundlegende Trainingsprinzipien und Modelle eingeführt werden:

Adaption und Anpassungsvorgänge

Vor über 100 Jahren prägte der Anatom Wilhelm Roux den Begriff der funktionellen Adaptation („functional adaption to anatomy und physiology“) (Roux, 1895). Dieser Begriff beschreibt die Eigenschaft eines Organismus sich durch strukturelle und funktionelle Veränderungen in verschiedenen Systemen an veränderte Bedingungen anzupassen. Heutzutage wird die Adaption als Reaktion des Körpers auf gegebene Trainingsreize verstanden. Training wird als Prozess definiert, mit dem eine Verbesserung des Ausgangsniveaus beabsichtigt wird.

Homöostase und Superkompensation

Jakowlew beschrieb 1977 mit dem Modell der Superkompensation anhand der Entleerung und Auffüllung von Glykogenspeichern in Tierversuchen den Zusammenhang von auslösendem Reiz, Wiederherstellungsreaktion, Superkompensation und die Rückkehr zum Ausgangsniveau (Jakowlew, 1977).

Zwischen Belastung und Adaptation besteht demnach ein dynamisches Gleichgewicht (Homöostase). Wird die Homöostase durch einen Belastungsreiz gestört, setzen nach der Ermüdungsphase die Wiederherstellungsprozesse ein, die die betroffenen Systeme des Organismus vor einer weiteren Belastung schützen sollen.

Die körperliche Leistungsfähigkeit wird dafür über das Ausgangsniveau hinaus verbessert (Phase der Superkompensation). Erfolgen keine weiteren Reize kommt es zur Rückkehr auf das Ausgangsniveau (siehe **Abbildung 2**). Ein optimaler Leistungszuwachs wird erreicht, wenn der erneute Reiz zum Zeitpunkt der höchsten Superkompensation erfolgt. Die optimale Relation von Belastung und Erholung ist daher für die Ausbildung einer stabilen Leistungsentwicklung wichtig (Fry et al., 1992).

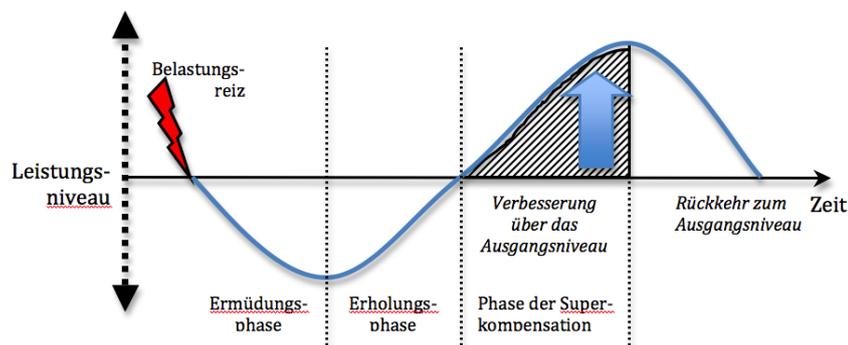


Abbildung 2 – Selbst erstellte Zeichnung zur Anpassungsreaktion auf einen Trainingsreiz und Verlauf des Leistungsniveaus
Zusammenhang zwischen einwirkendem Reiz und der Anpassungsreaktion des Körpers

Dieses allgemeine Modell der Superkompensation vermittelt allerdings nur ein Grundverständnis von Anpassungsreaktionen auf Trainingsreize, da die Vorgänge in der Praxis viel komplexer sind: Die beanspruchten Funktionssysteme können für die Anpassungsreaktion unterschiedliche Zeitspannen benötigen, so dass eine differenziertere Betrachtung nötig ist. Beispielsweise benötigen die ATP- und Kreatinphosphatspeicher nach einem Tempolauf wenige Sekunden bis Minuten zur Wiederauffüllung, die Glykogenspeicher dagegen 16-24 Stunden (Dickhuth et al., 2010). Des Weiteren vermittelt das Modell der Superkompensation das Bild einer unendlich fortführbaren Leistungssteigerung, was nicht den realen Gegebenheiten entspricht. Zudem werden weder Ausgangsniveau, noch Alter oder Geschlecht berücksichtigt, so dass einige Autoren Kritik an der Verwendung dieses einfachen Modells üben (Friedrich und Moeller, 1999). Die Beachtung weiterer Gesetzmäßigkeiten ist bei der Trainingssteuerung daher notwendig.

Die Periodisierung der Trainingseinheiten mit Abstimmung von Belastung und Erholung stellt aber einen wichtigen Faktor dar, der das Ausmaß der eintretenden Effekte mit beeinflusst (Clemente Suárez und González-Ravé, 2014).

Qualitätsgesetz

Spezifische Reize bewirken spezifische Anpassungsreaktionen. Der Organismus reagiert dem ursächlichen Reiz entsprechend. Hieraus lässt sich direkt ableiten, dass die Entwicklung einer bestimmten Fertigkeit eine bestimmte Trainingszusammensetzung bedingt. Für die Gestaltung ist die zielorientierte Abstimmung der Belastungskomponenten von Bedeutung (siehe Prinzip des trainingswirksamen Reizes). Ein

Ausdauertraining längerer Dauer mit niedrigerer Intensität bewirkt dementsprechend v.a. Adaptationsvorgänge der aeroben Kapazität.

Reizschwelligengesetz

Eine Superkompensation wird nur dann ausgelöst, wenn eine kritische Reizschwelle überschritten wird. Diese unterscheidet sich für Trainierte und Untrainierte und ist abhängig vom jeweiligen Leistungsniveau. Unterschwellige Reize bleiben wirkungslos, überschwellige lösen anatomische und physiologische Adaptationsvorgänge aus, zu starke Trainingsreize bewirken Schäden. Der eintretende Trainingseffekt ist daher auch vom Ausgangsniveau abhängig. Ein Trainingseffekt lässt sich bei minder Trainierten bereits bei geringeren Trainingsintensitäten auslösen (Wenger and Bell, 1986). Die Reizschwelle für den eintretenden Trainingseffekt ist daher abhängig vom Ausgangszustand.

Prinzip des trainingswirksamen Reizes

Ein Trainingsreiz bewirkt nur dann eine Superkompensation, wenn Belastungskomponenten aufeinander abgestimmt sind. Diese sind:

- *Intensität* = *Anforderung in Prozent (%) der Maximalleistung*
- *Dichte (Pause)* = *zeitliche Relation von Belastung und Erholung*
- *Dauer* = *Dauer des Einzelreizes („Einwirkzeit“)*
- *Umfang* = *Summe aller Einzelreize.*

Das Ziel, das durch ein bestimmtes Training erreicht werden soll, bestimmt nach dem Qualitätsgesetz, wie die Belastungskomponenten aufeinander abgestimmt werden müssen.

Prinzip der progressiven Belastung

Das Prinzip der progressiven Belastung baut auf dem Reizschwelligengesetz auf: Trotz gesteigertem Trainingsaufwand wird mit zunehmendem Leistungsniveau der Leistungszuwachs immer geringer (Wenger and Bell, 1986). Der Leistungszuwachs verhält sich somit bei gleich bleibendem Belastungsumfang umgekehrt proportional zum Leistungsniveau. Für einen möglichst linearen Leistungszuwachs muss somit

die Belastung progressiv gesteigert werden (Dickhuth et al., 2010, p. 32). Dieser Sachverhalt wird in **Abbildung 3** verdeutlicht.

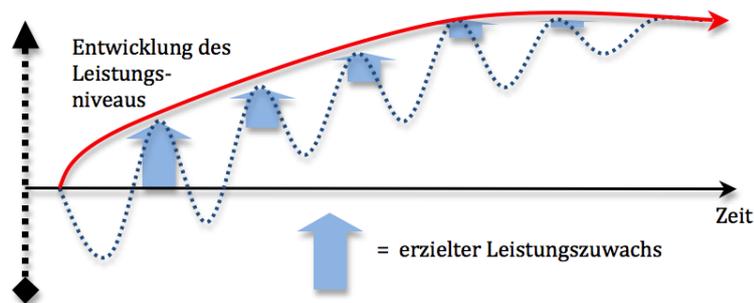


Abbildung 3 - Schematische Darstellung des Adaptationsverlaufs bei progressiver Belastung
Mit zunehmendem Leistungsniveau wird der erzielte Zuwachs (blaue Pfeile) immer geringer. Für einen möglichst kontinuierlichen respektive annähernd linearen Leistungszuwachs muss daher die Trainingsintensität sukzessive gesteigert werden.

Aus obiger Abbildung lassen sich folgende zwei Beobachtungen ablesen: Um bei besser Trainierten einen Trainingseffekt auszulösen, ist ein erhöhter Aufwand nötig. Zudem wird der eintretende Effekt mit zunehmendem Leistungsstand immer geringer.

2.2.4. Einführung ins Ausdauertraining

Unter Ausdauer wird allgemein die psychische und physische Ermüdungswiderstandsfähigkeit eines Sportlers verstanden.

Ausdauer als sehr allgemeine Fähigkeit lässt sich unter dem Aspekt des Umfangs (=Einwirkdauer des Reizes) in Kurz-, Mittel- und Langzeitausdauer unterteilen. Für jede dieser Fähigkeiten lassen sich unterschiedliche Belastungsgefüge beschreiben. Das Belastungsgefüge setzt sich aus Umfang und Grad der Belastungsintensität zusammen. Die Intensität verhält sich dabei reziprok zum Umfang. Die Belastungsintensität bestimmt die Zusammensetzung der beschrittenen Energiegewinnungswege für die zu erbringende Leistung. Die Kurzeitausdauer umfasst beispielsweise hohe bis höchste Intensitäten mit Umfangsdauer von etwa 45 Sekunden bis 2 Minuten. Der hierfür benötigte hohe Energiebedarf wird vorwiegend anaerob bestritten. Training im Bereich der Kurzeitausdauer hat daher besonders Auswirkungen auf die anaerobe Kapazität.

Die Trainingsgestaltung muss sich demzufolge an der beabsichtigten Wirkung orientieren.

Im Bereich des Ausdauertrainings lassen sich die Trainingsmethoden nach ihrer Charakteristik in vier Kategorien unterteilen: Dauermethode, Intervallmethode, Wiederholungsmethode und Wettkampfmethode. Die Dauermethode ist die in dieser Studie angewandte Methode. Die genaue Anwendung wird im Kapitel 3.5 „Das durchgeführte Ausdauertraining“ beschrieben.

2.2.5. Anpassungsvorgänge des Organismus auf Ausdauertraining

Nach dem Qualitätsgesetz kommt es unter körperlicher Belastung zu spezifischen Anpassungsreaktionen im Organismus. Die Art und das Ausmaß der Anpassungsreaktionen richten sich dabei nach dem zugrunde liegenden Reiz.

Die Anpassungsreaktionen auf Trainingsbelastungen umfassen viele verschiedene Funktionssysteme. Die entscheidende physiologische Grundlage für die Verbesserung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit ist laut Neumann et al. ein Ansteigen der muskulären Sauerstoffverwertung und die Erhöhung der Sauerstofftransportkapazität im Blut (Neumann et al., 2013, p. 73).

Grundsätzlich kann man zwischen der Muskelzelle als Effektor sportlicher Aktivität und den zuarbeitenden Systemen unterscheiden. Die Muskelzelle stellt als unmittelbarer Energieverbraucher den primären Wirkort des Trainingsreizes dar. Das Herz-Kreislauf- und Atmungssystem nimmt in Bezug auf die Energieversorgung die Funktion eines Zulieferers ein, der, dem Bedarf der Muskelzelle entsprechend, die Versorgung mit Sauerstoff gewährleisten muss.

Kennzeichen einer verbesserten aeroben Leistungsfähigkeit ist die Zunahme der Stoffwechselökonomie innerhalb der verschiedenen Funktionssysteme. Eine definierte Leistung wird nach eingetretenem Trainingseffekt mit niedrigerer Herzfrequenz, geringerer Sauerstoffaufnahme $\dot{V}O_2(\max)$ und Laktatkonzentration erbracht.

Anpassungsreaktionen innerhalb der Muskelzelle

Aerobes Ausdauertraining führt zusammenfassend zu einer Erhöhung der Energiespeicher, Vermehrung der Mitochondrien, Steigerung der enzymatischen Umsatzkapazität und Optimierung der hormonellen Regulationsmechanismen. So wird der Wirkungsgrad zur Energielieferung innerhalb der Muskelzelle erhöht.

Anpassungsvorgänge des Herz-Kreislauf-Systems

Dem Herz-Kreislauf-System kommt als „Umwälzpumpe“ und Transportsystem eine herausragende Bedeutung zu. Die Förderleistung des Herzens wird als Herzminutenvolumen (HMV) angegeben und ergibt sich aus dem Produkt von Herzfrequenz (HF) und Schlagvolumen (SV):

- *Herzzeitvolumen (HZV) = Schlagvolumen (SV) x Herzfrequenz (HF)*

Bei Belastung kann mit Steigerung dieser Regelgrößen auf den erhöhten Energiebedarf geantwortet, und eine erhöhte Versorgung der beanspruchten Arbeitsmuskulatur gewährleistet werden.

Im Rahmen eines regelmäßigen Ausdauertrainings kommt es durch Anpassungsreaktionen zu einer erhöhten Leistungsfähigkeit des kardiovaskulären Systems und erhöhter Sauerstoffaufnahmefähigkeit.

Am Herzen unterscheidet man regulative von strukturellen Anpassungen, die je nach Belastungsreiz unterschiedlich stark ausgeprägt sind und von Rost 1990 als Sportherz bezeichnet wurden (Rost, 1990). Allerdings sind diese Anpassungen nur für chronisch-dynamische Trainingsformen wie Ausdauertraining eindeutig belegt (Dickhuth et al., 2010, p. 90). Auf Seiten der funktionellen Anpassungen führt Ausdauertraining zu einer Ökonomisierung der Herzfunktion. In Ruhe kommt es zu einer erhöhten Aktivität des parasympathischen Nervensystems mit seinen hemmenden Einflüssen. Am Herzen bewirkt diese eine Erniedrigung der (Ruhe-)Frequenz. Unter Belastung erfolgt beim Trainierten eine effektivere Kreislaufregulation mit niedrigerer Herzfrequenz und erhöhtem Schlagvolumen. Dies wird vor allem auf eine verlängerte Füllungsphase in der Diastole durch verringerte Herzfrequenz zurückgeführt (Dickhuth et al., 2010). Ausdauersportler bewältigen submaximale Belastungen daher mit einer geringeren kardialen Beanspruchung, d.h. der Herzmuskel benötigt für gleiche Anforderungen weniger Sauerstoff als Untrainierte. Die Ökonomisierung der Herzarbeit gilt als wesentlicher Mechanismus in der Anpassung leistungsrelevanter Funktionssysteme.

Anpassungsvorgänge des Atmungssystems

Die Atmung stellt einen lebenswichtigen Prozess zur Energiegewinnung dar. Die Lunge dient der Leitung der Außenluft in Alveolen, wo aufgrund unterschiedlicher Parti-

aldruckgradienten der Gasaustausch mit dem Blut stattfindet (Sauerstoff-Aufnahmen und Kohlendioxid -Abgabe).

Unter körperlicher Belastung besteht ein erhöhter Sauerstoffbedarf für die Energiegewinnung. Die Sauerstoffaufnahme und die Abatmung von Kohlendioxid müssen den Belastungsanforderungen entsprechend erhöht werden. Der Körper begegnet dieser Anforderung mit einer Steigerung des Atemminutenvolumens ($V'E$). Das $V'E$ ist das Produkt auf Atemzugvolumen (AZV) und Atemfrequenz (AF):

- *Atemminutenvolumen ($V'E$) = AZV x AF.*

Ab einer gewissen Atemfrequenz gelangt nur noch ein geringerer Teil des Atemzugvolumens bis in die Lungenabschnitte wo der Gasaustausch stattfindet, so dass trotz gesteigerter Frequenz keine Steigerung der Sauerstoffaufnahme erfolgt. Eine hochfrequente Atmung ist dabei besonders unter körperlicher Belastung unökonomisch. Eine Atmung mit tiefen Atemzügen und dementsprechend hohem AZV sorgt für eine gute Ventilation der Alveolen und erhöht die Sauerstoffaufnahme.

Eine effektivere und gesteigerte Sauerstoffaufnahme (bzw. CO_2 -Abgabe) über die Atmung und optimierte Bindungskapazität im Blut führen zu einer verbesserten Sauerstoffausschöpfung (= verbesserte $avDO_2$) und, entsprechend den Diffusionsgesetzen, zu einem effektiveren Gasaustausch über die Alveolarmembran. In diesem Prinzip wird auch die Begründung für klinische Wirksamkeit von Ausdauertraining bei Lungenerkrankungen gesehen (Dickhuth et al., 2010, p. 121).

Weiterhin werden durch Ausdauertraining Fähigkeiten (an-)trainiert, welche besonders die Atemökonomie betreffen: Durch Kräftigung und verbesserte Ausdauer der Atemmuskulatur können Trainierte tiefer und mit geringerer Frequenz atmen (Nourry et al., 2005; Yerg et al., 1985). Für die Atmung an sich wird so weniger Energie verbraucht, was sowohl in Ruhe als auch unter Belastung eine ökonomischere Atmung gewährleistet. In diesem Mechanismus sehen Ram et al. auch die Wirksamkeit von Ausdauertraining für Asthmatiker: Durch diese Ökonomisierung können Trainierte leichten oder moderaten Aktivitäten mit einer geringeren Ventilation begegnen - Atemnot tritt erst bei größeren Anstrengungen auf und wird dadurch generell reduziert (Ram et al., 2000). Des Weiteren soll Ausdauertraining in der Lage sein, die Atemwegswiderstände zu reduzieren sowie die Elastizität und die Ausdehnungsfähigkeit der Alveolen zu verbessern (Leith und Bradley, 1976).

3. Material und Methodik

3.1. Studienprotokoll und Ablauf der Studie

3.1.1. Studiendesign allgemein

Die „COPD und Asthma bronchiale Research Group“ (CARG) der Abteilung Pneumologie der Medizinischen Universitätsklinik Freiburg führte ein auf insgesamt drei Jahre angelegtes Forschungsprojekt zum Thema „Effect of aerobic exercise on dendritic cell function in allergic airway inflammation“ durch. Im Anschluss an Tierversuche erfolgte die Durchführung einer prospektiven klinischen Studie zur Ermittlung möglicher Auswirkungen aeroben Ausdauertrainings bei asthmatischen Patienten. Für die Gestaltung, Ausarbeitung und Evaluation dieses Ausdauertrainings war die Abteilung für rehabilitative und präventive Sportmedizin der Universitätsklinik Freiburg als Kooperationspartner zuständig. Dieser klinische Teil war Grundlage und Gegenstand der vorliegenden Dissertation. In der vorliegenden Studie, die in das oben genannte Forschungsprojekt eingebettet war, wurden eigenständige Untersuchungen und Fragestellungen behandelt.

Das Forschungsprojekt der pneumologischen Abteilung mit Einbeziehung der Sportmedizin wurde von der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) gefördert und mitfinanziert.

3.1.2. Probandenrekrutierung und Aufnahme der Probanden

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte über einen Gesamtzeitraum von 13 Monaten von Anfang April 2011 bis Ende Mai 2012. Mögliche Probanden wurden aus der pneumologischen Ambulanz des Universitätsklinikums Freiburg und assoziierten Arztpraxen auf die Studie aufmerksam gemacht. Wegen geringer Probandenzahl erfolgte ein Inserat in der Kleinanzeigenbeilage der Badischen Zeitung (schnapp), die wöchentlich erscheint und alle Abonnenten erreicht sowie an vielen öffentlichen Plätzen kostenlos ausliegt. Zudem wurden Flugblätter mit Kontaktdaten des Doktoranden in der Freiburger Innenstadt und an öffentlichkeitswirksamen Plätzen (Hochschulen, Mensen etc.) aufgehängt.

Insgesamt gingen 177 (157 per Mail, 7 per Telefon, 13 Sonstige) Rückmeldungen von Interessenten beim Doktoranden ein. Diesen wurde daraufhin die offizielle Pro-

bandeninformation der CARG mit Einverständniserklärung zugesandt. Mit den durchzuführenden Untersuchungen und dem 12-wöchigen Trainingsplan erklärten sich 104 Personen potentiell einverstanden. Auf Rückfrage ergaben sich unter diesen Interessenten in 74 Fällen das Vorliegen von Ausschlusskriterien (siehe Abschnitt 3.1.4), so dass letztendlich 30 Personen zu den pneumologischen Voruntersuchungen eingeladen werden konnten. Zehn dieser voruntersuchten Probanden mussten aufgrund von Ausschlusskriterien nach den Voruntersuchungen die Studie wieder verlassen.

Die Studie wurde, den Zielvorgaben des Studienprotokolls entsprechend, mit jeweils zehn Teilnehmern in Asthma- und Kontrollgruppe, insgesamt also 20 Probanden, durchgeführt.

Jeder Teilnehmer der Studie wurde anhand einer anonymisierten Kennung geführt, die eine genaue Zuordnung zur Gruppe („A“ für die Asthma-Gruppe, „K“ für die Kontrollgruppe) und, nach zeitlicher Aufnahme in die Studie, eine fortlaufende Nummerierung umfasste.

3.1.3. Einschlusskriterien

Teilnehmer der Studie waren zehn Patienten mit mildem oder moderatem Asthma bronchiale (entsprechend den GINA-Leitlinien) in gutem körperlichen Zustand und zehn gesunde Kontrollen. Für beide Gruppen galten ein Alter zwischen 20 und 50 Jahren sowie ein BMI zwischen 20 und 30 kg/m² als Einschlusskriterien. Diagnostik und Therapie der Asthmatiker sollte nach den Leitlinien der GINA erfolgen (siehe Kapitel 2.1.7). Die eingeschlossenen asthmatischen Patienten mussten seit mindestens sechs Monaten unter medikamentöser Therapie stehen und dabei klinisch stabil sein (keine Exazerbation). Während des Ausdauertrainings durfte keine Änderung der medikamentösen Therapie vorgenommen werden.

3.1.4. Ausschlusskriterien

Für die Studie wurden Kriterien formuliert, die mit unmittelbaren Risiken für den Probanden durch das Ausdauertraining einhergehen können. Ebenfalls als Ausschlusskriterium galten Faktoren, die potentielle sportmedizinische und pneumologische Ef-

fekte oder deren Nachweis in der durchgeführten Diagnostik erschweren und/oder behindern.

Neben nicht erfüllten Einschlusskriterien ergeben sich in internistischen, orthopädischen und anderen Bereichen folgende Ausschlusskriterien:

- *Internistische Erkrankungen, insbesondere Herz-Kreislauf-Erkrankungen (z.B. akute KHK, instabile Angina pectoris, arterielle Hypertonie und weitere), die einem Ausdauertraining entgegen stehen*
- *schwere Exazerbation der Asthma-Erkrankung*
- *Einschränkungen des Bewegungsapparates, die generell ein Lauftraining unmöglich machen (z.B. Behinderungen)*
- *orthopädische Erkrankungen, die eine Lauftraining über 12 Wochen unmöglich machen oder nur eingeschränkt zulassen*
- *langjährige und/oder aktive Raucher*
- *Histaminintoleranz*
- *chronische Medikamenteneinnahme mit Einfluss auf das Herz-Kreislaufsystem*
- *chronische Medikamenteneinnahme von Antidepressiva und/oder Neuroleptika*
- *Teilnehmer durften vor Studienbeginn keine regelmäßige Ausdauersportart (Schwimmen, Joggen, Freizeitsport und Ähnliches) trainieren. Der Grenzwert lag bei maximal 3 Stunden pro Woche innerhalb der letzten 3 Monate.*
- *Teilnehmer mussten über gute Deutschkenntnisse in Sprache und Schrift verfügen*
- *Terminliche Einschränkungen zur Teilnahme an allen notwendigen Untersuchungen zu den Zeitpunkten T0 + T1*
- *Terminliche Einschränkung zur Durchführung der wöchentlichen Trainingseinheiten*

3.1.5. Abbruchkriterien

Die Studienteilnehmer wurden anhand der Probandeninformation vor den Eingangsuntersuchungen über die Freiwilligkeit der Teilnahme ihrerseits hingewiesen. Die

Teilnahme konnte jederzeit ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden. Bei Auftreten eines Ausschlusskriteriums wurde die Studie im individuellen Fall abgebrochen. Ebenfalls erfolgte ein individueller Abbruch der Studienteilnahme, sobald der Proband dem Ausdauertraining über 14 Tage nicht nachkommen konnte oder sofern eine Änderung der Dauermedikation bei Asthmatikern stattfand.

3.1.6. Ablauf und Durchführung der Eingangs- und Nachuntersuchungen

Der Ablauf der Untersuchungen erfolgte nach Vorgaben des Studienprotokolls. Zur Evaluierung der Intervention Ausdauertraining erfolgten sowohl in der Pneumologie als auch in der Sportmedizin Untersuchungen vor Aufnahme (prä) und nach Absolvierung (post).

Im Rahmen des Forschungsprojektes der pneumologischen Abteilung erfolgte dort zur Erhebung des Ausgangszustandes eine allgemeine Untersuchung des Gesundheitszustandes. Das Vorliegen einer möglichen allergischen Komponente wurde in einem Hauttest und einer Laboruntersuchung von hierfür entnommenem Blut untersucht. Die Testung der Lungenfunktion und die Prüfung auf Vorliegen einer bronchialen Hyperreagibilität (mittels Carbachol-Provokations-Test) erfolgten ebenfalls in der Pneumologie.

Durch diese Untersuchungen konnten untersuchte Probanden entsprechend dem Vorhandenseins des Merkmals „Asthma bronchiale“ einer Gruppe zugeordnet und der für diese Dissertation durchgeführten Studie zugewiesen werden.

Bei den ermittelten Asthma-Patienten wurde der „Status quo“ der Lungenfunktion erhoben. Mittels broncho-alveolärer Lavage (BAL) während einer Bronchoskopie erfolgte die Gewinnung von Bronchialschleim zur weiteren immunologischen Analyse für Erkenntnisse des pneumologischen Projektes.

Für die vorliegende Dissertation erfolgte die Messung der Atemgase mittels Spiroergometrie in der Sportmedizin.

Die Leistungsfähigkeit wurde mit Laufbandergometrie und paralleler Messung von Laktatkonzentration und Herzfrequenz in einem festgeschriebenen Belastungsprotokoll erhoben. Auf Grundlage dieser Befunde erhielten die Probanden einen Trainingsplan für die kommenden zwölf Wochen.

Nach Absolvierung des Trainingsplans erfolgte zunächst die Leistungsdiagnostik in der Sportmedizin zur Evaluation des Trainingseffektes. Im Anschluss daran die pneumologischen Nachuntersuchungen der CARG.

3.2. Anthropometrische Daten der Gruppen

3.2.1. Alter, Körpergewicht, Körpergröße und Body-Mass-Index

Im Rahmen der sportmedizinischen Untersuchung erfolgte vor der Laufbandergometrie die Bewertung der anthropometrischen Daten aller eingeschlossenen Studienteilnehmer.

Anhand von Körpergewicht und Größe wurde der Body-Mass-Index (BMI) errechnet. Der BMI setzt das Körpergewicht in Bezug zu einer fiktiven Körperoberfläche und ist Maß für den Ernährungszustand der untersuchten Person. Er wird aus folgender Formel berechnet:

- $BMI[\text{kg}/\text{m}^2] = \text{Körpergewicht}[\text{kg}] / \text{Körpergröße}[\text{m}]^2$

Die Messung des Körpergewichtes erfolgte auf einer kalibrierten Gewichtswaage in leichter Bekleidung ohne Schuhe.

Die Körpergröße wurde durch Ablesen des Wertes auf einem Maßband an der Wand erhoben.

3.3. Drop-Outs

Nach erfolgreicher Absolvierung der Eingangsuntersuchung und Zuteilung in Asthma- oder Kontrollgruppe, konnten 20 Personen das Ausdauertraining aufnehmen. In der Asthma-Gruppe erreichten neun von zehn Probanden den Endpunkt (post) und die Abschlussuntersuchungen in Sportmedizin und Pneumologie. Ein Proband musste wegen einer Verletzung das Ausdauertraining abbrechen. In der Kontrollgruppe ergaben sich im Verlauf bei zwei Probanden Abbruchkriterien. Die Daten folgender Probanden wurden wegen der im Folgenden aufgeführten Gründe nicht in die Auswertung eingeschlossen und wurden als Drop-Outs geführt:

- K9 *Trainingsabbruch wegen internistischer Erkrankung (Nephrolithiasis)*

- *K10 Trainingsabbruch wegen Nichterfüllung der Trainingsvorgaben über mindestens 14 Tage*
- *A10 Orthopädische Verletzung mit Sportverbot durch behandelnden Arzt*

3.4. Atemgasanalysen

Die Intervention dieser Studie, das Ausdauertraining, wurde als Dauerlauf einer vorgegebenen Zeitdauer durchgeführt. Die durchgeführte Untersuchungsmethodik sollte sich möglichst an der Interventionsmethodik orientieren.

Des Weiteren soll die Möglichkeiten einer Therapie von Asthma bronchiale durch ein aerobes Ausdauertraining evaluiert werden. Dafür ist ein direkter Bezug der Untersuchungsmethodik zu möglichen späteren therapeutischen Konzepten nötig. In dieser Studie wurde daher die Ergometrie auf dem Laufband gegenüber der Fahrradergometrie favorisiert. Ein Joggingprogramm als mögliche therapeutische Intervention ist zudem einer breiteren Bevölkerung zugänglich.

3.4.1. Spiroergometrisch ermittelte Messgrößen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit

Eine Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit zeigt sich in einer verbesserten Ökonomie in Herz-Kreislauf-Größen und Stoffwechselforgängen auf submaximalen Leistungsstufen. Kennzeichen dieser Ökonomisierung sind niedrige Werte der Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Laktatkonzentration an definierten vergleichbaren Leistungsstufen. Des Weiteren zeigt sich eine verbesserte endgradige Belastungsfähigkeit anhand von gesteigerter maximal möglicher Geschwindigkeit und maximaler Sauerstoffaufnahme.

Spiroergometrisch erfasst und beurteilt wurden daher die folgenden Messgrößen:

3.4.1.1. Herzfrequenz

Die Herzfrequenz gibt die Anzahl der Herzschläge pro Minute wieder und wird in der Einheit [1/min] angegeben.

Die Herzfrequenz ist daher ein relatives Maß für die aktuelle Aktivität des Herz-Kreislauf-Systems. In Ruhe ist die Herzfrequenz eine empfindliche Messgröße für Einflüsse des vegetativen Nervensystems. Sie unterliegt daher auch psychischen

Einflüssen und kann bei Nervosität deutlich ansteigen. In der Regel zeigt die Herzfrequenz bei sukzessiver Belastungssteigerung einen linearen Verlauf und nähert sich bei endgradiger Belastung ihrem Maximalwert. Durch Ausdauertraining lässt sich die Herzfrequenz in Ruhe senken (siehe 2.2.5 „Anpassungsvorgänge des Organismus auf Ausdauertraining“) wohingegen die maximale Herzfrequenz aufgrund der physiologischen Grenzen des Erregungsleitungssystem nicht trainierbar ist. Die maximale Herzfrequenz kann als ungefähres Maß für die Ausbelastung des Körpers herangezogen werden.

3.4.1.2. Maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$)

Für die Versorgung der beanspruchten Muskulatur mit Sauerstoff zur Energiegewinnung sind folgende Teilprozesse innerhalb des Herz-Kreislauf-Systems vonnöten:

- *Sauerstoffaufnahme aus der Atemluft durch Einatmung*
- *Gasaustausch in der Lunge durch Diffusion*
- *Aufnahme von Sauerstoff durch Hämoglobin der Erythrozyten*
- *Transport des Sauerstoffs über die Blutbahn zum Muskel*
- *Abgabe von Sauerstoff im bedürftigen Gewebe.*

Eine Messgröße, die alle diese Prozesse einbezieht, ist die maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$). Die $\dot{V}O_2(\max)$ gibt an, wie viele Milliliter Sauerstoff der Organismus unter Maximalleistung pro Minute verwerten kann. Sie errechnet sich als Produkt aus Herzminutenvolumen (HMV) und der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz ($avDO_2$):

- *Maximale Sauerstoffaufnahme $\dot{V}O_2(\max) = HMV [L/min] \times avDO_2$*

Die $avDO_2$ bezeichnet die Differenz des Sauerstoffgehalts zwischen arteriellem und venösem Blut. Sie ist daher ein Maß für die Sauerstoffausschöpfung des Blutes durch den Organismus und hängt von der Aufnahme- und der Abgabefähigkeit ab. Zusammen mit dem Herzminutenvolumen als Lieferkapazität lassen sich so Rückschlüsse auf die gesamte Sauerstoffversorgung ziehen. Somit wird nicht nur das Herz-Kreislauf-System, sondern auch das Atmungssystem einbezogen.

Die $\dot{V}O_2(\max)$ gilt international als zuverlässiges Maß für die maximale aerobe Leistungsfähigkeit. Sie repräsentiert die Obergrenze der Energieflussraten im Organismus und wird als „Bruttokriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit“ bezeichnet (Weineck, 2010, p. 62).

Allerdings ist die gemessene $\dot{V}O_2(\max)$ vom Grad der maximalen körperlichen Ausbelastung und somit auch von der Mitarbeit und Motivation des Probanden abhängig. Die maximale Sauerstoffaufnahme kann durch kontinuierliche Messung der Atemgase im Rahmen einer spiroergometrischen Untersuchung ermittelt werden.

Weiterhin kann die $\dot{V}O_2(\max)$ auch rechnerisch abgeschätzt werden: Diese Schätzung beruht auf der linearen Beziehung zwischen der Sauerstoffaufnahme und der erbrachten Leistung unter Annahme einer normwertigen Effizienz. Bei Ermittlung der maximalen Leistung kann die $\dot{V}O_2(\max)$ anhand von Vergleichswerten der Bevölkerung mit ausreichender Genauigkeit geschätzt werden (Francescato et al., 1995; Grant et al., 1995; Maritz et al., 2007).

Die $\dot{V}O_2(\max)$ kann als absoluter Wert [ml/min oder L/min] oder als relativer Wert in Bezug auf das Körpergewicht [ml/min/kg] angegeben werden. Um die $\dot{V}O_2(\max)$ und ihre Entwicklung zwischen Individuen (oder verschiedenen Gruppen wie in dieser Arbeit geschehen) vergleichen zu können, wird die Angabe der $\dot{V}O_2(\max)$ in Relation zum Körpergewicht favorisiert.

3.4.1.3. Individuelle anaerobe Schwelle (IAS)

Die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) wird empirisch auf einen Nettoanstieg der Laktatkonzentration um 1,5mmol/l oberhalb der Lactate threshold (LT) festgelegt (Coyle et al., 1983). Sie entspricht daher einem Belastungszustand, an dem der Körper bereits im anaeroben Bereich Energie nachliefert und es zu einem deutlichen Anstieg der Laktatkonzentration gekommen ist. Mit diesem Konzept ist eine gute Vergleichbarkeit unter verschiedenen Athleten erreichbar. Zur Einschätzung der Leistungsfähigkeit werden Messgrößen wie die Geschwindigkeit oder die Herzfrequenz an der IAS bestimmt. Dementsprechend können die Einheiten [1/min] für die Herzfrequenz oder [m/s] für die Geschwindigkeit sein.

Diese Methode ermöglicht laut Röcker signifikant höhere prognostische Wertigkeit zur Messung der Ausdauerleistungsfähigkeit als andere Schwellenkonzepte (Röcker, 2008).

Im Gegensatz zur $\dot{V}O_2(\max)$ stellt die Messung der IAS und die entsprechende Laufgeschwindigkeit laut Weineck et al. heute das verlässlichere Kriterium für die Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit dar (Weineck, 2010, p. 328). Des Weiteren ist die Bestimmung der IAS kein Maximalwert und daher unabhängig von Motivation und Ausbelastung des untersuchten Probanden.

3.4.1.4. Maximalwerte Laktat

Die Laktatkonzentration im Blut kann als indirektes Maß für die zusätzliche Energiegewinnung aus anaerober Glykolyse und damit als Maß für die Beanspruchung des Organismus gesehen werden (siehe Absatz 2.2.1 „Laktat, körperliche Belastung und Schwellenkonzepte“).

Unter sukzessiv ansteigender Belastung akkumuliert Laktat im Blut. Der Maximalwert wird unmittelbar nach Abbruch der spirometrischen Untersuchung bestimmt und liefert einen Aussagewert über die Ausbelastung.

Die Einheit der Laktatkonzentration beträgt [mmol/l].

3.4.1.5. Maximale Geschwindigkeit

Die maximale Geschwindigkeit ist ein Kriterium des aktuellen Trainingszustandes zum Zeitpunkt der Untersuchung. Durch antrainierte Ökonomie in den angesprochenen Funktionssystemen lässt sich eine gewisse Leistung mit niedrigerem Aufwand erbringen. Trainingseffekte ermöglichen dem Organismus sich unter identischen Bedingungen länger und intensiver zu belasten.

Im Rahmen der spirometrischen Untersuchung auf dem Laufband erfolgt keine kontinuierliche sondern eine stufenweise Erhöhung der Geschwindigkeit. Die Erhöhung der Geschwindigkeit zwischen zwei aufeinander folgenden Stufen wird als Inkrement bezeichnet. Eine Stufe gilt als absolviert, sofern die gesamte erforderliche Zeitdauer auf der Geschwindigkeit durchgehalten werden konnte. In vielen Fällen wird die Belastung vor Erreichen der im Protokoll geforderten Zeitdauer auf einer Stufe abgebrochen. Die Berechnung der maximalen Geschwindigkeit wird dann folgendermaßen anhand der gelaufenen Zeitdauer auf der höchsten Stufe errechnet:

- $p(\max) = p(\text{vorletzte Stufe}) + \text{Inkrement} \times (\text{Dauer auf Stufe} / \text{Stufendauer lt. Protokoll})$

Die maximale Geschwindigkeit wird als $p(\max)$ bezeichnet wobei „p“ für das englische Wort „pace“ steht. Anhand von zwei Beispielen soll die Berechnung verdeutlicht werden:

- Bsp.1: *Proband läuft 1:30min auf der maximalen Stufe 16km/h
Laufbandprotokoll: Inkrement: 2km/h, Stufendauer: 3min*

$$p(\max) = 14 \text{ km/h} + 2 \text{ km/h} \times (1:30 \text{ min} / 3:00 \text{ min}) = 15 \text{ km/h}$$

- Bsp.2: *Proband läuft 3:00min auf seiner maximalen Stufe 18km/h
Laufbankprotokoll: Inkrement 2km/h, Stufendauer 3min*

$$p(\max) = 16 \text{ km/h} + 2 \text{ km/h} \times (3:00 \text{ min} / 3:00 \text{ min}) = 18 \text{ km/h}$$

Die maximale Geschwindigkeit wird in [m/s] oder [km/h] angegeben.

3.4.1.6. Atemäquivalente (Eq) für O₂ und CO₂

Die Atemäquivalente beschreiben die erforderliche Ventilation zur Aufnahme eines Liters O₂ bzw. zur Abgabe eines Liters CO₂. Das Atemminutenvolumen ($\dot{V}'E$) wird ins Verhältnis zur Sauerstoffaufnahme bzw. Kohlendioxidabgabe gesetzt. Es ergeben sich je nach betrachtetem Gas folgende Gleichungen:

- $Eq_{O_2} = \text{Atemminutenvolumen } (\dot{V}'E) / \text{Sauerstoffaufnahme } (\dot{V}O_2)$
- $Eq_{CO_2} = \text{Atemminutenvolumen } (\dot{V}'E) / \text{Kohlendioxidabgabe } (\dot{V}CO_2)$

Je nach Belastungssituation kann sich das Eq in einem gewissen Umfang ändern. Rühle et al. beschreiben in „Praxisleitfaden Spiroergometrie“ das Verhalten der Atemäquivalente in Abhängigkeit zur Belastung (Rühle und Feldmeyer, 2008, p. 131): In Ruhe liegt eine ausgesprochen ineffektive Atmung mit hoher Totraumventilation vor, dementsprechend hoch ist dort das EqO₂. Unter sukzessiver Belastung kommt es zur Ökonomisierung der Atemarbeit und Minimierung des belüfteten Totraumes durch tiefere und niederfrequente Atmung. Bis zur anaeroben Schwelle (AT) fällt daher das EqO₂ kontinuierlich ab. An der AT ist das EqO₂ am niedrigsten, die Atmung ist hier also am effektivsten. Bei Belastungen oberhalb der AT kommt es durch vermehrt anaerobe Stoffwechsellage zu einer CO₂-vermittelten Hyperventilation. Das EqO₂ steigt wieder an. In Bezug auf die CO₂-Abatmung erfolgt ebenfalls ei-

ne Abnahme des Eq. Hier werden die niedrigsten Werte allerdings erst am respiratorischen Kompensationspunkt (RCP) erreicht. Der RCP markiert den Punkt einer starken säurevermittelten Hyperventilation bei Fortführung einer Belastungsintensität im anaeroben Bereich.

Rühle et al. geben für gesunde Probanden Normbereiche für EqO₂ (26,5 ± 4,4) und für den RCP (29,1 ± 4,3) an (Rühle und Feldmeyer, 2008).

Das Eq hat insofern leistungsdiagnostische Bedeutung, als die Effektivität der Atmung unter Belastung und zugleich anhand der Veränderungen der Atemgase leistungsdiagnostische Schwellenwerte wie AT und RCP ermittelt werden können. In dieser Untersuchung wurde das Verhalten der Eq für O₂ und CO₂ bei Belastungsabbruch erhoben und über drei Minuten nach Belastungsende fortgeführt.

Detaillierte Angaben zur Durchführung finden sich in Abschnitt 3.7 („Versuchsprotokoll und Versuchsablauf“), Erläuterungen zur Erfassung der Daten in Abschnitt 3.8 („Erhebung der gesammelten Daten“).

3.4.2. Subjektive Beurteilung der Ausbelastung mittels Borg-Skala

Die subjektive Ausbelastung ist ein Testziel der spiroergometrischen Untersuchung. Die spiroergometrische Untersuchung wird an diesem Punkt abgebrochen. Die Probanden signalisieren die kardiopulmonale Ausbelastung bei subjektiv empfundener Erschöpfung.

Das subjektive Ausmaß der Erschöpfung wurde in dieser Studie anhand der Borg-Skala erhoben. Dies ist eine numerische Skala die den Grad der Erschöpfung (RPE = „Rate of perceived exertion“) erfasst. Sie ist ein methodisch bewährtes Verfahren internationaler Anwendung zur Ermittlung des subjektiven Schweregrads einer körperlichen Anstrengung und gilt als zuverlässig und sehr aussagekräftig (Borg et al., 1987).

Von Löllgen und Ulmer wird sie im Deutschen Ärzteblatt gar als „Gespräch während der Ergometrie“ bezeichnet (Löllgen und Ulmer, 2004)

Die Borg-Skala enthält aufsteigende Zahlenwerte. Einigen ist eine wörtliche Beschreibung der Belastungsintensität zunehmenden Ausmaßes von „sehr, sehr leicht“ bis „zu stark, geht gar nicht mehr“ zugeordnet. Durch Angabe der Zahlenwerte können Probanden das subjektive Empfinden dem Untersucher mitteilen, die nebenstehenden Worte dienen der Orientierung. Der Patient wird dazu im Anschluss einer

Belastung aufgefordert, den Zahlenwert anzugeben, der seinem Anstrengungsempfinden am nächsten kommt.

Die in dieser Studie verwendete aktuellere Version beinhaltet Zahlenwerte von 6 bis 20. Im Gegensatz zur ursprünglich eingeführten Skala von 1 bis 20 konnte für diese ein linearer Zusammenhang zwischen dem angegebenen Anstrengungsempfinden und der absolvierten Leistung nachgewiesen werden (Löllgen, 2004).

Die Borg-Skala kann für die Erfassung der Belastung verschiedener Bereiche verwendet werden.

In dieser Studie wurde das Belastungsempfinden der spiroergometrischen Untersuchung für die Atmung, die beanspruchte Muskulatur, sowie der allgemeine körperliche Belastungsgrad erfasst. Zudem wurden die Probanden unabhängig von der Untersuchung nach ihrer Alltagsbelastung befragt.

Im Kapitel Ergebnisse bzw. im Anhang sind diese Bereiche als „Borg-Skala(ATmung)“, „Borg-Skala(Beine)“, „Borg-Skala(Allgemein)“ und „Borg-Skala(Alltag)“ aufgeführt.

Die verwendete Skala befindet sich ebenfalls im Anhang (Kapitel 8).

3.4.3. Objektive Beurteilung der Ausbelastung

Als objektive Ausbelastungskriterien wurden die maximale Herzfrequenz (HF(max)) und die maximale Laktatkonzentration (Lak(max)) herangezogen und bewertet.

3.5. Das durchgeführte Ausdauertraining

3.5.1. Zielsetzungen des Ausdauertrainings

In der Literatur finden sich besonders in physiotherapeutischen Lehrbüchern Empfehlungen für ein Intervalltraining bei Asthmatikern (Rost und Bjarnason-Wehrens, 2005). Allerdings ist ein Intervalltraining schwerer anzuleiten, zu überwachen und auszuwerten, so dass in dieser Studie die Dauerform als Trainingsmodalität favorisiert wurde. Die kontinuierliche Dauerform ist eine Trainingseinheit mit kontinuierlicher Geschwindigkeit ohne Unterbrechungen über eine gewisse Dauer.

Ziele des in dieser Studie angewandten Ausdauertrainings sind die Verbesserung der submaximalen aeroben Kapazität und der maximalen Sauerstoff-

aufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$) als Kenngröße des Gesamtsystems der Probanden.

Die Ausrichtung der Trainingspläne erfolgte für jeden Probanden individuell auf dem Boden der spiroergometrischen Ergebnisse mit dem Ziel der Verbesserung der submaximalen aeroben Kapazität und der $\dot{V}O_2(\max)$ zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (post) im Vergleich zur Erstuntersuchung (prä). Die Gesamtwirkung des Ausdauertrainings wurde auf den Zeitpunkt der Nachuntersuchung ausgerichtet.

3.5.2. Anwendung der Trainingsprinzipien auf das Patientengut

Nach dem Prinzip des trainingswirksamen Reizes müssen die Belastungskomponenten auf das primäre Trainingsziel abgestimmt werden.

Neumann et al. formulieren Grundsätze für die notwendige Trainingsgestaltung zur Verbesserung der submaximalen aeroben Kapazität sowie der $\dot{V}O_2(\max)$ (Neumann et al., 2013). An diesen, im Folgenden aufgeführten, Grundsätzen orientiert sich auch die Gestaltung des Ausdauertrainings innerhalb dieser Studie:

Das Anheben der submaximalen aeroben Kapazität ist Voraussetzung für eine Verbesserung der $\dot{V}O_2(\max)$. Die submaximale aerobe Leistungsfähigkeit steigt nur mit zunehmender Trainingsbelastung über einen längeren Zeitraum (Monate) an. Sie ist daher im Verlauf problemlos durch eine Verlängerung der Trainingsdistanzen trainierbar.

Verbesserungen der $\dot{V}O_2(\max)$ sind allerdings erst durch Trainingseinheiten anspruchsvoller Intensität zu erreichen: Studien zeigen, dass das Ausmaß der Verbesserung von der Intensität des absolvierten Trainingsprogrammes abhängt und dass hierbei Training submaximaler Intensität zu den größten Leistungszuwächsen der $\dot{V}O_2(\max)$ führt (Bacon et al., 2013; Gormley et al., 2008). Auch dieser Aspekt findet in der Trainingssteuerung dieser Studie Beachtung.

Laut Ausschlusskriterien (siehe Abschnitt 3.1.4) durften bei Studienteilnehmern in den letzten drei Monaten maximal drei Stunden Ausdauersport pro Woche betrieben werden. Somit ist das Teilnehmerkollektiv vom Leistungsstand eher als untrainiert einzustufen. Ein Trainingseffekt ist bei solch einem Kollektiv schon bei geringeren Intensitäten (siehe „Reizschwelligengesetz“ und „Prinzip der progressiven Belastung“ in Absatz 2.2.3 „Allgemeine Trainingsprinzipien“) auslösbar und der Trainingseffekt deutlich ausgeprägter als bei Individuen mit höherem Leistungsstand.

Das 12-wöchige Ausdauertraining wurde daher in drei Teile (Abschnitt 1-3) mit unterschiedlichem Belastungsgefüge unterteilt. Die ersten drei Wochen dienten dem Einstieg in das Training, die folgenden fünf Wochen dem Aufbau eines stabilen Leistungsstands und der Verbesserung der aeroben Kapazität und die letzten vier Wochen der Steigerung des Leistungsstandes mit Verbesserung der $\dot{V}O_2(\max)$ bis hin zur Nachuntersuchung. Intensität und Dauer wurden hierbei gemäß dem Prinzip des progressiven Reizes sukzessive von Abschnitt zu Abschnitt erhöht.

Der Einstieg (Abschnitt 1) in das Training wurde für die Probanden nicht zu hoch gewählt, um es besonders den Untrainierten nicht zu schwer zu machen. Zudem sollte eine Gewöhnung an diese Form der körperlichen Aktivität durch ein niedriges Eingangsniveau erleichtert werden. Von dieser Herangehensweise wurde auch eine bessere Motivation und dadurch hohe Compliance der Probanden zu den Trainingsvorgaben erhofft. In Abschnitt 2 zum Training der aeroben Leistungsfähigkeit erfolgte die Steigerung der Intensität im aeroben Bereich bei verlängerter Dauer über 5 Wochen. In Abschnitt 3 erfolgte die Erhöhung der Intensität über die aerobe Kapazität bei nochmaliger Steigerung des Trainingsumfangs zur Verbesserung der $\dot{V}O_2(\max)$. Nach dem Prinzip der optimalen Relation von Belastung und Erholung (siehe Absatz 2.2.3 „Allgemeine Trainingsprinzipien“) sollte kein Training an aufeinander folgenden

Tagen absolviert werden, um so eine Mindestdauer von 36 Stunden für die Erholungsphase zu gewährleisten.

3.5.3. Übertragung der Ergometrie-Ergebnisse auf das Ausdauertraining

In der Ergometrie werden die Herzfrequenz (HF) und die Laktatkonzentration unter steigender Belastung erfasst. Diese Messgrößen wurden vom verwendeten Auswertungsprogramm automatisch in ein Schaubild aufgetragen. Mit zunehmender Belastung kommt es zum Anstieg von HF und Laktatkonzentration. Zwischen Belastung des Organismus (ablesbar am Verlauf der Herzfrequenz und Laktatkonzentration) und der vorgegebenen Belastung durch das Laufband besteht eine direkte Korrelation.

Diese Korrelation lässt sich direkt für die Trainingsanweisung nutzen. Wichtigstes Bezugsmaß, das eine hohe Alltagstauglichkeit und einfache Handhabung in der Trainingssteuerung besitzt ist die HF. Anhand der HF kann ein Bezug zu Belastungsintensitäten hergestellt werden und die ermittelte Leistung in der Untersuchung auf das Ausdauertraining übertragen werden.

Voraussetzung für dieses Vorgehen ist, dass sich die Modalität, d.h. die Art der erbrachten Leistung in der Untersuchung mit der Trainingsmodalität deckt. Dies ist für die Laufbandergometrie und ein kontinuierliches Ausdauertraining mit Dauerperiode der Fall.

Bei der Erstuntersuchung wurde die maximale erreichte Geschwindigkeit erfasst und davon ausgehend verschiedene Intensitätsbereiche für die verschiedenen Trainingsabschnitte 1-3 formuliert. Die maximale Geschwindigkeit entspricht 100%, die verschiedenen Intensitätsbereiche leiten sich daraus ab.

3.5.4. Gestaltung der individuellen Trainingspläne

Der letzte Abschnitt der Ausdauertrainings sollte an der IAS erfolgen, um ausreichend hohe Reize zur Verbesserung der $\dot{V}O_2(\max)$ zu setzen. Es wurde daher eine Belastungsintensität gesucht, die bei allen Probanden an der IAS liegt. Dies war für 75% der maximal erreichten Laufgeschwindigkeit bei allen Probanden der Fall. Diese Intensität wurde als Endpunkt der Belastung innerhalb des Ausdauertrainings

formuliert (Trainingsabschnitt 3). Die Intensität der vorangehenden Abschnitte lag darunter und diente dem Aufbau und der Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit.

Für die verschiedenen Abschnitte ergaben sich folgende Belastungsgefüge:

Tabelle 5 – Vorgabe der Belastungsgefüge im Verlauf des Ausdauertrainings

Abschnitt	Intensität	Dauer	Umfang	Ziel
Woche 1-3	55%	35min (30-40min)	7 Einheiten (=3x pro Woche)	Aufbau der submaximalen aeroben Kapazität
Woche 4-8	65%	45min (40-50min)	15 Einheiten (=3x pro Woche)	Verbesserung der submaximalen aeroben Kapazität
Woche 9-12	75%	55min (50-60min)	12 Einheiten (3x pro Woche)	Verbesserung der $\dot{V}O_2(\max)$.

Auf diese Art und Weise ergab sich für jeden Probanden eine individuelle Vorgabe in Abhängigkeit seines Leistungsstandes an den definierten Intensitätsgraden. Die Herzfrequenz wurde hierzu an den Intensitätsstufen 55%, 65% und 75% der persönlichen maximalen Geschwindigkeit graphisch aus den Kurven von Herzfrequenz und Laufgeschwindigkeit abgelesen. Die retrospektive Beurteilung der Intensität des absolvierten Trainingsprogramms orientiert sich an der HF(IAS).

3.5.5. Anleitungen zum Ausdauertraining

Für eine möglichst genaue Einhaltung der Vorgaben wurde eine Trainingsanweisung in Papierform für jeden Probanden vorbereitet (siehe Anhang). Auf dieser Anweisung waren der Herzfrequenzbereich, die Dauer und die Häufigkeit des Trainings im aktuellen Trainingsabschnitt vorgegeben. Zur Orientierung und Planung der Einheit durch den Teilnehmer wurden auch Angaben über die ungefähre Laufdistanz und die 1000m-Zeit zusätzlich als Hinweis gemacht.

3.6. Der verwendete Fragebogen zur Lebensqualität

3.6.1. Auswahl des Fragebogens

Im Rahmen dieser Studie wurde ein Fragebogen gesucht, der eine aussagekräftige und reproduzierbare Erhebung der Lebensqualität bei den in die Studie eingeschlossenen Asthmatikern ermöglicht.

Dieser Fragebogen sollte verständlich aufgebaut und einfach zu bearbeiten sein. Eine valide deutschsprachige Version ist hierfür Grundvoraussetzung.

Bei Verlaufsbeobachtungen sollte daher darauf geachtet werden, dass die gleichen Zeiträume erfragt werden. Dies gilt insbesondere bei Interventionen, auf die sich bezogen werden soll, wie im Rahmen der hier durchgeführten Studie.

Der erfragte Zeitraum vor Beginn der Intervention muss daher der Dauer der Intervention von 3 Monaten (12 Wochen), entsprechen.

In der Literatur finden sich Angaben zu vielen verschiedenen Fragebögen zur Erhebung der Lebensqualität bei chronischen Atemwegserkrankungen mit unterschiedlichem Umfang und Ausmaß.

Jones et al. beschrieben 1992 die Notwendigkeit eines einheitlichen Fragebogens und entwickelten einen umfassender Fragebogen: den „St. George's Respiratory Questionnaire“ (Jones et al., 1992), ein mittlerweile häufig genutzter Fragebogen in der pneumologischen Rehabilitation und im Rahmen von Programmen zur Qualitätssicherung (siehe Anhang).

3.6.2. Aufbau, Struktur und Methodik des St. George's Respiratory Questionnaire

Der „St. George's Respiratory Questionnaire“ (SGRQ) ist ein international anerkannter und verwendeter Fragebogen, der erstellt wurde, um die Lebensqualität von Patienten mit chronisch-obstruktiven Atemwegserkrankungen wie Asthma bronchiale oder COPD zu erfassen. Durch Erfragung von verschiedenen Lebensbereichen und Situationen sollen alle durch die Krankheit verursachten Einschränkungen der Lebensqualität abgeschätzt werden. Mittlerweile existieren Versionen in über 20 Sprachen und zu verschiedenen Zeitspannen. Zudem kann mit verschiedenen Fassungen die subjektive Wahrnehmung des Patienten retrospektiv über einen, drei oder zwölf

Monate erfolgen. Ein Ausdauertraining über 12 Wochen war daher nicht nur aus leistungsdiagnostischer Hinsicht günstig, sondern auch für die Verwendung der Version des SGRQ für drei Monate, die genau dieser Zeitspanne entspricht.

Der SGRQ findet unter anderem auch Anwendung bei Befragungen von Patienten mit weiteren Krankheiten wie Bronchiektasien, Tuberkulose oder Sarkoidose.

Die Anwendung und Durchführung erfolgte nach den Anweisungen des Manuals der Herausgeber (Jones und Forde, 2009).

Aufbau und Struktur

Der Fragebogen erhebt die Ausprägung und Intensität der Erkrankung in den Bereichen „Symptome“, „Aktivitäten“ und „Auswirkungen“. Die Fragen sind jeweils einem dieser Bereiche zugeordnet und lassen bei der Auswertung Rückschlüsse auf das individuelle Ausmaß der Einschränkungen in jedem dieser Teilbereiche zu.

Folgende Beispiele verdeutlichen die Zuordnung der Fragen zu den drei Bereichen „Symptome“, „Aktivitäten“ und „Auswirkungen“:

- *„Während der letzten drei Monate hatte ich Anfälle von Keuchen oder Pfeifen beim Atemholen (Atemgeräusch)“ - Bereich Symptome*
- *„Mein Husten oder Atem stören meinen Schlaf“ - Bereich Aktivitäten*
- *„Meine Atemwegsbeschwerden sind lästig für meine Familie, meine Freunde oder Nachbarn“ - Bereich Auswirkungen*

Der strukturelle Aufbau des Fragebogens umfasst zwei große Abschnitte: Fragen zu den Symptomen („Symptom-Score“) werden im ersten, Fragen zu Aktivitäten („Activity-Score“) und Auswirkungen („Impact-Score“) im zweiten Abschnitt thematisiert.

Abschnitt 1 befasst sich mit der retrospektiven Wiedergabe der Symptome durch den Patienten über einen definierten Zeitraum. Der Patient wird zu Frequenz und Qualität der respiratorischen Symptome befragt. Da es sich hierbei um eine subjektive Einschätzung handelt, kann sicherlich keine exakte epidemiologische Aussage oder Anwendung für die Allgemeinbevölkerung getroffen werden, wohl aber über die persönliche Wahrnehmung der respiratorischen Einschränkungen der letzten Zeit. Aussagekräftiger ist aber der Vergleich unterschiedlicher Zeiträume desselben Patienten, da hierbei die persönlichen Vorraussetzungen unverändert bleiben.

Abschnitt 2 widmet sich den (Alltags-)Aktivitäten, die Atemnot hervorrufen oder die durch sie eingeschränkt werden, sowie den Auswirkungen für das psychosoziale Umfeld der Betroffenen durch die krankheitsbedingten Symptome. Die zielen auf Beeinträchtigungen des alltäglichen Lebens, um so das Ausmaß der Einschränkungen durch die Erkrankung im „Jetzt“ zu taxieren. Fragen zu den Aktivitäten umfassen die Beeinträchtigung bei verschiedenen körperlichen Tätigkeiten des Alltags. Hierzu zählen Aktivitäten im Haushalt ebenso wie Freizeitaktivitäten wie Sport oder Gartenarbeit. Die Auswirkungen der Krankheit und der Symptome für das psychosoziale Umfeld werden ebenfalls in Abschnitt 2 erfragt.

Validierungen der englischen Original-Version des Fragebogens konnten zeigen, dass einige dieser Fragen sowohl mit dem Spektrum des Bereichs „Symptome“ als auch dem Bereich „Aktivitäten“ korreliert. Des Weiteren umfassen Fragen des Bereichs „Auswirkungen“ emotionale Themenbereiche wie Ängstlichkeit und depressive Verstimmungen. Dieser Teil ist weit gefasst und auf viele unterschiedliche Aspekte, die das Leben mit respiratorischen Einschränkungen beinhalten kann, ausgerichtet.

Methodik und verwendete Fragetypen

Im Fragebogen kommen zwei verschiedene Fragetypen vor. Zum einen eine qualitative Fragestellung, bei der die Befragten der aufgeführten Aussage zustimmen oder diese ablehnen sollen:

Bsp. (1.1): Diese Fragen beziehen sich darauf, bei welchen Tätigkeiten Sie derzeit für gewöhnlich in Atemnot geraten.

Bitte geben Sie in jeder Zeile an, was auf Sie zutrifft, indem Sie „Richtig“ oder „Falsch“ ankreuzen

		<i>Richtig</i>	<i>Falsch</i>
a)	<i>Still sitzen oder ruhig liegen</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b)	<i>Sich waschen oder anziehen</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c)	<i>Im Haus herum gehen</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d)	<i>Draußen auf ebenen Wegen gehen</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e)	<i>Einen Treppenabsatz hinauf gehen</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f)	<i>Bergauf gehen</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g)	<i>Sport treiben</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bei der anderen, quantitativen Frageart kann der Befragte aus mehreren Antworten auswählen. Es findet sich eine graduelle Abstufung der Antworten entsprechend einem zu- oder abnehmenden Schweregrad der Erkrankung (Beispiel 2 und 3).

Bsp. (2.1): Diese Fragen beziehen sich auf die Häufigkeit ihrer Atemwegsbeschwerden in den vergangenen 3 Monaten.

Bitte kreuzen Sie für jede Frage nur ein Kästchen an.

Während der letzten 3 Monate habe ich gehustet:

- a) An den meisten Tagen der Woche*
- b) An mehreren Tagen die Woche*
- c) An ein paar Tagen im Monat*
- d) Nur bei Infektionen der Atemwege*
- e) Gar nicht*

Bsp. (3.1): Wie würden Sie ihre aktuellen Atembeschwerden beschreiben?

Bitte wählen Sie nur eine Antwort aus:

- Das wichtigste Problem, das ich habe*
- Bereitet mir ziemlich viele Problemen*
- Bereitet mir ein paar Probleme*
- Bereitet mir keine Probleme*

3.7. Versuchsprotokoll und Versuchsablauf

3.7.1. Leistungsdiagnostik mittels Laufbandergometrie

3.7.1.1. Verwendete Laufbänder

Die Laufbandergometrie fand in der Abteilung für rehabilitative und präventive Sportmedizin statt. Die Terminkoordination erfolgte in Absprache mit dem Sekretariat parallel zum Klinikalltag, so dass es nicht immer möglich war, den selben Raum für die Untersuchung zu nutzen. Die Messungen erfolgten daher zum Teil auf verschiedenen Laufbändern. Verwendete Laufbänder waren das hp cosmos der Firma HP Cosmos Medical GmbH (Traunstein, Deutschland) sowie das WOODWAY PPS der Firma Woodway Inc. (Waukesha, USA). Die Kalibrierung der Laufbänder an äußere Bedingungen unterscheidet sich um 0,2 % (hp cosmos 1,2%, WOODWAY 1%).

3.7.1.2. Laufband-Protokoll

Die Laufbandergometrie erfolgte für jeden Teilnehmer nach einem festen Laufbandprotokoll. Dieses ist in Tabelle 6 aufgeführt.

Für eine sichere Erfassung des Verlaufs von Laktatkonzentration und Herzfrequenz ist eine Mindestanzahl von 5 Belastungsstufen unabdingbar. Des Weiteren ist eine gewisse Belastungsdauer unterhalb der „lactate threshold“ (LT) nötig, um diese sicher bestimmen zu können. Da das Teilnehmerkollektiv tendenziell eher als untrainiert einzustufen ist, muss in einigen Fällen mit kurzer Gesamtbelastbarkeitsdauer und einem Anstieg der Laktatkonzentration bereits bei niedrigen Belastungsstufen gerechnet werden. Die Einstiegsstufe wurde daher bei 4km/h bestimmt, um diese Bedingungen erfüllen zu können.

Um die Ergebnisse der Ergometrie auch möglichst realitätsnah auf das Ausdauertraining übertragen zu können, wird die Laufleistung auf dem Ergometer gegenüber den Bedingungen außerhalb des Labors mit einer bestimmten Steigung kalibriert. Dies erfolgt um den im Labor nicht vorhandenen Luftwiderstand zu simulieren. Je nach verwendetem Laufband lag die Steigung bei 1% bzw. 1,2% (siehe Absatz 3.7.1.1 „Verwendete Laufbänder“).

Tabelle 6 - Verwendetes Laufbandprotokoll dieser Studie

Stufe	Geschwindigkeit [km/h]	Dauer [min]	Steigung [%]
1	0 (=Ruhemessung)	2	-
2	2	3	1 bzw. 1,2
3	4	3	1 bzw. 1,2
4	6	3	1 bzw. 1,2
5	8	3	1 bzw. 1,2
6	10	3	1 bzw. 1,2
7	12	3	1 bzw. 1,2
8	14	3	1 bzw. 1,2
...

Das Protokoll wurde bis zum Abbruch durch den Probanden wegen subjektiver Ausbelastung durchlaufen. In der späteren Auswertung wurden dann die verwendeten objektiven Ausbelastungswerte überprüft.

3.7.1.3. Kriterien für die kardiopulmonale Ausbelastung

Ziel der Spiroergometrie in der Leistungsdiagnostik ist möglichst die kardiopulmonale Ausbelastung um anhand der erreichten Maximalwerte Aussagen zum Trainingszustand und zur Trainingssteuerung ableiten zu können. Es lassen sich subjektive und objektive Kriterien formulieren. Zu den subjektiven Ausbelastungskriterien zählt das Gefühl der vollkommenen körperlichen Erschöpfung durch den Probanden, welches, bei Verbalisierung durch den Probanden, die Beendigung der Untersuchung nach sich zog. Der Grad der subjektiven Ausbelastung wurde mit der Borg-Skala erfasst. Die Probanden gaben hierzu den Grad der Erschöpfung für verschiedene Bereiche anhand einer Skala an (siehe Kapitel 3.4.2 „Subjektive Beurteilung der Ausbelastung mittels Borg-Skala“).

Aus den von de Marées formulierten objektiven Kriterien wurden in dieser Studie die maximale Herzfrequenz (HF(max)) und die maximale Laktatkonzentration (Lak(max)) bewertet (de Marées und Heck, 2003). Für das tendenziell untrainierte Kollektiv dieser Studie wurden die Grenzwerte auf das Erreichen einer maximalen Laktatkonzentration (Lak(max)) > 5,0 [mmol/l] oder einer maximalen Herzfrequenz (HF(max)) > 220-Lebensalter - 10% [1/min] festgelegt.

3.7.2. Spiroergometrie mittels „Breath-by-Breath-Analyse“

In der Spiroergometrie werden kontinuierlich die Gasfraktionen von O₂ und CO₂ in der Atemluft des Probanden über eine Maske gemessen. Die Messung wurde je nach Verfügbarkeit mit dem ZAN600 CPET-Messgerät der Firma ZAN Messgeräte GmbH (Oberthulba, Deutschland) oder dem Oxycon delta Jäger der Firma carefusion (San Diego, USA) durchgeführt. Bei beiden Geräten ist eine breath-by-breath-Analyse möglich, d.h. eine kontinuierliche Messung der Atemgase. Allerdings muss im System für die Protokollierung das Zeitintervall der Einzelmessungen auf möglichst geringe Werte eingestellt werden, um so eine annähernd kontinuierliche Datenausgabe zu erhalten. Es erfolgte keine kontinuierliche Messung während aller Belastungsstufen. Die Messungen wurden in Ruhe, d.h. vor Beginn der Laufbanduntersuchung, und zum Zeitpunkt des Belastungsabbruchs nach Anhalten des Laufbandes durchgeführt. Diese Nachbelastungsmethode wurde durchgeführt, da bei den Asthmatikern durch das kontinuierliche Tragen der Atemmaske das Auftreten von Dyspnoe und Einschränkungen der Atemwege befürchtet wurde.

3.7.3. Belastungs-Elektrokardiografie

Zur genauen Erfassung der Herzfrequenz zu definierten Zeitpunkten erfolgte die kontinuierliche Ableitung der elektrischen Herzaktivität durch Aufbringen von Elektroden auf die Hautoberfläche. Mit Klebepads wurden die Elektroden an definierten Stellen am Rumpf (Schulter- und Rückenbereich) der Probanden aufgebracht. Die elektrische Herzaktivität wird registriert, angezeigt und kann auf Befehl grafisch auf Papier aufgezeichnet werden. Es ist darauf zu achten, dass die Bestimmung der Herzfrequenz noch unter Belastung, und nicht erst in der Pause zwischen zwei Belastungsstufen erfolgt, um so der Belastung entsprechende Werte zu erhalten. Die Herzfrequenz wurde durch Interpretation des Elektrokardiogramms und Abmessung der aufgezeichneten Kurven mit Hilfe eines Referenzlineals bestimmt. Die Belastungs-Elektrokardiographie erfolgte mit dem Gerät Cardiosmart Marquette Hellige der deutschen Firma CAmед Medical Systems (Köln, Deutschland).

3.7.4. Kapilläre Blutentnahme zur Laktatbestimmung

Um Verfälschungen zu vermeiden soll die Laktatbestimmung immer mit arterialisier-tem Kapillarblut erfolgen und eine Schweißbeimengung vermieden werden (Röcker in: Dickhuth et al., 2010, p. 68). Die Blutproben wurden daher am Ohrläppchen, nach einmaligem Abwischen der Punktionsstelle durch einen Tupfer, mit Hilfe einer Glas- kapillare entnommen und der zeitlichen Reihenfolge nach, in unterschiedlich be- schrifften Behältern, bis zum Ende der Diagnostik aufbewahrt. Die Messung der Laktatkonzentration wurde nach Ende der Spiroergometrie im Labor durch photometrische Verfahren bestimmt.

3.7.5. Ablauf der Erhebung des St. George's Respiratoy Question-naire

Das Ausfüllen des Fragebogens erfolgte jeweils vor Absolvieren des Laktattests auf dem Laufband, um eine mögliche Beeinflussung bei der Beantwortung durch körper-liche Beeinträchtigung zu vermeiden. Auf ruhige Atmosphäre wurde geachtet.

3.7.6. Detaillierter Ablauf der durchgeführten Untersuchungen

Im Folgenden ist ein detaillierter Ablauf der für diese Studie durchgeführten Untersu- chungen in der Sportmedizin beschrieben. Diese erfolgten im Anschluss an die pneumologischen Eingangsuntersuchungen in der Abteilung für präventive und re- habilitative Sportmedizin des Universitätsklinikums Freiburg. Die Untersuchungen folgten alle demselben Ablaufplan und wurden vor Aufnahme des Ausdauertraining (prä) zur Evaluierung der Leistungsfähigkeit und Erstellung des Trainingsplanes und unmittelbar nach Absolvierung des Ausdauertrainings (post) zur Evaluierung der Trainingseffektes durchgeführt. **Abbildung 4** verdeutlicht dieses Schema.

Vor Erscheinen der Studien-Teilnehmer erfolgte die Kalibrierung der verwendeten Spirometrieeräte an die tagesaktuellen Umgebungsbedingungen (Raumtemperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit). Ebenfalls wurden vor Verwendung eine manuelle Vo- lumeneichung und eine automatische Gaskalibrierung der Geräte durchgeführt.

Zunächst wurde der SGRQ durch die Probanden, unter Anleitung, nach den Vorgaben der Autoren ausgefüllt. Die Probanden wurden dazu in ein leeres, ruhiges Zimmer begleitet, bei Fragen oder Unklarheiten wurde ihnen assistiert.

Der Fragebogen wurde mit einem Probanden-Aufkleber versehen und mit dem aktuellen Datum beschriftet.

Anschließend wurden die anthropometrischen Daten der Probanden bestimmt (Körpergewicht und Körpergröße). Hierzu wurden die Teilnehmer auf einer Waage leicht bekleidet und ohne Schuhe gewogen und die Körpergröße mit Maßstab gemessen.

Die Teilnehmer wurden nun in den Untersuchungsraum und auf das Laufband begleitet. Dort wurde ihnen die richtige Position auf dem Laufband erläutert und die Elektroden für die Elektrokardiographie auf den Rücken geklebt. Ein in diesem Ruhezustand abgeleitetes EKG wurde ausgedruckt.

Die Probanden erhielten eine ihrer Gesichtsform entsprechende Atemmaske. Der korrekte Sitz wurde durch manuellen Verschluss des Auslassstutzens und „Gegenpressen“ durch den Probanden geprüft. Bei Bedarf erfolgte ein Austausch der Maske. Die Atemgase in Ruhe wurden gemessen und die Tauglichkeit der auf dem Bildschirm aufgezeichneten Flusskurve überprüft. Von dieser Flusskurve erfolgte ein Ausdruck. Die Maske wurde in Griffnähe des Probanden gelagert, um im späteren Verlauf schnell darauf zugreifen zu können.

Den Probanden wurde nun der Ablauf des Laufband-Stufentests erläutert. Vor Start der ersten Stufe erfolgte die erste Blutentnahme am Ohrläppchen zur Bestimmung der Laktatkonzentration in Ruhe.

Die Ergometrie wurde sodann auf Stufe 1 (siehe Protokoll) gestartet. Nach Absolvierung einer Stufe über die vorgegebenen drei Minuten wurde zunächst der EKG-Ausdruck gestartet und erst danach das Laufband angehalten. Um eine vergleichbare Erholung zwischen den einzelnen Probanden zu garantieren, wurden mithilfe einer Stoppuhr 30 Sekunden als Pausenzeit abgemessen und eingehalten. Die kapilläre Blutentnahme am Ohrläppchen wurde jeweils in der Pause, zwischen zwei Stufen durchgeführt. Die gefüllten Glaskapillaren wurden in vorher beschrifteten Behältern aufbewahrt.

Der ausgedruckte EKG-Streifen wurde mit der Geschwindigkeit der absolvierten Stufe beschriftet. Nach Ablauf der Pausenzeit wurde das Laufband auf der nächsthöheren Stufe wieder gestartet.

Diese Vorgänge wurden durchgeführt, bis die Teilnehmer ihre Leistung an einem individuellen Zeitpunkt nicht mehr aufrecht halten konnten und ein vorher abgesprochenes Signal gaben. Daraufhin wurde ihnen bei noch laufendem Laufband die Maske angereicht, durch die sie nun bei maximaler Belastung atmeten. Es erfolgte wiederum ein EKG-Ausdruck zur Ermittlung der Herzfrequenz bei Abbruch und unmittelbar im Anschluss daran wurde das Laufband angehalten.

Die Messung der Atemgase bei Abbruch erfolgte über drei Minuten hinweg. Die aufgezeichnete Atemkurve der Spirometrie sowie ein Protokoll der Gesamtmessung wurden ausgedruckt, mit Probanden-Aufkleber versehen und mit aktuellem Datum beschriftet.

Nach Ablauf der drei Minuten wurden erneut ein EKG und eine Blutentnahme zur Ermittlung der Nachbelastungs-Werte durchgeführt.

Anhand der gesammelten ausgedruckten EKG-Ableitungen wurden mit einem EKG-Lineal für jede Stufe (inklusive Ruhe und Nachbelastung) die Herzfrequenzen abgelesen. Die Werte wurden handschriftlich in ein vorgefertigtes Protokollblatt übertragen.

Die nummerierten Blutproben wurden im Labor photometrisch ausgewertet und automatisch ausgedruckt. Die angegebenen Werte des Ausdrucks wurden neben den bereits notierten Herzfrequenz-Werten protokolliert.

Diese beiden Daten wurden nun unter den entsprechenden Probandeninformationen in die Datenbank des verwendeten Programmes „ergonizer“ (Ergonizer, Version 4.3.3, K. Röcker, Freiburg i.Br.) eingepflegt. Das Programm erstellt anhand dieser Eingaben automatisiert Laktat- und Herzfrequenzkurven. Weiterhin werden automatisch leistungsdiagnostisch relevante Werte, darunter u.a. die maximale Sauerstoffaufnahme und die IAS, errechnet.

Ablauf der Untersuchungen innerhalb der Studie

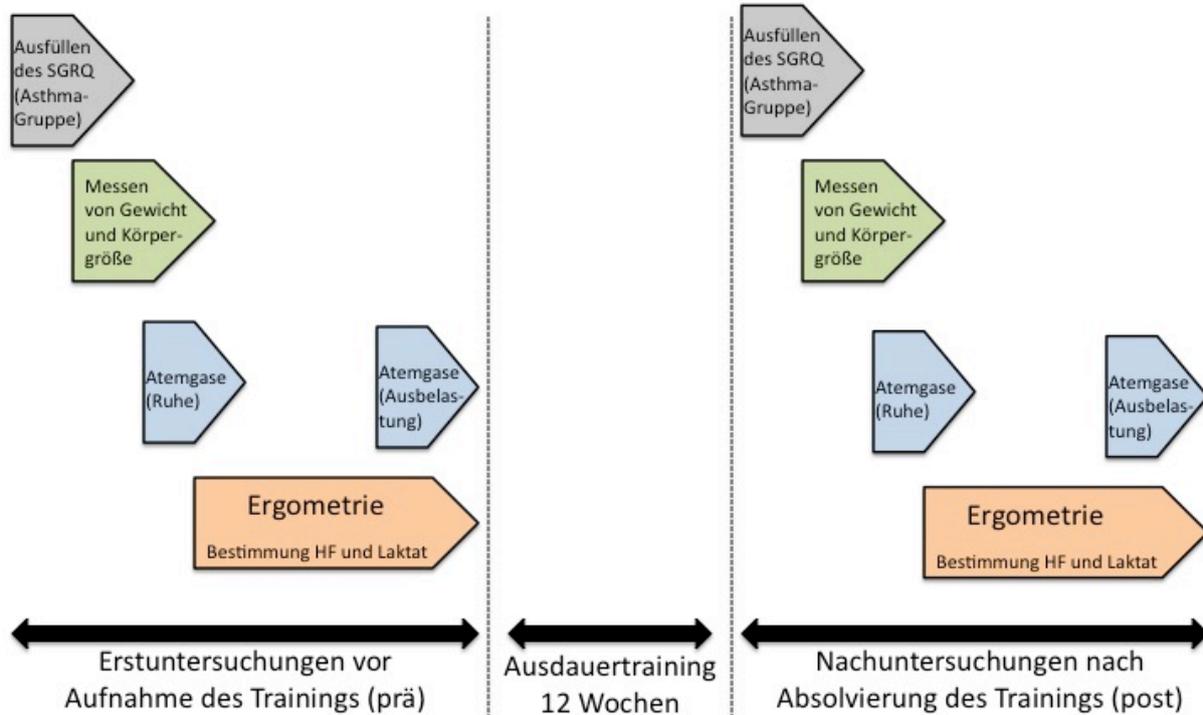


Abbildung 4 - Schema zum Ablaufplan der durchgeführten Untersuchungen

3.7.7. Steuerung und Überwachung des Ausdauertrainings mittels Herzfrequenzmessgerät

Um die Trainingsvorgaben möglichst exakt befolgen zu können, wurde jeder Teilnehmer der Studie nach der Leistungsdiagnostik mit einer Sportuhr mit Herzfrequenzmessfunktion vom Typ POLAR FT4M des finnischen Hersteller Polar Electro (Kempele 1977) und dem zugehörigen Brustgurt ausgestattet. Dazu erhielt jeder Proband eine Bedienungsanleitung für das Gerät, die detaillierte Anweisungen der vom Probanden durchzuführenden Schritte für die Aufzeichnung der Trainingseinheiten und ein Formular für die manuelle Übertragung der Werte zur Dokumentation.

Das Produkt FT4M ermöglicht die Anzeige und Aufzeichnung von Herzfrequenzdaten (aktueller Wert, Durchschnittswert und Maximalwert) im Rahmen eines Trainings dessen Dauer durch parallele Zeiterfassung ermöglicht wird. Das verwendete Modell kann Daten zu insgesamt zehn Trainingseinheiten im System abspeichern und auf Abruf wiedergeben.

Für eine exakte Befolgung von Trainingsvorgaben lässt sich beliebig ein Herzfrequenzbereich formulieren und auch während der Trainingszeit auf dem Display anzeigen. Sobald sich der Proband während des Trainings nicht mehr in der vorgegebenen Zone befindet, kann dies über akustische Töne signalisiert werden. Für eine optimale Einhaltung der Trainingssteuerung wurde diese akustische Rückmeldefunktion für das Training der Probanden aktiviert.

3.7.8. Individuelle Dokumentation des Ausdauertrainings

Um eine quantitative Bewertung des Trainings zu ermöglichen wurde ein Dokumentationsbogen (siehe Anhang) mit dem Programm „Excel © 2008 for Mac“ der Firma Microsoft (Redmond, USA) entworfen. In diesem Dokumentationsbogen waren die Wochentage als Zeilen vorgegeben. Die Spalten waren vom Teilnehmer auszufüllen und entsprechen den von der Sportuhr mit Herzfrequenzmessung erfassten Größen (siehe 3.7.9 Trainingsablauf und -dokumentation durch die Probanden). Die Anordnung der Messgrößen innerhalb der Trainingsdokumentation entspricht der Reihenfolge der Anzeige durch die Sportuhr nach Beendigung einer Trainingseinheit. Erfasst wurden Gesamtdauer der Einheit, Trainingsdauer in der vorgegebenen Herzfrequenzzone, durchschnittliche Herzfrequenz und maximale Herzfrequenz.

Zudem sollten die Teilnehmer die subjektive Belastung für jede Trainingseinheit auf einer Skala von 1-10 in einer Spalte angeben.

Anhand dieser Trainingsdokumentation konnten Aussagen zu Quantität und Qualität jeder einzelnen Trainingseinheit getroffen werden.

Für die teilnehmenden Asthma-Patienten waren zusätzliche Spalten angegeben, in denen diese den morgendlichen und abendlichen PEF-Wert (siehe 2.1.6 „Diagnostik des Asthma bronchiale“) notieren sollten. Zudem waren Spalten für Medikamentenbenutzung und Menge sowie für auftretende Symptome und deren Intensität vorgegeben.

3.7.9. Trainingsablauf und -dokumentation durch die Probanden

Bereits vor Aushändigung der Sportuhren an die Probanden wurden die persönlichen Informationen (Geburtsdatum, Geschlecht, Größe und Gewicht) ins Nutzerprofil im

System der Uhr eingegeben um Verwechslungen in der späteren Auswertung auszuschließen.

Direkt im Anschluss an die Leistungsdiagnostik, d.h. vor Beginn des Abschnitts 1 des Ausdauertrainings, wurden, den individuellen Trainingsvorgaben entsprechend, die Herzfrequenzbereiche vom Doktoranden manuell ins System der Uhr eingegeben. Die Probanden mussten nun lediglich zu Beginn und Ende der einzelnen Trainingseinheit per Knopfdruck die Aufzeichnung aktivieren bzw. beenden.

Im Anschluss an jede einzelne Trainingseinheit wurden von den Sportuhren automatisch Informationen zu Gesamtdauer, durchschnittlicher und maximale Herzfrequenz angezeigt. Diese Daten sollten von den Probanden in die hierfür vorbereitete Trainingsdokumentation übertragen werden.

Nach Beendigung eines Trainingsabschnittes erhielten die Probanden die neue Trainingsanweisung für den folgenden Trainingsabschnitt. Bei diesen Treffen wurden gleichzeitig die Trainingsdokumentation der absolvierten Abschnitte eingesammelt und die eingetragenen Werte stichprobenartig mit denen im Speichersystem der Uhr abgeglichen.

In Ausnahmefällen wurden die neuen Trainingsanweisungen den Teilnehmern elektronisch als „pdf-Datei“ per E-Mail zugesandt. Die Anleitung zur Einstellung der neuen Herzfrequenzbereiche ist in der zugesandten Bedienungsanleitung ebenfalls beschrieben, so dass diese bei Notwendigkeit durch den Nutzer erfolgen konnte.

Zu jedem Probanden wurde eine Akte angelegt, in der alle erhobenen Befunde zugeordnet und abgeheftet wurden.

3.8. Erhebung der gesammelten Daten

3.8.1. Datenerhebung der Laufbandergometrie

Das Programm „ergonizer“ ermöglicht über eine Exportfunktion die Übertragung aller eingegebenen und errechneten Werte in ein Datenverarbeitungsprogramm. Die Werte wurden in das Programm „Excel ® 2008 for Mac“, Version 12.0 (Microsoft, Redmond, USA) exportiert und dort verwaltet.

3.8.2. Datenerhebung der Spirometrie

Die Werte jeder spiroergometrischen Untersuchung lassen sich über die Datenbank der verwendeten Programme aufrufen. Für jede Untersuchung erfolgten ein Ausdruck eines Untersuchungsprotokolls, sowie ein Ausdruck der graphisch aufgezeichneten dynamischen Flusskurven der untersuchten Messgrößen während der Durchführung der Spiroergometrie. Die Werte wurden aus den Protokollen abgelesen und mit den dynamischen Flusskurven abgeglichen. Bei Wiederaufnahme der Messung unter maximaler Belastung erfolgt keine unmittelbar genaue Aufzeichnung, so dass eine gewisse Zeitspanne verging, bis sich ein harmonischer Verlauf einstellt. Bei der graphischen Bestimmung der Maximalwerte ($\dot{V}O_2(\max)$) wurden die abfallenden Kurven zurückverfolgt, ihr Verlauf interpoliert und dadurch bis zum ersten Zeitpunkt der ersten Messung fortgeführt. Daraus wurde der potentielle Wert zum Zeitpunkt der Messaufnahme bestimmt.

Die Atemäquivalente zeigen nach Belastung einen ausgeprägt schwankenden Verlauf, der sich nach gewisser Zeit wieder einem Wert annähert. Bei der Nachbelastungsmessung sind daher keine punktuellen Werte zu erfassen. Dennoch lässt sich ein minimalster Wert bestimmen. Dieser Minimalwert wurde abgelesen und mit den Protokollen abgeglichen.

Die so erhobenen Werte wurden tabellarisch ins Datenverarbeitungsprogramm Excel ® 2008 for Mac, Version 12.0 (Microsoft, Redmond, USA) eingegeben.

3.8.3. Datenerhebung des SGRQ

Die Datenerhebung des SGRQ richtet sich nach den Vorgaben aus dem St. George's Respiratory Questionnaire Manual, das von den Urheber des Fragebogens

herausgegeben wurde (Jones und Forde, 2009). Für die Auswertung des Fragebogens ist jeder Antwortmöglichkeit ein bestimmter Wert zugeordnet. Dieser kann von 0 bis 100 reichen und korreliert positiv mit der Schwere der Erkrankung. Antworten, die für einen hohen Krankheitswert stehen, haben einen hohen Zahlenwert, Antworten, die auf eine geringe Beeinflussung durch die Erkrankung schließen lassen, ist ein niedriger Wert zugeordnet. Die zugeordneten Werte entstammen den bisherigen empirischen Erhebungen des SGRQ. Bei quantitativen Fragen ist der Wert für die Verneinung der Aussage 0, bei Zustimmung entsprechend dem Inhalt und dem sich daraus ergebenden Krankheitswert positiv (siehe Beispiel 1.2):

Bsp. (1.2): Diese Fragen beziehen sich darauf, bei welchen Tätigkeiten Sie derzeit für gewöhnlich in Atemnot geraten.

Bitte geben Sie in jeder Zeile an, was auf Sie zutrifft, indem Sie „Richtig“ oder „Falsch“ ankreuzen

	<u>Wert</u>
a) Still sitzen oder ruhig liegen	90,6
b) Sich waschen oder anziehen	82,8
c) Im Haus herum gehen	80,8
d) Draußen auf ebenen Wegen gehen	81,4
e) Einen Treppenabsatz hinauf gehen	76,1
f) Bergauf gehen	75,1
g) Sport treiben	72,1

Bei qualitativen Fragen finden sich steigenden Werte für positive Antworten. Wird eine Aussage bzw. die Auftretenshäufigkeit oder das Vorhandensein verneint, so ist der Wert auch bei qualitativen Fragen 0 (siehe Bsp. 2.2 und 3.2).

Bsp. (2.1): Diese Fragen beziehen sich auf die Häufigkeit ihrer Atemwegsbeschwerden in den vergangenen 3 Monaten.

Bitte kreuzen Sie für jede Frage nur ein Kästchen an.

Während der letzten 3 Monate habe ich gehustet:

a) An den meisten Tagen der Woche	80,6
b) An mehreren Tagen die Woche	63,2
c) An ein paar Tagen im Monat	29,3
d) Nur bei Infektionen der Atemwege	28,1
e) Gar nicht	0,0

Bsp. (3.1): Wie würden Sie ihre aktuellen Atembeschwerden beschreiben?

Bitte wählen Sie nur eine Antwort aus:

<i>Das wichtigste Problem, das ich habe</i>	83,2
<i>Bereitet mir ziemlich viele Problemen</i>	82,5

<i>Bereitet mir ein paar Probleme</i>	34,6
<i>Bereitet mir keine Probleme</i>	0,0

Für jeden Bereich und für das Gesamtergebnis ergibt sich ein maximal zu erreichender Wert. Der Maximalwert entspräche dem durch den Fragebogen erhobenen schlechtmöglichen Gesundheitszustand.

Maximalwerte pro Fragebogen:

- *Bereich „Symptome“* 662,5
- *Bereich „Aktivitäten“* 1209,1
- *Bereich „Auswirkungen“* 2117,8
- *Gesamtsumme* 3998,4

Von den Autoren wird eine Excel-Datei als „Excel based scoring calculator“ zur Auswertung zur Verfügung gestellt. Das Tabellenblatt enthält vorgefertigt Eintragungsmöglichkeiten für jede im Fragebogen vorhandene Ankreuzmöglichkeit. Die Zustimmung oder die Ablehnung zu jedem Teilaspekt der Fragen wird manuell entsprechend der Antwort in die vorgesehene Spalte eingetragen. Mit dem Excel-Programm werden die Daten der drei Teilbereiche Symptome, Aktivität, Einschränkungen sowie ein Gesamtwert für jeden Patient automatisch berechnet. Das Ergebnis wird dabei jeweils auf die maximal mögliche Gesamtzahl bezogen und in Prozent (%) angegeben. 100 Prozent repräsentieren hierbei den maximal möglichen Krankheitswert, 0 den bestmöglichen Gesundheitswert.

Bei der Auswertung des Fragebogens werden folgende drei Bereiche einzeln ausgewertet:

- *Symptome* *betrifft die Auftretenshäufigkeit, den Schweregrad und die Auswirkungen von respiratorischen Beschwerden*
- *Aktivitäten* *betrifft die Aktivitäten, die Atembeschwerden verursachen oder dadurch eingeschränkt werden*
- *Auswirkungen* *bezieht sich auf Aspekte der Symptome, die das soziale und psychische Umfeld des Patienten beeinflussen.*

Anschließend wird die Gesamtsumme aus den Ergebnissen der Einzelbereiche gebildet. Durch dieses Gesamtergebnis kann ein Rückschluss auf den ganzheitlichen Gesundheitsstatus des Patienten gezogen werden. Dieser Gesamtscore wird in Prozent (%) angegeben, wobei ein Wert von 100 den schlechtmöglichsten und ein Wert von 0 den bestmöglichen Gesundheitszustand repräsentiert.

3.8.4. Datenerhebung der Trainingsdokumentation

Die von den Teilnehmern geführten Trainingsprotokolle wurden manuell ins Programm „Excel ® 2008 for Mac“, Version 12.0 (Microsoft, Redmond, USA) eingegeben. Stichprobenartig wurden die eingetragenen Werte mit den Angaben im Speichersystem der Sportuhren abgeglichen. Abweichungen konnten dabei nicht festgestellt werden.

3.9. Statistische Auswertungen

3.9.1. Datenverarbeitung

Alle erhobenen Daten lagen nach Proband und Gruppenzugehörigkeit aufgeführt in verschiedenen Excel-Arbeitsmappen vor und standen zur statistischen Auswertung zur Verfügung. Die Einzelwerte und die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen von Asthma bronchiale und Kontrollgruppe wurden gruppenspezifisch von Excel in das Statistikprogramm „jump Version 11.0.0“ der Firma SAS Institute (Cary, USA) übertragen und anschließend damit statistisch ausgewertet.

3.9.2. Zielsetzungen der statistischen Auswertung

Nach den Hypothesen dieser Studie sollten zunächst für Asthma- und Kontrollgruppe getrennt, d.h. gruppenspezifisch die Auswirkungen des Ausdauertrainings analysiert werden. Anschließend sollte geprüft werden, ob sich die Veränderung der erhobenen Werte von T0 zu T1 zwischen den beiden Gruppen signifikant unterscheidet, um so eine Aussage über mögliche Unterschiede zwischen beiden Gruppen treffen zu können.

Ein Vergleich des durchgeführten Trainingsumfangs beider Gruppen sollte in diesem Zusammenhang ebenfalls erfolgen, um etwaige Unterschiede aufzuzeigen.

Innerhalb der Asthma-Gruppe sollten des Weiteren potentielle Auswirkungen der Intervention Ausdauertraining auf die (durch den SGRQ) erhobene Lebensqualität untersucht werden. Es sollte geprüft werden, ob sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Scores der Symptomwahrnehmung zu Beginn und nach Absolvierung des Ausdauertrainings nachweisen lässt.

Gleiches sollte auch für die weiteren Aspekte des SGRQ analysiert werden.

3.9.3. Angewandte statistische Verfahren

Zur Überprüfung der aufgestellten Hypothesen wurden Signifikanztests verwendet. Diese Signifikanztests ermitteln die Wahrscheinlichkeit, mit der das gefundene empirische Ergebnis sowie Ergebnisse, die noch extremer sind als das gefundene Ergebnis, auftreten können, wenn die Populationsverhältnisse der Nullhypothese entsprechen. Diese Wahrscheinlichkeit wird auch als Irrtumswahrscheinlichkeit bezeichnet

(also die Wahrscheinlichkeit, die zum Irrtum führte, wenn die H_0 fälschlicherweise zugunsten von H_1 verworfen würde). Ist die Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als $\alpha\%$, ist das Stichprobenergebnis statistisch signifikant, wobei α das Signifikanzniveau kennzeichnet, für das per Konvention die Werte 5% bzw. 1 % festgelegt sind.

Als statistisch signifikant gilt ein Signifikanzwert von $p < 0,05$, als statistisch hochsignifikant ein $p < 0,01$ (Bortz & Döring, 2006, p.494).

Zur Überprüfung der gruppenspezifischen Auswirkungen des Ausdauertrainings wird der t-test für Beobachtungspaare verwendet, sofern die Differenzwerte der Beobachtungspaare normalverteilt sind (Bortz & Schuster, 2010, p.125).

Für den Vergleich beider Gruppen hinsichtlich der Veränderungen der erhobenen Werte wurde der t-test für unabhängige Stichproben angewendet, sofern das untersuchte Merkmal in beiden Populationen normalverteilt ist (Bortz & Schuster, 2010, p121).

Entsprechend wurde für die Normalverteilung folgende Hypothese aufgestellt:

- *Hypothese (1): Die erhobenen Daten stammen aus der Normalverteilung*

Hypothese (1) wurde mit dem Shapiro-Wilk-W-Test geprüft. Der Shapiro-Wilk-W-Test zeichnet sich durch eine hohe Teststärke, auch bei geringer Fallzahl aus (Janssen & Laatz, 2007).

Das Kriterium eine Normalverteilung für die Grundgesamtheiten anzunehmen, wurde bei einem $p > 0,05$ festgelegt.

Zwar reagiert sowohl der t-Test für Beobachtungspaare als auch der t-test für unabhängige Stichproben relativ robust gegenüber Voraussetzungsverletzungen (Bortz & Schuster, 2010, p.122), gleichwohl sollten t-Tests dann nicht eingesetzt werden, wenn – insbesondere bei kleineren Stichprobenumfängen – die jeweiligen Voraussetzungen (hier: Normalverteilung) nicht erfüllt sind (Bortz & Schuster, 2010, p.130).

Vor diesem Hintergrund wurde für diese Studie im Falle des Nichtvorliegens einer Normalverteilung, d.h. bei Ablehnung der Hypothese (1), auf die nicht-parametrischen Testverfahren Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test (bei Beobachtungspaaren) oder Wilcoxon/Kruskal-Wallis-Rangsummen-Test (bei unabhängigen Stich-

progen) ausgewichen, sobald sich für eine Stichprobe einer untersuchten Messgrößen eine Abweichung von der Normalverteilung ergab.

Zusammenfassend ergeben sich somit für die statistischen Verfahren folgende beiden Szenarien:

- 1) *Hypothese (1) wird durch das Testverfahren bestätigt: „ $p > 0,05$ “*
- 1a) *Die Prüfung auf signifikante Veränderungen des Mittelwerts innerhalb einer Gruppe im zeitlichen Verlauf (d.h. bei abhängigen Paardifferenzen) erfolgte mittels t-Test für Beobachtungspaare.*
- 1b) *Die Prüfung auf signifikante Unterschiede der Mittelwerte zwischen beiden Gruppen (d.h. Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben) erfolgte mittels t-Test für unabhängige Stichproben.*
- 2) *Hypothese (1) wird abgelehnt: „ $p < 0,05$ “ (d.h. keine Normalverteilung)*
- 2a) *Die Prüfung auf signifikante Veränderung des Mittelwerts innerhalb einer Gruppe im zeitlichen Verlauf wurde mit dem nichtparametrischen Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt. Dieser Test ist ein nichtparametrischer Test für abhängige Gruppen zur Überprüfung, ob die zentrale Tendenz zweier verbundener Stichproben signifikant unterschiedlich ist*
- 2b) *Die Prüfung auf signifikante Unterschiede der Mittelwerte zwischen beiden Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben) erfolgte mit dem Wilcoxon/Kruskal-Wallis-Rangsummen-Test*

Die Stärke und Richtung des Zusammenhangs zwischen zwei verschiedenen Messgrößen (z.B. der Veränderung der körperlichen Leistungsfähigkeit und der erhobenen Lebensqualität) wird mit dem Korrelationskoeffizienten quantifiziert (Bortz und Döring, 2006, p. 506).

Dieser wird mit „ r “ bezeichnet und liegt stets in den Grenzen von $-1 \leq r \leq +1$.

Bei $r = +1$ wird von einem perfekt positiven, bei $r = -1$ von einem perfekt negativen Zusammenhang gesprochen. Ist $r = 0$ besteht kein linearer Zusammenhang (Bortz & Schuster, 2010, p. 157).

In der vorliegenden werden Korrelationen nach Pearson zwischen verschiedenen Messgrößen der Leistungsdiagnostik und den verschiedenen Teilbereichen sowie dem Gesamtwert im SGRQ berechnet.

Der jeweils errechnete Korrelationskoeffizient „ r “ kann nach Zöfel wie folgt interpretiert werden (Zöfel, 2003, p. 151):

- $|r| < 0,2$ *sehr geringe Korrelation*
- $0,2 < |r| \leq 0,5$ *geringe Korrelation*
- $0,5 < |r| \leq 0,7$ *mittlere Korrelation*
- $0,7 < |r| \leq 0,9$ *hohe Korrelation*
- $0,9 < |r| \leq 1$ *sehr hohe Korrelation*

Für die aufgestellten Hypothesen der vorliegenden Studie wird der 1-Stichprobentest, $H_0: \rho = 0$, verwendet (Bortz und Schuster, 2010, p. 126). Als statistisch signifikant gilt ein $p < 0,05$.

3.9.4. Veranschaulichung der Auswertungen

Eine komplette Auflistung der statistischen Analyse aller erfassten Messgrößen findet sich im Anhang unter Punkt 8.7 („Detaillierte Darstellung der statistischen Auswertung“).

Dort werden für jede Variable die statistischen Charakteristika des Shapiro-Wilk-Tests (Test auf Normalverteilung), Mittelwert, Standardabweichung und das obere und untere 95%-Konfidenzintervall aufgeführt.

Im Kapitel 1 („Ergebnisse“) informieren Schaubilder und Tabellen über die statistisch ermittelten Ergebnisse.

3.9.4.1. Tabellen zur Veranschaulichung der Ergebnisse

Im Kapitel „Ergebnisse“ werden für jede untersuchte Variable Tabellen zu den paarweisen Analysen und zu den Mittelwertvergleichen aufgeführt. Bei der paarweisen Analyse wird der Verlauf einer Messgröße innerhalb einer Gruppe betrachtet. Die Gruppen sind daher getrennt in Zeilen untereinander angeordnet. Beim Mittelwertvergleich (auch Zwischengruppenvergleich genannt) werden Mittelwerte einer Messgrößen oder auch Veränderungen (im Verlauf von „prä“ nach „post“) zwischen beiden Gruppen verglichen. Daher stehen beide Gruppen in diesen Tabellen in einer Zeile

zum Vergleich nebeneinander. Hinter dem Mittelwert wird die Standardabweichung (SD) angegeben.

Jede Tabelle gibt in der ersten Spalte „Normalverteilung“ für die untersuchte Variable die Verteilung der Daten an: „NV“ steht für „Normalverteilung“, „kNV“ für „keine Normalverteilung“. Das verwendete statistische Verfahren zur Ermittlung von statistisch signifikanten Unterschieden richtet sich nach diesem Charakteristikum (siehe 3.9.3 „Verwendete statistische Verfahren“).

Bei Normalverteilung sind die Mittelwerte (inklusive SD), andernfalls die Mediane der Messgrößen in den Tabellen angegeben. Ist für eine Variable das Kriterium „Normalverteilung“ nicht gegeben, so ist ebenfalls für den zu vergleichenden Wert (bei der paarweisen Analyse der Vergleich im zeitlichen Verlauf, bei der Zwischengruppenanalyse die zu vergleichende Gruppe) der Median angegeben.

3.9.4.2. Abbildungen zur Veranschaulichung der Ergebnisse

4. Im Kapitel 1 („

Ergebnisse“) werden anhand von Abbildungen die Resultate ausgewählter Variablen veranschaulicht, im Kapitel 6 („Diskussion“) unterstützen Abbildungen die Interpretation einiger Ergebnisse.

In Absatz 5.2, 5.4, 5.6 und 6.3 sind in den Abbildungen sogenannte „Box-Whisker-Plots“ (deutsch: Kastendiagramme) dargestellt. Mit Hilfe der Plots werden fünf wichtige Verteilungspunkte einer Variablen gemeinsam in einer graphischen Darstellung wiedergegeben. Die untere und die obere Begrenzung der Box werden vom 25%-Quartil (unteres Quartil) und dem 75%-Quartil (oberes Quartil) gebildet. Die Quartile teilen die Stichprobe in zwei Teile. Für das 25%-Quartil gilt, dass 25% der Stichprobe unterhalb, und 75% oberhalb der eingezeichneten Linie liegen. Die Ausdehnung der Box umfasst demnach 50% der Werte.

Innerhalb der Box liegt als waagrechte Linie der Median. Der Median teilt die Stichprobe ebenfalls in zwei Hälften, allerdings liegt die Grenze bei genau 50%. Bei einer geringen Stichprobengröße und insbesondere bei nicht normalverteilten Werten gilt der Median als das statistisch zuverlässigere Maß.

Die Begrenzungen, welche jeweils über bzw. unter die Box hinausgehen und mit vertikalen Markierungen gewisse Grenzwerte aufzeigen, werden Whisker genannt. Sie

zeigen den höchsten (oben) bzw. den niedrigsten (unten) Wert an, der noch innerhalb der Norm liegt.

Weiterhin sind im Absatz 5.3 Werte anhand von Balkendiagrammen abgebildet. Dabei symbolisiert die Höhe des Balkens das Ausmaß des Wertes der entsprechenden Variablen. Nebeneinander abgebildete Balken sind anhand ihrer Höhe einfach miteinander zu vergleichen.

Eine weitere graphische Darstellungsform findet sich ebenfalls im Kapitel zu den Ergebnissen und der Diskussion: Hier informieren Abbildungen über Korrelationen (auch „bivariate Analysen“ genannt). Sie veranschaulichen anhand einer Geraden den Zusammenhang zweier Messgrößen zueinander. Die Steigung der Geraden entspricht dem Korrelationskoeffizienten „ r “. Je steiler die Steigung, desto größer der Zusammenhang (bzw. die Korrelation).

Da der größtmögliche Korrelationskoeffizient $|r| = 1$ ist, beträgt die Steigung maximal +1 bzw. -1.

Weiterhin findet sich auf diesen Abbildungen ein farblich unterlegter Bereich der die so genannte „Normalellipse“ darstellt. Dies ist derjenige Bereich, der 95% aller Wertepaare mit einschließt und damit als Grenze für Werte anzusehen ist, die das Kriterium der Korrelation noch erfüllen.

5. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der statistischen Analyse dargestellt. Im Abschnitt 5.1 sind die deskriptiven Variablen der untersuchten Probanden nach Gruppe aufgeführt. Abschnitt 5.2 beschäftigt sich mit den für diese Studie definierten Ausbelastungskriterien im Rahmen der spiroergometrischen Untersuchung. Die Ergebnisse der Trainingsdokumentation beider Gruppen stellt Abschnitt 5.3 dar. Die Resultate der errechneten leistungsdiagnostischen Messgrößen werden in Abschnitt 5.4, die der spiroergometrisch ermittelten Messgrößen in Abschnitt 5.5 thematisiert. Die Ergebnisse der mittels Fragebogen erhobenen Lebensqualität der Asthma-Gruppe zu den verschiedenen Zeitpunkten zeigt Abschnitt 5.6 auf. Abschnitt 5.7 gibt die Ergebnisse der Prüfung auf Korrelation zwischen den Bereichen der Lebensqualität und den leistungsdiagnostischen Variablen wieder.

Die Werte der statistischen Ergebnisse werden anhand von Tabellen dargestellt. Bei für diese Studie wesentlichen Ergebnissen sind Abbildungen zur Verdeutlichung eingefügt.

Jeweils am Ende der Abschnitte werden die Kernaussagen der Ergebnisse im Rahmen eines kurzen Fazits zusammengefasst.

5.1. Deskriptive Variablen

Unter den deskriptiven Variablen werden Alter, Größe, Gewicht und der daraus errechnete Body-Mass-Index (BMI) der Probanden beider Gruppen geführt. Des Weiteren soll hier auch der Ausgangszustand der Ausdauerleistungsfähigkeit beider Gruppen anhand der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme vor Aufnahme des Trainingsprogrammes ($\dot{V}O_2(\max)$ rel. prä) dargestellt werden.

Zunächst werden in Absatz 5.1.1 die anthropometrischen Merkmale beider Gruppen vor Aufnahme des Ausdauertrainings vorgestellt. Im Absatz 5.1.2 folgt die Darstellung der $\dot{V}O_2(\max)$ rel. prä. Der Vergleich dieser aufgeführten Werte zwischen beiden Gruppen und die Prüfung auf signifikante Unterschiede ist im Absatz 4.1.3 aufgeführt. Eintretene Veränderung im Verlauf des Ausdauertrainings (von Erst- zu Nachuntersuchung) sind in Absatz 5.1.3 wiedergegeben. Die Ergebnisse der Veränderungen der $\dot{V}O_2(\max)$ rel. finden sich dagegen im Abschnitt zu den leistungsdi-

gnostischen Variablen (siehe Abschnitt 5.4 „Ergebnisse der errechneten leistungsdiagnostischen“).

5.1.1. Anthropometrische Merkmale der Probanden bei Studienbeginn

Im Folgenden sind die Charakteristika zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung (prä) anhand der Mittelwerte beider Gruppen aufgeführt. Die Standardabweichung (SD) ist in Klammern hinter den Mittelwerten angegeben:

Die Patienten der Asthma-Gruppe sind zu Studienbeginn 24,0 ($\pm 2,8$) Jahre alt. Bei einem Durchschnittskörpergewicht von 70,2 kg ($\pm 13,3$) und einer Größe von 173,0 cm ($\pm 7,7$), beträgt der BMI 22,8 ($\pm 3,3$) kg/m². Die Probanden der Kontroll-Gruppe sind im Mittelwert 25,9 ($\pm 5,0$) Jahre alt und kommen bei durchschnittlich 68,9 ($\pm 12,0$) kg Körpergewicht und 174,5 ($\pm 7,0$) auf einen BMI von 22,5 ($\pm 2,8$) kg/m². Die Daten sind in Tabelle 7 nochmals übersichtlich aufgeführt.

5.1.2. Ausdauerleistungszustand beider Gruppen vor Aufnahme des Trainingsprogrammes

Die Ausdauerleistungsfähigkeit beider Gruppen vor Aufnahme des Trainingsprogrammes als „status quo“ soll hier aufgeführt werden. Die Asthma-Gruppe zeigt bei Aufnahme in diese Studie eine $\dot{V}O_2(\max)$ rel. von 41,44 ($\pm 7,25$) ml/min/kg. Die Untersuchungen der Kontroll-Gruppe ergeben Werte von 39,46 ($\pm 5,17$).

5.1.3. Werte von Asthma- und Kontroll-Gruppe im Vergleich

Die Gruppen wurden zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung miteinander verglichen und auf signifikante Unterschiede innerhalb der anthropometrischen Merkmale, sowie der $\dot{V}O_2(\max)$ rel. untersucht.

Tabelle 7 - Darstellung der anthropometrischen Merkmale sowie der $\dot{V}O_2(\max)$ rel. beider Gruppen zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung (prä)

	Ver- teilung	Mittelwert (\pm SD) Asthma	Mittelwert (\pm SD) Kontroll	Differenz (\pm Std.fehler)	Signifikanz (p-Wert)
Alter [Jahre]	NV	24,0 (\pm 2,8)	25,9 (\pm 5,0)	1,9 (\pm 1,9)	p=0,3386
Größe [cm]	NV	173,0 (\pm 7,7)	174,5 (\pm 7,1)	1,5 (\pm 3,6)	p=0,6826
Gewicht [kg]	NV	70,2 (\pm 13,3)	68,9 (\pm 12,0)	1,3 (\pm 6,1)	p=0,8375
BMI [kg/m^2]	NV	23,3 (\pm 3,3)	22,5 (\pm 2,8)	0,82 (\pm 1,5)	p=0,5876
$\dot{V}O_2(\max)$ rel. prä	NV	41,44 (\pm 7,25)	39,46 (\pm 5,17)	1,98 (\pm 3,0)	p=0,5240

Bei einem festgelegten Signifikanzniveau von $p < 0.05$ konnte weder in Alter, noch in Gewicht, Größe und BMI ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen festgestellt werden. Auch die Ausdauerleistungsfähigkeit vor Trainingsbeginn zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

5.1.4. Veränderung des BMI

Da sich der BMI aus Körpergröße und Gewicht errechnet und sich die Körpergröße innerhalb eines Interventionszeitraumes von 3 Monaten nicht ändert, werden Veränderungen des BMI nur durch Veränderung des Körpergewichtes hervorgerufen. In diesem Kapitel wird daher lediglich die Veränderung des BMI als international häufig verwendetes Maß für die Körperkomposition aufgeführt.

Tabelle 8 - Paarweise Analyse des BMI in [kg/m^2] im Verlauf nach Gruppen

	Ver- teilung	Mittelwert (\pm SD) prä	Mittelwert (\pm SD) post	Differenz (\pm SD)	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Asthma	NV	23,32 (\pm 3,25)	22,85 (\pm 2,80)	-0,47 (\pm 0,71)	-2,02	p=0,0812
Kontroll	NV	22,50 (\pm 2,69)	21,80 (\pm 2,97)	-0,70 (\pm 0,97)	-3,11	p=0,0891

Tabelle 9 - Vergleich der BMI-Veränderungen beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

	Ver- teilung	Mittelwert (\pm SD) Asthma	Mittelwert (\pm SD) Kontroll	Differenz (\pm Std.fehler)	Signifikanz (p-Wert)
Differenz	NV	-0,47 (\pm 0,71)	-0,70 (\pm 0,97)	0,23 (\pm 0,43)	p=0,5974

Beim Body-Mass-Index zeigt sich in den Paardifferenzen lediglich eine Tendenz zur Reduktion im Mittelwert von 0,47 (\pm 0,71) kg/m^2 in der Asthma-Gruppe, sowie um

0,70 ($\pm 0,97$) kg/m² in der Kontroll-Gruppe. Der Mittelwertvergleich zwischen beiden Gruppen erbrachte keine signifikanten Unterschiede.

5.1.5. Fazit zu den deskriptiven Variablen

Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Grundbedingungen und der Trainingszustand beider Gruppen vor Aufnahme des Trainingsprogramms nicht signifikant unterscheiden. Im Verlauf kann für beide Gruppen eine ähnlich ausgeprägte Tendenz zur Reduktion des BMI angenommen werden.

5.2. Ausbelastungskriterien

Dieser Abschnitt gibt die Ergebnisse der für die spiroergometrische Untersuchung formulierten Ausbelastungskriterien wieder. Es wird zwischen objektiven und subjektiven Kriterien unterschieden, deren Ergebnisse getrennt in den Absätzen 5.2.1 bzw. 5.2.3 aufgeführt sind.

5.2.1. Objektive Ausbelastungskriterien

Unter den objektiven Ausbelastungskriterien werden in dieser Studie die maximale Herzfrequenz und die maximale Laktatkonzentration geführt. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Variablen in den Kapiteln 4.2.1.1 für die maximale Herzfrequenz, bzw. 4.2.1.2 für die maximale Laktatkonzentration dargestellt.

5.2.1.1. Maximale Herzfrequenz (HF(max))

Tabelle 10 - Paarweise Analyse der HF(max) in [1/min] im Verlauf nach Gruppen

	<i>Ver- teilung</i>	<i>Mittelwert (±SD) prä</i>	<i>Mittelwert (±SD) post</i>	<i>Differenz (±SD)</i>	<i>Differenz relativ (%)</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
Asthma	NV	188 (±10)	192 (±7)	+4 (±12)	+2,18	p=0,3201
Kontroll	NV	187 (±6)	194 (±13)	+7 (±11)	+3,74	p=0,1126

Tabelle 11 - Vergleich der maximalen Herzfrequenz [1/min] bei der Erst- (HF(max) prä) und Nachuntersuchung (HF(max) post) (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

<i>unabhängig</i>	<i>Ver- teilung</i>	<i>Mittelwert (±SD) Asthma</i>	<i>Mittelwert (±SD) Kontroll</i>	<i>Differenz (±Std.fehler)</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
HF(max) prä	NV	188 (±10)	187 (±6)	-1 (±4)	p=0,7859
HF(max) post	NV	192 (±7)	194 (±13)	+2 (±5)	p=0,7350

Tabelle 12 - Vergleich der Veränderungen der HF(max) im Verlauf beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

	<i>Ver- teilung</i>	<i>Median Asthma</i>	<i>Median Kontroll</i>	<i>Differenz absolut</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
Differenz	kNV	0	+5	5	p=0,3853

Die maximale Herzfrequenz (HF(max)) zeigt innerhalb beider Gruppen keine signifikanten Veränderungen von Vor- zu Nachuntersuchung (Paarweise Analyse). Auch

zwischen beiden Gruppen unterscheiden sich diese erhobenen Veränderungen nicht signifikant. Vergleicht man die Werte der maximalen Herzfrequenz zu den verschiedenen Zeitpunkten zwischen den Gruppen, so zeigen sich ebenfalls keinerlei signifikante Unterschiede zwischen Asthma- und Kontroll-Gruppe.

5.2.1.2. Maximale Laktatkonzentration (Lak(max))

Tabelle 13 - Paarweise Analyse der Lak(max) in [mmol/l] im Verlauf nach Gruppen

	Ver- teilung	Mittelwert (±SD) prä	Mittelwert (±SD) post	Differenz (±SD)	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Asthma	NV	9,00 (±1,12)	8,84 (±2,24)	-0,16 (±2,04)	-1,78	p=0,8163
Kontroll	NV	8,44 (±2,62)	10,11 (±3,76)	+1,68 (±1,76)*	+19,91	p=0,0306

*statistisch signifikant für $p < 0,05$

Tabelle 14 - Vergleich der Veränderungen der Lak(max) im Verlauf beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

	Ver- teilung	Mittelwert (±SD) Asthma	Mittelwert (±SD) Kontroll	Differenz (±Std.fehler)	Signifikanz (p-Wert)
Differenz	NV	-0,16 (±2,04)	+1,68 (±1,76)	1,84 (±0,92)	p=0,0640

Tabelle 15 - Vergleich der Laktatkonzentrationen in [mmol/l] von Erst- (Lak(max) prä) und Nachuntersuchung (Lak(max) post) im Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben

	Ver- teilung	Mittelwert (±SD) Asthma	Mittelwert (±SD) Kontroll	Differenz (±Std.fehler)	Signifikanz (p-Wert)
Lak(max) prä	NV	9,00 (±1,12)	8,44 (±2,62)	0,57 (±1,00)	p=0,5834
Lak(max) post	NV	8,84 (±2,24)	10,11 (±3,76)	1,28 (±1,53)	p=0,4210

Bezüglich der maximalen Laktatkonzentrationen zeigen Asthma- und Kontroll-Gruppe unterschiedliche Ergebnisse. In der Paaranalyse zeigt sich bei der Asthma-Gruppe im Mittel eine minimale Verringerung der maximalen Laktatkonzentration von 0,16 (±2,04) in der Nachuntersuchung im Vergleich zur Erstuntersuchung. Allerdings ist dieser Unterschied statistisch nicht signifikant. Dem steht eine signifikante Zunahme von beinahe 20% innerhalb der Kontroll-Gruppe gegenüber. Die maximale Laktatkonzentration steigt hier um 1,68 (±1,76) von 8,44 (±2,62) mmol/l in der Erstuntersuchung auf 10,11 (±3,76) in der Nachuntersuchung. Allerdings kann weder im Zwischengruppenvergleich der Veränderungen noch bei den erhobenen Werten bei Erst- und Nachuntersuchung ein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

5.2.2. Fazit zu den objektiven Ausbelastungskriterien:

Für die zur Beurteilung der Ausbelastung herangezogenen Variablen (HF(max) und Lak(max)) konnten unterschiedliche Veränderungen erhoben werden. In Bezug auf die Herzfrequenz waren keine Veränderungen feststellbar. Allerdings wurden innerhalb der Kontroll-Gruppe bei der Nachuntersuchung signifikant höhere Laktatkonzentration erhoben als noch bei der Erstuntersuchung.

Da sich die Konzentrationen im Vergleich der Untersuchungszeitpunkte zwischen beiden Gruppen aber nicht signifikant unterscheiden, ist dennoch davon auszugehen, dass beide Gruppen die absolvierten Untersuchungen bis zu einem gleich stark ausgeprägten Belastungsgrad absolviert haben.

5.2.3. Subjektiver Belastungsgrad während der Laufbandergometrie anhand der Borg-Skala

In der Borg-Skala wird die subjektiv empfundene Belastungsintensität durch die absolvierte Untersuchung für den entsprechenden Probanden erhoben (Löllgen, 2004). Im Verlauf innerhalb einer Gruppe und im Gruppenvergleich kann eine Aussage zu Veränderungen und Unterschieden der empfundenen Belastung getroffen werden. Im folgenden Abschnitt sind exemplarisch die Ergebnisse des erfragten Bereiches „Atmung“ (Borg-Skala(Atmung)) aufgeführt. Die Ergebnisse zu den Bereichen „Beinmuskulatur“, „Allgemein“ und „Alltag“ finden sich im Anhang unter Punkt 8.

5.2.3.1. Subjektiver Belastungsgrad für die Atmung (Dyspnoe)

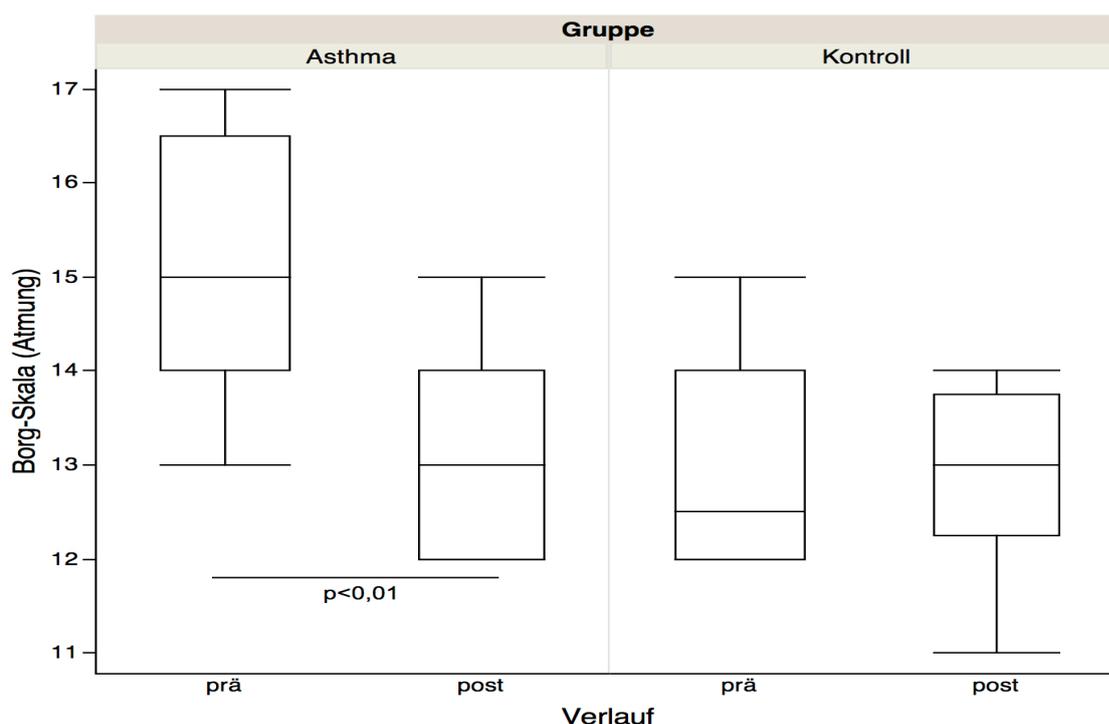


Abbildung 5 – Ergebnisse der Borg-Skala (Atmung) im Verlauf nach Gruppen aufgeteilt
Die Abbildung zeigt die Ergebnisse mithilfe von Boxplots. Anhand der Mediane wird der Unterschied der subjektiv empfundenen Belastung innerhalb der Asthma-Gruppe von Eingangs-(prä) zur Nachuntersuchung (post) deutlich. Zudem zeigt sich, dass besonders zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung eine intensivere Wahrnehmung seitens der Asthma-Gruppe besteht. Die Angaben zur Nachuntersuchung der Asthma-Gruppe befinden sich auf einem Level mit Erst- und Nachuntersuchung der Kontroll-Gruppe.

Tabelle 16 - Paarweise Analyse der Borg-Skala (Atmung) im Verlauf nach Gruppen

	Ver- teilung	Median prä	Median post	Differenz absolut	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Asthma	NV	15,0	13,0	-2,0**	-13,33	p=0,0050
Kontroll	kNV	12,5	13,0	+0,5	+4,00	p=0,9844

**statistisch hochsignifikant für $p < 0,01$

Tabelle 17 - Vergleich der Veränderungen der Borg-Skala (Atmung) im Verlauf (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

unabhängig	Ver- teilung	Mittelwert (±SD) Asthma	Mittelwert (±SD) Kontroll	Differenz (±Std.fehler)	Signifikanz (p-Wert)
Differenz	NV	-2,11 (±1,69)	-0,13 (±1,36)	1,98 (±0,74)**	p=0,0057

**statistisch hochsignifikant für $p < 0,01$

In der paarweisen Analyse zeigt sich innerhalb der Asthma-Gruppe eine statistisch signifikante Reduktion der empfundenen Belastung für das Atmungssystem durch die Laufbandergometrie am Untersuchungstermin nach Absolvierung des 12-wöchigen Ausdauertrainings im Vergleich zur Erstuntersuchung. Der empfundene Belastungsgrad sinkt innerhalb der Asthma-Gruppe um 2,0 Punkte. Dies entspricht einer Abnahme um 13,33%. Dagegen konnte innerhalb der Kontroll-Gruppe keine Veränderung der empfundenen Belastungsintensität zwischen beiden Untersuchungsterminen festgestellt werden: Bei $p=0,9844$ kann die Hypothese eines Unterschiedes zwischen beiden Terminen innerhalb der Kontroll-Gruppe verworfen werden.

Vergleicht man die Veränderungen, die bei beiden Gruppen im Verlauf eintreten, zeigte sich ein deutlicher Unterschied zwischen Asthma- und Kontroll-Gruppe: Während sich unter den Asthmatikern eine Reduktion erheben ließ, konnte bei den gesunden Probanden keine Veränderung festgestellt werden. Damit lassen sich bisher jedoch nur Aussagen zu Veränderungen im Verlauf treffen. Stellen sich bei einer Gruppe Veränderungen ein, bei der Vergleichsgruppe dagegen nicht, so liegt die Vermutung nahe, dass sich die angegebenen Werte beider Gruppen auch an einem bestimmten Zeitpunkt der Befragung unterscheiden. Um herauszufinden, an welchem (Untersuchungs-)Zeitpunkt die Unterschiede zwischen beiden Gruppen sich manifestieren, wurden, nicht wie eingangs die Veränderungen innerhalb einer Gruppe, sondern die Werte beider Gruppen an den jeweiligen Untersuchungsterminen (prä und post) miteinander verglichen.

Damit sollte geprüft werden, zu welchem Untersuchungszeitpunkt die Einstufung der Belastung von beiden Gruppen unterschiedlich wahrgenommen wurde.

Tabelle 18 - Vergleich der Borg-Skala (Atmung) prä beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

<i>unabhängig</i>	<i>Ver- teilung</i>	<i>Median Asthma</i>	<i>Median Kontroll</i>	<i>Differenz absolut</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
Differenz	kNV	15,0	12,5	2,5*	p=0,0122

statistisch signifikant für p<0,05

Tabelle 19 - Vergleich der Borg-Skala (Atmung) post beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

<i>unabhängig</i>	<i>Ver- teilung</i>	<i>Mittelwert (±SD) Asthma</i>	<i>Mittelwert (±SD) Kontroll</i>	<i>Differenz (±Std.fehler)</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
Differenz	NV	13,00 (±1,12)	12,88 (±0,99)	0,13 (±0,52)	p=0,8103

Hierbei zeigte sich, dass bei der Eingangsuntersuchung vor Aufnahme des Ausdauertrainings ein signifikanter Unterschied zwischen Asthma- und Kontroll-Gruppe bestand: Während die Befragung in der Asthma-Gruppe eine Intensität von 15,0 zeigte, gab die Kontroll-Gruppe lediglich eine Belastung von 12,5 in der Borg-Skala an. In der Nachuntersuchung konnte dagegen zwischen beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied mehr festgestellt werden.

Die Asthma-Gruppe hat im untrainierten Zustand die Belastung für das Atemsystem durch die Laufbanduntersuchung deutlich intensiver wahrgenommen als die Kontroll-Gruppe. Nach Absolvierung des Trainingsprogramms wird die Belastung von beiden Gruppen gleich intensiv wahrgenommen.

5.2.4. Fazit zu den subjektiven Ausbelastungskriterien:

Auffallend bei der Erhebung der Borg-Skala im Rahmen der spiroergometrischen Untersuchungen ist die sehr stark empfundene Belastungsintensität für die Atmung vor Aufnahme des Ausdauertrainings innerhalb der Asthma-Gruppe, die sich signifikant von der gesunden Kontroll-Gruppe unterscheidet. Nach Absolvierung des Ausdauertrainings kommt es zu einer signifikanten Abnahme der empfundenen Belastungsintensität bis auf ein Niveau in der Nachuntersuchung, das sich nicht mehr von

dem der Kontroll-Gruppe unterscheidet. Folgende Kernaussagen lassen sich anhand der Ergebnisse formulieren:

- *1) Die Asthmatiker dieser Studie stufen im untrainierten Zustand den Anstrengungsgrad für die Atmung durch körperliche Belastungen deutlich schwerwiegender ein als die gesunde Kontroll-Gruppe.*
- *2) Im Verlauf des Ausdauertrainings konnte innerhalb der Asthma-Gruppe dieser Studie eine signifikante Reduktion der empfundenen Belastungsintensität des Atmungssystems unter körperlicher Aktivität erfasst werden.*

Dieser ausgeprägte Unterschied ist allerdings nur in Bezug auf den Bereich „Atmung“ zu erheben.

In den anderen erfassten Bereichen „Beine“, „Allgemein“ und „Alltag“ konnte kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen und auch nicht im Verlauf innerhalb einer Gruppe nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse finden sich im Anhang im Abschnitt 8.6.2 („

Weitere Ergebnisse der subjektiven Ausbelastungskriterien“). Auffallend dabei ist, wenn auch nur auf sehr geringem Niveau, dass innerhalb der Asthma-Gruppe in allen drei Bereichen eine Tendenz zu einer vermindert wahrgenommenen Belastungsintensität zu erheben ist, wohingegen die Kontroll-Gruppe in allen Bereichen eher eine gesteigerte Belastungsintensität angibt.

5.3. Ergebnisse der Trainingsdokumentation

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Trainingsdokumentation vorgestellt. Die Trainingsdokumentation spiegelt die Quantität und die Qualität des absolvierten Trainingsprogramms wieder. Qualität und Quantität des Ausdauertrainings können durch die Belastungskomponenten Intensität, Dauer und Umfang (Anzahl der Einheiten) beschrieben werden. Die Qualität bemisst sich hierbei an der Intensität, die Quantität an Dauer und Umfang des Trainingsprogramms.

Die Intensität des Ausdauertrainings wurde über die Herzfrequenz gesteuert. Als Orientierung diente hierfür die Herzfrequenz an der individuellen anaeroben Schwelle (IAS). Daher wird in Absatz 5.3.2 zunächst die Herzfrequenz an der IAS zwischen beiden Gruppen verglichen. Im folgenden Absatz 5.3.3 erfolgt dann die Analyse des absolvierten Ausdauertrainings in Bezug auf Qualität und Quantität. Zunächst sollen jedoch (in Absatz 5.3.1) die Werte dieser Ergebnisse mit den Trainingsvorgaben abgeglichen werden, um eine Aussage über die Einhaltung dieser Vorgaben zu ermöglichen.

Auf dem zur Verfügung gestellten Dokumentationsbogen waren für die teilnehmenden Asthma-Patienten Spalten zur Erfassung von PEF-Werten, Medikamentengebrauch und auftretenden Symptomen vorgegeben. Leider wurden diese Felder nur von 3 Asthma-Patienten dokumentiert, so dass diese Bereiche nicht mit in die statistische Auswertung aufgenommen werden konnten.

5.3.1. Prüfung auf Einhaltung der Trainingsvorgaben

Die Trainingsvorgaben wurden mit den Werten der Trainingsdokumentation abgeglichen, um eine Aussage zur Einhaltung der Trainingsvorgaben durch die Probanden zu ermöglichen. Die verschiedenen Belastungskomponenten (Intensität, Dauer und Umfang) wurden für jeden Teilnehmer einzeln betrachtet und in Relation zur Vorgabe ausgewertet.

Die Relation von Vorgabewert zum tatsächlich absolvierten Wert lässt sich prozentual angeben und gibt den Grad der Übereinstimmung wieder. Aus diesem prozentualen Verhältnis der Einzelpersonen wurde anschließend der Mittelwert (bei Normalverteilung) bzw. der Median (bei keiner Normalverteilung) für die jeweilige Gruppe er-

rechnet. Tabelle 20 gibt diese Berechnungen wieder. Bei Mittelwerten sind in Klammern die Standardabweichungen mit angegeben.

Tabelle 20 – Einhaltung der Trainingsvorgaben beider Gruppen in Prozent

<i>Abschnitt</i>	<i>Komponente</i>	<i>Vorgabe</i>	<i>Übereinstimmung Asthma-Gruppe [%]</i>	<i>Übereinstimmung Kontroll-Gruppe [%]</i>
Woche 1-3	Dauer	35min	101,0 (±0,09)	106,7 (±0,19)
	Herzfrequenz	individuell	103,8 (±0,05)	100,9 (±0,07)
	Einheiten	7	100,0 (Median)	100,0 (Median)
Woche 4-8	Dauer	45min	103,0 (Median)	100,0 (±0,07)
	Herzfrequenz	individuell	98,7 (±0,04)	99,9 (±0,06)
	Einheiten	15	100,0 (Median)	100,0 (Median)
Woche 9-12	Dauer	55min	93,3 (±0,13)	93,8 (±0,07)
	Herzfrequenz	individuell	95,0 (±0,04)	93,7 (±0,05)
	Einheiten	12	89,6 (±0,22)	100,0 (Median)

Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Trainingsvorgaben mit dem tatsächlich absolvierten Training in allen Komponenten. Lediglich in Abschnitt 3 (Woche 9-12) liegt die Einhaltung bezüglich der Anzahl der absolvierten Einheiten bei der Asthma-Gruppe unter 90%.

5.3.2. Herzfrequenz an der individuellen anaeroben Schwelle (HF(IAS)) als Orientierung für die Trainingssteuerung

Die Herzfrequenz an der IAS (HF(IAS)) stellt ein wichtiges Bezugsmaß für die Trainingssteuerung dar. Die Beurteilung der Intensität des absolvierten Trainingsprogramms orientiert sich in dieser Studie an der HF(IAS). Zunächst wurde geprüft, ob sich die HF(IAS) vor Aufnahme des Ausdauertrainings zwischen beiden Gruppen signifikant unterscheidet.

Tabelle 21 - Vergleich der HF(IAS) beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

<i>unabhängig</i>	<i>Ver- teilung</i>	<i>Mittelwert (±SD) Asthma</i>	<i>Mittelwert (±SD) Kontroll</i>	<i>Differenz (±Std.fehler)</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
<i>Differenz</i>	NV	169 (±8)	171 (±9)	2 (±4)	p=0,6025

Für die HF(IAS) vor Aufnahme des Ausdauertrainings konnte zwischen beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. In der Beurteilung der absolvierten Trainingsintensität kann daher davon ausgegangen werden, dass die prozentualen Angaben, die die Relation zur HF(IAS) angeben, sich für beide betrachteten Gruppen nicht auf signifikant unterschiedliche Werte beziehen.

5.3.3. Analyse des absolvierten Ausdauertrainings

In diesem Abschnitt erfolgt die Analyse des absolvierten Ausdauertrainings in Bezug auf Qualität und Quantität. Die Trainings-Herzfrequenz und die Relation der Trainings-Herzfrequenz zur Herzfrequenz an der IAS geben die Intensität wieder. Dauer und Umfang lassen Rückschlüsse zur Quantität zu. Im Folgenden werden daher die Bereiche durchschnittliche Herzfrequenz (d.HF), Herzfrequenz in Relation zur Herzfrequenz an der IAS (d.HF/HF(IAS)), Dauer und Umfang getrennt vorgestellt.

5.3.3.1. Analyse der durchschnittlichen Herzfrequenz (d.HF) während des Ausdauertrainings

Tabelle 22 - Vergleich der d.HF beider Gruppen im Verlauf des Ausdauertrainings (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

	<i>Ver- teilung</i>	<i>Mittelwert (±SD) Asthma</i>	<i>Mittelwert (±SD) Kontroll</i>	<i>Differenz (±Std.fehler)</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
<i>d.HF (Wo.1-3)</i>	NV	152 (±11)	154 (±10)	1 (±5)	0,7820
<i>d.HF (Wo.4-8)</i>	NV	158 (±10)	161 (±10)	2 (±5)	0,6607
<i>d.HF (Wo.9-12)</i>	NV	162 (±9)	160 (±10)	1 (±5)	0,7866
<i>d.HF (gesamt)</i>	NV	158 (±10)	158 (±10)	1 (±5)	0,8727

In der Analyse der absolvierten durchschnittlichen Herzfrequenz während des Ausdauertrainings konnte in keinem Trainingsabschnitt und auch in der Gesamtbetrachtung kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen nachgewiesen werden. Der größte Unterschied der durchschnittlichen Herzfrequenz liegt in Trainingsab-

schnitt 2 (Woche 4-8) und ist mit 2 (± 5) Schlägen pro Minute als sehr gering einzustufen. Es kann angenommen werden, dass die angeleiteten Gruppen ihr Trainingsprogramm mit durchschnittlichen Herzfrequenzen absolvierten, die sich unter den Gruppen nicht signifikant voneinander unterscheiden.

5.3.3.2. Analyse der absolvierten Trainingsintensität anhand der durchschnittlichen Herzfrequenz (d.HF) in Relation zur Herzfrequenz an der individuellen anaeroben Schwelle (HF(IAS)).

Die Intensität des absolvierten Trainings wird durch die durchschnittliche Herzfrequenz in Relation zur Herzfrequenz an der IAS beschrieben und wird in Tabelle 23 in Prozent [%] angegeben.

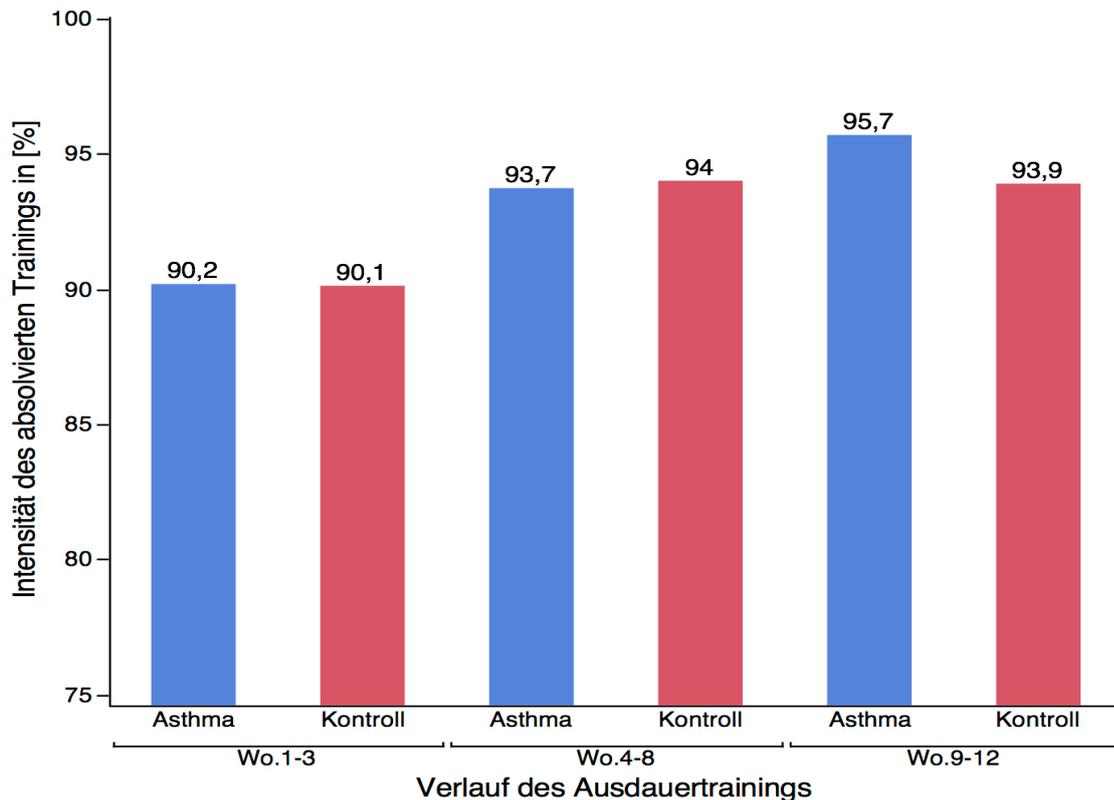


Abbildung 6 - Darstellung der Mittelwerte der absolvierten Trainingsintensität in Prozent [%]
Der Mittelwert der absolvierten Trainingsintensität wird mit einem Balkendiagramm dargestellt. Die Höhe der Balken repräsentiert den Grad der Intensität. Ein Wert von 100% entspricht der HF an der IAS. Für eine bessere Vergleichbarkeit sind die Werte beider Gruppen direkt nebeneinander angeordnet. Für keinen der drei Trainingsabschnitte konnte ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen nachgewiesen werden.

Tabelle 23 - Vergleich der Trainingsintensität (d.HF/HF(IAS)) beider Gruppen im Verlauf des Ausdauertrainings in Prozent [%] (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

	<i>Ver- teilung</i>	<i>Mittelwert (±SD) Asthma</i>	<i>Mittelwert (±SD) Kontroll</i>	<i>Differenz (±Std.fehler)</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
% (Wo.1-3)	NV	90,2 (±4,8)	90,1 (±7,4)	0,1 (±3,1)	0,9838
% (Wo.4-8)	NV	93,7 (±3,4)	94,0 (±6,7)	0,3 (±2,6)	0,9189
% (Wo.9-12)	NV	95,7 (±3,7)	93,9 (±7,5)	1,8 (±4,7)	0,5533
% (gesamt)	NV	93,2 (±3,7)	92,7 (±7,1)	0,5 (±2,8)	0,8535

Hinsichtlich des Mittelwerts der absolvierten Trainingsintensität finden sich weder in den verschiedenen Trainingsabschnitten noch in der Gesamtbetrachtung Hinweise auf signifikante Unterschiede zwischen Asthma- und Kontroll-Gruppe. Besonders in den ersten beiden Trainingsabschnitten zeigen Asthma- und Kontroll-Gruppe eine sehr große Übereinstimmung der Trainingsintensität. Es zeigt sich weiterhin, dass die Belastungsintensität innerhalb der Asthma-Gruppe im Verlauf des Ausdauertrainings von Abschnitt zu Abschnitt stetig zunimmt. In der Kontroll-Gruppe erfolgte nach deutlicher Steigerung der Intensität von Abschnitt 1 (90,1 (±7,4) zu Abschnitt 2 (94,0 (±6,7) keine weitere Steigerung. Die Intensität blieb nahezu unverändert bei rund 94%. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass beide Gruppen durch das angeleitete Ausdauertraining ein Training absolvierten, das sich in seiner Intensität zwischen beiden Gruppen nicht signifikant unterscheidet.

5.3.3.3. Absolvierte Trainingsdauer (durchschnittliche Dauer pro Einheit)

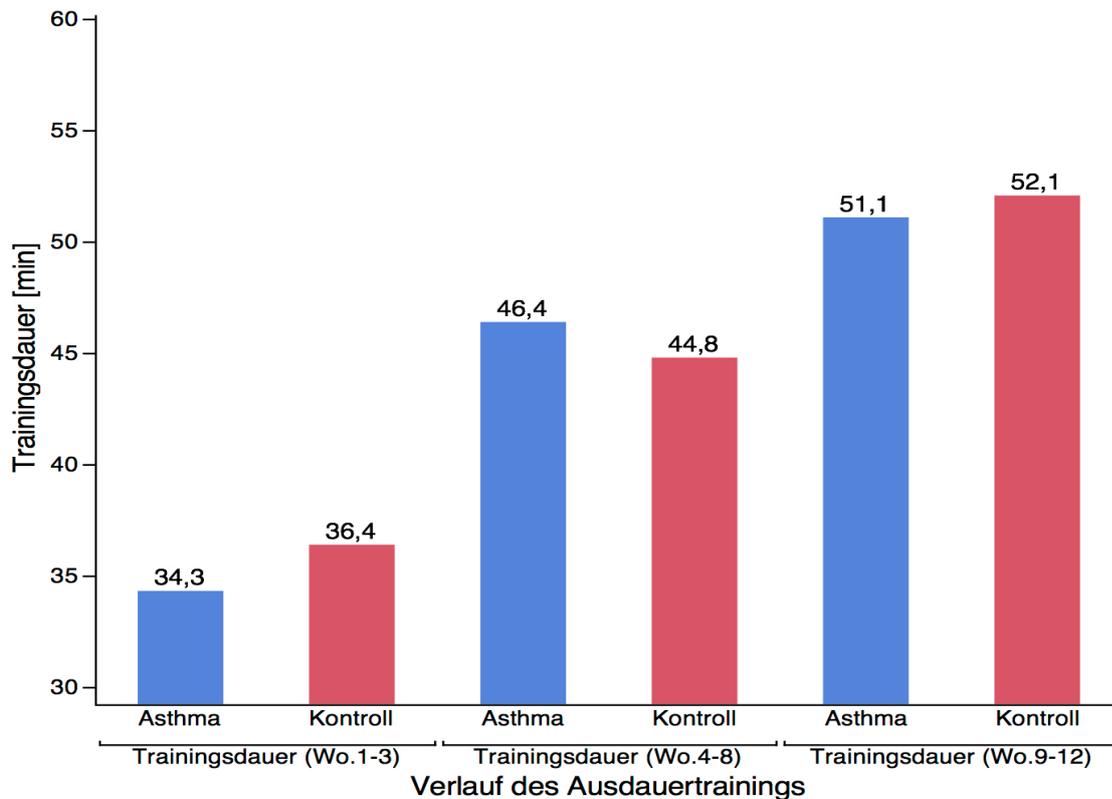


Abbildung 7 - Darstellung der absolvierten durchschnittlichen Trainingsdauer pro Einheit in Minuten [min]

Der Median der absolvierten durchschnittlichen Trainingsdauer wird mit einem Balkendiagramm dargestellt. Die Höhe der Balken repräsentiert die Dauer. Für eine bessere Vergleichbarkeit sind die Werte beider Gruppen direkt nebeneinander angeordnet. Für keinen der drei Trainingsabschnitte konnte ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen nachgewiesen werden.

Tabelle 24 - Vergleich der absolvierten durchschnittlichen Trainingsdauer (d.Dauer) beider Gruppen in Minuten [min] (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

<i>unabhängig</i>	<i>Verteilung</i>	<i>Mittelwert (±SD) Asthma</i>	<i>Mittelwert (±SD) Kontroll</i>	<i>Differenz (±Std.fehler)</i>	<i>Signifikanzniveau</i>
d.Dauer (Wo.1-3)	NV	35,6 (±3,0)	37,4 (±6,7)	1,8 (±2,6)	0,7727
d.Dauer (Wo.4-8)	kNV	46,4 (Median)	44,8 (Median)	1,6	0,8099
d.Dauer (Wo.9-12)	NV	51,3 (±7,6)	51,6 (±4,1)	0,3 (±2,9)	0,9268
d.Dauer (gesamt)	NV	43,7 (±4,3)	44,6 (±4,0)	0,9 (±2,0)	0,6704

Die Auswertung der durchschnittlichen Trainingsdauer zeigt, dass die Asthmagruppe im Durchschnitt 44 (±4) Minuten pro Trainingseinheit, die Kontroll-Gruppe 45 (±4) Minuten pro Einheiten trainierten. Der Unterschied zwischen diesen Gesamtwerten beider Gruppen liegt bei 0,88 (±2) Minuten. Dies entspricht rund 53 Sekunden und ist damit sehr gering. Innerhalb der verschiedenen Trainingsabschnitte und im Gesamt-

wert sind zwischen beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede vorhanden. Der größte Unterschied in der Trainingsdauer zwischen beiden Gruppen ist im Trainingsabschnitt 1 festzustellen und mit 2 (± 3) Minuten ebenfalls vernachlässigbar gering. Die beiden Gruppen haben in Bezug auf die durchschnittliche Dauer pro Trainingseinheit ein absolut vergleichbares Programm durchlaufen.

5.3.3.4. Absolvierter Trainingsumfang (Anzahl der Einheiten)

Der Umfang des Gesamttrainings ergibt sich aus der Anzahl der absolvierten Trainingseinheiten und verteilt sich auf die verschiedenen Trainingsabschnitte 1-3.

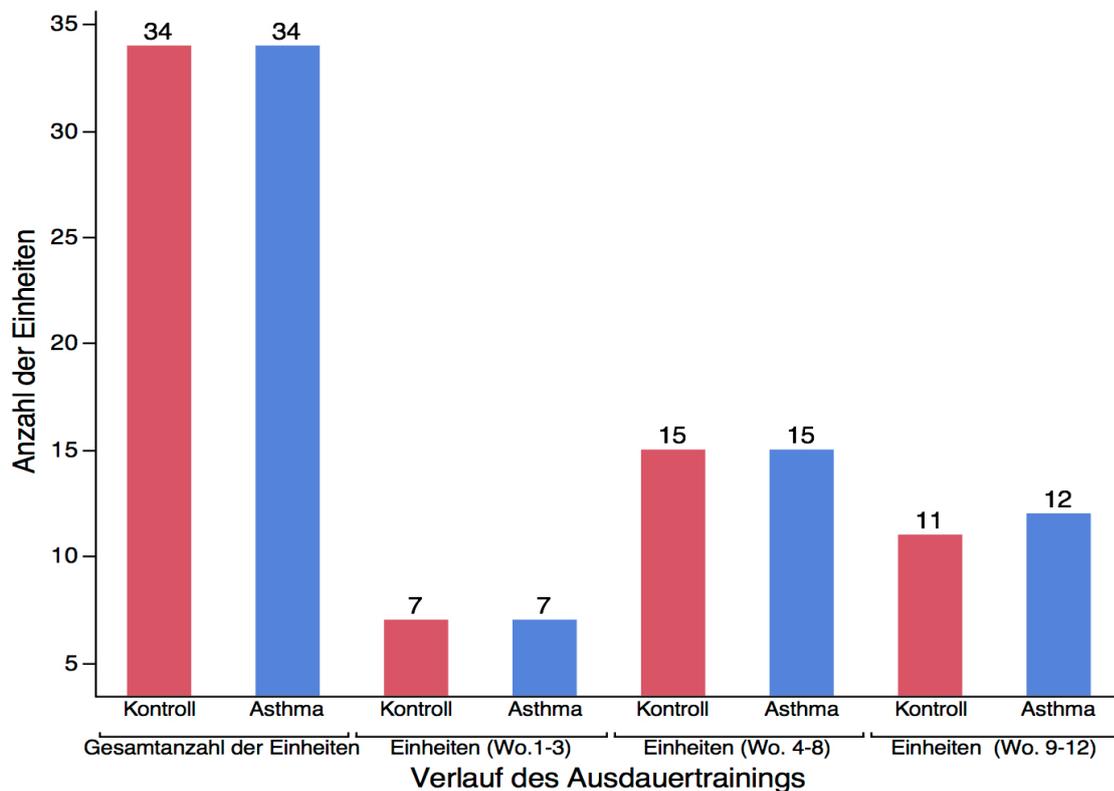


Abbildung 8 - Darstellung der pro Gruppe durchschnittlich absolvierten Einheiten

Die Höhe der Balken repräsentiert den Median der absolvierten Einheiten pro Trainingsabschnitt sowie die Gesamtanzahl nach Gruppen. Für eine bessere Vergleichbarkeit sind die Werte beider Gruppen direkt nebeneinander angeordnet. Weder für die verschiedenen Trainingsabschnitte noch für die Gesamtanzahl konnte ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen nachgewiesen werden.

Tabelle 25 - Vergleich der Anzahl der absolvierten Trainingseinheiten beider Gruppen im Verlauf des Ausdauertrainings (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

	<i>Ver- teilung</i>	<i>Median Asthma</i>	<i>Median Kontroll</i>	<i>Differenz absolut</i>	<i>Signifikanz p-Wert</i>
<i>Einheiten (Wo.1-3)</i>	kNV	7	7	0	0,9550
<i>Einheiten (Wo.4-8)</i>	kNV	15	15	0	0,3580
<i>Einheiten (Wo.9-12)</i>	kNV	12	11	1,0	0,2970
<i>Einheiten (gesamt)</i>	kNV	34	34	0	0,3794

Der Median der absolvierten Trainingseinheiten lag bei den Teilnehmern der Asthma- und auch Kontroll-Gruppe bei 34 Einheiten. Die größten Unterschiede zwischen beiden Gruppen bestehen im Abschnitt 3 (Wo. 9-12) mit einer Einheit.

Dennoch konnte bei der Anzahl der absolvierten Einheiten kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen festgestellt werden. Asthma- und Kontroll-Gruppe absolvierten in Bezug auf die Einheiten ein gleichwertiges Trainingsprogramm.

5.3.4. Fazit zu den Ergebnissen der Trainingsdokumentation:

Zunächst ist festzustellen, dass die Trainingsprotokolle in hohem Maße befolgt wurden. Die Analyse zeigt weiterhin, dass sich das absolvierte Trainingsprogramm in seinen verschiedenen Komponenten (Intensität, Dauer und Umfang) zwischen Asthma- und Kontroll-Gruppe nicht signifikant unterscheidet. Eine sehr hohe Übereinstimmung brachte die Auswertung der durchschnittlich absolvierten Trainingsdauer. Hier unterscheiden sich beide Gruppen im Gesamtdurchschnitt der Trainingsdauer bei 44 Minuten (Asthma-Gruppe) bzw. 45 Minuten (Kontroll-Gruppe) im Mittel um lediglich ca. 53 Sekunden. Auch in Bezug auf die Intensität kann das Ausdauertraining als gleichwertig angesehen werden: In Abschnitt 3 war der größte Unterschied zwischen beiden Gruppen zu erheben: Dieser lag mit 1,8% bei umgerechnet 3 Schlägen pro Minute und ist daher als gering einzustufen. Lediglich in der Anzahl der absolvierten Einheiten ergeben sich geringe Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Folgende Aussage lässt sich daher formulieren:

- 1) *Das von den Probanden beider Gruppen absolvierte Training konnte die Vorgaben in hohem Maße erfüllen.*

- *2) Das von beiden Gruppen absolvierte Ausdauertraining kann im Gruppenvergleich insgesamt als absolut gleichwertig angesehen werden.*

Diese Aussage ist in Hinblick auf hervorgerufene Veränderungen oder Verbesserungen durch das Ausdauertraining von großer Bedeutung. Aus dieser Erkenntnis kann folgende weitere Aussage als legitim angesehen werden:

- *3) Sollten sich zwischen beiden Gruppen Unterschiede im Ausmaß der Veränderung leistungsdiagnostischer Variablen ergeben, so sind diese nicht auf Unterschiede innerhalb des Trainingsprogramms zurückzuführen.*

5.4. Ergebnisse der errechneten leistungsdiagnostischen Messgrößen

In diesem Abschnitt werden Ergebnisse weiterer leistungsdiagnostischer Variablen vorgestellt. Zu diesen werden die Geschwindigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle sowie die errechnete maximale relative Sauerstoffaufnahme gezählt. Die Ergebnisse dieser Variablen werden getrennt in den folgenden Absätzen vorgestellt: Absatz 5.4.1 zeigt die Geschwindigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle ($p(\text{IAS})$). Die Ergebnisse der errechneten relativen maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V} \text{O}_2(\text{max}) \text{ rel.}$) werden in Absatz 5.4.2 dargestellt.

Die erhobenen Veränderungen lassen sich auf das Ausdauertraining zurückführen, da die beiden Untersuchungszeitpunkte unmittelbar vor Aufnahme (prä) bzw. direkt nach Beendigung des Trainingsprogramms (post) erfolgten.

Zur Ergänzung finden sich im Anhang die Ergebnisse weiterer Variablen (siehe Abschnitt 8.1).

5.4.1. Geschwindigkeit an der IAS

Im Rahmen der spiroergometrischen Untersuchung erfolgte die stufenweise Bestimmung der Laktatkonzentration. Aus der Beziehung von absolvierter Geschwindigkeit und ermittelten Laktatkonzentrationen wurde mithilfe von Programmen eine extrapolierte Kurve erstellt. Jeder Geschwindigkeit kann daher eine bestimmte Laktatkonzentration zugeordnet werden und umgekehrt. Die Geschwindigkeit an der IAS ($p(\text{IAS})$) wird aus dieser Beziehung errechnet.

Besonders für den Vergleich zwischen zwei durchgeführten Untersuchungen, sei es an verschiedenen Zeitpunkten für eine Person oder ein Vergleich zwischen zwei Personen zum gleichen Zeitpunkt, kann eine Aussage zu einer individuell möglichen Leistung (Geschwindigkeit) an einem definierten körperlichen Belastungsgrad (Laktatkonzentration) getroffen werden.

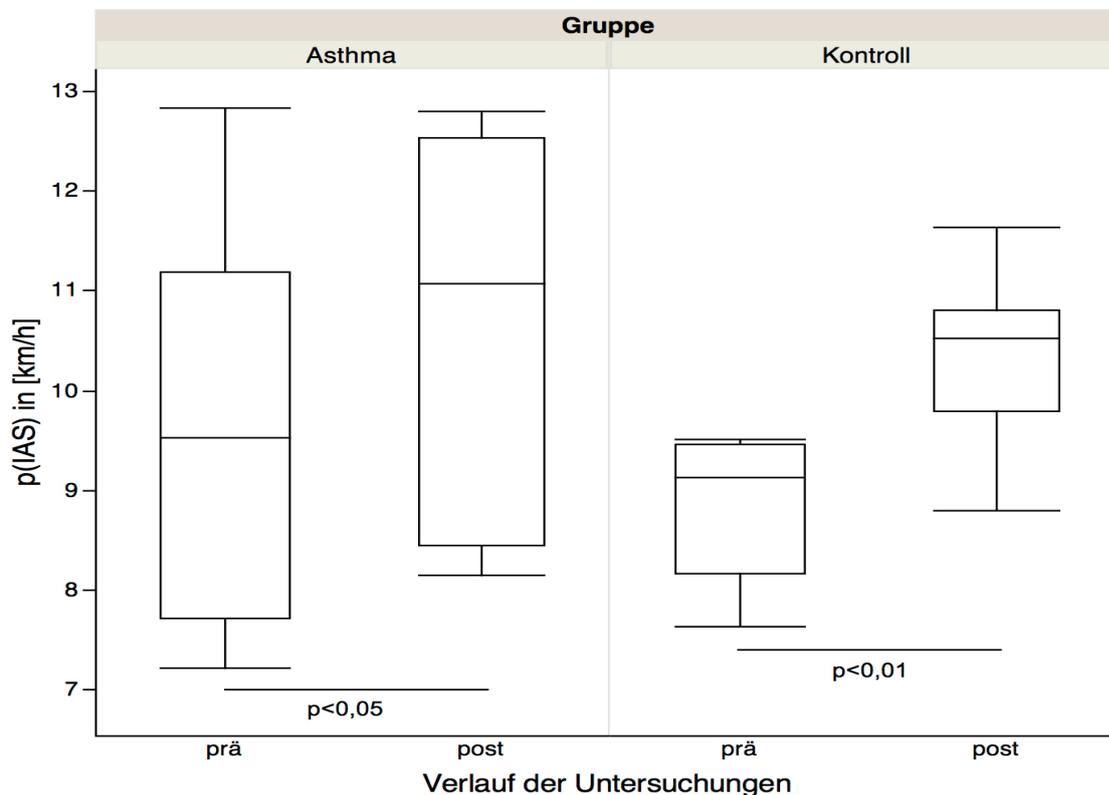


Abbildung 9 - Darstellung der Geschwindigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle p(IAS) im Verlauf der Untersuchungen [km/h]

Die Veränderungen der p(IAS) im Verlauf der Untersuchungen sind mithilfe von Boxplots dargestellt. Die hier abgebildeten Mediane zeigen hohe Übereinstimmungen mit den in den Tabellen angegebenen Mittelwerten. Die deutliche Verbesserung von Erst- (prä) zur Nachuntersuchung (post) ist gut ablesbar. Bei der Asthma-Gruppe zeigt sich allerdings eine breitere Streuung der Einzelwerte, was anhand der Quartilgrenzen verdeutlicht wird.

Tabelle 26 - Paarweise Analyse der p(IAS) in [km/h] im Verlauf nach Gruppen

	Ver- teilung	Mittelwert (±SD) prä	Mittelwert (±SD) post	Differenz (±SD)	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Asthma	NV	9,62 (±1,92)	10,51 (±1,92)	+0,89 (±1,01)*	+9,29	p=0,0285
Kontroll	NV	9,13 (±1,16)	10,36 (±0,85)	+1,23 (±0,90)**	+13,42	p=0,0066

*statistisch signifikant für $p<0,05$

**statistisch hochsignifikant für $p<0,01$

Tabelle 27 - Vergleich der Veränderungen der p(IAS) in [km/h] im Verlauf beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

unabhängig	Ver- teilung	Mittelwert (±SD) Asthma	Mittelwert (±SD) Kontroll	Differenz (±Std.fehler)	Signifikanz (p-Wert)
Differenz	NV	+0,89 (±1,01)	+1,23 (±0,90)	0,33 (±0,47)	p=0,4876

Innerhalb der Asthma-Gruppe konnte eine signifikante Zunahme der p(IAS) registriert werden. Die Geschwindigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle verbesserte

sich nach dem Ausdauertraining um 0,89 km/h von 9,62 ($\pm 1,92$) auf 10,51 ($\pm 1,92$) km/h. Diesem Plus von 9,29% steht ein signifikanter Zuwachs von 13,42% innerhalb der Kontroll-Gruppe gegenüber. Probanden dieser Gruppe verbesserten ihre Geschwindigkeit an der IAS im Mittel um 1,23 km/h (von 9,13 ($\pm 1,16$) auf 10,36 ($\pm 0,85$) km/h.

Beide Gruppen zeigen durch das Ausdauertraining eine deutliche Zunahme der $p($ IAS). Diese Zunahme ist bei der Kontroll-Gruppe etwas stärker ausgeprägt. Vergleicht man den Zugewinn beider Gruppen ist allerdings kein signifikanter Unterschied fest zu stellen.

5.4.2. Errechnete relative maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ rel.)

Wie bereits in Absatz 3.4.1.2 formuliert, gilt die auf das Körpergewicht bezogene relative maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ rel.) favorisiert. Im Kapitel 8 „Anhang“ enthält Abschnitt 8.1 weitere Ergebnisse, darunter auch die $\dot{V}O_2(\max)$ abs.

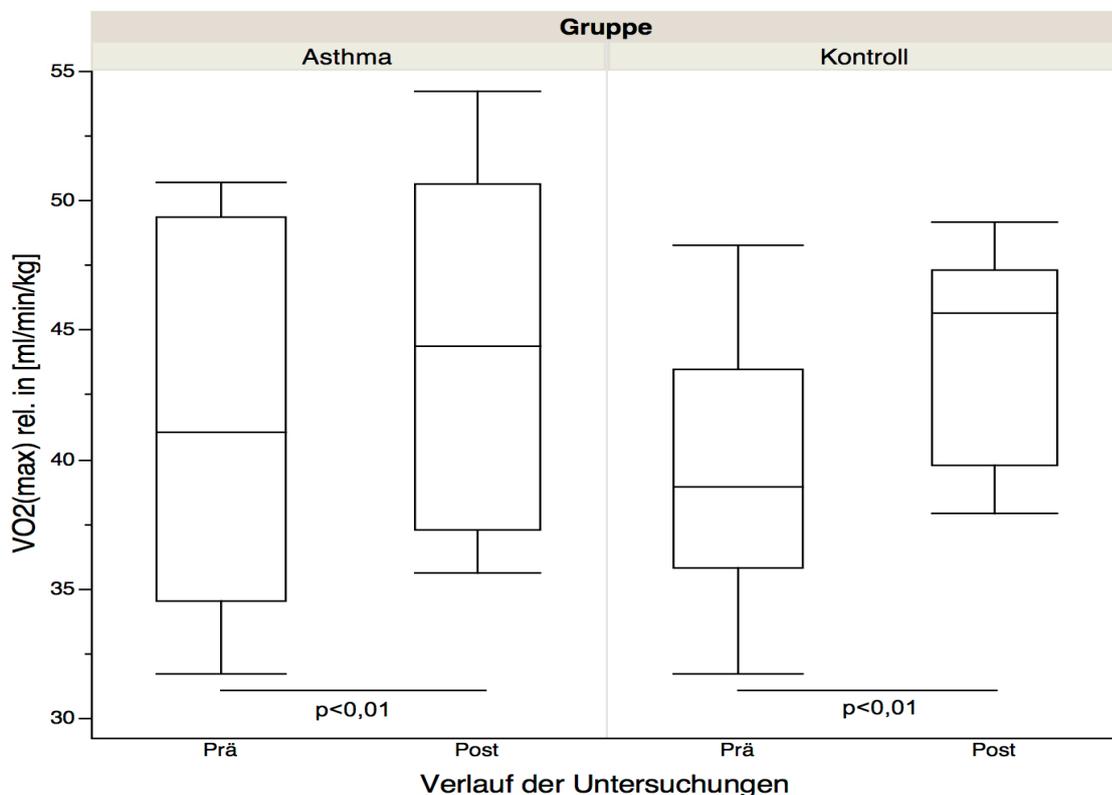


Abbildung 10 - Darstellung der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme in [ml/min/kg] im Verlauf
Die Ergebnisse der $\dot{V}O_2(\max)$ rel. werden mit Boxplots dargestellt. Es zeigt sich für beide Gruppen eine signifikante Zunahme von der Erst- (prä) zur Nachuntersuchung (post).

Tabelle 28 - Paarweise Analyse der $\dot{V}O_2(\max)$ rel. in [ml/min/kg] im Verlauf

	Ver- teilung	Mittelwert ($\pm SD$) prä	Mittelwert ($\pm SD$) post	Differenz ($\pm SD$)	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Asthma	NV	41,44 ($\pm 7,25$)	44,60 ($\pm 6,95$)	+3,16 ($\pm 1,77$)**	+7,63	p=0,0007**
Kontroll	NV	39,46 ($\pm 5,17$)	44,15 ($\pm 4,24$)	+4,70 ($\pm 3,50$)**	+11,91	p=0,0067**

**statistisch hochsignifikant für p<0,01

Tabelle 29 - Vergleich der Veränderungen der absoluten $\dot{V}O_2(\max)$ rel. in [ml/min/kg] beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

unabhängig	$\dot{V}O_2$	Mittelwert ($\pm SD$) Asthma	Mittelwert ($\pm SD$) Kontroll	Differenz ($\pm Std.fehler$)	Signifikanz (p-Wert)
Differenz	NV	+3,16 ($\pm 1,77$)	+4,70 ($\pm 3,50$)	1,54 ($\pm 1,37$)	p=0,2885

Es zeigt sich für beide Gruppen eine signifikante Zunahme der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ rel.). Die Asthma-Gruppe verbesserte sich im Mittel um 3,2 ml/min/kg, was einer Steigerung um 7,63% entspricht. Bei der Kontroll-Gruppe konnten noch höhere Werte ermittelt werden: Die Probanden der Kontroll-Gruppe verbesserten ihre $\dot{V}O_2(\max)$ rel. um 4,7ml/min/kg (+11,91%). Der gruppenbezogene Unterschied dieser Veränderungen ist allerdings nicht signifikant. Es ist festzuhalten, dass beide Gruppen durch das absolvierte Trainingsprogramm eine signifikante Verbesserung ihrer $\dot{V}O_2(\max)$ rel. im Sinne einer gesteigerten kardiopulmonalen Ausdauerleistungsfähigkeit erzielen konnten. Die Verbesserung der maximalen aeroben Leistungsfähigkeit zeigt innerhalb der Kontroll-Gruppe tendenziell etwas höhere Werte.

5.4.3. Fazit zu den Ergebnissen der leistungsdiagnostischen Messgrößen

Es zeigte sich, dass durch das kontrollierte Ausdauertraining in beiden Gruppen statistisch signifikante Verbesserungen innerhalb jeder der untersuchten Variablen auftraten: Die stärkste Verbesserung von 11,2% im Mittel über beide Gruppen (Asthma-Gruppe +9,29%, Kontroll-Gruppe +13,42%.) konnte für die p(IAS) aufgezeigt werden. Der größte Unterschied zwischen beiden Gruppen fand sich bei der Zunahme der relativen $\dot{V}O_2(\max)$. Hier zeigte die Asthma-Gruppe mit einer Erhöhung von 7,63% gegenüber 11,91% der Kontroll-Gruppe geringere Verbesserungen. Bei der genaueren Analyse wird deutlich, dass die Kontroll-Gruppe in den Variablen (rel. $\dot{V}O_2(\max)$),

p(IAS) und p(max)) tendenziell eine etwas stärker ausgeprägte Verbesserung aufweist. Allerdings darf hier nur von Tendenzen gesprochen werden, da bei keiner Variablen signifikante Unterschiede der eingetretenen Verbesserungen zwischen beiden Gruppen gefunden werden konnten.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse sind nachstehende Folgerungen zulässig:

- *1) Das angeleitete Ausdauertrainingsprogramm dieser Studie war eine geeignete Intervention, um Verbesserungen der Ausdauerleistungsfähigkeit hervorzurufen.*
- *2) Das angeleitete Ausdauertraining dieser Studie hat in beiden Gruppen zu einer signifikanten Verbesserung aller untersuchten leistungsdiagnostischen Variablen geführt.*
- *3) Die eingetretenen Verbesserungen waren für Asthma- und Kontroll-Gruppe nicht signifikant unterschiedlich*

Die Ergebnisse der Trainingsprotokolle (siehe Abschnitt 5.3 „Ergebnisse der Trainingsdokumentation“) konnten zeigen, dass beide Gruppen ein in Intensität, Dauer und Umfang gleichwertiges Ausdauertraining absolviert haben. Auf Grundlage dieser Erkenntnis können die Ergebnisse der leistungsdiagnostischen Variablen folgendermaßen weitergehend interpretiert werden:

- *1) Da sich das Trainingsprogramm und die eingetretenen Effekte beider Gruppen nicht voneinander unterscheiden, gilt für die in diese Studie eingeschlossenen Probanden von Asthma- und Kontroll-Gruppe, dass sie sich in ihrer körperlichen Trainierbarkeit nicht signifikant unterscheiden.*
- *2) Das Merkmal „Asthma bronchiale vorliegend“ der in diese Studie eingeschlossenen Probanden der Asthma-Gruppe, stellte keine Einschränkung in Bezug auf die Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit durch das angeleitete Trainingsprogramm dar.*

5.5. Ergebnisse der spiroergometrischen Messgrößen

Im Folgenden sind die Ergebnisse der durch Messung der Atemgase erhobenen Größen dargestellt. Mit dem Spiroergometer wurden die maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$) sowie die Atemäquivalente für O_2 und CO_2 gemessen. Wie bereits im Absatz 5.4.2 beschrieben, wird in dieser Arbeit die $\dot{V}O_2(\max)$ rel. gegenüber der $\dot{V}O_2(\max)$ abs. bevorzugt. Die Ergebnisse der gemessenen $\dot{V}O_2(\max)$ rel. sind in Absatz 5.5.1 aufgeführt. Absatz 5.5.2 zeigt die Ergebnisse der ermittelten Atemäquivalente. Die Messergebnisse der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ abs.) finden sich im Anhang.

5.5.1. Gemessene relative maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ rel.) in [ml/min/kg]

Die $\dot{V}O_2(\max)$ gilt als anerkannte Variable zur Erfassung der Ausdauerleistungsfähigkeit. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der spiroergometrische gemessenen $\dot{V}O_2(\max)$ rel. dargestellt.

Tabelle 30 - Paarweise Analyse der $\dot{V}O_2(\max)$ rel. [ml/min/kg] im Verlauf nach Gruppen

	Ver- teilung	Mittelwert ($\pm SD$) prä	Mittelwert ($\pm SD$) post	Differenz ($\pm SD$)	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Asthma	NV	35,49 ($\pm 5,51$)	38,69 ($\pm 6,94$)	+3,20 ($\pm 2,21$)**	+9,02	p=0,0024
Kontroll	NV	36,93 ($\pm 5,58$)	45,16 ($\pm 9,42$)	+8,23 ($\pm 8,63$)*	+22,29	p=0,0186

*statistisch signifikant für $p < 0,05$

**statistisch hochsignifikant für $p < 0,01$

Tabelle 31 - Vergleich der Veränderungen der $\dot{V}O_2(\max)$ rel. in [ml/min/kg] beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

unabhängig	Ver- teilung	Mittelwert ($\pm SD$) Asthma	Mittelwert ($\pm SD$) Kontroll	Differenz ($\pm Std.fehler$)	Signifikanz (p-Wert)
Differenz	NV	+3,20 ($\pm 2,21$)	+8,23 ($\pm 8,63$)	5,03 ($\pm 2,80$)	p=0,1097

Die spiroergometrische Messung der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ rel.) ergab für beide Gruppen deutliche Steigerungen: Die rel. $\dot{V}O_2(\max)$ verbesserte sich in der Asthma-Gruppe um 3,20 ($\pm 2,21$) ml/min/kg von 35,49 ($\pm 5,51$) auf 38,69 ($\pm 6,94$) ml/min/kg. Dies entspricht einer signifikanten Zunahme von 9,02%. Die Kontroll-Gruppe verbesserte sich ebenfalls signifikant um 8,23 ($\pm 8,63$) ml/min/kg

von 36,93 ($\pm 5,58$) auf 45,16 ($\pm 9,42$) ml/min/kg. Diese Veränderung entspricht im Mittel einem Zuwachs von 22,29% und liegt damit fast doppelt so hoch wie die der Asthma-Gruppe.

5.5.2. Atemäquivalente für O₂ und CO₂

Die Atemäquivalente geben Auskunft über die Effizienz der Atmung. Sie sind definiert als die zur Aufnahme eines Liters O₂ bzw. zur Abgabe eines Liters CO₂ erforderliche Ventilation.

5.5.2.1. Atemäquivalent für O₂ (EqO₂)

Das Atemäquivalent für O₂ gibt an, wie viele Liter Luft für die Aufnahme eines Liters O₂ ein- und ausgeatmet werden müssen.

Tabelle 32 - Paarweise Analyse des EqO₂ im Verlauf nach Gruppen

	Ver- teilung	Mittelwert (\pmSD) prä	Mittelwert (\pmSD) (post	Differenz ab- solut	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Asthma	kNV*	32 (Median)	26,5 (Median)	-5,5**	-17,19	p=0,0039
Kontroll	NV	34,90 ($\pm 6,00$)	31,34 ($\pm 6,99$)	-3,56 ($\pm 2,37$)**	-10,20	p=0,0038

** statistisch hochsignifikant für $p < 0,01$

Tabelle 33 - Vergleich der Veränderungen des EqO₂ beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

unabhängig	Ver- teilung	Mittelwert (\pmSD) Asthma	Mittelwert (\pmSD) Kontroll	Differenz (\pmStd.fehler)	Signifikanz (p-Wert)
Differenz	NV	-5,17 ($\pm 2,65$)	-3,56 ($\pm 2,37$)	1,60 ($\pm 1,22$)	p=0,2072

Im Verlauf der Messungen konnte für beide Gruppen ein signifikanter Rückgang des Atemäquivalent für O₂ (EqO₂) registriert werden. Bei der Asthma-Gruppe konnte ein Rückgang um 15,03% von 34,41 ($\pm 6,06$) auf 29,24 ($\pm 4,57$) erhoben werden. Innerhalb der Kontroll-Gruppe war der Rückgang mit 10,20% (von 34,90 ($\pm 6,00$) auf 31,34 ($\pm 6,99$)) nicht ganz so stark ausgeprägt. Diese Veränderungen beider Gruppen zeigten in der statistischen Analyse keinen signifikanten Unterschied. Es kann festgehalten werden, dass innerhalb beider Gruppen die Effektivität der Atmung im Verlauf des Ausdauertrainings zugenommen hat. Die Verbesserung der Atmungs-Effektivität

ist bei der Asthma-Gruppe tendenziell etwas stärker ausgeprägt, allerdings ohne signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen.

5.5.2.2. Atemäquivalent für CO₂ (EqCO₂)

Das Atemäquivalent für CO₂ gibt an, wie viele Liter Luft für die Abgabe eines Liters CO₂ ein- und ausgeatmet werden müssen.

Tabelle 34 - Paarweise Analyse des EqCO₂ im Verlauf nach Gruppen

	Ver- teilung	Mittelwert (±SD) prä	Mittelwert (±SD) post	Differenz (±SD)	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Asthma	NV	28,21 (±3,77)	24,66 (±2,06)	-3,56 (±2,24)**	-12,62	p=0,0014
Kontroll	NV	32,38 (±5,67)	28,41 (±4,98)	-3,96 (±2,38)**	-12,22	p=0,0022

**statistisch hochsignifikant für p<0,01

Tabelle 35 - Vergleich der Veränderungen des EqCO₂ im Verlauf beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

unabhängig	Ver- teilung	Mittelwert (±SD) Asthma	Mittelwert (±SD) Kontroll	Differenz (±Std.fehler)	Signifikanz (p-Wert)
Differenz	NV	-3,56 (±2,24)	-3,96 (±2,38)	0,41 (±1,12)	p=0,7227

Für das EqCO₂ konnte im Verlauf bei der paarweisen Analyse für beide Gruppen eine signifikante Abnahme aufgezeigt werden: Innerhalb der Asthma-Gruppe verringerte sich das EqCO₂ um 12,62%. Die Kontroll-Gruppe zeigte eine ebenbürtige Abnahme um 12,22%. Es kann festgehalten werden, dass beide Gruppen in der Nachuntersuchung nach Absolvierung des Ausdauertrainings eine, im Vergleich zur Erstuntersuchung, deutliche Steigerung der Effektivität der Atmung aufweisen konnten. Das Ausmaß der Verbesserung zwischen beiden Gruppen war in Bezug auf das EqCO₂ absolut gleichwertig.

5.5.3. Fazit zu den Ergebnissen der spiroergometrischen Messgrößen:

Die Auswertung der spiroergometrisch gemessenen Größen konnte in Bezug auf die maximale Sauerstoffaufnahme die Ergebnisse der sonstigen errechneten leistungsdiagnostischen Variablen bestätigen: Im Verlauf des Ausdauertrainings konnte die maximale Sauerstoffaufnahme in beiden Gruppen signifikant gesteigert werden. Zwi-

schen beiden Gruppen war dabei kein statistisch signifikanter Unterschied festzustellen. Durch die Messung der Atemäquivalente konnte gezeigt werden, dass sich die Effektivität der Atmung im Verlauf hin zu niedrigeren, d.h. günstigeren Werten veränderte. Diese Veränderung war in beiden Gruppen statistisch signifikant, sowohl für das EqO_2 , als auch für das EqCO_2 nachzuweisen. Auf Grundlage der Ergebnisse der spiroergometrischen Messungen lassen sich folgende Aussagen formulieren:

- *1) Die Verbesserungen der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}\text{O}_2(\text{max})$) im Verlauf $\dot{V}\text{O}_2$ sind auch spiroergometrisch durch Nachbelastungsmessungen valide zu erheben.*
- *2) Die spiroergometrisch gemessene $\dot{V}\text{O}_2(\text{max})$ zeigt signifikante Verbesserungen in beiden Gruppen ohne signifikante Unterschiede im Zwischengruppenvergleich.*
- *3) In beiden Gruppen kam es im Verlauf der Untersuchungen zu einer Zunahme der Effektivität der Atmung unter Belastung.*
- *4) Bezüglich der Effektivität der Atmung zeigten sich anhand der Atemäquivalente bei den in diese Studie eingeschlossenen Asthmatikern ebenbürtige Effekte wie bei den gesunden Probanden der Kontroll-Gruppe.*

5.6. Ergebnisse des St. George's Respiratory Questionnaire (SGRQ)

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Erhebungen zur Lebensqualität vorgestellt. Die Lebensqualität wurde in dieser Studie durch den St. George's Respiratory Questionnaire (SGRQ) innerhalb der Asthma-Gruppe erhoben. Betrachtet wurden die Zeitpunkte unmittelbar vor Aufnahme und nach Absolvierung des Ausdauertrainings. Dadurch lässt sich eine Aussage über Veränderungen in dieser Zeitspanne treffen.

Die Fragen des SGRQ lassen sich den Teilbereichen „Symptom-“, „Activity-“ sowie „Impact“ zuordnen. Diese Teilbereiche können gesondert betrachtet werden. Weiterhin lässt sich ein Gesamtwert („Total-Score“) ermitteln. In den folgenden Abbildungen und Tabellen werden die Bereiche und der Gesamtwert getrennt aufgeführt.

Zunächst werden die erfassten Werte und die Veränderungen plakativ graphisch dargestellt: Hierzu zeigt **Abbildung 11** die Mittelwerte des „Total-Score“ und der verschiedenen Teilbereiche an den beiden Zeitpunkten Erstuntersuchung (prä) und Nachuntersuchung (post). Die darauf folgende **Abbildung 12** veranschaulicht die Differenzen zwischen beiden Untersuchungen und damit die Veränderungen die im Verlauf des Untersuchungszeitraumes erfasst wurden.

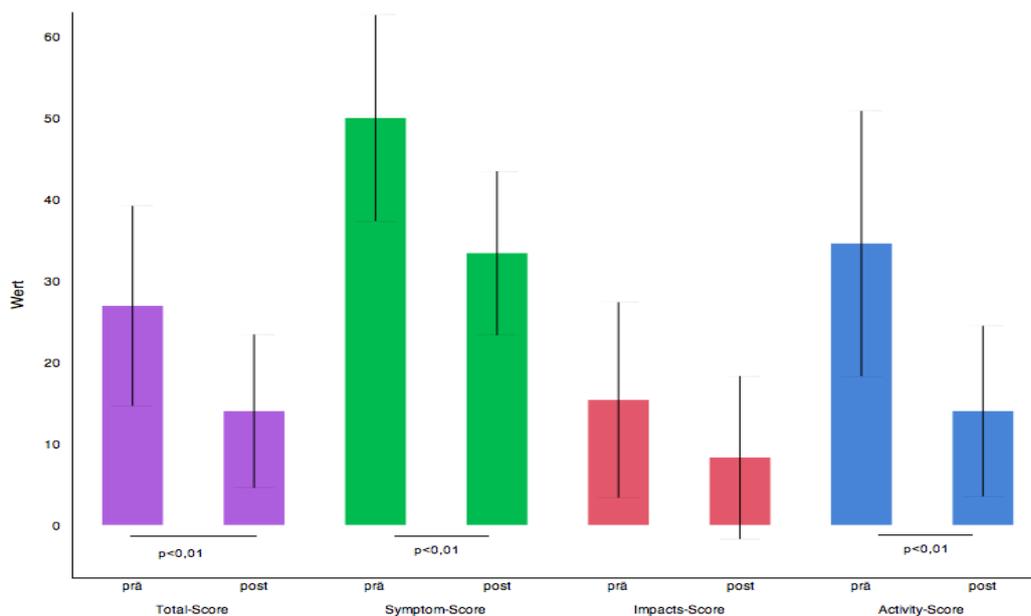


Abbildung 11 - Darstellung der erfassten SGRQ-Scores nach Teilbereichen und Total-Scores
Anhand der Balken sind die Mittelwerte für die verschiedenen Bereiche bzw. den Total-Score aufgeteilt nach den Untersuchungen (prä bzw. post) dargestellt. Die vertikalen Linien geben die Standardabweichungen dieser Mittelwerte an. Es zeigt sich in allen Bereichen eine deutliche Abnahme, wobei lediglich im Falle des „Impacts-Score“ das Signifikanzniveau nicht erreicht wurde.

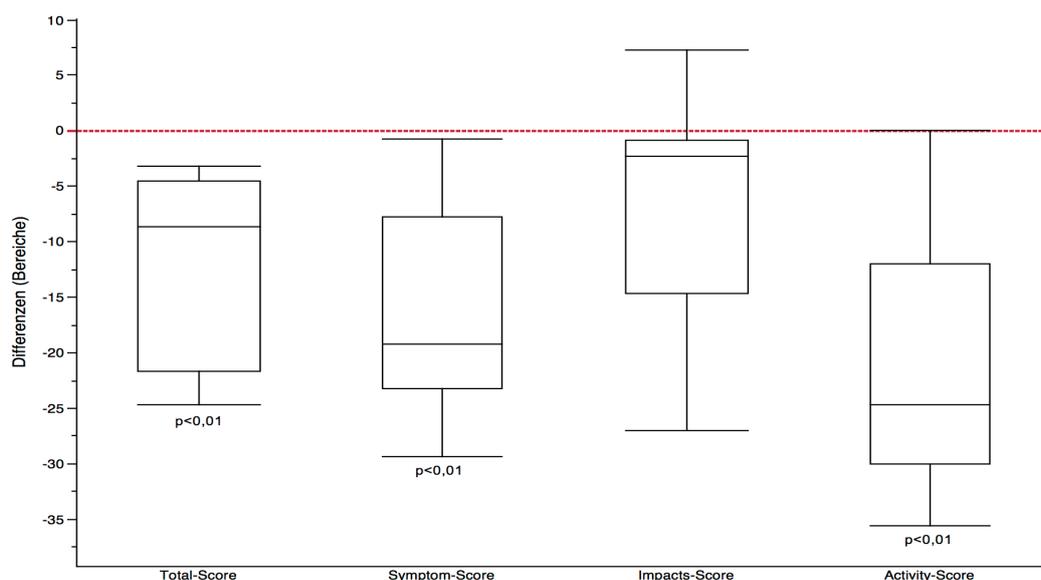


Abbildung 12 - Darstellung der Differenzen zwischen den Erhebungen des SGRQ vor Aufnahme und nach Absolvierung des Ausdauertrainings aufgeteilt nach den verschiedenen Teilbereichen und dem „Total-Score“.

Die Boxplots veranschaulichen die Spannungsbreite der Werte im Verlauf der beiden Befragungen und geben den Median wieder. Beim „Impacts-Score“ liegt dieser sehr nahe an der Nulllinie, was verdeutlicht, warum trotz Rückgang im Mittelwertvergleich keine Signifikanz nachzuweisen ist. Auffallend ist dieser Bereich ebenfalls, da die obere Quantilgrenze im positiven Bereich liegt, das bedeutet, dass es bei einem Probanden im Verlauf der Erhebungen eine Zunahme der Werte festgestellt werden konnte.

Tabelle 36 - Paarweise Analyse der Werte der Bereiche Symptom und Activity des St. George's-Respiratory-Questionnaire (SGRQ) der Asthma-Gruppe im Verlauf

Variable	Verteilung	Mittelwert (±SD) prä	Mittelwert (±SD) post	Differenz (±Std.fehler)	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Symptom	NV	50,59 (±13,32)	33,82 (±10,60)	-16,77 (±3,19)**	-32,93	p=0,0008
Activity	NV	33,84 (±17,11)	13,64 (±11,06)	-20,20 (±3,87)**	-59,69	p=0,0008

**statistisch hochsignifikant für $p < 0,01$

Tabelle 37 - Paarweise Analyse der Werte des Bereichs Impacts und des Total-Score des St. George's-Respiratory-Questionnaire (SGRQ) der Asthma-Gruppe im Verlauf

Variable	Verteilung	Median (prä)	Median (post)	Differenz	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Impacts	kNV	9,74	4,36	-5,38	-56,8	p=0,0547
Total	kNV	25,06	14,87	-11,19**	-44,5	p=0,0039

**statistisch hochsignifikant für $p < 0,01$

Nach Absolvierung des Ausdauertrainings konnte, im Vergleich zur Befragung vor Aufnahme des Trainingsprogramms, in den Teilaspekten „Symptom-Score“ und „Activity-Score“ sowie im „Total-Score“ des erhobenen St. George's Respiratory Questionnaire (SGRQ) jeweils eine signifikante Reduktion nachgewiesen werden. Die deut-

lichste Reduktion ist im Bereich „Activity-Score“ zu verzeichnen. Hier war nach dem Ausdauertraining ein Rückgang um nahezu 60% von 33,84 ($\pm 17,11$) auf 13,64 ($\pm 11,06$) festzustellen. Der „Symptom-Score“ zeigt ebenfalls eine Abnahme um rund 33% auf 33,82 ($\pm 10,60$) in der Nachuntersuchung im Vergleich zu einem Score von 50,59 ($\pm 13,32$) vor Aufnahme des Trainingsprogramms.

Auch für den „Total-Score“ war nach dem Ausdauertraining eine Reduktion des Medians um ca. 45% (prä: 25,06, post: 14,87) zu erheben. Im Bereich „Impacts“ konnte gleichfalls ein starker Rückgang registriert werden. Eine statistische Signifikanz konnte für diese Veränderung allerdings nicht nachgewiesen werden.

5.6.1. Fazit zu den Ergebnissen des SGRQ:

Im Verlauf der Erhebungen konnten in den Bereichen Aktivitäten („Activity-Score“), Symptome („Symptom-Score“) und im Gesamtwert („Total-Score“) ein signifikanter Rückgang erfasst werden. Diese Ergebnisse lassen folgende Aussagen zu:

- *1) Im Verlauf des angeleiteten Ausdauertrainings dieser Studie kam es zu einer signifikanten Veränderung der durch den SGRQ erfassten, subjektiven krankheitsbezogenen Lebensqualität innerhalb der in dieser Studie untersuchten Asthma-Gruppe zu besseren Werten.*
- *2) Im Verlauf des angewendeten Ausdauertrainings kommt es bei den Asthma-Patienten dieser Studie zu signifikanten Verbesserungen der Symptomwahrnehmung („Symptom-Score“).*
- *3) Im Verlauf des angewendeten Ausdauertrainings kommt es bei den Asthma-Patienten dieser Studie zu signifikanten Verbesserungen im Bereich Aktivitäten („Activity-Score“).*
- *4) In den Teilbereichen Symptomwahrnehmung („Symptom-Score“) und Aktivität („Activity-Score“) konnte im Verlauf des Ausdauertrainings in keinem einzigen Fall eine Verschlechterung der subjektiv wahrgenommenen Einschränkung erhoben werden.*

5.7. Korrelation zwischen leistungsdiagnostischen Messgrößen und Lebensqualität

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Fragestellung dargestellt, ob innerhalb der Asthma-Gruppe zwischen den erhobenen Messgrößen der Leistungsdiagnostik ($\dot{V}O_2(\max)$ rel., $\dot{V}O_2(\max)$ abs., p(IAS) und p(max)) und den drei Teilbereichen („Symptom-“, „Activity-“, „Impacts-Score“) respektive des „Total-Score“ des SGRQ ein Zusammenhang besteht.

Weiterhin wurde analysiert, ob das Ausmaß der erfassten Veränderungen eben dieser leistungsdiagnostischen Variablen mit dem Ausmaß der Veränderungen in den Teilbereichen des SGRQ korreliert. Die Prüfungen auf etwaige Korrelationen wurden in folgenden zwei verschiedenen Teilen vorgenommen:

Im ersten Teil wurde geprüft, ob zwischen der Ausdauerleistungsfähigkeit und dem Niveau der Lebensqualität bei Aufnahme in die Studie ein Zusammenhang besteht. Es wurden somit Zustände („status quo“) der Bereiche Lebensqualität und Ausdauerleistungsfähigkeit vor Aufnahme des Trainingsprogramms auf Zusammenhänge hin analysiert. Die Ergebnisse zeigt Absatz 5.7.1.

Im zweiten Teil wurde für diese Variablen geprüft, ob das Ausmaß der Verbesserung (bzw. Veränderung) der Ausdauerleistungsfähigkeit mit dem Ausmaß der Verbesserung (bzw. Veränderung) der Lebensqualität und ihrer Teilbereiche korreliert. Die Resultate dieser Prüfungen zeigt Absatz 5.7.2.

In den folgenden Kapiteln sind lediglich solche Korrelationen aufgeführt, die mindestens das Charakteristikum „geringe Korrelation“ (Korrelationskoeffizient $r > |0,2|$) aufweisen.

Eine Auflistung aller auf Korrelation geprüften Variablen befindet sich im Anhang (siehe Kapitel 8.7 „Detaillierte Darstellung der statistischen Auswertung“).

5.7.1. Korrelation zwischen Ausdauerleistungsfähigkeit und dem Niveau der Lebensqualität

Die verschiedene Teilbereiche („Symptom-“, „Activity-“ und „Impacts-Score“) sowie der „Total-Score“ des SGRQ wurden zum Zeitpunkt des Studienbeginns (prä) auf Korrelation mit den zu Studienbeginn erhobenen leistungsdiagnostischen Variablen überprüft.

Die folgenden Tabellen geben die ermittelten Korrelationskoeffizienten und die p-Werte wieder. Die leistungsdiagnostischen Variablen wurden absteigend nach dem höchsten Wert des Korrelationskoeffizienten sortiert.

Tabelle 38 – Korrelation leistungsdiagnostischer Variablen mit dem „Symptom-Score“ des SGRQ bei Studienbeginn

<i>Variable</i>	<i>Korrelationskoeffizient mit dem „Symptom-Score“</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
<i>p(IAS)</i>	0,3812	0,3115
<i>p(max)</i>	0,2533	0,5108
<i>VO₂(max) rel.</i>	0,2484	0,5192

Tabelle 39 – Prüfung auf Korrelation leistungsdiagnostischer Variablen mit dem „Activity-Score“ des SGRQ bei Studienbeginn

<i>Variable</i>	<i>Korrelationskoeffizient mit dem „Aktivitäts-Score“</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
<i>VO₂(max) rel.</i>	-0,2466	0,5225
<i>VO₂(max) abs.</i>	-0,2447	0,5257
<i>p(max)</i>	-0,2378	0,5378

Tabelle 40 – Prüfung auf Korrelation leistungsdiagnostischer Variablen mit dem „Total-Score“ des SGRQ bei Studienbeginn

<i>Variable</i>	<i>Korrelationskoeffizient mit dem „Total-Score“</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
<i>VO₂(max) abs.</i>	-0,2084	0,5905

Die größte Korrelation der in diesem Kapitel durchgeführten Berechnungen zeigte die p(IAS) mit dem Symptom-Scores mit $r=0,3812$. Der positive Korrelationskoeffizient zeigt, dass ein hoher Wert der p(IAS) mit einem hohen „Symptom-Score“ der in die-

ser Studie untersuchten Asthma-Gruppe einhergeht. Interessant beim „Symptom-Score“ ist, dass zu den weiteren leistungsdiagnostischen Variablen ebenfalls ein positiver Korrelationskoeffizient besteht. Die maximal erreichte Geschwindigkeit ($p(\max)$) zeigte die zweitstärkste Korrelation. Für die in dieser Studie untersuchte Asthma-Gruppe war zum Aufnahmezeitpunkt eine gute Ausdauerleistungsfähigkeit tendenziell mit hohen Werten im „Symptom-Score“ verbunden. Ein hoher „Symptom-Score“ repräsentiert hierbei einen erhöhten Krankheitswert.

Der „Activity-Score“ weist für alle untersuchten Variablen dagegen eine negative Korrelation auf. Dies bedeutet, dass eine hohe Ausdauerleistungsfähigkeit bei den Probanden der Asthma-Gruppe mit einem niedrigem „Activity-Score“ einhergeht.

Für den „Impacts-Score“ konnten keine Korrelationen gefunden werden, die das Kriterium $r > |0,2|$ erfüllten.

Der „Total-Score“ zeigt mit der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ abs.) eine negative Korrelation.

Mit einem $r < 0,5$ liegt die Korrelation aber bei allen untersuchten Variablen im geringen Bereich.

5.7.2. Korrelation zwischen der Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit und der Verbesserung im SGRQ

Im vorherigen Kapitel 5.7.1 wurden die einzelnen Teilbereiche des SGRQ auf Korrelation mit den leistungsdiagnostischen Variablen zum Zeitpunkt der Aufnahme (prä) geprüft. Ausgehend von diesen Werten bei Aufnahme konnten im Verlauf der Studie für die Teilbereiche des SGRQ und auch für die leistungsdiagnostischen Variablen Veränderungen erfasst werden.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde weiter geprüft, ob das Ausmaß der Veränderungen dieser leistungsdiagnostischen Variablen mit dem Ausmaß der Veränderungen der SGRQ-Scores korreliert.

Die Frage ist also, ob eine Veränderung leistungsdiagnostischer Variablen gleichfalls eine Veränderung der Werten im SGRQ mit sich bringt, also welche „Dynamik“ in den verschiedenen SGRQ-Scores durch Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit ausgelöst werden kann. Dadurch soll dadurch geklärt werden, ob bestimmte Teilbereiche des SGRQ durch Verbesserungen der Ausdauerleistungsfähigkeit be-

sonders „anfällig“ für Veränderungen sind. Die Ergebnisse dieser Korrelationsprüfung werden im Folgenden dargestellt:

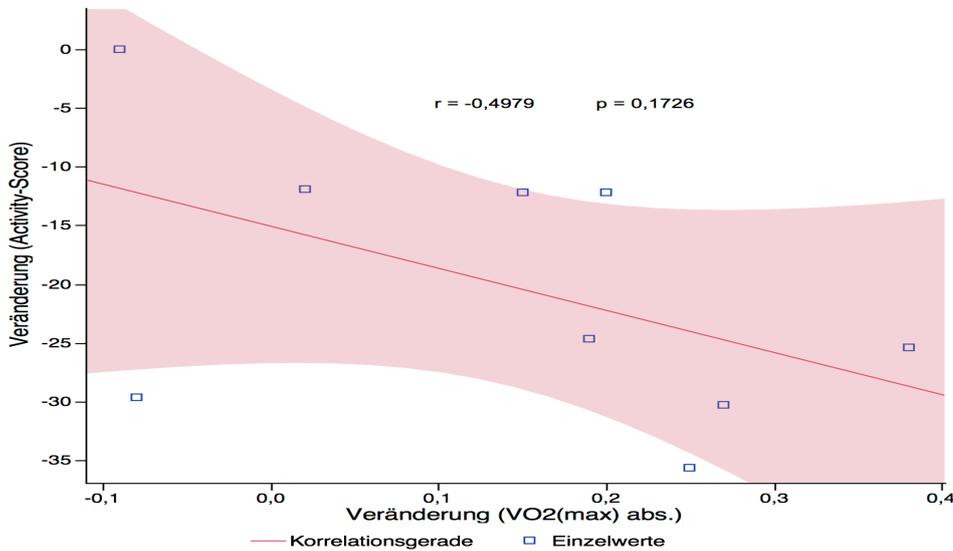


Abbildung 13 – Darstellung der Korrelation zwischen den Veränderungen im „Activity-Score“ und der Verbesserung der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme

Für diese Variablen konnten die stärksten Werte in Korrelation (anhand des Korrelationskoeffizient) und Wahrscheinlichkeit der Aussage (p-Wert) ermittelt werden. Die Abbildung verdeutlicht, dass das Ausmaß der Verbesserung der VO₂(max) abs. mit dem Ausmaß der Verbesserung im „Activity-Score“ korreliert: Je höher die Verbesserung der VO₂(max) abs., desto größer die Abnahme im „Activity-Score“

Tabelle 41 – Korrelation leistungsdiagnostischer Verbesserungen mit dem „Symptom-Score“ des St. George’s Respiratory Questionnaire (SGRQ)

Variable	Korrelationskoeffizient mit der Differenz im „Symptom-Score“	Signifikanz (p-Wert)
Differenz p(IAS)	0,3524	0,3522

Tabelle 42 – Prüfung auf Korrelation leistungsdiagnostischer Veränderungen mit dem „Activity-Score“ des St. George’s Respiratory Questionnaire (SGRQ)

Variable	Korrelationskoeffizient mit der Differenz im „Activity-Score“	Signifikanz (p-Wert)
Differenz VO ₂ (max) abs.	-0,4979	0,1726
Differenz VO ₂ (max) rel.	-0,2971	0,4375

Tabelle 43 – Prüfung auf Korrelation leistungsdiagnostischer Veränderungen mit dem „Impacts-Score“ des St. George’s Respiratory Questionnaire (SGRQ)

Variable	Korrelationskoeffizient mit der Differenz im „Impacts-Score“	Signifikanz (p-Wert)
Differenz VO ₂ (max) rel.	-0,2351	0,5426

Tabelle 44 – Prüfung auf Korrelation leistungsdiagnostischer Veränderungen mit dem „Total-Score“ des St. George's Respiratory Questionnaire (SGRQ)

<i>Variable</i>	<i>Korrelationskoeffizient mit der Differenz im „Total-Score“</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
<i>Differenz $\dot{V}O_2(\max)$ rel.</i>	-0,2803	0,4650

Die stärkste Korrelation besteht zwischen Veränderungen der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ abs.) und Veränderungen des „Activity-Score“ mit einem Korrelationskoeffizient von $r=-0,4979$. Eine starke Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme scheint vor allem mit einer starken Abnahme des „Activity-Score“ zusammenzuhängen. Verbesserte absolute (mit einem $r=-0,4979$) und relative ($r=-0,2971$) maximale Sauerstoffaufnahme haben in diesem Bereich die höchsten Korrelationskoeffizienten.

Diese Beobachtung besteht für die $\dot{V}O_2(\max)$ rel. ebenfalls beim „Impacts-Score“. Das Ausmaß der Veränderung beim „Symptom-Score“ scheint vor allem mit dem Ausmaß eines veränderten $p(\text{IAS})$ zusammenzuhängen. Die positive Korrelation zeigt im Vergleich zum „Symptom-“ und „Impacts-Score“, dass das Ausmaß einer Verbesserung der $p(\text{IAS})$ eine Veränderung des „Symptom-Score“ zu höheren Werten, d.h. zu einer verstärkten Symptomwahrnehmung, verschiebt.

Der stärkste Zusammenhang für eine Veränderungen des „Total-Score“ lässt sich durch eine veränderte relative maximale Sauerstoffaufnahme aufzeigen: Eine starke Zunahme der $\dot{V}O_2(\max)$ rel. scheint eine starke Abnahme im „Total-Score“ zu bewirken.

Allerdings liegen mit einem $r<|0,5|$ die Korrelationen auch in diesem Abschnitt bei allen untersuchten Variablen im geringen Bereich.

5.7.3. Fazit zu den Untersuchungen zur Korrelation zwischen Ausdauerleistungsfähigkeit und dem SGRQ-Score:

Bei den in diese Studie eingeschlossenen Asthma-Patienten scheint zu Studienbeginn eine gut ausgeprägte Ausdauerleistungsfähigkeit mit einem niedrigen „Activity-Score“ einherzugehen. Dagegen weisen Patienten in gutem Trainingszustand ten-

denziell eher hohe Werte im „Symptom-Score“ auf. Der „Total-Score“ zeigt für die untersuchten Asthma-Patienten zu den definierten Zeitpunkten keine verwertbaren Hinweise auf Korrelation mit einer bestimmten Variable.

Der größte Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Veränderungen in Teilbereichen des SGRQ besteht für das Ausmaß der Verbesserung der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ rel.): Je stärker die Steigerung der $\dot{V}O_2(\max)$ rel., desto größer war die Reduktion bei „Impact-“, „Activity-“ und auch „Total-Score“.

Dagegen scheint eine starke Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit das Ausmaß der Veränderungen im „Symptom-Score“ zu höheren, d.h. schlechteren Werten zu beeinflussen. Die p-Werte geben auch bei Korrelationsberechnungen lediglich eine Wahrscheinlichkeit für das gefundene Stichprobenergebnis an, unter der Annahme, dass in der Population die Nullhypothese gilt. Bei den hier ermittelten p-Werten konnte keine Signifikanz ermittelt werden. Daher sollte auch bei den Korrelationsergebnissen lediglich von Tendenzen gesprochen werden.

6. Diskussion

Im Folgenden erfolgt die Diskussion der Ergebnisse dieser Studie. Hierbei sollen diese auch vor dem Hintergrund der gewählten Methodik betrachtet und evaluiert werden.

6.1. Art und Wertigkeit der vorliegenden Studie

Die vorliegende Studie ist eine prospektive, kontrollierte klinische Interventionsstudie.

6.2. Diskussion der Methodik

6.2.1. Drop-Outs

Strausz gibt als Richtwert für die Drop-Out-Rate klinischer Studien 20% an, wobei keine klaren Grenzwerte zu formulieren sind (Strausz, 2013).

In der Literatur zeigen sich in klinischen Studien mit vergleichbaren Interventionsprogrammen Drop-Out-Raten innerhalb der Asthma-Gruppe von 22% (2/9, Counil et al., 2003), 9% (1/11, Gonçalves, 2008), 21% (7/34 (Mendes et al., 2011). Auch Studien mit deutlich höheren Teilnehmerzahlen zeigen Drop-Out-Raten im Bereich von 12% innerhalb der Asthma-Gruppe (6 von 50) (Mendes et al., 2010).

Mit 20% Drop-Outs (zwei von zehn Teilnehmern) in der Kontroll-Gruppe und 10% in der Asthma-Gruppe (einer von zehn) liegt die Gesamt-Drop-Out-Rate der vorliegenden Untersuchung bei 15%. Für eine klinische Interventionsstudie sind die Drop-Out-Raten der vorliegenden Arbeit daher als günstig zu bewerten.

6.2.2. Spiroergometrische Untersuchung

6.2.2.1. Formuliere Ausbelastungskriterien

In dieser Studie wurden die maximale Herzfrequenz (HF(max)) und die maximale Laktatkonzentration (Lak(max)) als objektive Ausbelastungskriterien bewertet. Bezüglich der maximalen Laktatkonzentration als Ausbelastungskriterium gibt es in der Literatur unterschiedliche Ansätze. Dickhuth legt sich auf Mindestwerte von >5mmol/l, zur sicheren Beurteilung allerdings auf Werte >9mmol/l fest (Dickhuth, 2000, p. 211). Werte im Bereich von 8-10mmol/l finden in der Literatur breite Zu-

stimmung, allerdings gibt es auch Studien, die deutlich niedrigere Werte beschreiben (Cunningham et al., 1977).

Eine kardiopulmonale Ausbelastung lässt sich weiterhin an der nur geringfügig ansteigenden Herzfrequenz gegen Ende der Ergometrie ablesen. Richtwerte liefert die Formel maximale Herzfrequenz ($HF(\max) = 220 - \text{Lebensalter (in Jahren)}$).

Für diese Studie wurde eine adäquate kardiopulmonale Ausbelastung bei Erreichen der von Haber formulierten Grenzwerten festgelegt. Diese liegen bei einer Laktatkonzentration von $>5,0$ [mmol/l] oder einer maximalen Herzfrequenz gemäß der Formel $HF(\max) > 220 - \text{Lebensalter} - 10\%$ [1/min] festgelegt (Haber, 2013, p. 152). Der Grund für die Anwendung des „Entweder-Oder-Prinzips“ liegt darin, dass sowohl die maximale Herzfrequenz als auch die maximale Laktatkonzentration von einer Vielzahl verschiedener Faktoren wie Alter, Geschlecht, Trainingszustand, Ernährung oder Belastung abhängen. Auch Meyer und Kindermann sehen zur Beurteilung der Ausbelastung nur „eine kombinierte Betrachtung“ als befriedigende Lösung an (Meyer und Kindermann, 1999). Haber geht dezidiert auf die bestehende Leistungsfähigkeit ein. Er formuliert Grenzwerte, die „sowohl bei einer guten als auch bei einer reduzierten Leistungsfähigkeit erreicht werden“ (Haber, 2013, p.153).

Da beide Probandenkollektive dieser Studie vor den Untersuchungen in ihrer Leistungsfähigkeit tendenziell als gering einzustufen waren, kann die kombinierte Betrachtung der angewendeten Grenzwerte für diese Studie als legitim angenommen werden.

6.2.2.2. Nachbelastungsmessung der Spiroergometrie

Spiroergometrisch erfasst und ausgewertet wurden die maximale Sauerstoffaufnahme und die Atemäquivalente für O_2 bzw. CO_2 . In der spiroergometrischen Untersuchung erfolgte keine kontinuierliche Messung der Atemvolumina und -gase über eine Atemmaske. Es erfolgte vor Start des Laufbandprotokolls eine Ruhemessung und unmittelbar nach Beendigung eine erneute Messung über die Atemmaske. So wurden mit einer geringen zeitlichen Latenz von ca. zwei bis vier Sekunden die Atemgase und -volumina zum Zeitpunkt der maximalen Laufleistung, und damit der maximalen körperlichen Belastung, erhoben.

Das Vorgehen dieser diskontinuierlichen Messung wurde angewendet, da befürchtet wurde, dass besonders Asthmatiker die Atemmaske als unangenehm empfinden und

die Belastung daher früher abbrechen könnten. Zudem könnte der erhöhte Atemwegswiderstand an die krankheitsbedingten Symptome erinnern und die Belastungsintensität als schwerwiegender und belastender erscheinen lassen, als dies bei der gesunden Kontroll-Gruppe der Fall wäre.

Dies hätte Auswirkungen auf die Angaben der Borg-Skala und auf die Dauer der Belastung in den Testverfahren haben können.

Hollmann bestätigt in seinen Untersuchungen, dass heutige Atemmasken häufig als unangenehm empfunden werden, da bei verstärkter Atmung unter Belastung der Ausatemwiderstand mit der Atemminutenvolumenerhöhung gesteigert wird (Hollmann et al., 2006). Weitere Autoren sehen sogar die Gefahr, dass durch Atemmasken unter Belastungstests ein Beklemmungs- oder Erstickungsgefühl ausgelöst werden kann (Askanazi et al., 1980; Racca et al., 2005).

Die Anwendung der Nachbelastungsmessung (und der damit verbundene Verzicht auf eine kontinuierliche Messung der Atemgase im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen) ist für die Erfassung der Borg-Skala und der körperlichen Ausbelastung der Asthma-Probanden dieser Studie daher als sinnvoll zu erachten.

Allerdings bietet dieses Vorgehen insofern Fehlerquellen, da der exakte Zeitpunkt der $\dot{V}O_2(\max)$ verpasst wird und diese durch „Rückwärts-Extrapolierung“ der erfassten Werte graphisch abgeschätzt werden musste.

Die Aufzeichnung der Atemäquivalente ergibt besonders unmittelbar nach Beendigung der Belastung stark schwankende Werte, bevor diese wieder einen typischen Kurvenverlauf annehmen. Auch bei diesem schwankenden Verlauf lässt sich direkt nach Beendigung der Belastung aber ein Minimalwert mit ausreichender Genauigkeit graphisch ablesen. Allerdings können absolute Werte nicht sicher erhoben und folglich auch nicht sicher interpretiert werden.

Im Verlauf der Untersuchungen können diese erhobenen Minimalwerte aber miteinander verglichen und auf Veränderungen hin untersucht werden.

Bei Ausdauerleistungsdiagnostik im Schwimmsport wird diese Nachbelastungsmessung ebenfalls angewandt und als Messverfahren zur Beurteilung der $\dot{V}O_2(\max)$ herangezogen (Costill, 1978). Von einigen Autoren wird Kritik daran geübt, dass nur geringe Zeiträume erfasst und beurteilt werden können und dadurch mitunter eine hohe Fehleranfälligkeit bei der Nachbelastungs-Messung besteht (Beaver et al., 1981; Toussaint et al., 1987). Dennoch konnten Carre et al. für die $\dot{V}O_2(\max)$ zeigen,

dass bei der Anwendung dieser Methode keine signifikanten Unterschiede zur direkten und kontinuierlichen Messung zu erheben waren (Carré et al., 1994).

6.2.2.3. Vergleich zwischen spiroergometrischer Messung und errechneten Werten der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$)

Vor der spiroergometrischen Messung der Atemgase, und damit der $\dot{V}O_2(\max)$, müssen zunächst eine Volumeneichung, sowie eine Gaskalibrierung des Messgerätes erfolgen. Die Genauigkeit der Messung korreliert mit der Exaktheit der Durchführung dieser beiden Komponenten. Da Volumeneichung und Gaskalibrierung das Messergebnis direkt beeinflussen, multiplizieren sich Fehler dieser beiden Komponenten. Des Weiteren ist die Berechnung der Werte abhängig vom aktuellen Luftdruck und aktueller Temperatur.

Die Berechnungen der $\dot{V}O_2(\max)$ beruhen dagegen auf der Annahme linearer Abhängigkeit von Herzfrequenz oder geleisteter Arbeit und dem Sauerstoffverbrauch während körperlichen Belastungen.

Die Ermittlung der Herzfrequenz ist ebenso wie die der geleisteten Arbeit während Ausdauerstestverfahren ein sehr robustes und zuverlässiges Verfahren. Die Berechnung der $\dot{V}O_2(\max)$ auf Grundlage dieser Variablen ist somit ein Verfahren hoher Genauigkeit und geringer Fehleranfälligkeit. Santtila et al. konnten in ihrer Studie zeigen, dass die Berechnung der $\dot{V}O_2(\max)$ verlässliche Werte mit ausreichender Genauigkeit liefert und dem direkten Messverfahren mittels Spiroergometrie mindestens gleichwertig ist (Santtila et al., 2013).

Die Messung der $\dot{V}O_2(\max)$ mittels spiroergometrischer Atemgasanalyse zeigt im Messverfahren einige Fehlerquellen, die im Vergleich zur Berechnung eine höhere Anfälligkeit für Ungenauigkeiten bietet.

In Zusammenschau mit potentiellen Ungenauigkeiten, die sich durch die in dieser Studie angewendeten Methodik der Nachbelastungsmessung ergeben, ist zunächst eine dezidierte Analyse der erzielten Werte nötig. Tendenziell sollten daher den berechneten Werten höhere Glaubwürdigkeit zugesprochen werden und diese favorisiert betrachtet werden.

6.2.3. Diskussion des verwendeten Fragebogens

6.2.3.1. Validität des St. George's Respiratory Questionnaire (SGRQ)

Jones et al. untersuchten den SGRQ auf seine Reproduzierbarkeit, die Korrelation mit Symptomen und Krankheitsausprägung, sowie die Korrelation bei Veränderungen des Krankheitsgeschehens. Die Reproduzierbarkeit wurde über 2 Wochen an insgesamt 60 klinisch stabilen Patienten (darunter 40 Asthma-Patienten und 20 Patienten mit COPD) getestet. Für die Korrelation mit Symptomen und Krankheitsausprägung wurden die erhobenen SGRQ-Werte mit Spirometrie-Ergebnissen, 6-min-Laufstrecke, MRC Respiratory symptom questionnaire, Ängstlichkeit, Depression und dem generellen Gesundheitszustand, gemessen durch den "Sickness Impact Profile score", verglichen.

Veränderungen des SGRQ-Wertes wurden über ein Jahr hinweg mit weiteren Messungen anhand von 133 Patienten verglichen. Es ergaben sich signifikante Zusammenhänge zwischen dem SGRQ und den erhobenen Vergleichsvariablen. Die Autoren sehen den SGRQ daher als sensitives und reproduzierbares Messinstrument hoher Güte für Veränderung des Gesundheitszustandes durch chronische Atemwegseinschränkungen.

Die direkte Korrelation zwischen SGRQ-Score und Einsekundenkapazität verdeutlichen Jones et al. in ihrem Manual von 2009 graphisch (Jones und Forde, 2009):

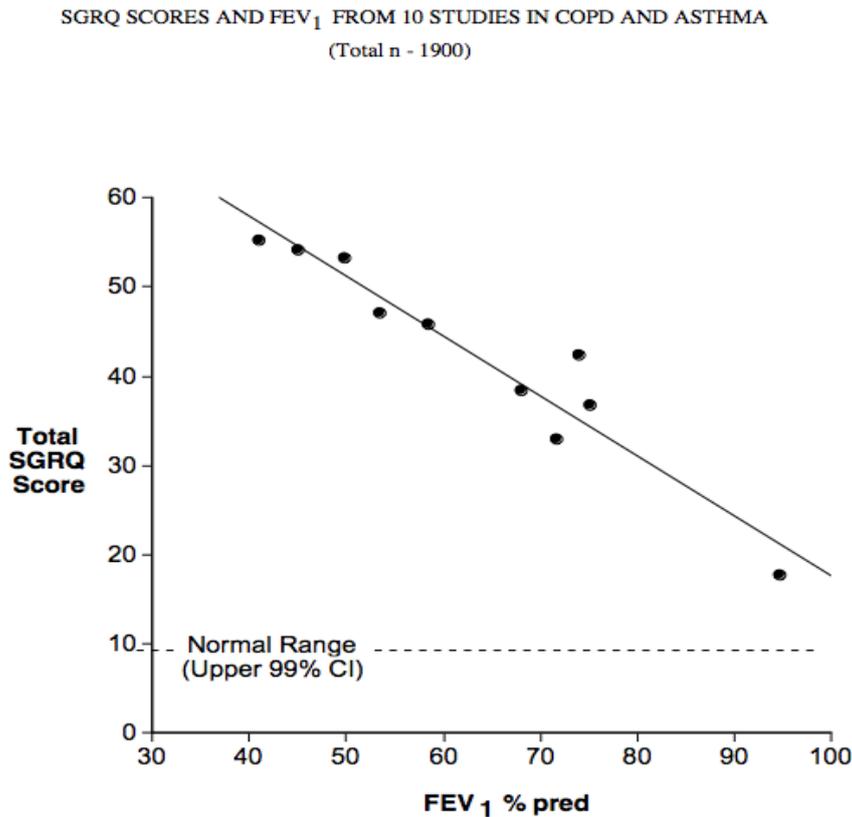


Abbildung 14 – Direkte Korrelation zwischen SGRQ-Score und Einsekundenkapazität (Jones and Forde, 2009)

Das Bild zeigt die direkte Korrelation, die zwischen der FEV₁ und dem Total-Score im SGRQ besteht.

Abdruck der Abbildung mit freundlicher Genehmigung der St. George's University of London, Prof. Paul Jones

In einer groß angelegten Querschnittstudie in Spanien versuchten Ferrer et al. die SGRQ-Werte für die Gesamtbevölkerung mittels Stichproben zu erfassen, um diese dann mit den bereits vorliegenden Daten der Gesamtbevölkerung abzugleichen (Ferrer et al., 2002). Die SGRQ-Werte von repräsentativen Stichproben der spanischen Bevölkerung von 40 bis 69 Jahren wurden hierzu erfasst und nach soziodemografischen Faktoren und Rauchverhalten stratifiziert. Allen voran Asthma bronchiale und COPD, sowie deren gemeinsames klinischen Erscheinungsbild, die Abnahme der FEV₁, zeigten eine sehr starke Korrelation zu den SGRQ-Werten. Die Autoren konnten weiter zeigen, dass der Anteil der Personen mit chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen in den erhobenen Stichproben, dem Anteil innerhalb der spanischen Gesamtbevölkerung entsprach. Die Validität des Fragebogens in Bezug auf chronisch obstruktive Atemwegserkrankungen wird daher von den Autoren erhärtet. Des Weiteren können mit dieser Studie die SGRQ-Werte aus den Stichproben als repräsentatives Maß der Gesamtbevölkerung für die Interpretation weiterer Studienergebnisse herangezogen werden.

6.2.3.2. Validität der deutschen Version des SGRQ

Lange Zeit erfolgte keine Validierung der autorisierten deutschen Version. Karpinsky et al. untersuchten 2007 auf der Basis von Daten ambulant und stationär behandelter COPD- und Asthma-Patienten die Änderungssensitivität, die Gültigkeit für Asthma bronchiale und COPD und die Zusammenhängen mit anderen klinischen Parametern (Husten, Auswurf, Atemnot und Rauchgewohnheit) des SGRQ. Es zeigte sich eine gute Änderungssensitivität und Gültigkeit. Die Anwendbarkeit des SGRQ bei Asthma- und COPD-Patienten konnte durch Analysen zur Reliabilität/Homogenität (Cronbach's α) und Korrelationen mit klinischen Parametern gestützt werden. Die Autoren bestätigen die deutsche Version des SGRQ somit als valides Messinstrument, sowohl für Asthma bronchiale als auch COPD-Patienten (Karpinski et al., 2007).

Ebenfalls mit der Evaluation der deutschen Version des SGRQ auf seine interne Konsistenz, faktorielle Struktur und Validität in Bezug zur Einsekundekapazität, Änderungssensitivität und einen Rehabilitationsfragebogen (IRES-3) beschäftigte sich eine Arbeitsgruppe um Meffert im Bereich der stationären pneumologischen Rehabilitation unter 647 Patienten. Die Autoren sehen den SGRQ als intern konsistenten Fragebogen zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität von Patienten der pneumologischen Rehabilitation, der in der Lage ist, gesundheitsbezogene Lebensqualität zu erfassen und darüber hinaus für die Veränderungsmessung in der pneumologischen Rehabilitation geeignet ist (Meffert et al., 2010).

6.3. Diskussion der Ergebnisse

6.3.1. Diskussion der Ergebnisse der deskriptiven Variablen

Die Ergebnisse der deskriptiven Variablen konnten keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen nachweisen. Unterschiede in der Trainierbarkeit zwischen beiden Gruppen lassen sich somit nicht auf die zugrunde liegenden anthropometrischen Werte zurückführen. Die Ergebnisse zeigen weiterhin eine gleichwertig ausgeprägte Tendenz zur Reduktion des BMI beider Gruppen im Verlauf des Ausdauertrainings. Die Abnahme zwischen den Zeitpunkten beider Erhebungen ist allerdings nicht signifikant ausgeprägt. Der BMI bei Trainingsaufnahme lag mit 23,32 (Asthma-Gruppe) und 22,85 (Kontroll-Gruppe) bereits in einem niedrigen Bereich, der als normalgewichtig angesehen werden kann. Ausgeprägte Veränderungen waren daher nicht zu erwarten.

6.3.2. Diskussion der Ergebnisse der Ausbelastungskriterien

6.3.2.1. Objektive Ausbelastungskriterien:

Für die Interpretation der subjektiven Ausbelastungskriterien und ist von besonderer Bedeutung, ob sich die objektiven Ausbelastungskriterien zwischen Asthma- und Kontrollgruppe unterscheiden. Nur bei gleichwertiger objektiver Ausbelastung während der Ausdauerstestverfahren ist der Vergleich der subjektiven Ausbelastungskriterien zwischen beiden Gruppen legitim. Die Beurteilung der objektiven ist daher unbedingt vor Interpretation der subjektiven Ausbelastungskriterien vorzunehmen.

Beide Gruppen zeigen eine geringe Tendenz zu einer gesteigerten maximalen Herzfrequenz (HF(max)), dies jedoch ohne statistische Signifikanz.

Autoren vergleichbarer Interventionsstudien weisen in Bezug auf die HF(max) signifikante Zunahmen nach einem körperlichen Interventionsprogramm aus (Ahmaidi et al., 1993; Ram et al., 2000; Varray et al., 1991). Als Erklärung geben sie an, dass bereits bei geringeren Belastungen auftretende Atemnot oder andere nicht kardiorespiratorische Faktoren im untrainierten Zustand die Eingangsuntersuchung limitiert, ohne dass die tatsächliche HF(max) bereits erreicht wurde.

Für die vorliegende Studie liegt die HF(max) der Asthma-Gruppe bei der Eingangsuntersuchung im Bereich von 168 bis 200/min (Mittelwert \pm Standardabweichung: 188,2/min \pm 10,0) bzw. im Bereich von 180 bis 202/min (Mittelwert \pm Standardabweichung: 192,2/min \pm 6,9) bei der Nachuntersuchung. Lediglich in einem Fall (HF(max) prä: 168/min) lag die gemessene HF(max) unter ihrem Schätzwert.

Demnach lag für diese Studie, bis auf einen Fall, bereits bei der Erstuntersuchung eine adäquate Ausbelastung bis zu einer HF(max) vor, so dass eine nochmalige signifikante Steigerung nicht zu erwarten war.

Dies lässt sich sicherlich auch anhand der Tatsache erklären, dass der Asthma-Zustand in dieser Studie insgesamt als gering einzustufen ist. Körperliche Limitierungen, die, wie von obigen Autoren beschrieben, einen Effekt auf die HF(max) haben könnten, waren daher nicht in erheblichem Ausmaß zu erwarten.

Bei der maximalen Laktatkonzentration wurden innerhalb der Kontroll-Gruppe signifikant höhere Werte im Verlauf von Erst- zur Nachuntersuchung erhoben. Die erhöhten Konzentrationen sind in Zusammenschau mit erhöhter maximaler Geschwindigkeit ($p(\max)$) und gesteigerter Geschwindigkeit an der IAS ($p(\text{IAS})$) als Trainingsanpassung zu verstehen: Durch das Ausdauerprogramm können die Probanden einem höheren Belastungsgrad mit längerer Dauer begegnen und diesen auch bei erhöhten Laktatwerten auf Grund einer besseren Säuertoleranz durch Anpassungsvorgänge in der Skelettmuskulatur aufrechterhalten.

Zudem zeigen beide Gruppen deutlich höhere Laktatkonzentrationen als den formulierten Grenzwert von 5,0mmol/l, so dass von einer adäquaten Ausbelastung beider Gruppen ausgegangen werden kann. Da sich weder bei Vor- noch Nachuntersuchung ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen erheben ließ, kann festgehalten werden, dass beide Gruppen die Ausdauer-testverfahren bis zu einem gleichwertigen Ausmaß absolvierten.

Die Ergebnisse der objektiven Ausbelastungskriterien liefern eine zuverlässige Grundlage für eine gleichwertige Trainingssteuerung beider Gruppen. Zudem lassen sie eine Interpretation der subjektiven Ausbelastungskriterien ausgehend von einem ebenbürtigen Ausgangsniveau zu.

6.3.2.2. Subjektive Ausbelastungskriterien

Für die Interpretation der Ergebnisse der subjektiven Ausbelastungskriterien muss zunächst verdeutlicht werden, dass die objektiven Ausbelastungskriterien auf eine gleichwertige Ausbelastung zwischen beiden Gruppen hinweisen. Nur so kann davon ausgegangen werden, dass bei Unterschieden in der subjektiven Einschätzung die Ursache nicht in einer objektiv stärkeren Ausbelastung und damit körperlichen Belastungsintensität liegt.

Die Asthma-Gruppe hat im untrainierten Zustand die Belastung für das Atemsystem durch die Laufbanduntersuchung deutlich intensiver wahrgenommen als die Kontroll-Gruppe. Nach Absolvierung des Trainingsprogramms wird die Belastung von beiden Gruppen gleich intensiv wahrgenommen. Innerhalb der Kontroll-Gruppe konnten keine Veränderung durch die Trainingsintervention nachgewiesen werden. Die Nachuntersuchung wurde von beiden Gruppen bezüglich der Belastungsintensität für die Atmung als gleich intensiv empfunden.

Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass Ausdauertraining bei der untersuchten Asthma-Gruppe eine Reduktion der Wahrnehmung von körperlicher Belastung für das Atemsystems bewirkt. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung liegen die von der Asthma-Gruppe angegebenen Wert auf dem Niveau der gesunden Kontroll-Gruppe.

Das Ausdauertraining hat innerhalb der Asthma-Gruppe die subjektive Wahrnehmung des körperlichen Anstrengungsgrades bis auf ein Niveau von gesunden Kontrollen reduziert. In der genaueren Analyse zeigt sich für die Differenz zwischen beiden Untersuchungszeitpunkten (Borg-Skala Atmung(post) - Borg-Skala Atmung(prä)) eine homogene, normalverteilte Reduktion um 2,0 ($\pm 0,57$). Lediglich ein Asthma-Patient gab eine Zunahme um einen Punkt an.

Dieses Ergebnis ist insofern als bedeutend anzusehen, da in der aktuellen Literatur lediglich eine Untersuchung zu den Auswirkungen von Ausdauertraining auf das subjektive Belastungsempfinden gefunden werden konnte: Basso et al. zeigten in ihrer Studie, dass zwischen dem wahrgenommenen Gefühl der Atemnot und der erreichten Laufstrecke im 6-Minuten-Gehtest eine negative Korrelation besteht. Eine höhere Gehstrecke im Test legt einen höhere Ausdauerleistungsfähigkeit nahe, so dass angenommen werden kann, dass ein besserer Trainingszustand die Wahrnehmung der Dyspnoe verringert (Basso et al., 2010).

Der Grund für diese Beobachtung könnte in einer geringeren Laktatazidose liegen: Der Organismus von Ausdauertrainierten ist an höhere Anforderungen adaptiert und kann Belastungen höherer Intensität mit geringerem Aufwand und damit auch geringerer Laktatbildung begegnen. Eine geringere Laktatazidose unter körperlicher Belastung hat auch einen geringeren unwillkürlichen Atemantrieb zur CO₂-Abatmung (als respiratorischen Kompensationsmechanismus) zur Folge. Dieser verringerte Atemantrieb unter Belastung kann daher auch als Erklärungsansatz für die subjektive Reduktion der Dyspnoe-Symptomatik unter Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit dienen. Für Asthmatiker könnte dies bedeuten, dass Dyspnoe in ihrem Alltag erst bei höheren Belastungen auftritt und somit die Belastungsgrenze, ab der die Symptome durch die Betroffenen tatsächlich auch als solche wahrgenommen werden, nach oben verschoben werden konnte.

Für das symptomatisch ähnliche Krankheitsbild der COPD konnten Untersuchungen ebenfalls die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen. Es konnte übereinstimmend gezeigt werden, dass durch eine verbesserte Ausdauerleistungsfähigkeit das Ausmaß der subjektiv empfundenen Dyspnoe in Ausdauer-testverfahren reduziert wird (Bianchi et al., 2011; von Leupoldt et al., 2008).

Die Autoren dieser Studien sehen darin eine wichtige Erkenntnis, da die in den Untersuchungen hervorgerufene Dyspnoe mit den alltäglichen Symptomen übereinstimmt. Eine Reduktion der subjektiv empfundenen Intensität sei daher auch für den Alltag zu erwarten.

Bezüglich der Einschätzung der Belastung für die Beinmuskulatur und der allgemeinen Belastung durch die Tests zeigen sich keinerlei Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Es kann angenommen werden, dass beide Gruppen, die Belastung durch beide Laufbanduntersuchungen für diese Aspekte als gleich intensiv wahrgenommen haben. Für die subjektive Alltagsbelastung konnten zwischen beiden Gruppen ebenfalls keine signifikanten Unterschiede und auch im Verlauf des Ausdauertrainings keine signifikanten Veränderungen erhoben werden. Durch das in dieser Studie angeleitete Ausdauertraining kommt es bei der untersuchten Asthma-Gruppe weder zu einer subjektiv wahrgenommenen Verbesserung, noch zu einer Verschlechterung der empfundenen Alltagsbelastung. Als überraschend kann festgehalten, dass beide Gruppen die erfragte subjektive körperliche Alltagsbelastung als gleich intensiv bewerten.

Als bedeutende Erkenntnis dieser Studie ist festzuhalten, dass Ausdauertraining die Wahrnehmung körperlicher Anstrengung, insbesondere fürs Atmungssystem, deutlich reduzieren kann. Eine Reduktion der subjektiven Dyspnoe-Symptomatik ist auch für den Alltag anzunehmen.

6.3.3. Diskussion der Ergebnisse der Trainingsdokumentation

Die Ergebnisse der Trainingsdokumentation zeigen für alle Belastungskomponenten eine durchweg hohe Übereinstimmung mit den Trainingsvorgaben. Daraus kann geschlossen werden, dass das angeleitete Trainingsprogramm auf die Leistungsfähigkeit der Probanden angemessen abgestimmt war.

Die größten Unterschiede zwischen beiden Gruppen bestehen bei der Anzahl der Einheiten im Abschnitt 3 (Wo. 9-12) mit einer Einheit. Dies liegt daran, dass das Ausdauertraining bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung erfolgte. Die Terminierung der Nachuntersuchung in der Sportmedizin war an die Untersuchungen in der Pneumologischen Abteilung der Universitätsklinik gebunden. Die Termine mussten mit dem Klinikalltag koordiniert werden. Es ergaben sich daher für den letzten Trainingsabschnitt 3 (Woche 9-12) nicht in jedem Fall eine einheitliche Trainingsdauer. Dieser Unterschied von einer Einheit im letzten Abschnitt fällt bei der Gesamtbeurteilung nicht ins Gewicht. Bei beiden Gruppen ergibt sich bei der Gesamtanzahl ein Median von 34 Einheiten.

Daraus kann geschlossen werden, dass beide Gruppen unabhängig vom Vorliegen einer Asthma-Erkrankung die Trainingspläne in gleichwertigem Maße erfüllen konnten.

6.3.4. Diskussion der Ergebnisse der errechneten leistungsdiagnostischen Ergebnisse

6.3.4.1. Vergleich der Ergebnisse beider Gruppen

Asthma- und Kontroll-Gruppe zeigen in allen erhobenen leistungsdiagnostischen Messgrößen signifikante Steigerungen. Im Zwischengruppenvergleich konnte für keine der untersuchten Variablen ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Ein

ebenbürtig ausgeprägter Leistungszuwachs kann daher für beide Gruppen angenommen werden.

Bei detaillierter Betrachtung weisen die Mittelwerte der leistungsdiagnostischen Variablen im Vergleich beider Gruppen (Asthma bronchiale vs. Kontroll) innerhalb der Asthma-Gruppe größere SD auf: p(IAS) prä: 9,62 ($\pm 1,92$) vs. 9,13 ($\pm 1,16$); p(IAS) post: 10,51 ($\pm 1,92$) vs. 10,38 ($\pm 0,85$); p(max) prä: 13,10 ($\pm 2,30$) vs. 12,57 ($\pm 1,61$); p(max) post: 13,97 ($\pm 2,20$) vs. 13,84 ($\pm 1,50$); $\dot{V}O_2$ (max) rel. prä: 41,44 ($\pm 7,25$) vs. 39,46 ($\pm 5,17$); $\dot{V}O_2$ (max) rel. post: 44,60 ($\pm 6,95$) vs. 44,15 ($\pm 4,24$).

Aus diesen Werten kann geschlossen werden, dass das Teilnehmerfeld der Asthma-Gruppe, in Bezug auf die Ausdauerleistungsfähigkeit vor Aufnahme des Trainingsprogramms breiter, d.h. heterogener aufgestellt war als das der Kontroll-Gruppe.

Ebenfalls kann aus diesen Werten konstatiert werden, dass das Ausdauerleistungsniveau der Asthma-Gruppe geringfügig über dem der Kontroll-Gruppe liegt, und dass das absolute Ausmaß der Verbesserungen der untersuchten Messgrößen der Kontroll-Gruppe über denen der Asthma-Gruppe liegen.

Betrachtet man in den Ergebnissen der leistungsdiagnostischen Variablen die relative Verbesserung (d.h. die Differenz in der paarweisen Analyse), liegt das Ausmaß der Verbesserung der Kontroll-Gruppe meist, und zum Teil deutlich, über dem der Asthma-Gruppe (Kontroll vs. Asthma): p(IAS): 13,42% vs. 9,29%; p(max): 10,10% vs. 6,64%; $\dot{V}O_2$ (max) rel.: 11,91% vs. 7,63%.

Allerdings erbrachte die statistische Analyse weder für den Ausdauerleistungsstand (anhand der verschiedenen leistungsdiagnostischen Variablen) noch für das Ausmaß der Verbesserung einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen, so dass dies lediglich als Tendenz gewertet und betrachtet werden darf. Ob sich für diese Tendenzen statistisch signifikante Belege finden lassen, könnte in Studien mit größeren Kollektiven abschließend untersucht werden.

Für die vorliegende Studie bleibt daher als legitimes Kernergebnis festzuhalten, dass durch das angeleitete Trainingsprogramm für Asthma- und Kontrollgruppe eine gleichwertige Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit erreicht wurde.

6.3.4.2. Ausmaß des eingetretenen Effektes durch das Ausdauertraining

Um das Ausmaß der eingetretenen Verbesserungen der Ausdauerleistungsfähigkeit einordnen zu können, sollen die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit bereits vor-

handenen Untersuchungen verglichen werden. In aktuellen Interventionsstudien dieses Themenbereichs wird die körperliche Ausdauerleistungsfähigkeit anhand der $\dot{V}O_2(\max)$ angegeben. Andere leistungsdiagnostische Variablen wie beispielsweise die p(IAS) kommen gar nicht oder nur in untergeordneter Rolle vor. Der Vergleich zur vorhandenen Literatur kann sich daher nur mit der $\dot{V}O_2(\max)$ als Repräsentant der Ausdauerleistungsfähigkeit befassen.

In diesem Kontext ist zudem wichtig festzuhalten, dass in der Mehrzahl der Studien Asthma-Patienten in Interventions- und Kontroll-Gruppe aufgeteilt werden. Ein Vergleich der Veränderungen (bzw. des Ausmaßes) zu einer gesunden Kontroll-Gruppe wird dabei nicht berücksichtigt. Die folgenden Angaben beziehen sich daher auf Ergebnisse von asthmatischen Interventionsgruppen:

Ram et al. werteten in einem systematischen Review die Effekte eines Ausdauertrainings bei Asthmatikern von acht Studien aus: Fünf dieser Untersuchungen bewerten die $\dot{V}O_2(\max)$ und zeigen dabei studienübergreifend eine signifikante Verbesserung der $\dot{V}O_2(\max)$ um 5,57 ml/kg/min innerhalb der Asthma-Gruppen (Ram et al., 2000).

In einem aktuellerem Review wurde aus acht eingeschlossenen Studien eine Verbesserung der $\dot{V}O_2(\max)$ um 4,92 ml/kg/min als Ergebnis festgestellt (Carson et al., 2013). Diese Metaanalyse schließt neben vier Studien, die bereits Ram et al. mit einbezogen hatten, vier weitere Interventionsstudien in die Auswertung mit ein. Die Autoren beider Übersichtsarbeiten (Ram et al. sowie Carson et al.) weisen bei den Ergebnissen der $\dot{V}O_2(\max)$ auf eine ausgeprägte Heterogenität in Intensität und Gestaltung und Modalität der Interventionen an. So wurden z.B. die stärksten Verbesserungen der $\dot{V}O_2(\max)$ von >9 ml/min/kg in Probandenkollektiven mit 10-14-jährigen Jugendlichen unter angeleitetem Schwimmtraining erzielt (Varray et al., 1995, 1991). Mit einer Intervention auf dem Fahrrad konnte eine Verbesserung von 6,0 ml/kg/min nachgewiesen werden (Counil et al., 2003). Die Ergebnisse dieser Studien trugen wesentlich zu den studienübergreifenden Ergebnissen von 5,57 bzw. 4,92 ml/kg/min bei.

Für die Gesamtergebnisse beider Reviews lässt sich daher in Bezug auf die Verbesserungsfähigkeit der $\dot{V}O_2(\max)$ festhalten, dass diese durch verschiedene Interventionen auch bei Asthmatikern, zum Teil deutlich, verbessert werden kann. Das Ausmaß hängt jedoch von Art und Intensität der Intervention sowie von den Grundgege-

benheiten (Alter und Trainingszustand) ab. Sowohl in untersuchtem Probandenkollektiv, als auch in Trainingsmodalität und -gestaltung bestehen zum Teil erhebliche Unterschiede zur hier vorliegenden Dissertation.

Um die Ergebnisse dieser Dissertation einordnen zu können, ist daher eine detaillierte Betrachtung der eingeschlossenen Studien und insbesondere die Analyse von Studien mit vergleichbarem Design nötig.

Die klinische Studie von Cochrane und Clark wurde in beide o.g. Reviews eingeschlossenen und ist sowohl in Altersstruktur der Probanden (16-40 Jahre) als auch in den Komponenten des Ausdauertrainings (Jogging über 30 Minuten pro Einheit, dreimal wöchentlich über drei Monate) vergleichbar (Cochrane und Clark, 1990). Die Autoren stellen eine Verbesserung der $\dot{V}O_2(\max)$ um 3,4 ml/kg/min fest, diese ist allerdings statistisch nicht signifikant. Diese Werte liegen im Bereich der Ergebnisse der Asthma-Gruppe der vorliegenden Studie.

Gonçalves zeigte für seine neun Studienteilnehmer der Interventionsgruppe (21-47 Jahre) eine signifikante Verbesserung um 5,1 ml/kg/min (Gonçalves, 2008). Die Komponenten des Trainingsprogramms (Intensität: 70% der Maximalleistung, Dauer: 30 Minuten, Häufigkeit 2x pro Woche) sind vergleichbar, allerdings liegt das Ausgangsniveau der $\dot{V}O_2(\max)$ mit 25,7 ml/kg/min deutlich unter dem, der Teilnehmer der vorliegenden Studie.

Zwei weitere Studien der o.g. Reviews (Mendes et al., 2011, 2010) bieten aufgrund der Trainingsgestaltung sehr gute und aufgrund der Probandencharakteristika relativ gute Vergleichsmöglichkeiten zu dieser Studie. Die erhobenen Werte der $\dot{V}O_2(\max)$ werden darin in Prozent der abgeschätzten Normwerte angegeben. Die relativen Verbesserungen der $\dot{V}O_2(\max)$ betragen 19,7% (Mendes et al., 2011) bzw. 21,4% (Mendes et al., 2010). Die absolute Zunahme der $\dot{V}O_2(\max)$ in der Studie aus 2010 wird mit 5,7 ml/kg/min angegeben. Diesen Wert kann man insofern als zuverlässig ansehen, da die Studie mit 50 Asthma-Patienten in der Interventionsgruppe über das größte Kollektiv der aktuellsten Metaanalyse von Carson et al. verfügt.

Diesen Ergebnissen steht in der vorliegenden Dissertation eine geringere relative Verbesserung von 8,7% in der Asthma-Gruppe gegenüber.

Einen Erklärungsansatz hierfür liefert das im Grundlagenteil beschriebene „Prinzip der progressiven Belastung“ (siehe 2.2.3 „Allgemeine Trainingsprinzipien“), wonach der auszulösende Effekt mit zunehmendem Leistungsniveau immer geringer wird.

Bei genauerer Betrachtung der Studien von Mendes et al. von 2010 und 2011 zeigt sich in beiden Fällen zwar ein deutlich größeres Ausmaß der Verbesserung, dies jedoch auf der Basis eines deutlich geringeren Ausgangsniveaus der Ausdauerleistungsfähigkeit (im Sinne einer deutlich niedrigeren $\dot{V}O_2(\max)$) als beim Asthma-Kollektiv der vorliegenden Arbeit.

Der geringere Zuwachs der vorliegenden Studie kann daher am relativ hohen Ausgangsniveau der Probanden liegen. Die Prüfung auf Korrelation zwischen dem Leistungszuwachs und dem Ausgangszustand unterstützt diese Theorie:

Es konnte für das gesamte Probandenkollektiv dieser Arbeit eine negative Korrelation mittleren Ausmaßes ($r = -0,5451$; $p < 0,05$) zwischen dem Ausgangsniveau der Ausdauerleistungsfähigkeit ($\dot{V}O_2(\max)$ rel. prä) und seiner Verbesserung durch das Trainingsprogramm ($(\dot{V}O_2(\max)$ rel. post - $\dot{V}O_2(\max)$ rel. prä) / $\dot{V}O_2(\max)$ prä) gezeigt werden.

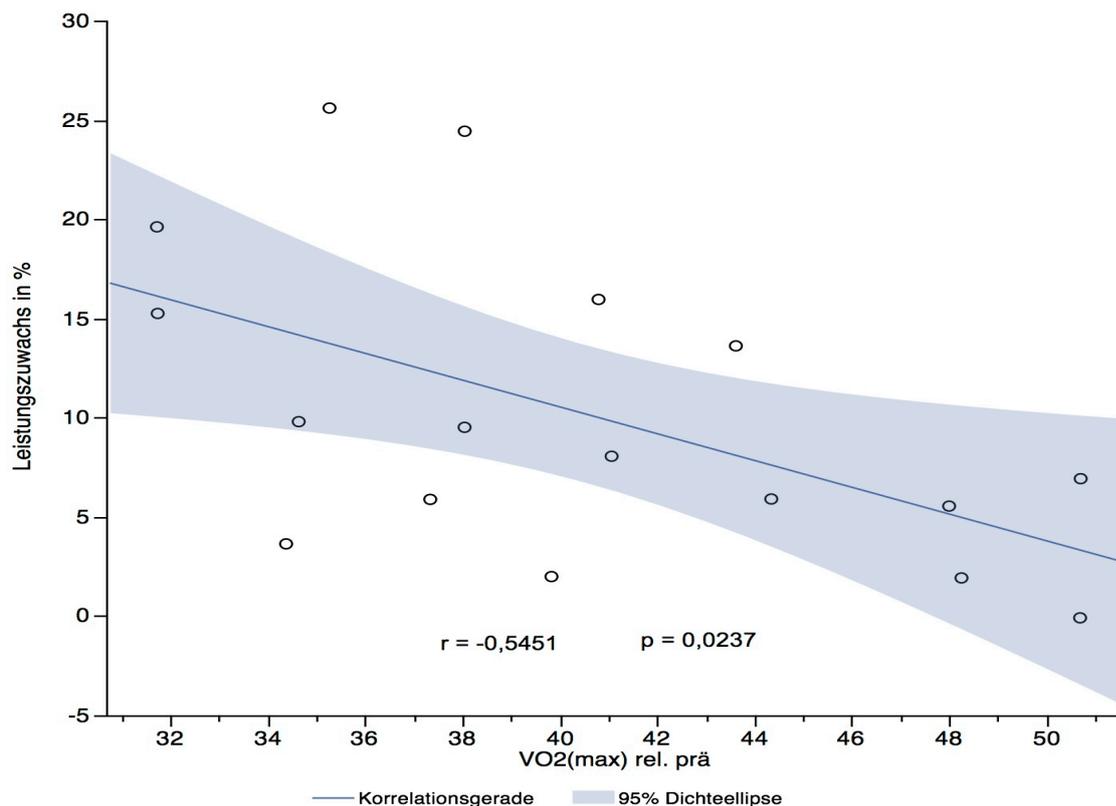


Abbildung 15 - Korrelation des relativen Leistungszuwachses und dem Ausgangszustand

Anhand der Abbildung wird deutlich, dass der prozentual erzielte Leistungszuwachs nach Beendigung des Trainings ($\dot{V}O_2(\max)$ post - $\dot{V}O_2(\max)$ prä) / $\dot{V}O_2(\max)$ prä mit zunehmendem Leistungsniveau immer geringer wird. Je niedriger der Ausgangszustand, desto höher ist das erreichte Ausmaß der Verbesserung der $\dot{V}O_2(\max)$

Das Ausmaß der in dieser Studie erzielten Ergebnisse der Asthma-Gruppe kann im Vergleich zur internationalen Literatur daher als angemessen und ebenbürtig bewertet werden.

Den Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe zieht lediglich eine Studie aus dem Jahr 1992: Robinson et al. konnten nach Intervention eines 12-wöchigen Trainingsprogramms in einem Fitnessstudio eine vergleichbare signifikante Verbesserung der $\dot{V}O_2(\max)$ um 3,8 ml/kg/min innerhalb der Asthma-Gruppe (von 27,5 auf 31,3 ml/kg/min) respektive 3,0 ml/kg/min in der Kontroll-Gruppe (von 29,2 auf 32,3) nachweisen (Robinson et al., 1992). Die Gruppenstärke mit acht Probanden der Asthma-Gruppe und sieben in der Kontrollgruppe entspricht der Teilnehmerstärke der hier vorgelegten Studie. Das Ergebnis eines gleichwertigen Effektes zwischen Asthmatikern und gesunden Kontrollen der vorliegenden Dissertation wird daher ebenfalls unterstützt.

6.3.5. Diskussion der Ergebnisse der spiroergometrisch gemessenen Messgrößen

Die Ergebnisse der Atemäquivalente zeigen sowohl für das EqO₂ als auch für das EqCO₂ signifikante Verbesserungen hin zu einer ökonomischeren Atemaktivität unter Belastung. Diese Ergebnisse stellen einen interessanten Aspekt dar, der ebenfalls als adäquate Reaktion auf ein Ausdauertrainingsprogramm zu werten ist.

Die Gleichwertigkeit des Verbesserungsausmaßes zwischen beiden Gruppen zeigt, dass auch Asthmatiker ihre Atemaktivität durch Ausdauersport ökonomisieren können. Diese Ergebnisse gehen einher mit den Resultaten die Hallstrand in einer Studie mit Asthmatikern erheben konnte (Hallstrand et al., 2000).

Die Veränderungen der $\dot{V}O_2(\max)$, die durch die spiroergometrischen Messungen erhoben werden konnten, bestätigen qualitativ zunächst die Ergebnisse der leistungsdiagnostischen Messgrößen: Bei beiden Gruppen waren deutliche Steigerungen in der paarweisen Analyse zu erfassen. Das Ausmaß der Veränderungen weicht mitunter jedoch deutlich von dem der berechneten $\dot{V}O_2(\max)$ ab: Die erfassten Veränderungen der gemessenen $\dot{V}O_2(\max)$ liegen hierbei, mit einem Plus von 22,3% bei der Kontroll-Gruppe, mehr als doppelt so hoch wie bei der Asthma-Gruppe (+9,0%). Dass dieser Unterschied zwischen beiden Gruppen nicht statistisch signifikant ist, kann an der großen Streuung der Werte innerhalb der Kontroll-Gruppe (Differenz

absolut: $8,23 \pm 8,63$) liegen. Für eine Interpretation sollen die gemessenen Werte mit den berechneten zunächst auf statistische Unterschiede hin untersucht werden.

Tabelle 45 - Vergleich der Veränderungen der $\dot{V}O_2(\max)$ in [ml/kg/min] in Abhängigkeit der angewendeten Methodik (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

	Ver- teilung	Mittelwert (\pm SD) gemessen	Mittelwert (\pm SD) berechnet	Differenz (\pm Std.fehler)	Signifikanz (p-Wert)
$\dot{V}O_2(\max)$ rel. prä	NV	36,17 (\pm 5,41)	40,50 (\pm 6,24)	4,34 (\pm 2,01)*	p=0,0383
$\dot{V}O_2(\max)$ rel. post	NV	41,73 (\pm 8,60)	44,39 (\pm 5,66)	2,66 (\pm 2,50)	p=0,2970
Differenz post-prä	NV	+5,57 (\pm 5,88)	+3,89 (\pm 2,75)	1,68 (\pm 1,57)	p=0,2969

*statistisch signifikant für $p < 0,05$

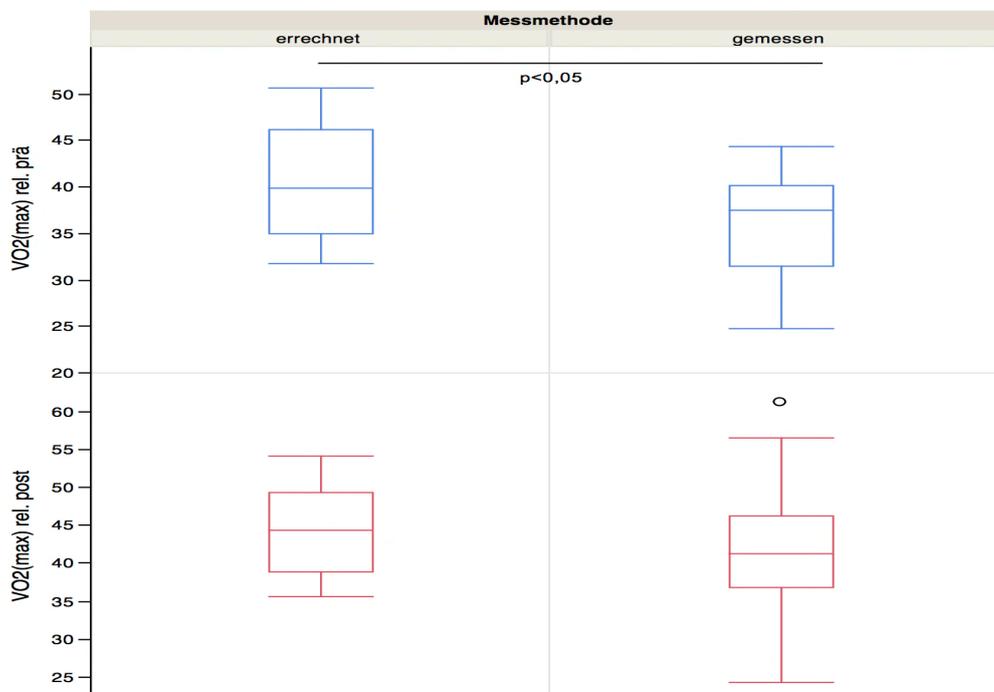


Abbildung 16 - Vergleich der durch unterschiedliche Methoden erhobenen Werte der maximalen Sauerstoffaufnahme.

Die Abbildung zeigt die ermittelten Werte der $\dot{V}O_2(\max)$ rel. in Abhängigkeit von der verwendeten Methodik. Die statistischen Charakteristika werden anhand von Box-Whisker-Plots verdeutlicht. Der Vergleich der Mediane der Box-Whisker-Plots zeigt, dass bei der spiroergometrischen Messung niedrigere Werte als bei der Berechnung festgestellt wurden. Für die $\dot{V}O_2(\max)$ rel. prä konnte hierfür eine statistische Signifikanz erhoben werden.

Auffallend ist die breite Streuung der Werte bei der Messung der $\dot{V}O_2(\max)$ rel. post, die anhand der Quartilgrenzen abgelesen werden kann. Der Kreis oberhalb des Box-Whisker-Plots symbolisiert einen Ausreißer, d.h. einen Wert der außerhalb dieser Quartil-Grenzen liegt.

Tabelle 45 und **Abbildung 16** zeigen, dass bei der Messung der $\dot{V}O_2(\max)$ eine breitere Streuung der Werte vorliegt. Dies wird anhand der großen Standardabweichung und auch anhand der Quartilgrenzen insbesondere bei der

Nachuntersuchung ($\dot{V}O_2(\max)$ rel. post) deutlich. Der hohe Wert der Differenz (bei der paarweisen Analyse) innerhalb der Kontroll-Gruppe lässt sich auch mit dem in **Abbildung 16** dargestellten Ausreißer erklären.

Die Betrachtung der gemessenen Werte der $\dot{V}O_2(\max)$ müssen daher besonders vor dem Hintergrund der zugrunde liegenden Methodik interpretiert werden. Wie bereits in Absatz 6.2.2.3 („Vergleich zwischen spiroergometrischer Messung und errechneten Werten der maximalen Sauerstoffaufnahme ($O_2(\max)$)“) dargelegt, ist die Messmethode mit anschließender „Rückwärts-Extrapolierung“ fehleranfälliger als die Berechnung. Die breite Streuung, die sich insbesondere bei der $\dot{V}O_2(\max)$ post darstellt, bestätigt die in der Diskussion der Methodik vermutete Theorie der größeren Fehleranfälligkeit.

Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass die gemessenen Werte (mit Ausnahme des Ausreißers) im Mittel unter denen der errechneten Ergebnisse liegen. Dies könnte daran liegen, dass bei der „Rückwärts-Extrapolierung“ die stark abfallende Kurve nicht steil und damit weit genug nach oben extrapoliert wurde. Den errechneten Werten ist auch nach Betrachtung der statistischen Auswertung höhere Glaubwürdigkeit beizumessen.

Die Qualität der Ergebnisse der spiroergometrischen Messung bestätigen aber die Ergebnisse der leistungsdiagnostischen Variablen: Durch das angeleitete Ausdauertraining kommt es in beiden Gruppen zu einer signifikanten Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Hierbei zeigt die Kontroll-Gruppe tendenziell einen höheren Effekt.

6.3.6. Diskussion der Ergebnisse des SGRQ

Im Folgenden sollen die Ergebnisse des SGRQ genauer analysiert und anhand aktueller Literatur verglichen und diskutiert werden. Im Vergleich zu anderen Studien ist allerdings festzuhalten und zu bedenken, dass eine ausgeprägte Heterogenität in Bezug auf die verwendeten Fragebögen besteht. Ein Vergleich absoluter Werte ist daher nicht sinnvoll. Dennoch können in Studien erhobene Ergebnisse qualitativ mit den Resultaten der vorliegenden Studie abgeglichen werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen einen Rückgang d.h. eine subjektiv empfundene Verbesserung in allen erfragten Teilbereiche („Symptom-Score“, „Activity-Score“, „Impacts-Score“ und „Total-Score“) innerhalb des SGRQ.

Einzig im Bereich „Impacts-Score“ wurde das festgelegte Signifikanzniveau nicht erreicht. Daher soll hierüber zunächst eine genauere Analyse vorgenommen werden: Der „Impacts-Score“ bezieht sich auf Fragen zu emotionalen Komponenten wie Ängstlichkeit und depressiver Verstimmung. Gerade diese beiden Komponenten scheinen nach aktuellsten Untersuchungen an großen Probandenkollektiven besonders gut auf Sportinterventionen anzusprechen (Wegner et al., 2014). Fünf von sechs aktuellen Studien, die Auswirkungen von Ausdauertraining auf den Teilbereich zu psychosozialen Faktoren, Ängstlichkeit und Depressivität im Rahmen von Untersuchungen zur Lebensqualität erhoben, zeigen signifikante Verbesserungen (Cambach et al., 1997; Fanelli et al., 2007; Gonçalves, 2008; Mendes et al., 2013; Turner et al., 2011). Lediglich Moreira konnte für diesen Bereich keine signifikanten Veränderungen nachweisen (Moreira et al., 2008). Dennoch ist die Richtung der Veränderung hin zu besseren Werten eindeutig.

Warum dieser Aspekt in der vorliegenden Arbeit nicht wie die anderen Bereiche signifikant ausfällt, bleibt daher zu diskutieren.

Ferrer et al. geben für den „Impacts-Score“ einen Wert von 4,73, die Autoren des SGQR einen Wert von 2 (± 1) als Referenz für die gesunde Normalbevölkerung an (Ferrer et al., 2002; Jones und Forde, 2009). Der Ausgangswert des „Impacts-Score“ befand sich daran gemessen mit 9,74 (Median) für das vorliegende Probandenkollektiv bereits auf relativ niedrigem Niveau.

Betrachtet man die statistischen Charakteristika des ermittelten „Impacts-Score“ und die Veränderung von prä nach post (siehe auch **Abbildung 11** und **Abbildung 12**) fällt auf, dass lediglich ein Patient (mit der Kennung A6) eine Zunahme angibt. Diese liegt mit +7,24 auffallend weit über seinem Ausgangswert. Mit einer relativen Steigerung von 29,9% befindet sich diese aber auch deutlich über den Entwicklungen der restlichen Patienten dieser Studie. Dass das Signifikanzniveau nicht erreicht wurde, liegt vermutlich auch an diesen, vom Rest abweichenden Angaben.

Eine genauere Analyse der Angaben des Patienten „A6“ in den weiteren Bereichen, zeigt, dass im „Symptom-Score“ post, „Activity-Score“ prä und post, „Impacts-Score“ post und auch im „Total-Score“ prä und post jeweils die höchsten Werte ermittelt wurden. Auch bei den Veränderungen zeigte sich in seinem Fall für den Total- (-9,8%) und den Symptom-Score (-1,4%) die geringsten relativen Veränderung. Dieser Patient repräsentiert daher, gemessen an seinen Angaben im SGRQ, im vorliegenden Patientenkollektiv der Asthma-Gruppe, den höchsten Krankheitswert.

Einschränkungen in Bezug auf seine Leistungsfähigkeit im Vergleich zu den anderen Teilnehmern dieser Studie waren nicht zu erheben: Es konnte bei ihm ein deutlicher relativer Leistungszuwachs von 9,5% bei überdurchschnittlicher Compliance zu den Trainingsvorgaben beobachtet werden.

Prüft man das Ausmaß der Verbesserung im Impact-Score auf Korrelation zum Ausgangszustand („Impacts-Score prä“) und zum Ausgangszustand des „Total-Score“ („Total-Score prä“) zeigt sich eine Korrelation von $r=-0,6037$ ($p=0,0852$) bzw. ein Korrelationskoeffizient von $r=-0,4814$ ($p=0,1895$). Die Werte der Differenz des „Impacts-Score“ liegen für die Patientenkenntung „A6“ außerhalb (für die Korrelation zwischen der Differenz des „Impacts-Score“ zu seinem Ausgangszustand) respektive gerade noch innerhalb der 95%-Normalellipse (für die Korrelation zwischen der Differenz des „Impacts-Score“ und dem „Total-Score prä“).

Dies bedeutet, zum Einen, dass für alle restlichen Patienten gilt, dass die Verbesserung im „Impacts-Score“ umso größer ist, je höher die Werte im „Total-Score“ und „Impacts-Score“ vor Aufnahme des Trainings waren. Zum Anderen kann angenommen werden, dass die Entwicklung des Patienten „A6“ innerhalb dieser Studie entgegen der Richtung der übrigen Patienten geht und daher als Einzelfall bzw. Ausreißer betrachtet werden kann.

Alle weiteren Studienteilnehmer der Asthma-Gruppe zeigten in Übereinstimmung mit der Literatur eine Verbesserung bzw. zumindest keine negativen Auswirkungen im „Impacts-Score“ durch die Trainingsintervention. Nach dem Ausdauertraining lag der Median für die beobachteten Patienten bei 4,36. Im Vergleich zu den postulierten Werten für die Normalbevölkerung, liegt die Asthma-Gruppe dieser Studie nur noch geringfügig darüber.

Zur Auswirkung von Ausdauerprogrammen auf Häufigkeit, Frequenz, Dauer und Intensität der Symptomatik bei Asthmatikern finden sich breite Angaben in der aktuellen Literatur: Übereinstimmend zeigen Studien und Meta-Analysen hierbei eine Zunahme der symptomfreien Tage durch Ausdauertraining (Eichenberger et al., 2013; Gonçalves, 2008), auch mit anhaltendem Effekt nach Beendigung der Intervention (Mendes et al., 2013, 2010). Frequenz, Dauer (Carson et al., 2013; Gonçalves, 2008; Varray et al., 1991) und auch die Intensität der auftretenden Symptomatik (Cambach et al., 1997; Wang und Hung, 2009) scheinen sich ebenfalls unter Ausdauersport zu verbessern.

Diesen Erkenntnissen stehen einige Studien gegenüber, die keine Veränderungen in ihren Befragungen zu Symptomen erheben konnten (Boyd et al., 2012; Ram et al., 2000; Swann und Hanson, 1983; Wicher et al., 2010).

In Zusammenschau dieser Studien ist daher festzuhalten, dass sich durch Ausdauertraining zum Teil deutliche Effekte auf die Symptomatik betroffener Asthma-Patienten hervorrufen lassen können. Dass einige Autoren keine Veränderung in Scores zu Symptomen erheben konnten, sollte man ebenfalls positiv werten: Keine einzige Studie berichtet von einer Verschlimmerung der Symptomatik durch Interventionsprogramme mit körperlicher Aktivität.

Im Patientenkollektiv dieser Studie zeigten ausnahmslos alle Patienten eine Verbesserung im „Symptom-Score“ des SGRQ. Interessant ist hierbei, dass das Ausmaß der Verbesserung ebenfalls mit dem Ausgangswert („Symptom-Score prä“) zusammenhängt. Hierfür konnte eine Korrelation mittleren Ausmaßes ($r = -0,6141$, $p = 0,0785$) erhoben werden. Je stärker die Probanden sich in ihrer Symptomatik vor Aufnahme des Trainings eingeschränkt sahen, desto größer war die erreichte Verbesserung.

Abbildung 17 veranschaulicht diesen Zusammenhang.

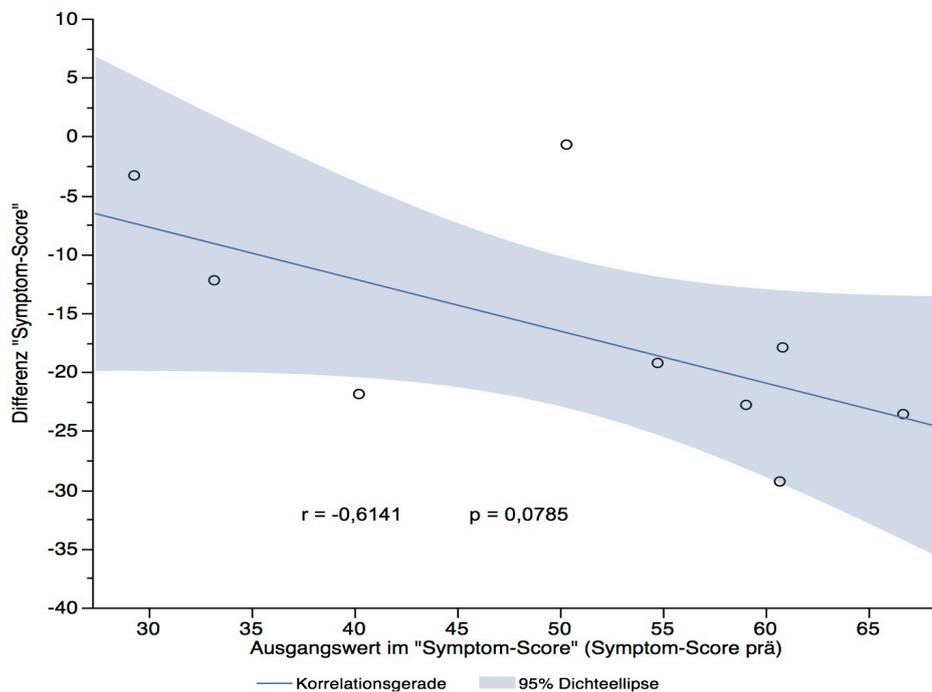


Abbildung 17 - Korrelation der Verbesserung im "Symptom-Score" zum Ausgangswert („Symptom-Score prä“)

Es zeigt sich eine Korrelation mittlerer Stärke, die das Signifikanzniveau nur knapp verfehlt. Die Abbildung verdeutlicht aber auch einen Punkt, der deutlich außerhalb der 95%-Dichteellipse liegt. Er zeigt lediglich eine Reduktion im „Symptom-Score“ von 0,7 Punkten. Die weiteren Punkte liegen sehr harmonisch im Bereich des Kurvenverlaufs innerhalb, bzw. knapp außerhalb der Dichteellipse.

Mit Ausnahme des deutlichen Ausreißers kann für die Patienten dieser Studie der oben dargestellte Zusammenhang angenommen werden. Die Zuordnung zeigt, dass dem „Ausreißer“ die Kennung „A6“ zugewiesen ist. Ebenso wie beim „Impacts-Score“ gab es im eingeschlossenen Kollektiv einen Patienten, der trotz eines relativ hohen Ausgangswertes nur eine sehr geringe Verbesserung im „Symptom-Score“ (bzw. sogar eine Verschlechterung im „Impacts-Score“) zeigte. In Bezug auf die Korrelation zum Ausgangszustand stehen die Werte von „A6“ im Gegensatz zu den Ergebnissen der restlichen Patienten und können daher als Ausnahme betrachtet werden.

Für alle Patienten dieser Studie gilt, dass das Ausdauertraining zur Reduktion im „Symptom-Score“ geführt hat. Das Ausmaß der Reduktion korrelierte (mit einer Ausnahme) mit dem Ausgangswert im „Symptom-Score“.

Im Bereich Aktivitäten („Activity-Score“) zeigte sich ebenfalls eine deutliche Abnahme nach Absolvierung des Ausdauertrainings. Dieses Ergebnis geht einher mit den (wenigen) Studie, die diesen Bereich dezidiert aufführen (Gonçalves, 2008; Mendes et al., 2013) und zeigt auch im Ausmaß große Übereinstimmung. Mendes et al zeigten einen Rückgang um 45% im Bereich der körperlichen Einschränkungen im Alltag (Mendes et al., 2010). Lediglich ein Patient gab für diesen Bereich keine Verbesserung bzw. Veränderung an. Allerdings lag der Bereich „Aktivitäten“ bei diesem bei Aufnahme in die Studie bereits bei einem Wert von 5,69. Verglichen mit den von Ford bzw. Mendes angegebenen Normalwerten lag dieser Patient damit bereits unter dem Niveau für die gesunde Bevölkerung. Eine Reduktion war daher nicht zu erwarten. Alle weiteren Patienten zeigten auch in diesem Bereich zum Teil deutliche Verbesserungen.

Für das Ausmaß der Verbesserung im „Activity-Score“ mit dem Ausgangswert konnte eine statistisch signifikante Korrelation hoher Aussagekraft nachgewiesen werden ($p=0,7678$; $p=0,0157$). Je stärker sich ein Patient dieser Studie vor Aufnahme des Trainings eingeschränkt sah, desto größer war seine Verbesserung.

Der Bereich „Aktivitäten“ ist aber insofern als kritisch zu hinterfragen, da hier körperliche Einschränkungen im Alltag und die Alltagsaktivität erfasst werden. Durch ein Trainingsprogramm im Rahmen von Studien sind die Teilnehmer automatisch gezwungen sich körperlich zu betätigen. Sie müssen sich bei Studienteilnahme daher auch entgegen möglichen physischen oder psychischen Befindlichkeiten zu körperlicher Aktivität aufrufen. Dass nach einem Ausdauerprogramm, die körperliche Ein-

schränkung und das Aktivitätsniveau positiver empfunden werden, erscheint daher nicht überraschend.

Entscheidend und wichtig für weiterführende Beurteilungen wäre daher die Frage, ob die Patienten das körperliche Aktivitätsniveau auch nach Beendigung der Studie beibehalten. Solch eine Thematik ist aber im verwendeten Fragebogen leider nicht beinhaltet. Auch eine erneute Beurteilung nach längerer Beobachtungszeit wäre hier sicherlich aufschlussreich und sinnvoll.

Der „Total-Score“ setzt sich aus den drei verschiedenen Teilbereichen zusammen und zeigt entsprechend der Entwicklungen der übrigen Bereiche für alle Teilnehmer eine Reduktion der angegebenen Werte.

Der Median liegt nach Beendigung des Ausdauertrainings bei 12,84 und damit nur noch geringfügig über den Referenzwerten der gesunden Normalbevölkerung, die mit 8,41 (Ferrer et al., 2002) bzw. 6 ± 2 (Jones und Forde, 2009) angegeben werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stimmen überein mit Resultaten aktueller Literatur: So geben beispielsweise Eichenberger et al. eine studienübergreifende Verbesserung der Lebensqualität um 17% an (Eichenberger et al., 2013). Allerdings sind die hierbei herangezogenen Fragebögen und auch die Trainingsinterventionen der eingeschlossenen Studien von der vorliegenden Arbeit zum Teil deutlich abweichend. Der in dieser Studie durchgeführten Intervention gleichen die Ausdauerprogramme von Goncalves et al. Die Autoren geben eine Verbesserung der Gesamtwerte der erfassten Lebensqualität um rund 30% an (Gonçalves, 2008). Allerdings wurde auch hier ein unterschiedlicher Fragebogen verwendet.

Bei der detaillierten Analyse der Ergebnisse des „Total-Score“ der vorliegenden Studie zeigt sich in zwei Fällen nur eine geringfügige Reduktion von absolut 3,14 (Kennung „A5“) bzw. 3,96 (Kennung „A6“). Bezieht man diese Werte auf den Ausgangswert, zeigen sich relative Reduktionen um 38,3 bzw. 9,8%. Dabei entspricht die relative Reduktion um 38,3% von Patient „A5“ der Tendenz des gesamten Kollektivs, wonach das Ausmaß der Veränderung vom Ausgangswert abhängt. Wie bei allen Teilbereichen zeigt auch der „Total-Score“ diesen Zusammenhang (siehe **Abbildung 18**).

Allein die Angaben von Patient „A6“, die trotz hohem Ausgangswert nur geringfügige Verbesserungen aufweisen, widersprechen dieser Annahme. Wie auch **Abbildung 11** bei den Ergebnissen zeigt, war seine hohe Angabe im „Total-Score post“ deutlich vom restlichen Teilnehmerfeld abgewichen. Bei der Gesamtbetrachtung der Ergeb-

nisse des SGRQ sollte daher in der Schlussfolgerung eine getrennte Betrachtung zwischen diesem Teilnehmer „A6“ und dem restlichen Kollektiv vorgenommen werden.

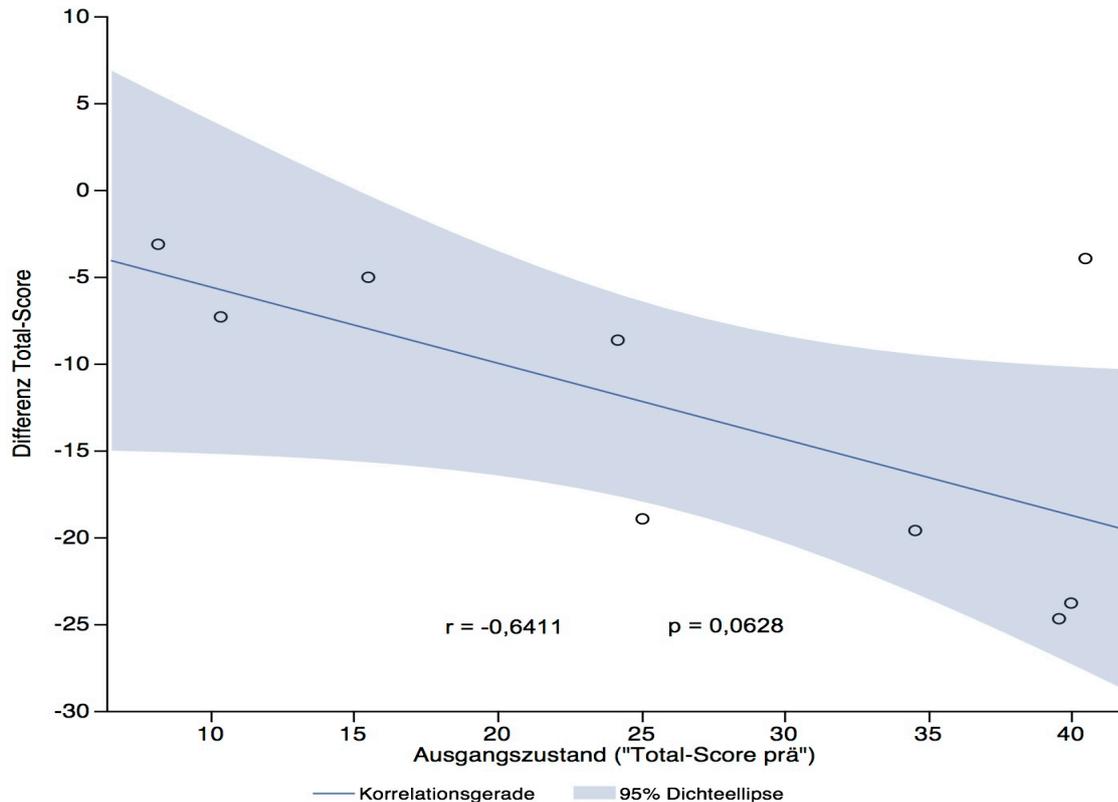


Abbildung 18 - Korrelation der Veränderung im "Total-Score" und seinem Ausgangswert („Total-Score prä“)

Es zeigt sich die Abhängigkeit des Ausmaßes der Verbesserung im „Total-Score“ von seinem Ausgangswert. Je höher der Ausgangswert vor dem Ausdauertraining war, desto größer war die erzielte Verbesserung nach Beendigung. Allerdings zeigt sich ein Punkt weit entfernt von dieser Korrelationsgeraden. Daraus kann zum Einen abgelesen werden, dass dieser Patient ein hohes Ausgangsniveau im „Total-Score“ angegeben hat, seine Verbesserung aber nur geringfügig war. Zum Anderen zeigt die deutliche Entfernung von der Korrelationsgeraden, dass für diesen Patienten innerhalb des Kollektivs die hier graphisch beschriebene Annahme der Korrelation nicht gilt.

Zusammenfassend kann für das untersuchte Teilnehmerfeld eine deutliche Verbesserung der subjektiven Krankheitswahrnehmung in allen Teilbereichen des verwendeten Fragebogens durch das Ausdauertraining festgehalten werden. Die Analysen der Ergebnisse zeigen, dass das Ausmaß dieser Verbesserung mit dem Ausgangswert korrelierte. Je höher der Krankheitswert zu Beginn, desto größer waren die erzielten Effekte. Aus dieser Beobachtung könnte gefolgert werden, dass bei einem Kollektiv, mit noch höherem Krankheitswert (d.h. höhere Angaben der Werte im SGRQ-Score) gleichfalls stärkere Effekte zu erzielen wären.

Die Angaben eines Studienteilnehmers (Kennung „A6“) widersprechen allerdings dieser Folgerung. Dieser Patient stellte sich in den Analysen als derjenige, mit den höchsten Werten im SGRQ dar. In seinem Fall war es trotz höherem Ausgangswerten nur zu vergleichsweise niedrigeren Verbesserungen gekommen. Dies steht der Theorie von größeren Effekten bei höheren Ausgangswerten entgegen.

Es wäre daher ebenfalls denkbar, dass die Korrelation zwischen Verbesserung und Ausgangswert nur bis zu einem gewissen Krankheitsgrad besteht.

Die Frage ist daher, ob die Angaben dieses Patienten als Ausnahme im untersuchten Kollektiv anzusehen sind, oder ob der Krankheitsgrad dieses Patienten eher einen Grenzwert repräsentiert, ab dem oben beschriebene Korrelation nicht mehr im beobachteten Maße gilt.

In einer Studie von Mendes et al. konnte eine lineare Abhängigkeit zwischen dem Ausmaß der Verbesserung in Bereichen Ängstlichkeit, Depression und Gesamt-Score mit dem Ausgangszustand (je schlechter der Ausgangszustand desto stärker das Ausmaß der Verbesserung) erhoben werden (Mendes et al., 2010). Dies würde die Einordnung der Angaben von Patient „A6“ als Ausnahme unterstützen. Zwar konnte im Absatz 6.3.4.2 gezeigt werden, dass die Studie von Mendes et al. der vorliegenden Arbeit in Bezug auf die Gestaltung des Ausdauertrainings gleicht, allerdings gestaltet sich ein direkter Vergleich in Bezug auf die Lebensqualität schwierig, da unterschiedliche Fragebögen verwendet wurden.

Abschließende Gewissheit ob diese Theorie tatsächlich zutrifft, lässt sich daher nur durch weiterer Studien mit größerem Teilnehmerfeld, gegebenenfalls mit höherem Krankheitswert und Subgruppenanalysen, klären.

6.3.7. Diskussion der Ergebnisse der Prüfung auf Korrelationen

Die Ergebnisse in Absatz 5.7.1 zeigen, dass zwischen dem „Total-Score“ vor Aufnahme des Trainingsprogramms eine negative Korrelation mit der $\dot{V}O_2(\max)$ als leistungsdiagnostischer Variablen, besteht. Der hierbei erhobene Zusammenhang bewertet den „Ist-Zustand“ vor Aufnahme des Trainingsprogramms. Dies bedeutet, dass bei den Patienten dieser Studie eine gut ausgeprägte Ausdauerleistungsfähigkeit mit einer subjektiv besseren Lebensqualität einhergeht.

Dies steht im Einklang mit den in der Einleitung angeführten Studienergebnissen, die einen direkten Zusammenhang zwischen körperlicher Leistungsfähigkeit und der Lebensqualität bei Asthmatikern erhoben haben.

Der „Activity-Score“ zeigt zu Beginn der Studie unter den Teilnehmern ebenfalls eine negative Korrelation zu leistungsdiagnostischen Variablen. Dies lässt sich damit erklären, dass ein höheres Leistungsniveau nur durch mehr körperliche Aktivität zu erreichen ist. Ein höheres Aktivitätsniveau im Alltag entspräche geringeren Werten im „Activity-Score“ (d.h. geringere Eingeschränktheit bei körperlichen Aktivitäten), so dass dieser Ansatz durchaus plausibel erscheint.

Dagegen weist der „Symptom-Score“ bei Aufnahme zu allen erhobenen leistungsdiagnostischen Variablen eine positive Korrelation auf. Dies würde bedeuten, dass sportlich aktivere Patienten dieser Studie eine subjektiv schlimmere Wahrnehmung ihrer Symptome registrieren.

Eine subjektiv schlechtere Symptomatik bei höherem Ausdauerlevel wäre z.B. durch ein „Exercise-induced Asthma“ erklärbar, d.h. dass die Asthma-Symptomatik durch sportliche Aktivität hervorgerufen wird. Wäre diese Form bei befragten Probanden dieser Studie vorhanden, könnte das die Ursache des Zusammenhangs zwischen schlechterer Symptomatik und besserer Ausdauerleistungsfähigkeit vor Trainingsaufnahme sein.

In Abschnitt 5.7.2 sind weitere Ergebnisse von Prüfungen auf Korrelation aufgeführt. Darin wurden jeweils die Differenzen der leistungsdiagnostischen Variablen mit den Differenzen der SGRQ-Scores auf einen Zusammenhang geprüft. Daraus lässt sich ablesen wie (und wie stark) sich die verschiedenen Bereiche des SGRQ durch Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit reagieren: Einzig die Differenz im „Symptom-Score“ weist eine positive Korrelation mit der Differenz leistungsdiagnostischer Variablen (hier: Differenz der „p(IAS)) auf: Je stärker sich der Trainingszustand verbesserte, desto stärker verschlechterte sich der „Symptom-Score“. Da der Trainingseffekt vom Trainingsausmaß abhängt, könnte man anhand der Ergebnisse feststellen, dass die Symptome umso stärker und häufiger wahrgenommen wurden, je stärker (und häufiger) trainiert wurde.

Auch hier wäre eine mögliche Erklärung, dass die (plötzlich) höhere körperliche Aktivität an der frischen, zum Teil kalten, Luft Symptome im Rahmen eines „Exercise-induced Asthma“ hervorgerufen hat.

Generell zeigen die Ergebnisse aber eine positive Korrelation zwischen der Verbesserung des „Total-Scores“ bei Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Das Ausmaß der Effekte im „Total-Score“ hängt vom Ausmaß des Effektes des Ausdauertrainings ab. Der „Activity-Score“ weist hierbei die größte Korrelation auf, woraus gefolgert werden kann, dass besonders dieser Teilbereich zur Verbesserung im „Total-Score“ beigetragen hat.

6.4. Grenzen der Aussagekraft innerhalb dieser Studie

Die erhobenen und diskutierten Ergebnisse haben vor dem Hintergrund nachfolgender Punkte begrenzte Aussagekraft:

6.4.1. Probandenauswahl und Rekrutierungsprozess

Die Teilnahme an der Studie erfolgte zum einen auf freiwilliger Basis, zum anderen wurde eine Aufwandsentschädigung von 500€ an die Studienteilnehmer gezahlt. Eine freiwillige Teilnahme bringt automatisch eine gewisse Grundmotivation seitens der Probanden mit sich. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Teilnehmer dieser Studie der Intervention „Ausdauertraining“ eher positiv und offen gegenüber standen, als dies bei einem Gesamtkollektiv der Fall ist. Dies gilt insbesondere für die Asthma-Gruppe: Gegenüber einem breiten und heterogenen klinischen Patientenkollektiv mit zum Teil unmotivierten sowie unsportlichen Patienten muss für diese Studie angenommen werden, besonders die motivierten und von einer positiven Auswirkung des Ausdauertrainings überzeugten Asthma-Patienten selektiert zu haben. Die Konsequenz dieser Selektion bringt für diese Studie günstige Aspekte für die Compliance bei Befolgung der Trainingsanweisungen und der Ausbelastung im Rahmen der Untersuchungen mit sich.

Zudem bewirkt eine positive Grundstimmung auch eine Erhebung günstigerer, d.h. besserer Werte in den Befragungen zur Lebensqualität.

Des Weiteren ist der Aspekt der relativ hohen finanziellen Aufwandsentschädigung als kritisch zu betrachten:

Durch die Aufwandsentschädigung wurden Anreize zur Durchführung und Absolvierung der Trainingsintervention geschaffen, welche unter normalen Gegebenheiten bei klinischen Patienten in dieser Form womöglich nicht zu erreichen wären. Es können sich daher auch aufgrund der Aufwandsentschädigung eine höhere Compliance, Trainingsmotivation und dadurch größere messbare Effekte eingestellt haben, als dies bei einem Ausdauertraining ohne monetären Anreiz der Fall wäre.

Der Vergleich zwischen Asthmatikern und gesundem Teilnehmerfeld ist insofern als kritisch zu beleuchten, da die Teilnehmer Asthma-Gruppe eher klinisch gering betroffenen Patienten entsprechen.

Die in dieser Studie erhobenen Ergebnisse können daher nicht als repräsentativ für alle Asthma-Patienten angesehen werden und sollten daher stets auf das in dieser Studie untersuchte Patientenspektrum bezogen werden. Für ein Patientenfeld, welches in Alter und Schweregrad dem der untersuchten Asthma-Gruppe entspricht, sind die dargestellten Effekte allerdings als relevant und bedeutend anzusehen.

6.4.2. Einschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit

Die Probanden wurden eingangs zu ihrem Ausdauerleistungsniveau befragt, um eine Einschätzung zum Ausgangsniveau zu erhalten. Dadurch sollten möglichst Teilnehmer mit einer geringen Ausdauerleistungsfähigkeit rekrutiert werden, um so durch die Intervention höhere Effekte zu erzielen.

Es zeigte sich aber, dass in dieser Studie sowohl bei Asthma- als auch Kontroll-Gruppe ein Teilnehmerfeld mit fortgeschrittener Ausdauerleistungsfähigkeit rekrutiert wurde. Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit zeigt weiter, dass das untersuchte Asthma-Kollektiv höhere Werte (in Bezug auf die $\dot{V}O_2(\max)$) als vergleichbare Studien, aufweist.

Es ist daher davon auszugehen, dass bei einer möglichen Trainingsintervention als Therapie für Asthma-Patienten im klinischen Umfeld eine deutlich geringere Ausdauerleistungsfähigkeit vorliegt, als bei dieser Studie.

Die Diskussion der Ergebnisse dieser und vergleichbarer Studien konnten zeigen, dass sich von einem niedrigeren Ausdauerleistungsniveau ausgehend, zum Teil höhere Trainingseffekte erzielen lassen können. Die erzielten Effekte wären daher bei gleicher Methodik aber weniger trainiertem Patientenkollektiv möglicherweise noch höher ausgefallen.

6.4.3. Angaben der Trainingsdokumentation

Die Trainingsdokumentation wurde von den Probanden geführt. Es lässt sich daher nicht ausschließen, dass fehlerhafte Angaben in den Auswertungsprozess mit übernommen wurden.

6.4.4. Angaben der Borg-Skala

Die Angaben der befragten Person sind von der momentanen Motivation und der individuellen physischen und psychischen Widerstandsfähigkeit abhängig und können daher auch im Tagesverlauf variieren.

6.4.5. Angaben im St. George's Respiratory Questionnaire (SGRQ)

Fragen zu aktueller Aktivität innerhalb des SGRQ richten sich nach Beeinträchtigung des alltäglichen Lebens, um so das Ausmaß der Einschränkungen durch die Erkrankung im „Jetzt“ zu taxieren. Dieser Punkt ist insofern als kritisch zu betrachten, als dass die aktuelle Tagessituation Einfluss auf die Antwort haben könnte. Am selben Tag erlebte andere Probleme können so die Selbsteinschätzung des Patienten hin zu schlechter bzw. gravierenderen Werten verschieben. Einschränkungen können als schwerer wahrgenommen werden, da sie dem Befragten präsenter in Erinnerung sind. Ebenso kann ein „positiver“ Tag die hier erfragte Gesamteinschätzung zu positiveren Antworten verschieben.

Es ist daher durchaus möglich, dass die Fragen, die auf ein längerfristiges Allgemeinbefinden abzielen durch kurzfristige Stimmungen beeinträchtigt wurden.

6.4.6. Auswertungsprozess

Die Anleitung zum Ausdauertraining sowie die Evaluation sowohl der Fragebögen als auch der Trainingsintervention erfolgten komplett und einzig durch den Verfasser. Auch wenn die Fragebögen und die Trainingsprotokolle selbstverständlich durch jeden einzelnen Probanden ausgefüllt wurden, lässt sich ein unbewusster „detection bias“ nicht vollständig ausschließen.

6.5. Zusammenfassende Schlussfolgerung der Arbeit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Effekten eines kontrollierten, angeleiteten Ausdauertrainings für Asthmatiker in Bezug auf die Entwicklungsfähigkeit der körperlichen Ausdauerleistungsfähigkeit und die Lebensqualität.

Die Hauptziele dieser Dissertation bestanden, gemäß den aufgestellten Hypothesen (siehe 1.6 Fragestellungen der vorliegenden Dissertation), zum einen darin, zu evaluieren, ob das Kriterium Asthma bronchiale per se mit einer Einschränkung der Leistungsfähigkeit und der Trainierbarkeit einhergeht. Zum Anderen sollten, in der vorhandener Literatur beschriebene, positive Effekte in Bezug auf die Lebensqualität und die Symptomwahrnehmung hin untersucht werden.

Die Ergebnisse dieser Dissertation sind nützlich für die zukünftige Therapie und Aufklärung von Patienten mit gering bis mittelgradig ausgeprägtem Asthma bronchiale bezüglich eines Ausdauertrainings und körperlicher Aktivität:

Bei asthmatischen Patienten mit vergleichbarem Schweregrad der untersuchten Asthma-Gruppe ist die Erkrankung nicht als limitierender Faktor in Bezug auf die Trainierbarkeit und Verbesserung der Ausdauer anzusehen.

Das Trainingsprogramm dieser Studie führte zu einer deutlichen Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit der Asthma-Gruppe. Das Ausmaß der Verbesserung entsprach dem der gesunden Kontroll-Gruppe. Patienten mit Asthma bronchiale kann daher im Vergleich zu Gesunden ein gleichwertiger Trainingseffekt in Aussicht gestellt werden.

Dieses Ergebnis kann im Rahmen einer therapeutischen Beratung als zu Sport motivierende Aussage, besonders bei Patienten mit hohem sportlichem Anspruch, angeführt werden.

Die weitere Analyse ergab, dass das Ausmaß der Verbesserung negativ mit dem Ausgangszustand korreliert: Die stärksten Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit waren bei Teilnehmern mit geringem Ausdauerlevel zu erheben. Besonders Patienten mit geringem Aktivitätsniveau und geringer Ausdauerleistungsfähigkeit sollten daher zu körperlicher Aktivität ermuntert werden, da bei ihnen ausgeprägte Effekte zu erwarten sind.

Die Teilnehmer beider Gruppen zeigten eine sehr hohe Einhaltung der Trainingsvorgaben bei positiven Trainingseffekten. Das gewählte Ausdauerprogramm kann als angemessen bewertet und asthmatischen Patienten empfohlen werden. Es ist daher für die therapeutische Verwendung geeignet.

Asthmatiker dieser Studie profitieren von Ausdauertraining aber nicht nur durch einen Zuwachs an körperlicher Leistungsfähigkeit, sondern auch an Lebensqualität: Bei allen Teilnehmern dieser Studie war eine Verbesserung der Lebensqualität („Total-Score“ im St. George’s Respiratory Questionnaire) zu erheben. Das Ausmaß der Verbesserung war dabei abhängig vom Ausgangsniveau. Dieser Zusammenhang konnte ebenfalls bei der subjektiven Wahrnehmung zur Ausprägung und Häufigkeit der Symptomatik (anhand des „Symptom-Score“) nachgewiesen werden.

Dass insbesondere Patienten mit höhergradigen psychosozialen Einschränkungen für eine Sporttherapie gewonnen werden sollten, wird bereits in der aktuellen Literatur bekräftigt (Mendes et al., 2013; Wegner et al., 2014).

Da in der vorliegenden Studie besonders der „Activity-Score“ zur ausgeprägten Verbesserung des „Total-Score“ beitrug, kann gefolgert werden, dass körperliche Aktivität allein, ungeachtet von Form, Intensität und Zielvorgabe, bereits eine deutliche Verbesserung der Lebensqualität mit sich bringen kann. Patienten mit geringer Sportbegeisterung und -motivation sollten daher für eine körperliche Aktivität ihrer Wahl und jedweder Art angesprochen werden, da bereits durch die alleinige Aktivität im alltäglichen Umfeld günstige Effekte zu erwarten sind.

Zudem konnte gezeigt werden, dass die subjektiv empfundene Intensität der Dyspnoe unter körperlicher Anstrengung bei gleichwertigen objektiven Ausbelastungskriterien, aber verbessertem Ausdauerleistungszustand, deutlich geringer eingestuft wird.

Diese Erkenntnis kann angeführt werden, um Patienten gegen ein Vermeidungsverhalten aus Angst vor Auslösung von Symptomen durch körperliche Aktivität zu bewegen. Ein verbesserter Ausdauerzustand führt zur Reduktion der wahrgenommenen Luftnot bei körperlicher Aktivität und somit zur Minderung der Gründe, die zum Vermeidungsverhalten führen. Durch längerfristige Ausübung von Ausdauersport können Patienten eine subjektive Reduktion der Dyspnoe erfahren und so erlernen, die Angst vor Sport zu verlieren. Da bei Asthma bronchiale eine stark ausgeprägte

Komorbidität zu Depressivität und Ängstlichkeit beschrieben wird, sollten Patienten mit hoher Ausprägung dieser Aspekte über diese Erkenntnis aufgeklärt und für körperliche Aktivität gewonnen werden (Lehrer et al., 2002; Mendes et al., 2013).

Diese durchweg positiven Erkenntnisse der vorliegenden Studie sollten für Diagnostik- und Therapieansätze im Rahmen der Betreuung von asthmatischen Patienten genutzt werden. Ein Ausdauertraining sollte fortan in das Therapieregime bei asthmatischen Patienten integriert werden.

Weiterhin unterstützen die vorgelegten Ergebnisse die bestehenden Forderungen anderer Autoren nach einer konsequenten Erfassung der Lebensqualität in die Primärdiagnostik bei Asthma bronchiale (Everhart and Fiese, 2009; Juniper, 1997b; Mendes et al., 2013). Es hat sich gezeigt, dass das Ausmaß der Verbesserungen vom Ausgangswert abhängt. Durch regelhafte Erfassung der Lebensqualität könnten besonders betroffene Patienten detektiert und im Anschluss einer Bewegungstherapie zugeführt werden.

Die Durchführung weiterer Studien mit größerem Patientenkollektiv, die auf den Ergebnissen dieser Studie aufbauen, erscheint äußerst sinnvoll. Darin könnten Subgruppenanalysen durchgeführt werden, die die Trainingseffekte, abhängig vom Asthma-Schweregrad, differenziert erfassen. Die konsequente Verwendung eines einheitlichen übergreifenden Fragebogens und eines einheitlichen Trainingsprogramms ist hierfür allerdings absolut unerlässlich.

In einem angeschlossenen nächsten Schritt könnten verschiedene Trainingskomponenten angewendet und bewertet werden, um so die optimale „Dosierung“ eines Ausdauertrainings zu erhalten.

Aus dieser Methode ließe sich ein stadienabhängiges, speziell auf den Schweregrad angepasstes Trainingsprogramm entwickeln, das, wie bereits bei der medikamentösen Stufentherapie, fest in die Therapie integriert werden kann.

7. Literaturverzeichnis

7.1. Quellenangaben

- Ahmaidi, S.B., Varray, A.L., Savy-Pacaux, A.M., Prefaut, C.G., 1993. Cardiorespiratory fitness evaluation by the shuttle test in asthmatic subjects during aerobic training. *Chest* 103, 1135–1141.
- Alpaydin, A.O., Bora, M., Yorgancioglu, A., Coskun, A.S., Celik, P., 2012. Asthma control test and asthma quality of life questionnaire association in adults. *Iran. J. Allergy Asthma Immunol.* 11, 301–307. doi:011.04/ijaai.301307
- Askanazi, J., Silverberg, P.A., Foster, R.J., Hyman, A.I., Milic-Emili, J., Kinney, J.M., 1980. Effects of respiratory apparatus on breathing pattern. *J. Appl. Physiol.* 48, 577–580.
- Australian Center for Asthma Monitoring (ACAM), 2007. Australian asthma indicators: Five-year review of asthma monitoring in Australia. AIHW Cat No ACM12.
- Bacon, A.P., Carter, R.E., Ogle, E.A., Joyner, M.J., 2013. VO₂max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. *PloS One* 8, e73182. doi:10.1371/journal.pone.0073182
- Basso, R.P., Jamami, M., Pessoa, B.V., Labadessa, I.G., Regueiro, E.M.G., Di Lorenzo, V.A.P., 2010. Assessment of exercise capacity among asthmatic and healthy adolescents. *Rev. Bras. Fisioter. São Carlos São Paulo Braz.* 14, 252–258.
- Bateman, E.D., Bousquet, J., Keech, M.L., Busse, W.W., Clark, T.J.H., Pedersen, S.E., 2007. The correlation between asthma control and health status: the GOAL study. *Eur. Respir. J.* 29, 56–62. doi:10.1183/09031936.00128505
- Bateman, E.D., Frith, L.F., Braunstein, G.L., 2002. Achieving guideline-based asthma control: does the patient benefit? *Eur. Respir. J.* 20, 588–595.
- Beaver, W.L., Lamarra, N., Wasserman, K., 1981. Breath-by-breath measurement of true alveolar gas exchange. *J. Appl. Physiol.* 51, 1662–1675.
- Behrman, S., Ebmeier, K.P., 2014. Can exercise prevent cognitive decline? *The Practitioner* 258, 17–21, 2–3.
- Bender, B.G., 1996. Measurement of quality of life in pediatric asthma clinical trials. *Ann. Allergy Asthma Immunol. Off. Publ. Am. Coll. Allergy Asthma Immunol.* 77, 438–445; quiz 446–447. doi:10.1016/S1081-1206(10)63347-9
- Bener, A., Ehlal, M.S., Alsowaidi, S., Sabbah, A., 2007. Role of breast feeding in primary prevention of asthma and allergic diseases in a traditional society. *Eur. Ann. Allergy Clin. Immunol.* 39, 337–343.
- Bergmann, K.E., Bergmann, R.L., Bauer, C.P., Dorsch, W., Forster, J., Schmidt, E., Schulz, J., Wahn, U., 1993. Atopie in Deutschland. *Deutsches Ärzteblatt* 18, 45–48.
- Bianchi, R., Gigliotti, F., Romagnoli, I., Lanini, B., Castellani, C., Binazzi, B., Stendardi, L., Bruni, G.I., Scano, G., 2011. Impact of a rehabilitation program on dyspnea intensity and quality in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respir. Int. Rev. Thorac. Dis.* 81, 186–195. doi:10.1159/000273675
- Borg, G., Hassmén, P., Lagerström, M., 1987. Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *Eur J Appl Physiol Occup*

- Physiol 679–685.
- Bortz, J., Döring, N., 2006. *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*, 4. Auflage. ed. Springer-Verlag, Berlin, S.494, 506
- Bortz, J., Schuster, C., 2010. *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer, Berlin, S.121-122, 125-126, 130, 157.
- Boyd, A., Yang, C.T., Estell, K., Ms, C.T., Gerald, L.B., Dransfield, M., Bamman, M., Bonner, J., Atkinson, T.P., Schwiebert, L.M., 2012. Feasibility of exercising adults with asthma: a randomized pilot study. *Allergy Asthma Clin. Immunol. Off. J. Can. Soc. Allergy Clin. Immunol.* 8, 13. doi:10.1186/1710-1492-8-13
- Braman, S.S., 2006. The Global Burden of Asthma. *Chest* 130, 4–12. doi:10.1378/chest.130.1_suppl.4S
- Buhl, R., Berdel, D., Criée, C.-P., Gillissen, A., Kardos, P., Kroegel, C., Leupold, W., Lindemann, H., Magnussen, H., Nowak, D., Pfeiffer-Kascha, D., Rabe, K., Rolke, M., Schultze-Werninghaus, G., Sitter, H., Ukena, D., Vogelmeier, C., Welte, T., Wettengel, R., Worth, H., 2006. Guidelines for Diagnosis and Treatment of Asthma Patients. *Pneumologie* 60, 1–45. doi:10.1055/s-2005-919153
- Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF), 2011. Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Versorgungsleitlinie Asthma – Langfassung, 2. Auflage. Version 1.3, S. 2-4
- Cambach, W., Chadwick-Straver, R.V., Wagenaar, R.C., van Keimpema, A.R., Kemper, H.C., 1997. The effects of a community-based pulmonary rehabilitation programme on exercise tolerance and quality of life: a randomized controlled trial. *Eur. Respir. J.* 10, 104–113.
- Carré, F., Dassonville, J., Beillot, J., Prigent, J.Y., Rochcongar, P., 1994. Use of oxygen uptake recovery curve to predict peak oxygen uptake in upper body exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 69, 258–261.
- Carson, K.V., Chandratilleke, M.G., Picot, J., Brinn, M.P., Esterman, A.J., Smith, B.J., 2013. Physical training for asthma. *Cochrane Database Syst. Rev.* 9, CD001116. doi:10.1002/14651858.CD001116.pub4
- Clemente Suárez, V.J., González-Ravé, J.M., 2014. Four weeks of training with different aerobic workload distributions--effect on aerobic performance. *Eur. J. Sport Sci.* 14 Suppl 1, S1–7. doi:10.1080/17461391.2011.635708
- Cochrane, L.M., Clark, C.J., 1990. Benefits and problems of a physical training programme for asthmatic patients. *Thorax* 45, 345–351.
- Costill, D.L., 1978. Adaptions in skeletal muscle during training for sprint and endurance swimming. *Swim. Med. Press IV Ed. B Eriksson B Furberg Baltim. Univ. Park Press* 233–248.
- Counil, F.-P., Varray, A., Matecki, S., Beurey, A., Marchal, P., Voisin, M., Préfaut, C., 2003. Training of aerobic and anaerobic fitness in children with asthma. *J. Pediatr.* 142, 179–184. doi:10.1067/mpd.2003.83
- Covaciu, C., Bergström, A., Lind, T., Svartengren, M., Kull, I., 2013. Childhood allergies affect health-related quality of life. *J. Asthma Off. J. Assoc. Care Asthma* 50, 522–528. doi:10.3109/02770903.2013.789057
- Coyle, E.F., Martin, W.H., Ehsani, A.A., Hagberg, J.M., Bloomfield, S.A., Sinacore, D.R., Holloszy, J.O., 1983. Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients. *J Appl Physiol* 18–23.

- Crosbie, A., 2012. The effect of physical training in children with asthma on pulmonary function, aerobic capacity and health-related quality of life: a systematic review of randomized control trials. *Pediatr. Exerc. Sci.* 24, 472–489.
- Cunningham, D.A., van Waterschoot, B.M., Paterson, D.H., Lefcoe, M., Sangal, S.P., 1977. Reliability and reproducibility of maximal oxygen uptake measurement in children. *Med. Sci. Sports* 9, 104–108.
- Daum, S., 1992. [Bronchial asthma. Pathogenesis and clinical aspects]. *Vnitřní Lékařství* 38, 785–794.
- De Marées, H., Heck, H., 2003. *Sportphysiologie*. Sportverl. Strauß, Köln, S. 453–456.
- Dickhuth, H.-H., 2000. Einführung in die Sport- und Leistungsmedizin. Sport und Unterricht. Hofmann-Verlag, Schorndorf, S.186-211.
- Dickhuth, H.-H., Mayer, F., Röcker, K., Berg, A., 2010. *Sportmedizin für Ärzte*, 2.überarbeitete Auflage. ed. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, S.66
- Ehlayel, M.S., Bener, A., 2008. Duration of breast-feeding and the risk of childhood allergic diseases in a developing country. *Allergy Asthma Proc. Off. J. Reg. State Allergy Soc.* 29, S. 386–391. doi:10.2500/aap.2008.29.3138
- Eichenberger, P.A., Diener, S.N., Kofmehl, R., Spengler, C.M., 2013. Effects of Exercise Training on Airway Hyperreactivity in Asthma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med. Auckl. NZ.* doi:10.1007/s40279-013-0077-2
- Everhart, R.S., Fiese, B.H., 2009. Asthma severity and child quality of life in pediatric asthma: a systematic review. *Patient Educ. Couns.* 75, 162–168. doi:10.1016/j.pec.2008.10.001
- Fanelli, A., Cabral, A.L.B., Neder, J.A., Martins, M.A., Carvalho, C.R.F., 2007. Exercise training on disease control and quality of life in asthmatic children. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39, 1474–1480. doi:10.1249/mss.0b013e3180d099ad
- Ferrer, M., Villasante, C., Alonso, J., Sobradillo, V., Gabriel, R., Vilagut, G., Masa, J.F., Viejo, J.L., Jiménez-Ruiz, C.A., Miravittles, M., 2002. Interpretation of quality of life scores from the St George's Respiratory Questionnaire. *Eur. Respir. J.* 19, 405–413.
- Fitzgerald, M. et al., 2012. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. GINA, Vancouver, S. 1-5.
- Francescato, M.P., Girardis, M., di Prampero, P.E., 1995. Oxygen cost of internal work during cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* 72, 51–57.
- Friedrich, W., Moeller, H., 1999. Zum Problem der Superkompensation, *Leistungssport*, S. 52–55.
- Fry, R.W., Morton, A.R., Keast, D., 1992. Periodisation and the prevention of overtraining. *Can. J. Sport Sci. J. Can. Sci. Sport* 17, 241–248.
- Genuneit, J., Strachan, D., Büchele, G., Weber, J., Loss, G., Sozanska, B., Boznanski, A., Horak, E., Heederik, D., Braun-Fahrländer, C., von Mutius, E., 2013. The combined effects of family size and farm exposure on childhood hay fever and atopy. *Pediatr Allergy Immunol.* 293-298.
- Gesundheit in Deutschland aktuell (GEDA) - Prävalenz von Asthma bronchiale, 2009. Robert-Koch-Institut.
- Giannuzzi, P., Mezzani, A., Saner, H., Björnstad, H., Fioretti, P., Mendes, M., Cohen-Solal, A., Dugmore, L., Hambrecht, R., Hellemans, I., McGee, H., Perk, J., Van-

- hees, L., Veress, G., Working Group on Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology. European Society of Cardiology, 2003. Physical activity for primary and secondary prevention. Position paper of the Working Group on Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology of the European Society of Cardiology. *Eur. J. Cardiovasc. Prev. Rehabil. Off. J. Eur. Soc. Cardiol. Work. Groups Epidemiol. Prev. Card. Rehabil. Exerc. Physiol.* 10, 319–327. doi:10.1097/01.hjr.0000086303.28200.50
- GINA (Global Initiative for Asthma), 2004. „Global Burden of Asthma“. Medical Research Institute of New Zealand, Wellington.
- Gonçalves, R., 2008. Effects of an aerobic physical training program on psychosocial characteristics, quality-of-life, symptoms and exhaled nitric oxide in individuals with moderate or severe persistent asthma. *Rev. Bras. Fisioter. São Carlos São Paulo Braz.* vol.12, 127–135.
- Gormley, S.E., Swain, D.P., High, R., Spina, R.J., Dowling, E.A., Kotipalli, U.S., Gandrakota, R., 2008. Effect of intensity of aerobic training on VO₂max. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40, 1336–1343. doi:10.1249/MSS.0b013e31816c4839
- Grant, S., Corbett, K., Amjad, A.M., Wilson, J., Aitchison, T., 1995. A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *Br. J. Sports Med.* 29, 147–152.
- Haber, P., 2013. Lungenfunktion und Spiroergometrie. Springer-Verlag, Wien, S.5-7.
- Hallstrand, T.S., Bates, P.W., Schoene, R.B., 2000. Aerobic conditioning in mild asthma decreases the hyperpnea of exercise and improves exercise and ventilatory capacity. *Chest* 118, 1460–1469.
- Hatzler, L., Hofmaier, S., Papadopoulos, N., 2012. Allergic airway diseases in childhood - marching from epidemiology to novel concepts of prevention. *Pediatr Allergy Immunol.* 23(7), 616–22.
- Heigel, B., 2010. Sport in den Erziehungskonzepten von Platons Idealstaatsentwürfen. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (Institut für Geschichte), Halle.
- Heiwe, S., Jacobson, S.H., 2011. Exercise training for adults with chronic kidney disease. *Cochrane Database Syst. Rev.* CD003236. doi:10.1002/14651858.CD003236.pub2
- Herold, G., 2010. Innere Medizin, 5. Auflage. ed. Gerd Herold und Mitarbeiter, Köln, S.338-342.
- Herrmann-Kunz, E., 2000. Allergische Erkrankungen in Deutschland - Ergebnisse einer repräsentativen Studie. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 400–406.
- Herrmann-Kunz, E., 1999. Häufigkeit allergischer Krankheiten in Ost- und Westdeutschland. *Gesundheitswesen* 100–105.
- Hewitt, M., Creel, A., Estell, K., Davis, I.C., Schwiebert, L.M., 2009. Acute exercise decreases airway inflammation, but not responsiveness, in an allergic asthma model. *Am. J. Respir. Cell Mol. Biol.* 40, 83–89. doi:10.1165/rcmb.2008-0172OC
- Hollmann, W., Strüder, H., Tagarakis, C., 2006. Spiroergometrie: kardiopulmonale Leistungsdiagnostik des Gesunden und Kranken, 1. Auflage. ed. Schattauer, Stuttgart, S.47.
- Holt, P.G., Thomas, W.R., 2005. Sensitization to airborne environmental allergens unresolved issues. *Nat Immunol* 6, 957–60.

- Jakowlew, N., 1977. Sportbiochemie, 1.Auflage ed. Barth-Verlag, Leipzig.
- Janssen, J., Laatz, W., 2007. Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows: eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul exakte Tests ; mit 193 Tabellen. Springer, Berlin [u.a.].
- Johansson, S., Rosengren, A., Tsipogianni, A., Ulvenstam, G., Wiklund, I., Wilhelmssen, L., 1988. Physical inactivity as a risk factor for primary and secondary coronary events in Göteborg, Sweden. *Eur. Heart J.* 9 Suppl L, 8–19.
- Jones, P.W., 1988. Measuring the quality of life of patients with respiratory disease. In S. Walter & R. Roser (Eds.), *Quality of life: Assessment and application*. MTP Press, Lancaster.
- Jones, P.W., Forde, Y., 2009. *St. George's Respiratory Questionnaire Manual, Version 2.3*.
- Jones, P.W., Quirk, F.H., Baveystock, C.M., Littlejohns, P., 1992. A self-complete measure of health status for chronic airflow limitation. The St. George's Respiratory Questionnaire. *Am. Rev. Respir. Dis.* 145, 1321–1327. doi:10.1164/ajrccm/145.6.1321
- Juniper, E.F., 1997a. Quality of life in adults and children with asthma and rhinitis. *Allergy* 52, 971–977.
- Juniper, E.F., 1997b. How important is quality of life in pediatric asthma? *Pediatr. Pulmonol. Suppl.* 15, 17–21.
- Kardos, P., 2005. *Leitlinie zur Diagnostik und Therapie von Asthma: Kurzfassung*. Thieme, Stuttgart; New York.
- Karpinski, N., Bauernschmitt, K., Schultz, K., Petermann, F., 2007. Ist die autorisierte deutsche Übersetzung des Saint George's Respiratory Questionnaire (SGRQ) ein valides Messinstrument der krankheitsbezogenen Lebensqualität für Asthma- und COPD-Patienten im Rahmen der pneumologischen Rehabilitation? *Pneumologie* 61. doi:10.1055/s-2007-973184
- Kluge, F., 2010. *Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache, 24., komplett überarbeitete Auflage*. ed. Gruyter, Stuttgart, S.17.
- Knowler, W.C., Barrett-Connor, E., Fowler, S.E., Hamman, R.F., Lachin, J.M., Walker, E.A., Nathan, D.M., Diabetes Prevention Program Research Group, 2002. Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *N. Engl. J. Med.* 346, 393–403. doi:10.1056/NEJMoa012512
- Kroegel, C., 2002. *Asthma bronchiale, 2. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage*. ed. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S. 112.
- Kurz, H., Riedler, J., 2003. Zunahme allergischer Erkrankungen im Kindesalter - aktuelle Hypothesen und mögliche Prävention. *Wien. Med. Wochenschr.* 153, 50–58. doi:10.1046/j.1563-258X.2003.02191.x
- Langen, U., Schmitz, R., Steppuhn, H., 2013. Prevalence of allergic diseases in Germany : Results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS1) (No. 56(5-6)), *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. Robert-Koch-Institut, Berlin, Germany.
- Lehrer, P., Feldman, J., Giardino, N., Song, H.-S., Schmalings, K., 2002. Psychological aspects of asthma. *J. Consult. Clin. Psychol.* 70, 691–711.
- Leith, D.E., Bradley, M., 1976. Ventilatory muscle strength and endurance training. *J Appl Physiol*, 41 41, 508–511.

- Leon, A., Conett, J., 1991. Physical activity and 10.5 mortality in the Multiple Risk Factor Intervention Trial (MRFIT). *Int J Epidemiol* 690–697.
- Li, J., Siegrist, J., 2012. Physical activity and risk of cardiovascular disease--a meta-analysis of prospective cohort studies. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 9, 391–407. doi:10.3390/ijerph9020391
- Löllgen, H., 2004. Borg-Skala - Standards der Sportmedizin. *Dtsch. Z. Für Sportmed.* 55, S. 300.
- Löllgen, H., Ulmer, H.-V., 2004. Das "Gespräch" während der Ergometrie: Die Borg-Skala. *Deutsches Ärzteblatt* 101, 1014–1015.
- Maritz, J.S., Morrison, J.F., Peter, J., Strydom, N.B., Wyndham, C.H., 2007. A practical method of estimating an individual's maximal oxygen intake. *Ergonomics* 4, 97–122. doi:10.1080/00140136108930512
- Marketos, S.G., Ballas, C.N., 1982. Bronchial asthma in the medical literature of Greek antiquity 19, 263–9.
- Marsh, D.G., Blumenthal, M.H., 1990. Genetic and enviromental factors in clinical allergy. *Univ Minn. Press Minneap.*
- Masoli, M., Fabian, D., Holt, S., 2004. Global Initiative for Asthma (GINA) program: the global burden of asthma: executive summary of the GINA Dissemination Committee report. (Summary No. 59), the global burden of asthma. *Allergy*.
- McSweeney, A.J., Grant, I., Heaton, R.K., Adams, K.M., Timms, R.M., 1982. Life quality of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Arch. Intern. Med.* 473–478.
- Meffert, C., Farin, E., Jäckel, W.H., 2010. Psychometrische Eigenschaften der deutschen Version des St. George's Respiratory Questionnaire im Kontext der stationären pneumologischen Rehabilitation. *Phys. Med. Rehabil. Kurortmed.* 20, 76–85. doi:10.1055/s-0029-1241852
- Mendes, F.A.R., Almeida, F.M., Cukier, A., Stelmach, R., Jacob-Filho, W., Martins, M.A., Carvalho, C.R.F., 2011. Effects of aerobic training on airway inflammation in asthmatic patients. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43, 197–203. doi:10.1249/MSS.0b013e3181ed0ea3
- Mendes, F.A.R., Gonçalves, R.C., Nunes, M.P.T., Saraiva-Romanholo, B.M., Cukier, A., Stelmach, R., Jacob-Filho, W., Martins, M.A., Carvalho, C.R.F., 2010. Effects of aerobic training on psychosocial morbidity and symptoms in patients with asthma: a randomized clinical trial. *Chest* 138, 331–337. doi:10.1378/chest.09-2389
- Mendes, F.A.R., Lunardi, A.C., Silva, R.A., Cukier, A., Stelmach, R., Martins, M.A., Carvalho, C.R.F., 2013. Association between Maximal Aerobic Capacity and Psychosocial Factors in Adults With Moderate-to-Severe Asthma. *J. Asthma Off. J. Assoc. Care Asthma* 50, 595–599. doi:10.3109/02770903.2013.786724
- Merikallio, V.J., Mustalahti, K., Remes, S.T., Valovirta, E.J., Kaila, M., 2005. Comparison of quality of life between asthmatic and healthy school children. *Pediatr. Allergy Immunol. Off. Publ. Eur. Soc. Pediatr. Allergy Immunol.* 16, 332–340. doi:10.1111/j.1399-3038.2005.00286.x
- Meyer, T., Kindermann, W., 1999. Die maximale Sauerstoffaufnahme. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 50, 285–286.
- Mishra, S.I., Scherer, R.W., Geigle, P.M., Berlanstein, D.R., Topaloglu, O., Gotay, C.C., Snyder, C., 2012a. Exercise interventions on health-related quality of life

- for cancer survivors. *Cochrane Database Syst. Rev.* 8, CD007566. doi:10.1002/14651858.CD007566.pub2
- Mishra, S.I., Scherer, R.W., Snyder, C., Geigle, P.M., Berlanstein, D.R., Topaloglu, O., 2012b. Exercise interventions on health-related quality of life for people with cancer during active treatment. *Cochrane Database Syst. Rev.* 8, CD008465. doi:10.1002/14651858.CD008465.pub2
- Moreira, A., Delgado, L., Haahtela, T., Fonseca, J., Moreira, P., Lopes, C., Mota, J., Santos, P., Ryttilä, P., Castel-Branco, M.G., 2008. Physical training does not increase allergic inflammation in asthmatic children. *Eur. Respir. J.* 32, 1570–1575. doi:10.1183/09031936.00171707
- Neder, J.A., Nery, L.E., Silva, A.C., Cabral, A.L., Fernandes, A.L., 1999. Short-term effects of aerobic training in the clinical management of moderate to severe asthma in children. *Thorax* 54, 202–206.
- Neumann, G., Pfützner, A., Berbalk, A., 2013. *Optimiertes Ausdauertraining*, 7.Auflage ed. Meyer & Meyer Verlag, Aachen, S. 73-77, 114-116.
- Nourry, C., Deruelle, F., Guinhouya, C., Baquet, G., Fabre, C., Bart, F., Berthoin, S., Mucci, P., 2005. High-intensity intermittent running training improves pulmonary function and alters exercise breathing pattern in children. *Eur. J. Appl. Physiol.* 94, 415–423. doi:10.1007/s00421-005-1341-4
- Petermann, F., Bergmann, K.-C., 1994. *Lebensqualität und Asthma. Quintessenz*, München / Berlin, S.57.
- Petsios, K.T., Priftis, K.N., Hatziagorou, E., Tsanakas, J.N., Antonogeorgos, G., Matziou, V.N., 2013. Determinants of quality of life in children with asthma. *Pediatr. Pulmonol.* doi:10.1002/ppul.22768
- Petsios, K.T., Priftis, K.N., Tsoumakas, C., Perperoglou, A., Hatziagorou, E., Tsanakas, J.N., Androulakis, I., Matziou, V.N., 2009. Cough affects quality of life in asthmatic children aged 8-14 more than other asthma symptoms. *Allergol. Immunopathol. (Madr.)* 37, 80–88.
- Pleis, J., Lucas, J., Ward, B., 2008. Summary Health Statistics for U.S. adults: National Health Interview Survey. National Center for Health Statistics. *Vital Health Stat* 242.
- Racca, F., Appendini, L., Gregoretti, C., Stra, E., Patessio, A., Donner, C.F., Ranieri, V.M., 2005. Effectiveness of mask and helmet interfaces to deliver noninvasive ventilation in a human model of resistive breathing. *J. Appl. Physiol. Bethesda Md* 99, 1262–1271. doi:10.1152/jappphysiol.01363.2004
- Ramazanoglu, Y.M., Kraemer, R., 1985. Cardiorespiratory response to physical conditioning in children with bronchial asthma. *Pediatr. Pulmonol.* 1, 272–277.
- Ram, F.S., Robinson, S.M., Black, P.N., 2000. Effects of physical training in asthma: a systematic review. *Br. J. Sports Med.* 34, 162–167.
- Renz-Polster, H., 2010. *Basislehrbuch Innere Medizin*, 2. ed. Elsevier, Urban & Fischer, München.
- Riedl-Seifert, R., 2004. Difficulties in asthma therapy. *MMW Fortschr Med* 33–5.
- Robinson, D.M., Egglestone, D.M., Hill, P.M., Rea, H.H., Richards, G.N., Robinson, S.M., 1992. Effects of a physical conditioning programme on asthmatic patients. *N. Z. Med. J.* 105, 253–256.
- Röcker, K., 2008. Streit um des Kaisers Bart: Welche Laktatschwelle ist die beste? *D Z Sportmed.* 303–304.

- Rost, R., 1990. Herz und Sport. Perimed Fachbuch Verlag, Erlangen.
- Rost, R., Bjarnason-Wehrens, B., 2005. Sport- und Bewegungstherapie bei inneren Krankheiten: Lehrbuch für Sportlehrer, Übungsleiter, Physiotherapeuten und Sportmediziner. Dt. Ärzte-Verl., Köln.
- Roux, W., 1895. Gesammelte Abhandlungen über Entwicklungsmechanik der Organismen. Engelmann, Leipzig.
- Rühle, K.-H., Feldmeyer, F., 2008. Praxisleitfaden der Spiroergometrie, 2., überarbeitete Auflage. ed. Kohlhammer, Stuttgart, S.67-75
- Rzehak, P. (Ed.), 2013. Body mass index trajectory classes and incident asthma in childhood: Results from 8 European Birth Cohorts-a Global Allergy and Asthma European Network initiative. *J Allergy Clin Immunol.* 1528–1536.
- Santtila, M., Häkkinen, K., Pihlainen, K., Kyröläinen, H., 2013. Comparison between direct and predicted maximal oxygen uptake measurement during cycling. *Mil. Med.* 178, 234–238.
- Satta, A., 2000. Exercise training in asthma. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 40, 277–283.
- Schrier, A.C., Dekker, F.W., Kaptain, A.A., Dijkman, J.H., 1990. Quality of life in elderly patients with chronic non-specific lung diseases seen in family practice. *Chest* 894–899.
- Silva, R.A., Vieira, R.P., Duarte, A.C.S., Lopes, F.D.T.Q.S., Perini, A., Mauad, T., Martins, M.A., Carvalho, C.R.F., 2010. Aerobic training reverses airway inflammation and remodelling in an asthma murine model. *Eur. Respir. J.* 35, 994–1002. doi:10.1183/09031936.00049509
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Ed.), 2011. Demografischer Wandel in Deutschland - Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung im Bund und in den Ländern Heft 1.
- Statistisches Bundesamt, 2014. Todesursachen - Anzahl der Gestorbenen nach Kapiteln der ICD-10 [WWW Document]. URL www.destatid.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/Todesursachen/Tabellen/GestorbeneAnzahl.html
- Stock, S., Redaelli, M., Luengen, M., Wendland, G., Civello, D., Lauterbach, K.W., 2005. Asthma: prevalence and cost of illness. *Eur. Respir. J.* 25, 47–53. doi:10.1183/09031936.04.00116203
- Strausz, M., 2013. Der Goldstandard medizinischer Studien. *Ärzte Woche.*
- Swann, I.L., Hanson, C.A., 1983. Double-blind prospective study of the effect of physical training on childhood asthma. In: *The asthmatic child - In Play and sport.* Pitman Books Limited, London, pp. 318–25.
- Tattersfield, A.E., Postma, D.S., Barnes, P.J., Svensson, K., Bauer, C.A., O'Byrne, P.M., Löfdahl, C.G., Pauwels, R.A., Ullman, A., 1999. Exacerbations of asthma: a descriptive study of 425 severe exacerbations. The FACET International Study Group. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 160, 594–599. doi:10.1164/ajrccm.160.2.9811100
- Toussaint, H.M., Meulemans, A., de Groot, G., Hollander, A.P., Schreurs, A.W., Vervoorn, K., 1987. Respiratory valve for oxygen uptake measurements during swimming. *Eur. J. Appl. Physiol.* 56, 363–366.
- Turner, S., Eastwood, P., Cook, A., Jenkins, S., 2011. Improvements in symptoms and quality of life following exercise training in older adults with modera-

- te/severe persistent asthma. *Respir. Int. Rev. Thorac. Dis.* 81, 302–310.
doi:10.1159/000315142
- Varray, A.L., Mercier, J.G., Prefaut, C.G., 1995. Individualized training reduces excessive exercise hyperventilation in asthmatics. *Int. J. Rehabil. Res. Int. Z. Für Rehabil. Rev. Int. Rech. Réadapt.* 18, 297–312.
- Varray, A.L., Mercier, J.G., Terral, C.M., Prefaut, C.G., 1991. Individualized aerobic and high intensity training for asthmatic children in an exercise readaptation program. Is training always helpful for better adaptation to exercise? *Chest* 99, 579–586.
- Vernon, M.K., Wiklund, I., Bell, J.A., Dale, P., Chapman, K.R., 2012. What do we know about asthma triggers? a review of the literature. *J. Asthma Off. J. Assoc. Care Asthma* 49, 991–998. doi:10.3109/02770903.2012.738268
- Vieira, R.P., Claudino, R.C., Duarte, A.C.S., Santos, A.B.G., Perini, A., Faria Neto, H.C.C., Mauad, T., Martins, M.A., Dolhnikoff, M., Carvalho, C.R.F., 2007. Aerobic exercise decreases chronic allergic lung inflammation and airway remodeling in mice. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 176, 871–877.
doi:10.1164/rccm.200610-1567OC
- Vieira, R.P., de Andrade, V.F., Duarte, A.C.S., Dos Santos, A.B.G., Mauad, T., Martins, M.A., Dolhnikoff, M., Carvalho, C.R.F., 2008. Aerobic conditioning and allergic pulmonary inflammation in mice. II. Effects on lung vascular and parenchymal inflammation and remodeling. *Am. J. Physiol. Lung Cell. Mol. Physiol.* 295, L670–679. doi:10.1152/ajplung.00465.2007
- Von Leupoldt, A., Hahn, E., Taube, K., Schubert-Heukeshoven, S., Magnussen, H., Dahme, B., 2008. Effects of 3-week outpatient pulmonary rehabilitation on exercise capacity, dyspnea, and quality of life in COPD. *Lung* 186, 387–391.
doi:10.1007/s00408-008-9089-3
- Von Mutius, E., 2001. Epidemiologie des Asthma bronchiale. *Monatsschrift Kinderheilkunde* 86–93.
- Von Mutius, E., Fritsch, C., Weiland, S.K., Roell, G., Magnussen, H., 1992. The prevalence of asthma and allergic disorders among children in united Germany: a descriptive comparison. *Br.Med.J.* 1395–99.
- Wang, J.-S., Hung, W.-P., 2009. The effects of a swimming intervention for children with asthma. *Respirol. Carlton Vic* 14, 838–842. doi:10.1111/j.1440-1843.2009.01567.x
- Wegner, M., Helmich, I., Machado, S., Nardi, A.E., Arias-Carrion, O., Budde, H., 2014. Effects of exercise on anxiety and depression disorders: review of meta-analyses and neurobiological mechanisms. *CNS Neurol. Disord. Drug Targets* 13, 1002–1014.
- Weineck, J., 2010. *Optimales Training: leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings.* Spitta, Balingen.
- Wenger, H.A., Bell, G.J., 1986. The Interactions of Intensity, Frequency and Duration of Exercise Training in Altering Cardiorespiratory Fitness: *Sports Med.* 3, 346–356. doi:10.2165/00007256-198603050-00004
- Wicher, I.B., Ribeiro, M.A.G. de O., Marmo, D.B., Santos, C.I. da S., Toro, A.A.D.C., Mendes, R.T., Cielo, F.M. de B.L., Ribeiro, J.D., 2010. Effects of swimming on spirometric parameters and bronchial hyperresponsiveness in children and ado-

- lescents with moderate persistent atopic asthma. *J. Pediatr. (Rio J.)* 86, 384–390. doi:doi:10.2223/JPED.2022
- Wiesner, G., Hoffmeister, H., Todzy-Wolf, I., 1994. Die Gesundheit der Deutschen. Ein Ost- West Vergleich. *SozEp* 4, 66–77.
- Yerg, J.E., Seals, D.R., Hagberg, J.M., Holloszy, J.O., 1985. Effect of endurance exercise training on ventilatory function in older individuals. *J. Appl. Physiol. Bethesda Md* 1985 58, 791–794.
- Zöfel, P., 2003. *Statistik für Psychologen: im Klartext*. Pearson Studium, München [u.a.], S.151.

7.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Selbst erstelltes Fluss-Volumen-Diagramm mit typischem Kurvenverlauf	32
Abbildung 2 – Selbst erstellte Zeichnung zur Anpassungsreaktion auf einen Trainingsreiz und Verlauf des Leistungsniveaus	41
Abbildung 3 - Schematische Darstellung des Adaptationsverlaufs bei progressiver Belastung.....	43
Abbildung 4 - Schema zum Ablaufplan der durchgeführten Untersuchungen	73
Abbildung 5 – Ergebnisse der Borg-Skala (Atmung) im Verlauf nach Gruppen aufgeteilt	93
Abbildung 6 - Darstellung der Mittelwerte der absolvierten Trainingsintensität in Prozent [%]	100
Abbildung 7 - Darstellung der absolvierten durchschnittlichen Trainingsdauer pro Einheit in Minuten [min]	102
Abbildung 8 - Darstellung der pro Gruppe durchschnittlich absolvierten Einheiten .	103
Abbildung 9 - Darstellung der Geschwindigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle p(IAS) im Verlauf der Untersuchungen [km/h]	107
Abbildung 10 - Darstellung der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme in [ml/min/kg] im Verlauf.....	108
Abbildung 11 - Darstellung der erfassten SGRQ-Scores nach Teilbereichen und Total-Scores	115
Abbildung 12 - Darstellung der Differenzen zwischen den Erhebungen des SGRQ vor Aufnahme und nach Absolvierung des Ausdauertrainings aufgeteilt nach den verschiedenen Teilbereichen und dem „Total-Score“	116
Abbildung 13 – Darstellung der Korrelation zwischen den Veränderungen im „Activity-Score“ und der Verbesserung der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme	121
Abbildung 14 – Direkte Korrelation zwischen SGRQ-Score und Einsekundenkapazität (Jones and Forde, 2009).....	129
Abbildung 15 - Korrelation des relativen Leistungszuwachses und dem Ausgangszustand	139
Abbildung 16 - Vergleich der durch unterschiedliche Methoden erhobenen Werte der maximalen Sauerstoffaufnahme.....	141
Abbildung 17 - Korrelation der Verbesserung im "Symptom-Score" zum Ausgangswert („Symptom-Score prä“).....	145
Abbildung 18 - Korrelation der Veränderung im "Total-Score" und seinem Ausgangswert („Total-Score prä“)	148

8. Anhang

8.1. Abstract dieser Dissertation zum wissenschaftlichen Vortrag

Folgender Abstract der vorliegenden Dissertation wurde für den 46. Deutschen Sportärztekongress am 11./12. September 2015 in Frankfurt/Main eingereicht und für einen wissenschaftlichen Kurzvortrag angenommen:

Titel: Eine kontrollierte Ausdauertrainingsstudie mit Asthma-Patienten

Einleitung / Problemstellung: Asthma-Patienten sind durch die krankheitsbedingten Symptome häufig in ihren täglichen Aktivitäten und ihrer Lebensqualität eingeschränkt. Häufig werden Symptome durch Trigger wie sportliche Aktivität oder kalte Luft ausgelöst oder verstärkt, so dass Betroffene sportliche Aktivität meiden. Ziel unserer Studie war es zu evaluieren, ob ein Ausdauertrainingsprogramm bei Asthmatikern zu vergleichbaren Leistungsverbesserungen führt, wie bei gesunden Probanden. Zudem sollte der Effekt des Ausdauertrainings in Bezug auf die Lebensqualität und die Symptomwahrnehmung geprüft werden.

Methodik: 9 Patienten mit klinisch nachgewiesenem Asthma bronchiale ((AG); Alter: 24,0±2,8 Jahre, BMI: 23,3±3,3 kg/m²) und 8 gesunde Probanden einer Kontrollgruppe ((KG); Alter: 25,9±5,0 Jahre, BMI: 22,5±2,8 kg/m²) absolvierten ein 12-wöchiges Ausdauertraining mit identischem Umfang und identischer Belastungsintensität. Vor und nach der Trainingsphase erfolgte eine spiroergometrische Leistungsdiagnostik mit den Zielgrößen maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$) und Geschwindigkeit an der individuellen anaeroben Laktatschwelle ($p(\text{IAS})$). Zusätzlich wurden die subjektive Intensität der Dyspnoe bei Belastung anhand der Borg-Skala (BS) und die Lebensqualität in verschiedenen Teilaspekten (Symptome, Auswirkungen, Aktivitäten) durch den St. George's Respiratory Questionnaire (SGRQ) vor und nach der Intervention erhoben.

Ergebnisse: Beide Gruppen zeigten Verbesserungen der $\dot{V}O_2(\max)$ (AG +7,6%, $p<0,01$; KG +11,9%, $p<0,01$) sowie der $p(\text{IAS})$ (AG +9,3%, $p<0,05$; KG + 13,4%,

p<0,01) ohne signifikante Unterschiede im Zwischengruppenvergleich. Die Angaben auf der Dyspnoe-BS zeigten für die AG im Verlauf und im Vergleich zur KG eine signifikante Reduktion von signifikant höheren Ausgangswerten (AG: 15,0; KG:12,5; p<0,05) bis auf das unveränderte Niveau der gesunden KG (AG: 13,0; KG: 12,9; p>0,05) nach Beendigung des Trainingsprogramms.

Bei der AG kam es nach dem Ausdauertraining zum signifikanten Rückgang im Symptom- (-32,9%) und Total-Score (-54,4%) des im SGRQ.

Diskussion / Schlussfolgerung: Bei Patienten mit leicht- bis mittelgradigem Asthma bronchiale sind mit identischem Ausdauertraining gleichwertige Trainingseffekte wie bei Gesunden auszulösen. Ausdauertraining führte bei den Patienten zusätzlich zu einer Verbesserung der Lebensqualität sowie zu einer geringeren Wahrnehmung der Dyspnoe unter körperlichen Belastungen.

8.2. St. George's Respiratory Questionnaire

Mit den nächsten Fragen möchten wir mehr darüber erfahren, welche Beschwerden Ihnen Ihre Atmung bereitet und wie sich diese auf Ihr Leben auswirken. Wir möchten dadurch herausfinden, was Ihnen an Ihrer Erkrankung **aus Ihrer Sicht** die meisten Probleme bereitet, und nicht, was die Ärzte und das Pflegepersonal dazu meinen.

Lesen Sie bitte die Anleitung sorgfältig und fragen Sie nach, wenn Sie etwas nicht verstehen. Denken Sie bitte nicht zu lange über Ihre Antwort nach.

Diese Fragen beziehen sich auf die Häufigkeit Ihrer Atemwegsbeschwerden in den vergangenen 3 Monaten. Bitte kreuzen Sie für jede Frage 1 Kästchen an.

	An den meisten Tagen der Woche	An mehreren Tagen der Woche	An ein paar Tagen im Monat	Nur bei Infektionen der Atemwege	Gar nicht
1. Während der letzten 3 Monate habe ich gehustet:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Während der letzten 3 Monate habe ich Schleim (Auswurf) ausgehustet:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Während der letzten 3 Monate war ich kurzatmig:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Während der letzten 3 Monate hatte ich Anfälle von Keuchen oder Pfeifen beim Atemholen (Atemgeräusch):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Wie viele schwere oder sehr unangenehme Anfälle von Atemwegsbeschwerden hatten Sie in den vergangenen 3 Monaten:					
Mehr als 3 Anfälle	<input type="checkbox"/>				
3 Anfälle	<input type="checkbox"/>				
2 Anfälle	<input type="checkbox"/>				
1 Anfall	<input type="checkbox"/>				
Keine Anfälle	<input type="checkbox"/>				
6. Wie lange dauerte der schlimmste Anfall von Atemwegsbeschwerden? (Wenn Sie keine schweren Anfälle hatten, gehen Sie bitte weiter zu Frage 7).					
1 Woche oder länger	<input type="checkbox"/>				
3 Tage oder länger	<input type="checkbox"/>				
1 oder 2 Tage	<input type="checkbox"/>				
Weniger als 1 Tag	<input type="checkbox"/>				

- Seite 2 -

7. Wie viele gute Tage (d.h. Tage mit wenig Atemwegsbeschwerden) hatten Sie in einer durchschnittlichen Woche in den vergangenen 3 Monaten?

- Kein Tag war gut
- 1 oder 2 gute Tage
- 3 oder 4 gute Tage
- Fast jeder Tag war gut
- Jeder Tag war gut

8. Wenn Sie pfeifend atmen oder keuchen, ist es morgens schlimmer?

- Ja
- Nein

Abschnitt 1: Wie würden Sie Ihr Atemleiden beschreiben? (Bitte nur eins der vier Kästchen ankreuzen)

Richtig

- Das wichtigste Problem, das ich habe.
- Bereitet mir ziemlich viele Probleme.
- Bereitet mir ein paar Probleme.
- Bereitet mir keine Probleme.

Wenn Sie berufstätig sind oder waren, kreuzen Sie bitte eines der drei Kästchen an:

Richtig

- Ich habe wegen meiner Atemwegsbeschwerden ganz aufgehört zu arbeiten.
- Meine Atemwegsbeschwerden beeinträchtigen mich bei der Arbeit oder haben mich veranlaßt, meinen Beruf/meine Stelle zu wechseln.
- Meine Atemwegsbeschwerden wirken sich nicht auf meine Arbeit aus.

- Seite 3 -

Abschnitt 2: Diese Fragen beziehen sich darauf, bei welchen Tätigkeiten Sie derzeit für gewöhnlich in Atemnot geraten.

Bitte geben Sie in jeder Zeile an, was auf Sie zutrifft, indem Sie „Richtig“ oder „Falsch“ ankreuzen:

	Richtig	Falsch
Still sitzen oder ruhig liegen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sich waschen oder anziehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Im Haus herumgehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Draußen auf ebenen Wegen gehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einen Treppenabsatz hinaufgehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bergauf gehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sport treiben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2

Abschnitt 3: Nun folgen weitere Fragen zu Ihrem derzeitigen Husten und Ihrer derzeitigen Kurzatmigkeit.

Bitte geben Sie in jeder Zeile an, was auf Sie zutrifft, indem Sie „Richtig“ oder „Falsch“ ankreuzen:

	Richtig	Falsch
Mein Husten tut weh	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mein Husten macht mich müde	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich gerate außer Atem, wenn ich rede	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bekomme Atemnot, wenn ich mich nach vorne beuge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mein Husten oder Atem stören meinen Schlaf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin schnell erschöpft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2

- Seite 4 -

Abschnitt 4: Bei diesen Fragen geht es um weitere Auswirkungen, die Ihre Atemwegsbeschwerden derzeit möglicherweise auf Sie haben.

	Richtig	Falsch
Mein Husten oder mein Atmen ist mir in der Öffentlichkeit peinlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Meine Atemwegsbeschwerden sind lästig für meine Familie, meine Freunde oder Nachbarn.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich keine Luft kriege, bekomme ich Angst oder gerate in Panik.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe das Gefühl, meine Atemwegsbeschwerden nicht im Griff zu haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich rechne nicht damit, dass es mit meinen Atemwegsbeschwerden besser wird.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch meine Atemwegsbeschwerden bin ich anfällig oder invalide geworden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es ist für mich riskant, mich sportlich zu betätigen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alles erscheint mir zu mühsam.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2

Abschnitt 5: Diese Fragen betreffen Ihre Medikamente. Wenn Sie keine Medikamente einnehmen, gehen Sie bitte gleich zu Abschnitt 6 weiter.

	Richtig	Falsch
Meine Medikamente helfen mir nicht viel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mir ist es peinlich, meine Medikamente in der Öffentlichkeit zu benutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Meine Medikamente verursachen mir unangenehme Nebenwirkungen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Meine Medikamente beeinträchtigen mein Leben erheblich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- Seite 5 -

Abschnitt 6: Bei diesen Fragen geht es darum, wie sich Ihr Atemleiden möglicherweise auf Ihre Aktivitäten auswirkt.

Bitte kreuzen Sie bei jedem Satz „Richtig“ an, wenn darin eine oder mehrere Feststellungen aufgrund Ihres Atemleidens auf Sie zutreffen. Sonst kreuzen Sie bitte „Falsch“ an.

	Richtig	Falsch
Ich brauche lange, um mich zu waschen oder anzuziehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann kein Bad bzw. keine Dusche nehmen oder ich brauche lange dazu.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich gehe langsamer als andere, oder ich halte an, um mich auszuruhen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aufgaben wie Hausarbeit dauern sehr lange, oder ich muß mich zwischendurch ausruhen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich einen Treppenabsatz hinaufgehe, muß ich langsam gehen oder zwischendurch anhalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich mich beeile oder schnell gehe, muß ich danach anhalten oder langsamer gehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wegen meines Atemleidens fällt es mir schwer, bergauf zu gehen, etwas die Treppen hochzutragen, leichte Gartenarbeit zu verrichten wie Unkraut jäten, zu tanzen, Bowling oder Golf zu spielen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wegen meines Atemleidens fällt es mir schwer, schwere Lasten zu tragen, den Garten umzugraben oder Schnee zu schippen, zu joggen oder schnell zu gehen (8 km/h), Tennis zu spielen oder zu schwimmen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wegen meines Atemleidens fällt es mir schwer, sehr schwere körperliche Arbeit zu verrichten, zu laufen, radzufahren, schnell zu schwimmen oder anstrengenden Sport zu treiben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1 2

- Seite 6 -

Abschnitt 7: Geben Sie bitte an, wie Ihre Atemwegsbeschwerden normalerweise Ihr tägliches Leben beeinflussen.

Bitte kreuzen Sie bei jeder Frage „Richtig“ oder „Falsch“ an (bitte denken Sie daran, dass eine Aussage nur auf Sie zutrifft, wenn Sie etwas aufgrund Ihrer Atemwegsbeschwerden nicht tun können):

	Richtig	Falsch
Ich kann keinen Sport treiben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann nicht ausgehen, um mich zu unterhalten oder zu erholen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann das Haus nicht verlassen, um einzukaufen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann keine Hausarbeit verrichten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann mich nicht weit von meinem Bett oder Stuhl entfernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2

Wir möchten Sie nun bitten, die Feststellung (nur eine) anzukreuzen, die am besten beschreibt, wie sich Ihre Atemwegsbeschwerden auf Sie auswirken:

	Richtig
Sie hindern mich <u>nicht</u> daran, das zu tun, was ich gerne möchte.	<input type="checkbox"/>
Sie hindern mich an ein oder zwei Dingen, die ich gerne tun möchte.	<input type="checkbox"/>
Sie hindern mich an den meisten Dingen, die ich gerne tun möchte.	<input type="checkbox"/>
Sie hindern mich an allem, was ich gerne tun möchte.	<input type="checkbox"/>

8.3. Borg-Skala

Borgskala	
6	überhaupt keine Anstrengung
7	extrem locker
8	
9	sehr locker
10	
11	locker
12	
13	ein wenig hart
14	
15	Hart
16	
17	Sehr hart
18	
19	extrem hart
20	maximale Anstrengung

© Gunnar Borg 1985

8.4. Trainingsanweisung

Proband: **Muster, Muster**
 geb.: 01.01.1900

Trainingsplan für Woche 1-3:

Herzfrequenzbereich:	151 – 161/min
Dauer:	30 – 40 min
Einheiten:	8 Einheiten in 21 Tagen <i>(optimale Pause zwischen Trainingseinheiten 36 Std.)</i>
Das entspricht:	08:33 min/1000m 4.300m in 35min

8.5. Trainingsdokumentation

Trainingsdokumentation Proband:

	Dauer	...in Zone	d. HF	Hf _{max}	Belast.	PEF (m)	PEF (a)	Medikament	Menge	Symptome	Intensität
Montag											
Dienstag											
Mittwoch											
Donnerstag											
Freitag											
Samstag											
Sonntag											
	Dauer	...in Zone	d. HF	Hf _{max}	Belast.	PEF (m)	PEF (a)	Medikament	Menge	Symptome	Intensität
Montag											
Dienstag											
Mittwoch											
Donnerstag											
Freitag											
Samstag											
Sonntag											
	Dauer	...in Zone	d. HF	Hf _{max}	Belast.	PEF (m)	PEF (a)	Medikament	Menge	Symptome	Intensität
Montag											
Dienstag											
Mittwoch											
Donnerstag											
Freitag											
Samstag											
Sonntag											

Erläuterungen zur Trainingsdokumentation

Dauer	Eintrag der Dauer des absolvierten Trainings	Medikament	mögl. Medikamenteneinnahme
... in Zone	Eintrag der Zeit in Pulsfrequenzbereich	Menge	o.g. Medikament (Dosierung)
Belastung	Eintrag wie stark die Trainingsbelastung war (1-10)	Symptome	entspr. Zahl 1)Atemnot 2) Husten 3)Keuchen 4)Schmerzen
PEF (m)	Eintrag des morgens gemessenen PEF-Wertes	Intensität	der Symptome (1-10)
PEF (a)	Eintrag des abends gemessenen PEF-Wertes		

8.6. Weitere Ergebnisse

8.6.1. Ruheherzfrequenz (HF(Ruhe))

Tabelle 46 - Paarweise Analyse der HF(Ruhe) im Verlauf nach Gruppen

	<i>Ver- teilung</i>	<i>Median prä</i>	<i>Median post</i>	<i>Differenz absolut</i>	<i>Differenz relativ (%)</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
<i>Asthma</i>	NV	96	85	-11	-11,5	p=0,0823
<i>Kontroll</i>	kNV	102	88	-14	-13,7	p=0,8047

Tabelle 47 - Vergleich der Veränderungen der HF(Ruhe) im Verlauf beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

	<i>Ver- teilung</i>	<i>Mittelwert (±SD) Asthma</i>	<i>Mittelwert (±SD) Kontroll</i>	<i>Differenz (±Std.fehler)</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
<i>Differenz</i>	NV	-8,56 (±12,92)	-2,75 (±18,24)	5,81 (±8,23)	p=0,4679

Die Ruheherzfrequenz zeigt im Verlauf innerhalb beider Gruppen eine Tendenz zur Reduktion (Asthma-Gruppe: -8,56 (±12,92), Kontroll-Gruppe: 2,75 (±18,24)). Allerdings ist der Effekt weder innerhalb beider Gruppen noch im Vergleich der Veränderung signifikant ausgeprägt.

8.6.2. Weitere Ergebnisse der subjektiven Ausbelastungskriterien

8.6.2.1. Subjektiver Belastungsgrad in der Laufbanduntersuchung für die Beinmuskulatur mittels Borg-Skala (Borg-Skala (Beine))

Tabelle 48 - Paarweise Analyse der Borg-Skala (Beine) im Verlauf nach Gruppen

	<i>Ver- teilung</i>	<i>Mittelwert (±SD) prä</i>	<i>Mittelwert (±SD) post</i>	<i>Differenz (±SD)</i>	<i>Differenz relativ (%)</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
<i>Asthma</i>	NV	15,44 (±2,07)	14,33 (±1,94)	-1,11 (±2,52)	-7,19	p=0,2228
<i>Kontroll</i>	NV	12,75 (±1,83)	13,13 (±1,87)	+0,38 (±3,24)	+2,98	p=0,7536

Tabelle 49 - Vergleich der Veränderungen der Borg-Skala(Beine) im Verlauf beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

<i>unabhängig</i>	<i>Ver- teilung</i>	<i>Median Asthma</i>	<i>Median Kontroll</i>	<i>Differenz absolut</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
<i>Differenz</i>	kNV	-1,0	0,0	1,0	p=0,4942

Bei der Erhebung der subjektiv empfundenen Belastungsintensität für die Beine ergab sich innerhalb der Asthma-Gruppe tendenziell eine Reduktion zwischen beiden Untersuchungen. Demgegenüber steht eine leichte Zunahme bei der Kontroll-Gruppe. Allerdings sind die Veränderungen innerhalb beiden Gruppen nicht signifikant. Auch im Gruppenvergleich konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

8.6.2.2. Allgemeiner Belastungsgrad der Laufbandergometrie mittels Borg-Skala (Borg-Skala (Allgemein))

Tabelle 50 - Paarweise Analyse der Borg-Skala (Allgemein) im Verlauf nach Gruppen

	<i>Ver- teilung</i>	<i>Mittelwert (±SD) prä</i>	<i>Mittelwert (±SD) post</i>	<i>Differenz (±SD)</i>	<i>Differenz relativ (%)</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
Asthma	NV	14,44 (±1,59)	14,11 (±2,71)	-0,33 (±2,24)	-2,29	p=0,6667
Kontroll	NV	13,88 (±1,46)	14,00 (±1,51)	+0,13 (±2,59)	+0,94	p=0,8952

Tabelle 51 - Vergleich der Veränderungen der Borg-Skala (Allgemein) im Verlauf beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

	<i>Ver- teilung</i>	<i>Mittelwert (±SD) Asthma</i>	<i>Mittelwert (±SD) Kontroll</i>	<i>Differenz (±Std.fehler)</i>	<i>Signifikanz (p-Wert)</i>
Differenz	NV	-0,33 (±2,24)	+0,13 (±2,59)	0,46 (±1,18)	p=0,7036

Die allgemeine Belastungsintensität der Laufbanduntersuchung wurde von beiden Gruppen im Mittelwert als gleich intensiv angegeben. Es konnte kein Unterschied zwischen beiden Untersuchungszeitpunkten (paarweise Analyse) erhoben werden. Auch im Mittelwertvergleich der Veränderungen beider Gruppen konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Allerdings zeigt die Asthma-Gruppe eine leichte Tendenz zur Abnahme, die Kontroll-Gruppe eher einer noch geringeren Tendenz zur Zunahme.

8.6.2.3. Allgemeiner Belastungsgrad im Alltag (Borg-Skala (Alltag))

Tabelle 52 - Paarweise Analyse der Borg-Skala (Alltag) im Verlauf nach Gruppen

	Ver- teilung	Mittelwert (±SD) prä	Mittelwert (±SD) post	Differenz (±SD)	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Asthma	NV	8,78 (±1,72)	8,22 (±2,04)	-0,56 (±1,94)	-6,38	p=0,4161
Kontroll	NV	8,63 (±2,26)	8,75 (±1,75)	+0,12 (±1,45)	+1,37	p=0,3152

Tabelle 53 - Vergleich der Veränderungen der Borg-Skala (Alltag) im Verlauf beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

unabhängig	Ver- teilung	Median Asthma	Median Kontroll	Differenz absolut	Signifikanz (p-Wert)
Differenz	kNV	-1,0	0,0	1,0	p=0,1825

Die Alltagsbelastung wird von beiden Gruppen in der Erstuntersuchung mit 8,78 (±1,72) in der Asthma-Gruppe und 8,63 (±2,26) in der Kontroll-Gruppe als gering eingestuft. Auch in der Nachuntersuchung bleibt die Angabe mit 8,22 (±2,04) in der Asthma-Gruppe und 8,75 (±1,75) in der Kontroll-Gruppe auf niedrigem Niveau und zeigt keine signifikanten Veränderungen im Verlauf. Allerdings besteht bei der Asthma-Gruppe eine Tendenz zu verringerten Wahrnehmung der Alltagsbelastung, wohingegen die Kontroll-Gruppe im Verlauf eher eine Zunahme aufweist. Die Tendenzen beider Gruppen sind aber nur gering ausgeprägt, so dass zwischen den Gruppen keine signifikanten Veränderungen nachzuweisen sind.

8.6.3. Maximal erreichte Geschwindigkeit (p(max))

Tabelle 54 - Paarweise Analyse der p(IAS) in [km/h] im Verlauf nach Gruppen

	Ver- teilung	Mittelwert (±SD) prä	Mittelwert (±SD) post	Differenz (±SD)	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Asthma	NV	13,10 (±2,30)	13,97 (±2,20)	+0,87 (±0,41)**	+6,64	p=0,0002
Kontroll	NV	12,57 (±1,61)	13,84 (±1,50)	+1,27 (±1,43)*	+10,10	p=0,0394

*statistisch signifikant für p<0,05

**statistisch hochsignifikant für p<0,01

Tabelle 55 - Vergleich der Veränderungen der p(max) in [km/h] im Verlauf beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

	Ver- teilung	Median Asthma	Median Kontroll	Differenz	Signifikanz (p-Wert)
Differenz	NV	+1,01	+1,45	0,44	p=0,6650

Die Teilnehmer der Asthma-Gruppe konnten ihre Maximalgeschwindigkeit im Mittel um 0,87 km/h von 13,10 ($\pm 2,30$) in der Erstuntersuchung auf 13,97 ($\pm 2,20$) km/h in der Nachuntersuchung verbessern. Diese Verbesserung ist signifikant und entspricht einer Veränderung von +6,64%. Im Vergleich dazu zeigte die Kontroll-Gruppe ebenfalls eine signifikante Verbesserung um 1,27 km/h. Dies entspricht einem Zuwachs von 10,10%. Die Kontroll-Gruppe zeigt somit tendenziell eine etwas stärkere Verbesserung als die Asthma-Gruppe. Der Unterschied der Verbesserungen zwischen beiden Gruppen ist allerdings nicht signifikant.

8.6.4. Errechnete absolute maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ abs.)

Tabelle 56 - Paarweise Analyse der absoluten $\dot{V}O_2(\max)$ in [l/min] im Verlauf nach Gruppen

	Ver- teilung	Mittelwert ($\pm SD$) prä)	Mittelwert ($\pm SD$) post	Differenz ($\pm SD$)	Differenz relativ (%)	Signifikanz (p-Wert)
Asthma	NV	2,90 ($\pm 0,85$)	3,03 ($\pm 0,77$)	0,14 ($\pm 0,16$)	+4,83	p=0,0286*
Kontroll	NV	2,72 ($\pm 0,53$)	2,97 ($\pm 0,69$)	0,25 ($\pm 0,29$)	+9,19	p=0,0470*

*statistisch signifikant für $p < 0,05$

Tabelle 57 - Vergleich der Veränderungen der absoluten $\dot{V}O_2(\max)$ in [l/min] im Verlauf beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

unabhängig	Ver- teilung	Mittelwert ($\pm SD$) Asthma	Mittelwert ($\pm SD$) Kontroll	Differenz ($\pm Std.fehler$)	Signifikanz (p-Wert)
Differenz	NV	+0,14 ($\pm 0,16$)	+0,25 ($\pm 0,29$)	0,11 ($\pm 0,12$)	p=0,3823

Im Verlauf des Ausdauertrainings kam es in beiden Gruppen zu einer signifikanten Verbesserung der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme. Die Asthma-Gruppe verbesserte sich um 0,14 ($\pm 0,16$) L/min, die Kontroll-Gruppe um 0,25 ($\pm 0,29$) L/min. Auch wenn der relative Zuwachs der Kontroll-Gruppe mit +9,2% nahezu doppelt so groß wie derjenige der Asthma-Gruppe (+4,8%) ist, lässt sich zwischen beiden Gruppen kein statistisch signifikanter Unterschied feststellen. Es kann festgehalten wer-

den, dass es durch das Ausdauertraining zu einer gleichmäßigen Verbesserung der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme beider Gruppen gekommen.

8.6.5. Spiroergometrisch gemessene absolute maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$ abs.)

Tabelle 58 - Paarweise Analyse der absoluten $\dot{V}O_2(\max)$ in [l/min] im Verlauf nach Gruppen

	Ver- teilung	Median prä	Median post	Differenz	Differenz relativ (%)	Signifikanz- niveau
Asthma	kNV	2,21	2,35	+0,14	+6,3	p=0,0078**
Kontroll	NV	2,57	2,89	+0,32	+12,5	p=0,0078**

**statistisch hochsignifikant für $p < 0,01$

Tabelle 59 - Vergleich der Veränderungen der $\dot{V}O_2(\max)$ abs. in [l/min] beider Gruppen (Mittelwertvergleich unabhängiger Stichproben)

unabhängig	Ver- teilung	Median Asthma	Median Kon- troll	Differenz absolut	Signifikanz- niveau
Differenz	kNV	+0,18	+0,26	0,08	p=0,4411

Bei der spiroergometrischen Messung der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme (abs. $\dot{V}O_2(\max)$) konnte für beide Gruppen eine statistisch signifikante Zunahme ($p < 0,01$) festgestellt werden. Die Asthma-Gruppe verbesserte die abs. $\dot{V}O_2(\max)$ um 0,14L (Median prä: 2,21; Median post: 2,35), dies entspricht einer Veränderung von +6,3%. Innerhalb der Kontroll-Gruppe war der Zuwachs mit 12,5% doppelt so groß (Median prä 2,57; Median post 2,89). Der Unterschied im Zuwachs ist zwischen beiden Gruppen allerdings nicht statistisch signifikant.

8.7. Detaillierte Darstellung der statistischen Auswertung

Im Folgenden sind die statistischen Merkmale aller analysierten Variablen in Tabellenform aufgeführt. Die Auflistung umfasst Mittelwert, Standardabweichung (SD), das 95%-Konfidenzintervall sowie die ermittelte Normalverteilung. Auf Grundlage dieser statistischen Werte wurde die weitere statistische Analyse durchgeführt.

Tabelle 60 - Statistische Auswertung des BMI im Verlauf nach Gruppen

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
BMI prä	Asthma	0,2840	23,3201	3,2544	20,8185	25,8217
BMI post	Asthma	0,2552	22,8516	2,8922	20,6285	25,0748
Differenz	Asthma	0,1591	-0,4685	0,7046	-1,0100	0,0730
BMI prä	Kontroll	0,1545	22,5000	2,7838	20,1731	24,8277
BMI post	Kontroll	0,8151	21,8015	3,0714	19,2338	24,3693
Differenz	Kontroll	0,5477	-0,6989	1,0021	-1,5366	0,1389

Tabelle 61 - Statistische Analyse der Borgskala der Atmung (BS (Atm.)) im Verlauf nach Gruppen

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
BS (Atm.) prä	Asthma	0,2961	15,1111	1,4530	13,9943	16,2280
BS (Atm.) post	Asthma	0,0648	13,0000	1,1180	12,1406	13,8594
Differenz	Asthma	0,1841	-2,1111	1,6915	-3,4113	-0,8109
BS (Atm.) prä	Kontroll	0,0411	13,0000	1,1952	12,0007	13,9992
BS (Atm.) post	Kontroll	0,1560	12,8750	0,9910	12,0464	13,7035
Differenz	Kontroll	0,0808	-0,1250	1,3562	-1,2588	1,0088

Tabelle 62 - Statistische Analyse der Borgskala der Belastung für die Beine (BS (Beine)) nach Gruppen

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
BS (Beine) prä	Asthma	0,7238	15,4444	2,0683	13,8546	17,0343
BS (Beine) post	Asthma	0,0604	14,3333	1,9365	12,8448	15,8219
Differenz	Asthma	0,0193	-1,1111	2,5221	-3,050	0,8276
BS (Beine) prä	Kontroll	0,3241	12,75	1,8322	11,2182	14,2818
BS (Beine) post	Kontroll	0,2547	13,1250	1,8077	11,6137	14,6363
Differenz	Kontroll	0,8606	0,375	3,2486	-2,3409	3,0909

Tabelle 63 - Statistische Analyse der Borgskala für die allgemeine Belastung (BS (Allg.)) nach Gruppen

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
BS (Allg.) prä	Asthma	0,1796	14,4444	1,5092	13,2843	15,6045
BS (Allg.) post	Asthma	0,8596	14,1111	2,7131	12,0256	16,1966
Differenz	Asthma	0,8167	-0,3333	2,2361	-2,0521	1,3855
BS (Allg.) prä	Kontroll	0,2861	13,875	1,4577	12,6563	15,0937
BS (Allg.) post	Kontroll	0,2547	14,0	1,51186	12,7361	15,2640
Differenz	Kontroll	0,6552	0,125	2,5878	-2,0384	2,2884

Tabelle 64 - Statistische Analyse Borgskala für Alltagsbelastung (BS(Alltag)) nach Gruppen

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
BS (Alltag) prä	Asthma	0,4500	8,7778	1,7160	7,4590	19,0967
BS (Alltag) post	Asthma	0,0800	8,2222	2,0480	6,6480	9,7965
Differenz	Asthma	0,0033	-0,5556	1,9437	-2,0496	0,9386
BS (Alltag) prä	Kontroll	0,3505	8,6288	2,2610	6,7387	10,5188
BS (Alltag) post	Kontroll	0,3970	8,75	1,7526	7,2848	10,2152
Differenz	Kontroll	0,2951	0,1213	1,4493	-1,0904	1,3329

Tabelle 65 - Statistische Analyse der Ruheherzfrequenz (HF(Ruhe)) nach Gruppen

Variable	Gruppe	Normal- verteilung	Mittel- wert	Standard- abweichung	95% KI unten	95% KI oben
HF(Ruhe) prä	Asthma	0,7141	93,7778	19,7976	78,56	108,9956
HF(Ruhe) post	Asthma	0,5282	85,2222	13,8904	74,5451	95,8994
Differenz	Asthma	0,2726	-8,5556	12,9239	-18,4898	1,3787
HF(Ruhe) prä	Kontroll	0,0030	95,125	11,3822	85,6028	104,6407
HF(Ruhe) post	Kontroll	0,1813	92,375	17,9598	77,3603	107,3898
Differenz	Kontroll	0,4817	-2,75	18,2346	-12,4945	17,9945

Tabelle 66 - Statistische Analyse der maximalen Herzfrequenz (HF(max)) nach Gruppen

Variable	Gruppe	Normal- verteilung	Mittel- wert	Standard- abweichung	95% KI unten	95% KI oben
HF(max) prä	Asthma	0,3099	188,2222	10,0222	180,5284	195,9260
HF(max) post	Asthma	0,8874	192,3333	6,8739	187,0496	197,6171
Differenz	Asthma	0,0002	4,1111	11,6345	-4,8319	13,0542
HF(max) prä	Kontroll	0,4288	187,125	6,0104	182,1002	192,1498
HF(max) post	Kontroll	0,1390	194,125	13,0542	183,2115	205,0386
Differenz	Kontroll	0,3672	7	10,9153	-2,1254	16,1254

Tabelle 67 - Statistische Analyse der maximalen Laktatkonzentration (Lak(max)) im Verlauf nach Gruppen

Variable	Gruppe	Normal- verteilung	Mittel- wert	Standard- abweichung	95% KI unten	95% KI oben
Lak(max) prä	Asthma	0,5358	9,0011	1,1154	8,1437	9,8485
Lak(max) post	Asthma	0,7876	8,8378	2,2442	7,1127	10,5628
Differenz	Asthma	0,6356	-0,16333	2,0410	-1,7322	1,4055
Lak(max) prä	Kontroll	0,1806	8,4338	2,6204	6,2431	10,6245
Lak(max) post	Kontroll	0,4378	10,1125	3,7608	6,9684	13,2566
Differenz	Kontroll	0,1653	1,6788	1,7575	0,2095	3,1480

Tabelle 68 - Statistische Analyse der HF(IAS) nach Gruppen

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
<i>HF (IAS)</i>	Asthma	0,4982	169,0111	7,8595	162,9698	175,0524
<i>HF (IAS)</i>	Kontroll	0,8910	171,175	8,78322	163,8321	178,5180

Tabelle 69 - Statistische Analyse der durchschnittlichen HF (d.HF) nach Gruppen

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
<i>d.HF (Wo.1-3)</i>	Asthma	0,1528	152,4444	11,4040	143,6793	161,2095
<i>d.HF (Wo.1-3)</i>	Kontroll	0,8743	153,8750	9,5235	145,9132	161,8368
<i>d.HF (Wo.4-8)</i>	Asthma	0,4851	158,4444	10,0388	150,7280	166,1610
<i>d.HF (Wo.4-8)</i>	Kontroll	0,6952	160,6250	9,9991	152,2656	168,9845
<i>d.HF (Wo.9-12)</i>	Asthma	0,2352	161,6667	8,6747	154,9987	168,3346
<i>d.HF (Wo.9-12)</i>	Kontroll	0,3326	160,3750	10,4052	151,6761	169,0740
<i>d.HF (gesamt)</i>	Asthma	0,2964	157,5185	9,7939	149,9903	165,0468
<i>d.HF (gesamt)</i>	Kontroll	0,9325	158,2917	9,7222	150,1637	166,4197

Tabelle 70 – Statistische Auswertung der Trainingsintensität (d.HF / HF(IAS)) in (%)

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
<i>% (Wo.1-3)</i>	Asthma	0,5544	90,1803	4,7848	86,5024	93,8582
<i>% (Wo.1-3)</i>	Kontroll	0,9914	90,1168	7,3877	83,9406	96,2931
<i>% (Wo.4-8)</i>	Asthma	0,5350	93,7250	3,3589	91,1439	96,3061
<i>% (Wo.4-8)</i>	Kontroll	0,9825	93,9987	6,7048	88,3934	99,6041
<i>% (Wo.9-12)</i>	Asthma	0,6864	95,6889	3,6950	92,8487	98,5291
<i>% (Wo.9-12)</i>	Kontroll	0,9664	93,8908	7,5204	87,6035	100,1780
<i>%) (gesamt)</i>	Asthma	0,9767	93,1981	3,7097	90,3465	96,0496
<i>% (gesamt)</i>	Kontroll	0,9894	92,6688	7,0925	86,7393	98,5982

Tabelle 71 – Statistische Auswertung der absolvierten Trainingsdauer in Minuten (min)

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
<i>d.Dauer (Wo.1-3)</i>	Asthma	0,4599	35,3630	3,0156	33,0450	37,6810
<i>d.Dauer (Wo.1-3)</i>	Kontroll	0,0527	37,3500	6,6944	31,7534	42,9466
<i>d.Dauer (Wo.4-8)</i>	Asthma	0,0166	44,3722	4,4005	40,9897	47,7547
<i>d.Dauer (Wo.4-8)</i>	Kontroll	0,5648	45,0271	3,1953	42,3558	47,6984
<i>d.Dauer (Wo.9-12)</i>	Asthma	0,3878	51,3148	7,5813	45,4873	57,1423
<i>d.Dauer (Wo.9-12)</i>	Kontroll	0,1584	51,5875	4,07457	48,1811	54,9939
<i>d.Dauer (gesamt)</i>	Asthma	0,1901	43,6815	4,3196	40,3610	47,0019
<i>d.Dauer (gesamt)</i>	Kontroll	0,7754	44,5583	4,0076	41,2079	47,9087

Tabelle 72 – Statistische Auswertung der Anzahl der absolvierten Trainingseinheiten

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
<i>Einheiten (Wo.1-3)</i>	Asthma	<0,0001	7,5555	1,1304	6,6867	8,4245
<i>Einheiten (Wo.1-3)</i>	Kontroll	0,0149	7,125	0,99103	6,2965	7,9535
<i>Einheiten (Wo.4-8)</i>	Asthma	0,0383	15,0000	2,6458	12,9663	17,0337
<i>Einheiten (Wo.4-8)</i>	Kontroll	<0,0001	15,25	0,4629	14,8630	15,6370
<i>Einheiten (Wo.9-12)</i>	Asthma	0,0003	14,4444	8,0017	8,2938	20,5951
<i>Einheiten (Wo.9-12)</i>	Kontroll	0,4354	10,75	2,7124	8,4824	13,0176
<i>Einheiten (gesamt)</i>	Asthma	0,0005	37,0000	7,8581	30,9597	43,0403
<i>Einheiten (gesamt)</i>	Kontroll	0,3238	33,125	3,2266	30,4275	35,8225

Tabelle 73 - Statistische Analyse der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$) im Verlauf nach Gruppen

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
<i>($\dot{V}O_2(\max)$) prä</i>	Asthma	0,0676	2,9000	0,8502	2,2918	3,5082
<i>($\dot{V}O_2(\max)$) post</i>	Asthma	0,2184	3,0300	0,7672	2,4812	3,5788
<i>Differenz</i>	Asthma	0,4920	0,1433	0,1614	0,0193	0,2674
<i>($\dot{V}O_2(\max)$) prä</i>	Kontroll	0,0546	2,7163	0,5319	2,2716	3,1609
<i>($\dot{V}O_2(\max)$) post</i>	Kontroll	0,7151	2,9663	0,6913	2,3883	3,5442
<i>Differenz</i>	Kontroll	0,6945	0,2500	0,2939	0,0043	0,4957

Tabelle 74 - Statistische Analyse der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$) im Verlauf nach Gruppen

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
<i>($\dot{V}O_2(\max)$) prä</i>	Asthma	0,0676	2,9000	0,8502	2,2918	3,5082
<i>($\dot{V}O_2(\max)$) post</i>	Asthma	0,2184	3,0300	0,7672	2,4812	3,5788
<i>Differenz</i>	Asthma	0,4920	0,1433	0,1614	0,0193	0,2674
<i>($\dot{V}O_2(\max)$) prä</i>	Kontroll	0,0546	2,7163	0,5319	2,2716	3,1609
<i>($\dot{V}O_2(\max)$) post</i>	Kontroll	0,7151	2,9663	0,6913	2,3883	3,5442
<i>Differenz</i>	Kontroll	0,6945	0,2500	0,2939	0,0043	0,4957

Tabelle 75 - Statistische Analyse der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(\max)$) im Verlauf nach Gruppen in [ml/min/kg]

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
<i>($\dot{V}O_2(\max)$) prä</i>	Asthma	0,3543	41,4336	7,2520	35,8592	47,0080
<i>($\dot{V}O_2(\max)$) post</i>	Asthma	0,3111	44,5963	6,9511	39,2532	49,9394
<i>Differenz</i>	Asthma	0,7350	3,1627	1,7719	1,8007	4,5247
<i>($\dot{V}O_2(\max)$) prä</i>	Kontroll	0,9859	39,4546	5,1669	35,1349	43,7742
<i>($\dot{V}O_2(\max)$) post</i>	Kontroll	0,2461	44,1519	4,2349	40,6115	47,6923
<i>Differenz</i>	Kontroll	0,1793	4,6973	3,4961	1,7746	7,6201

Tabelle 76 - Statistische Analyse der Geschwindigkeit bei 4,0 mmol/l Laktat (p(4.0mmol/l)) in [km/h]

<i>Variable</i>	<i>Gruppe</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% KI unten</i>	<i>95% KI oben</i>
<i>p(4.0mmol/l) prä</i>	Asthma	0,8344	10,3767	2,1022	8,7608	11,9925
<i>p(4.0mmol/l) post</i>	Asthma	0,1470	11,3289	2,1584	9,6698	12,9880
<i>Differenz</i>	Asthma	0,1720	0,9522	0,8327	0,3121	1,5923
<i>p(4.0mmol/l) prä</i>	Kontroll	0,8585	10,0450	1,5662	8,7356	11,3544
<i>p(4.0mmol/l) post</i>	Kontroll	0,7948	10,9475	1,3085	9,8536	12,0414
<i>Differenz</i>	Kontroll	0,0370	0,9025	0,5948	0,4053	1,3997

Tabelle 77 - Statistische Analyse der p(IAS) in [km/h]

Variable	Gruppe	Normal- verteilung	Mittel- wert	Standard- abweichung	95% KI unten	95% KI oben
<i>p(IAS) prä</i>	Asthma	0,6682	9,6156	1,9189	8,1405	11,0906
<i>p(IAS) post</i>	Asthma	0,1084	10,5100	1,9173	9,0362	11,9838
<i>Differenz</i>	Asthma	0,3789	0,8944	1,0059	0,1212	1,6677
<i>p(IAS) prä</i>	Kontroll	0,1972	9,1313	1,1562	8,1647	10,0978
<i>p(IAS) post</i>	Kontroll	0,8324	10,3563	0,8512	9,6447	11,0678
<i>Differenz</i>	Kontroll	0,4113	1,2250	0,9002	0,4649	1,9852

Tabelle 78 - Statistische Analyse der p(max) in [km/h]

Variable	Gruppe	Normal- verteilung	Mittel- wert	Standard- abweichung	95% KI unten	95% KI oben
<i>p(max) prä</i>	Asthma	0,3463	13,1022	2,3032	11,3319	14,8726
<i>p(max) post</i>	Asthma	0,4059	13,9689	2,1981	12,2791	15,6587
<i>Differenz</i>	Asthma	0,0205	0,8667	0,4053	0,5551	1,1782
<i>p(max) prä</i>	Kontroll	0,9734	12,5663	1,6141	11,2168	13,9157
<i>p(max) post</i>	Kontroll	0,1736	13,8400	1,5024	12,5840	15,0960
<i>Differenz</i>	Kontroll	0,5564	1,2738	1,4259	0,0817	2,4658

Tabelle 79 - Statistische Analyse der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2(max)$) nach Gruppen

Variable	Gruppe	Normal- verteilung	Mittel- wert	Standard- abweichung	95% KI unten	95% KI oben
<i>($\dot{V}O_2(max)$) prä</i>	Asthma	0,0423	2,3722	0,6204	1,8954	2,8491
<i>($\dot{V}O_2(max)$) post</i>	Asthma	0,0956	2,6244	0,7765	2,0276	3,2213
<i>Differenz</i>	Asthma	0,0113	0,2522	0,2860	0,0324	0,4721
<i>($\dot{V}O_2(max)$) prä</i>	Kontroll	0,9567	2,5500	0,5905	2,0563	3,0437
<i>($\dot{V}O_2(max)$) post</i>	Kontroll	0,2731	3,0588	1,0736	2,1612	3,9563
<i>Differenz</i>	Kontroll	0,0140	0,5088	0,6060	0,0021	1,0154

Tabelle 80 - Statistische Analyse der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme (VO₂(max)) nach Gruppen in [ml/min/kg]

Variable	Gruppe	Normal- verteilung	Mittel- wert	Standard- abweichung	95% KI unten	95% KI oben
VO₂(max) prä	Asthma	0,3603	35,4889	5,5056	31,2570	39,7208
VO₂(max) post	Asthma	0,4257	38,6889	6,9371	33,3566	44,0212
Differenz	Asthma	0,9206	3,2000	2,2074	1,5033	4,8967
VO₂(max) prä	Kontroll	0,3592	36,9288	5,5786	32,2650	41,5926
VO₂(max) post	Kontroll	0,4243	45,1575	9,4204	37,2818	53,0332
Differenz	Kontroll	0,1699	8,2288	7,6328	1,8476	14,6099

Tabelle 81 - Statistische Analyse des Atemäquivalents für O₂ (EqO₂) nach Gruppen

Variable	Gruppe	Normal- verteilung	Mittel- wert	Standard- abweichung	95% KI unten	95% KI oben
EqO₂ prä	Asthma	0,1702	34,4111	6,0569	29,7554	39,0669
EqO₂ post	Asthma	0,0436	29,2444	4,5692	25,7322	32,7567
Differenz	Asthma	0,9320	-5,1667	2,6486	-7,2026	-3,1308
EqO₂ prä	Kontroll	0,8880	34,9000	6,0000	29,8839	39,9161
EqO₂ post	Kontroll	0,9977	31,3375	6,9902	25,4936	37,1814
Differenz	Kontroll	0,5818	-3,5625	2,3682	-5,5424	-1,5826

Tabelle 82 - Statistische Analyse des Atemäquivalents für CO₂ (EqCO₂) nach Gruppen

Messgröße	Gruppe	Normal- verteilung	Mittel- wert	Standard- abweichung	95% KI unten	95% KI oben
EqCO₂ prä	Asthma	0,9678	28,2111	3,7741	25,3101	31,1121
EqCO₂ post	Asthma	0,9516	24,6556	2,0556	23,0755	26,2356
Differenz	Asthma	0,9477	-3,5556	2,2439	-5,2804	-1,8307
EqCO₂ prä	Kontroll	0,4056	32,3750	5,6724	27,6327	37,1173
EqCO₂ post	Kontroll	0,9571	28,4125	4,9764	24,2522	32,5728
Differenz	Kontroll	0,5981	-3,9625	2,3754	-5,9484	-1,9766

Tabelle 83 - Statistische Analyse der Werte des SGRQ der Asthma-Gruppe im Verlauf

<i>Variable</i>	<i>Normal- verteilung</i>	<i>Mittel- wert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>95% unten</i>	<i>KI 95% oben</i>	<i>KI</i>
<i>Symptom-Score prä</i>	0,2923	50,5911	13,3153	40,3561	60,8261	
<i>Symptom-Score post</i>	0,8149	33,8178	10,6015	25,6687	41,9668	
<i>Activity-Score prä</i>	0,8497	33,8444	17,1064	20,6953	46,9936	
<i>Activity-Score post</i>	0,2030	13,6444	11,0631	5,1406	22,1483	
<i>Impacts-Score prä</i>	0,1535	14,6822	12,5364	5,0459	24,3186	
<i>Impacts-Score post</i>	0,0054	7,6867	10,4333	-0,3331	15,7064	
<i>Total-Score prä</i>	0,1714	26,4378	12,9278	16,5006	36,3750	
<i>Total-Score post</i>	0,0453	13,5389	9,9370	6,0010	21,2772	

Tabelle 84 – Korrelation leistungsdagnostischer Variablen mit dem „Symptom-Score“ des SGRQ

<i>Faktor</i>	<i>Korrelationskoeffizient mit dem Symptom-Score</i>	<i>p-Wert</i>
<i>VO₂(max) abs. prä</i>	-0,1668	0,6679
<i>VO₂(max) rel. prä</i>	0,2484	0,5192
<i>p(IAS) prä</i>	0,3812	0,3115
<i>p(max) prä</i>	0,2533	0,5108
<i>VO₂(max) abs. post</i>	-0,2037	0,5992
<i>VO₂(max) rel. post</i>	-0,06276	0,8726
<i>p(IAS) post</i>	0,0171	0,9652
<i>p(max) post</i>	-0,0785	0,8408

Tabelle 85 – Prüfung auf Korrelation leistungsdagnostischer Variablen mit dem „Aktivitäts-Score“ des SGRQ

<i>Faktor</i>	<i>Korrelationskoeffizient mit dem Aktivitäts-Score</i>	<i>p-Wert</i>
<i>VO₂(max) abs. prä</i>	-0,2447	0,5257
<i>VO₂(max) rel. prä</i>	-0,2466	0,5225
<i>p(IAS) prä</i>	0,3812	0,3115
<i>p(max) prä</i>	-0,2378	0,5378
<i>VO₂(max) abs. post</i>	0,0909	0,8160
<i>VO₂(max) rel. post</i>	-0,0120	0,9594
<i>p(IAS) post</i>	0,1613	0,6784
<i>p(max) post</i>	-0,0166	0,9663

Tabelle 86 – Prüfung auf Korrelation leistungsdiagnostischer Veränderungen mit dem „Impacts-Score“ des SGRQ

<i>Faktor</i>	<i>Korrelationskoeffizient mit dem Impacts-Score</i>	<i>p-Wert</i>
<i>VO₂(max) abs. prä</i>	-0,1578	0,6852
<i>VO₂(max) rel. prä</i>	-0,0902	0,8174
<i>p(IAS) prä</i>	0,2859	0,4558
<i>p(max) prä</i>	-0,0764	0,8452
<i>VO₂(max) abs. post</i>	0,3108	0,4156
<i>VO₂(max) rel. post</i>	0,0599	0,8923
<i>p(IAS) post</i>	0,2859	0,4558
<i>p(max) post</i>	0,0471	0,9043

Tabelle 87 – Prüfung auf Korrelation leistungsdiagnostischer Veränderungen mit dem „Total-Score“ des SGRQ

<i>Faktor</i>	<i>Korrelationskoeffizient mit dem Total-Score</i>	<i>p-Wert</i>
<i>VO₂(max) abs. prä</i>	-0,2084	0,5905
<i>VO₂(max) rel. prä</i>	-0,1016	0,7947
<i>p(IAS) prä</i>	0,2080	0,5912
<i>p(max) prä</i>	-0,0764	0,8452
<i>VO₂(max) abs. post</i>	0,1582	0,6844
<i>VO₂(max) rel. post</i>	0,0048	0,9902
<i>p(IAS) post</i>	0,2080	0,5912
<i>p(max) post</i>	0,0015	0,9969

Tabelle 88 – Korrelation leistungsdiagnostischer Verbesserungen mit dem „Symptom-Score“ des SGRQ

<i>Faktor</i>	<i>Korrelationskoeffizient mit dem Symptom-Score</i>	<i>p-Wert</i>
<i>Differenz VO₂(max) abs.</i>	0,1926	0,6196
<i>Differenz VO₂(max) rel.</i>	-0,0348	0,9293
<i>Differenz p(IAS)</i>	0,3524	0,3522
<i>Differenz p(max)</i>	0,1229	0,7528

Tabelle 89 – Prüfung auf Korrelation leistungsdiagnostischer Veränderungen mit dem „Aktivitäts-Score“ des SGRQ

<i>Faktor</i>	<i>Korrelationskoeffizient mit dem Aktivitäts-Score</i>	<i>p-Wert</i>
<i>Differenz VO₂(max) abs.</i>	-0,4979	0,1726
<i>Differenz VO₂(max) rel.</i>	-0,2971	0,4375
<i>Differenz p(IAS)</i>	0,1886	0,6271
<i>Differenz p(max)</i>	-0,0584	0,8814

Tabelle 90 – Prüfung auf Korrelation leistungsdiagnostischer Veränderungen mit dem „Impacts-Score“ des SGRQ

<i>Faktor</i>	<i>Korrelationskoeffizient mit dem Impacts-Score</i>	<i>p-Wert</i>
<i>Differenz VO₂(max) abs.</i>	-0,0129	0,9738
<i>Differenz VO₂(max) rel.</i>	-0,2351	0,5426
<i>Differenz p(IAS)</i>	0,1131	0,7720
<i>Differenz p(max)</i>	-0,0154	0,9687

Tabelle 91 – Prüfung auf Korrelation leistungsdiagnostischer Veränderungen mit dem „Total-Score“ des SGRQ

<i>Faktor</i>	<i>Korrelationskoeffizient mit dem Total-Score</i>	<i>p-Wert</i>
<i>Differenz VO₂(max) abs.</i>	-0,1689	0,6639
<i>Differenz VO₂(max) rel.</i>	-0,2803	0,4650
<i>Differenz p(IAS)</i>	0,1998	0,6062
<i>Differenz p(max)</i>	-0,0076	0,9845