

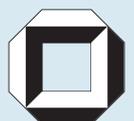
Karlsruher sportwissenschaftliche Beiträge

Schriftenreihe des Instituts für Sport und
Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH)

Band 4

Sascha Härtel

Entwicklung und Analyse walkingbasierter Ausdauer- testverfahren im Rahmen der medizinischen Rehabilitation



Karlsruher sportwissenschaftliche Beiträge

Band 4

Sascha Härtel

**Entwicklung und Analyse walkingbasierter Ausdauer-
verfahren im Rahmen der medizinischen Rehabilitation**

Karlsruher sportwissenschaftliche Beiträge

Institut für Sport und Sportwissenschaft
Universität Karlsruhe (TH)

Herausgeber der Schriftenreihe:

Prof. Dr. Klaus Bös

Dr. Michaela Knoll

Karlsruher sportwissenschaftliche Beiträge
Band 4

**Entwicklung und Analyse walking-
basierter Ausdauer-
testverfahren
im Rahmen der medizinischen
Rehabilitation**

Sascha Härtel



universitätsverlag karlsruhe

Dissertation, Universität Karlsruhe (TH)
Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften, 2007

Impressum

Universitätsverlag Karlsruhe
c/o Universitätsbibliothek
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe
www.uvka.de



Dieses Werk ist unter folgender Creative Commons-Lizenz
lizenziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/de/>

Universitätsverlag Karlsruhe 2007
Print on Demand

ISSN: 1862-748X
ISBN: 978-3-86644-171-2

Entwicklung und Analyse walkingbasierter Ausdauer-testverfahren im Rahmen der medizinischen Rehabilitation

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTORS DER PHILOSOPHIE

(Dr. phil.)

Von der Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften der
Universität Karlsruhe
angenommene

DISSERTATION

von

Sascha Härtel
aus Ludwigshafen am Rhein

Dekan: Prof. Dr. Uwe Japp

1. Gutachter: Prof. Dr. Klaus Bös
2. Gutachter: PD Dr. Achim Bub

Tag der mündlichen Prüfung: 9. Juli 2007

Vorwort

Eine Arbeit, die sich wie die vorliegende aus mehreren aufwändigen Teilstudien zusammensetzt, ist ohne die Unterstützung verschiedener Personen undenkbar. Mein erster Dank gilt daher meinem Betreuer Prof. Dr. Klaus Bös für die sehr hilfreichen Anregungen, inhaltlichen Vorschläge und Korrekturen sowie PD Dr. Achim Bub für die sehr spontane Unterstützung. Besonderen Dank verdienen auch Prof. Dr. Andreas Schmid und Dr. Barbara Buhl, die mich immer wieder motivierten und mir mit zahlreichen Tipps zur Seite standen. Dies gilt auch für Rainer Neumann, Dr. Susanne Tittlbach, Francisca Kurz und Thomas Feuchtenhofer.

Die Umsetzung der Untersuchungen wäre nicht ohne die hervorragende Kooperation mit der Reha-Klinik Überruh möglich gewesen, die mir für meine Untersuchungen sowohl die Patienten als auch die notwendigen klinischen Einrichtungen zur Verfügung stellte. Hervorgehoben seien hier vor allem Dr. Peter Heilmeyer, Harald Knyrim und Dr. Wolfgang Dieter. Natürlich kann die Vielzahl der durchgeführten Untersuchungen nicht ohne finanzielle Unterstützung ablaufen. Hier gilt der Dank besonders der Deutschen Rentenversicherung Baden-Württemberg, die die Studien in der Reha-Klinik Überruh mit Forschungsgeldern ermöglichte.

Weiterhin möchte ich den Studierenden danken, die ich im Rahmen verschiedener Studienarbeiten betreute und die mir zuarbeiteten. Erwähnt seien hier Marcel Hardung, Lars Schlenker, Pamela Graf, Sarah Lang, Christine Milz und Anja Hellberg.

Nicht zuletzt gilt der Dank meinen Kollegen und Kolleginnen Gunther Kurz, Susanne Bappert, Rebecca Kunz, Dietmar Blicher, Stefan Renner und Maren Müller für den moralischen Beistand in der Zeit bis zur Fertigstellung dieser Arbeit. Ein besonderes Dankeschön richte ich abschließend an meine Familie für ihr Verständnis sowie für die immerwährende Unterstützung, ohne die diese Arbeit niemals zustande gekommen wäre.

Sascha Härtel

Karlsruhe, Februar 2007

Inhaltsverzeichnis

I	Grundlagen	5
1	Ziele und Aufbau der Arbeit	5
1.1	Ziele der Arbeit	5
1.2	Aufbau der Arbeit	9
2	Forschungsstand und Ausgangslage	11
2.1	Belastungsverfahren in der medizinischen Rehabilitation	11
2.1.1	Historische Entwicklung.....	11
2.1.2	Gängige Belastungsverfahren und deren Verbreitung	13
2.1.3	Vor- und Nachteile verschiedener Belastungsverfahren	15
2.2	Walkingbasierte Ausdauer-testverfahren	18
II	Empirische Untersuchungen.....	26
1	Entwicklung eines Reha-Walking-Tests	28
1.1	Einleitung.....	28
1.2	Verwendung der Formel „Herzschlagfrequenz = 180 minus Lebensalter“ als Mittel der Belastungssteuerung	29
1.3	Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests	32
1.3.1	Untersuchungsstichprobe	33
1.3.2	Untersuchungsmethodik.....	33
1.3.3	Ergebnisse	34
1.3.4	Diskussion und Fazit	35
1.4	Validität des Reha-Walking-Tests	35
1.4.1	Untersuchungsstichprobe.....	35
1.4.2	Methodik	37
1.4.3	Ergebnisse	39
1.4.4	Diskussion und Fazit	45
1.5	Normierung des Reha-Walking-Tests	47
1.5.1	Untersuchungsstichprobe	47
1.5.2	Methodik	48
1.5.3	Ergebnisse.....	48
1.5.4	Diskussion und Fazit	51
1.6	Vergleich der Ergebnisse von UKK-Walk-Test und Reha-Walking-Test	52
1.6.1	Einleitung	52
1.6.2	Untersuchungsstichprobe.....	52
1.6.3	Methodik	53
1.6.4	Ergebnisse.....	53
1.6.5	Diskussion und Fazit	56
1.7	Der Einfluss von profiliertem Gelände auf die Ergebnisse und die Belastungs- intensität des Reha-Walking-Tests und des 2 km-Walking-Tests.....	57
1.7.1	Einleitung	57
1.7.2	Untersuchungsstichprobe.....	57
1.7.3	Methodik	58
1.7.4	Ergebnisse.....	60
1.7.5	Diskussion und Fazit	66
1.8	Zusammenfassung und Fazit	68

2	Entwicklung und Überprüfung eines Walking-Tests auf dem Laufband	71
2.1	Einleitung	71
2.2	Vorarbeiten und Entwicklungsschritte	72
2.3	Überprüfung der Anwendbarkeit des Walking-Tests auf dem Laufband im Bereich der Rehabilitation	73
2.3.1	Einleitung	73
2.3.2	Untersuchungsstichprobe	73
2.3.3	Methodik	74
2.3.4	Ergebnisse	75
2.3.5	Diskussion und Fazit	79
2.4	Bewertung der Ergebnisse des Walking-Tests auf dem Laufband	81
2.4.1	Einleitung	81
2.4.2	Umrechnung der Leistung auf dem Laufband in Watt	82
2.4.3	Vergleich der Leistung auf dem Laufband und dem Fahrradergometer mittels spirometrischer Analysen	85
2.4.3.1	<i>Einleitung</i>	85
2.4.3.2	<i>Stichprobe</i>	86
2.4.3.3	<i>Methodik</i>	86
2.4.3.4	<i>Ergebnisse</i>	89
2.4.3.5	<i>Diskussion und Fazit</i>	92
2.4.4	Beurteilung der Ergebnisse	95
2.5	Zusammenfassung und Fazit	98
3	Analyse der Testergebnisse des 2 km-Walking-Tests bei der Verwendung von Stöcken (Nordic-Walking)	100
3.1	Einleitung	100
3.2	Aktueller Forschungsstand	100
3.3	Untersuchungsstichprobe	104
3.4	Methodik	105
3.5	Ergebnisse	106
3.6	Diskussion	109
3.7	Zusammenfassung und Fazit	112
III	Zusammenfassung und Ausblick	113
	Literaturverzeichnis	119
	Abbildungsverzeichnis	126
	Tabellenverzeichnis	127
	Anhang	131

I Grundlagen

1 Ziele und Aufbau der Arbeit

1.1 Ziele der Arbeit

Die medizinische Rehabilitation hat ihren ersten bekannten Ursprung in der so genannten Terrain-Kur des Münchner Internisten Oertel im Jahr 1875. Bereits hier wurde Patienten mit organischen Herzkrankheiten die Bewältigung dosierter Gehstrecken verordnet. Diese erste Form der Bewegungstherapie geriet jedoch trotz offenbar deutlicher Erfolge bald wieder in Vergessenheit. Über viele Jahrzehnte beinhaltete die international gültige klinische Auffassung über die Therapie herzkranker Menschen eine absolute Ruhigstellung des Patienten. Auch zur Vorbeugung des Herzinfarktes sollten körperliche und geistige Anstrengungen vermieden werden. Erst nach dem Ende des 2. Weltkrieges führten Levine und Lown im Jahre 1952 die so genannte Lehnstuhltherapie ein, die den Beginn einer Abwendung von absoluter Ruhigstellung des Patienten im Bett darstellte. Rasch entwickelten sich daraufhin weitere Formen der Bewegungstherapie. Dennoch dauerte es bis in die 1970er Jahre, bis sich der positive Einfluss körperlicher Aktivität in der Therapie von Patienten mit koronarer Herzkrankheit und Patienten mit anderen organischen Erkrankungen zur Remobilisierung etablierte (vgl. Hollmann & Hettinger, S. 563).

An dieser Vorgehensweise bestehen heute keine Zweifel mehr. Die Umstellung der Therapie von der absoluten Vermeidung körperlicher und geistiger Anstrengung hin zur heutigen Bewegungstherapie kann laut Hollmann und Hettinger (2000) als die „bedeutendste Revolution in der Geschichte der kardiologischen Therapie in diesem Jahrhundert genannt werden“ (S. 564).

Unter Rehabilitation versteht man nach einer aktuellen Definition von Banzer (2003, vgl. S. 446) die Integration chronisch Kranker und Behinderter oder der von einer Krankheit oder Behinderung bedrohter Menschen im beruflichen und sozialen Sinne. Der Sport soll hierbei mit Hilfe von bewegungstherapeutischen Maßnahmen den Erfolg der Behandlung stabilisieren und verbessern und die Patienten zu einem lebenslangen prophylaktischen Sporttreiben animieren. Ziele sind die positive Beeinflussung der Stoffwechselprozesse, die Verbesserung und Kompensation von Defiziten im motorischen Bereich und die Verbesserung und Aufrechterhaltung der körperlichen Funktionalität. Der Rehabilitationssport kommt am häufigsten bei Herz-Kreislauf-Patienten, Krebspatienten, Diabetikern, Schlaganfallpatienten, Patienten mit Erkrankungen des Halte- und Bewegungsapparates, Patienten mit altersbedingten körperlichen und geistigen Leistungseinbußen sowie Aids- und Dialysepatienten zum Einsatz (vgl. Banzer, 2003, S. 446 und Hollmann & Hettinger, 2000, S. 562).

Da speziell die positiven gesundheitlichen Wirkungen eines regelmäßigen, angepassten Ausdauertrainings inzwischen unbestritten sind (vgl. u.a. Buskies & Boeckh-Behrens, 1996, S. 11f. oder Hollmann & Hettinger, 2000, S. 568), besitzt das Ausdauertraining im Rahmen einer Sporttherapie eine tragende Rolle. Gerade im Bereich der Rehabilitation ist zu beachten, dass dieses Ausdauertraining kontrolliert, d.h. mit der richtigen Intensität, dem richtigen Umfang und vor allem ohne Überlastung, durchgeführt wird. Darüber hinaus gilt die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit in der stationären Rehabilitation als entscheidender Parameter für die sozialmedizinische Begutachtung.

Der Goldstandard zur Beurteilung des aktuellen Leistungszustandes des kardiopulmonalen Systems und des Stoffwechsels sowie zur Steuerung des Trainings sind (spiro)ergometrische Untersuchungen. In der diagnostischen Praxis der stationären Rehabilitation scheidet diese Form der Leistungsdiagnose als Standardmethode zur Ermittlung des IST-Zustandes sowie zur Beurteilung von Leistungsfortschritten jedoch vielfach aus. Dies hat in erster Linie ökonomische Gründe, da (spiro)ergometrische Verfahren sowohl apparativ als auch personell und zeitlich sehr aufwändig sind und dadurch hohe Kosten verursachen.

Die Auswahl eines geeigneten Testverfahrens obliegt im Allgemeinen dem leitenden Arzt. Es ist anzunehmen, dass die Testauswahl aufgrund persönlicher Erfahrungen, aufgrund der Ausstattung der jeweiligen Einrichtung und nicht zuletzt aufgrund ökonomischer Aspekte erfolgt. Die Aussagekraft der gewählten Methode für die spezielle Zielgruppe sowie die Akzeptanz bei den Patienten bzw. Probanden wird dabei nicht selten außer Acht gelassen.

Kritisch zu betrachten ist die Tatsache, dass die Leistungsdiagnose standardmäßig und meist ohne Hinterfragung auf dem Fahrradergometer erfolgt. Diese fahrradergometrischen Untersuchungen haben allerdings u.a. den Nachteil, dass sie nicht für alle Personengruppen ein valides Instrument zur Erfassung der aeroben Leistungsfähigkeit darstellen, da hier bei vielen Patienten die Muskulatur leistungslimitierend ist und nicht das kardiopulmonale System (vgl. Kap. I-2.1.2).

Um Patienten in der Folgezeit nach dem Aufenthalt in der stationären Rehabilitation zu einem nachhaltigen Sporttreiben zu animieren, ist es zudem sinnvoll, den Patienten ein einfaches, bereits aus dem Klinikaufenthalt bekanntes Trainingsschema an die Hand zu geben, das problemlos auch zu Hause durchgeführt werden kann. Hier besitzt Walking gegenüber einem auf dem Fahrradergometer durchgeführten Training entscheidende Vorteile. Es ist inzwischen eine in der stationären Rehabilitation weit verbreitete und bei den Patienten beliebte Bewegungsform. Walking gilt als risikoloses und sehr wirksames Ausdauertraining – nicht zuletzt wegen des optimal möglichen Transfers in den

Alltag nach Beendigung des stationären Klinikaufenthalts. Außerdem ist Walking ideal in der Gruppe durchführbar und hat deswegen eine nicht zu vernachlässigende Sozialkomponente (vgl. Bös et al., 2002)

Aufgrund der schwierigen Übertragbarkeit der aus einer fahrradergometrischen Eingangsuntersuchung resultierenden Herzschlagfrequenzbereiche auf andere Belastungsarten ist es grundsätzlich sinnvoll, die Eingangsuntersuchung in der später im Rahmen der Sporttherapie praktizierten Belastungsform durchzuführen. Gesucht werden daher einfache und praktikable Alternativen zu (fahrrad)ergometrischen Verfahren.

Aus den oben genannten Gründen bieten sich für den Bereich der medizinischen Rehabilitation walkingbasierte Ausdauer-testverfahren an. Bereits existierende Verfahren dieser Art (vgl. Kap. I-2.2) konnten sich in der klinischen Praxis jedoch bislang nur teilweise durchsetzen. Als einfaches Testverfahren zur Diagnose der allgemeinen aeroben Ausdauer hat sich dagegen in der nichtklinischen Praxis der von Laukkanen & Oja (vgl. Laukkanen, 1993) konstruierte UKK-Walk-Test bewährt. Dieser wurde von Bös (1994, 2003) weiterentwickelt und als 2 km-Walking-Test bezeichnet. Dieses Testverfahren ist inzwischen weit verbreitet und wurde in verschiedenen Studien im Freizeit- und Gesundheitssport erfolgreich eingesetzt (u.a. Bös & Schott, 1997; Bös 2000). Das bei diesem standardisierten 2 km-Walking-Test in der Testvorgabe verlangte „möglichst schnelle“ Gehen ist allerdings im Bereich der Rehabilitation aufgrund orthopädischer, physiologischer bzw. pathophysiologischer oder koordinativer Ursachen in der Regel nicht möglich.

Das erste Ziel dieser Arbeit war daher die Weiterentwicklung des UKK-Walk-Tests bzw. des 2 km-Walking-Tests zu einem submaximalen Testverfahren für den Bereich der medizinischen Rehabilitation, das sehr einfach, praktikabel, kostengünstig und von den Patienten der medizinischen Rehabilitation gut angenommen wird. Dabei war zu gewährleisten, dass unabhängig von ökonomischen Gesichtspunkten die Hauptgütekriterien eines solchen Testverfahrens zur Bestimmung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit erfüllt sind. Dies betrifft vor allem die Validität, die im Rahmen dieser Arbeit mittels spiroergometrischer Analysen anhand der maximalen Sauerstoffaufnahme, dem Bruttokriterium der aeroben Kapazität, überprüft wurde (vgl. Kap. II-1.4). Der in erster Linie für Patienten der medizinischen Rehabilitation konzipierte submaximale 2 km-Walking-Test wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit als „Reha-Walking-Test“ bezeichnet.

Das zweite Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines Walking-Stufentests auf dem Laufband. Ein Stufentest auf dem Laufband ermöglicht im Gegensatz zu Feldtests eine zur Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme notwendige Ausbelastung. Darüber hinaus ist eine permanente Überwachung des

Patienten durch den Testleiter bzw. den Arzt möglich, beispielsweise bei Patienten mit erhöhtem Herz-Kreislaufisiko. Außerdem können über die Ermittlung der Laktatkonzentrationen am Ende der einzelnen Belastungsstufen genaue Aussagen zur Steuerung des Trainings gemacht werden. Dies gestattet beispielsweise eine Trainingssteuerung von Patienten unter Betablockade, deren Trainingsintensitäten ohne vorherige Ermittlung der optimalen Herzschlagfrequenzbereiche nicht adäquat festgelegt werden können. Zwar existieren bereits zahlreiche Belastungsprotokolle für Gehtests auf dem Laufband (vgl. Kapitel I-2.2), allerdings konnte sich in Deutschland bisher kein Testschema etablieren. Mögliche Gründe hierfür sind u.a. die oftmals komplizierten, für den Bereich der medizinischen Rehabilitation nicht praktikablen Stufenfolgen oder auch die nicht gegebenen linearen Belastungsanstiege, die für den Einsatz des Verfahrens als Laktat-Stufentest notwendig wären. Ziel der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studien war daher die Erstellung eines optimalen, praktikablen und den oben genannten Vorgaben entsprechenden Belastungsprotokolls für einen Walking-Stufentest auf dem Laufband für Patienten und Patientinnen der medizinischen Rehabilitation.

Das dritte Ziel dieser Arbeit war der Vergleich von Walking und Nordic-Walking im Rahmen des UKK Walk-Tests bzw. des 2 km-Walking-Tests. Nordic-Walking erfreut sich immer größerer Beliebtheit und ist inzwischen weit verbreitet. Für die medizinische Rehabilitation könnte das Walking-Training mit Stöcken vor allem aufgrund sturzprophylaktischer Argumenten von Bedeutung sein. Zahlreiche Autoren schreiben dem Nordic-Walking darüber hinaus eine größere Effektivität als dem klassischen Walking zu. Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit untersucht, inwieweit die Verwendung von Walking-Stöcken die Ergebnisse des UKK-Walk-Tests bzw. des 2 km-Walking-Tests beeinflusst und wie sich die Belastungsparameter zwischen Walking und Nordic-Walking unterscheiden. Im Gegensatz zu verschiedenen vergleichbaren Untersuchungen wurde hierbei ein besonderes Augenmerk auf die jeweilige Bewegungstechnik gelegt.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen erfolgten in Kooperation zwischen der Reha-Klinik Überrauch und dem Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH). Dies ermöglichte eine ideale Verknüpfung der klinischen Alltagserfahrung und der wissenschaftlichen Testentwicklung. Somit war es möglich, aktuelle Bedürfnisse und Sachlagen im Bereich der medizinischen Rehabilitation zu ermitteln und die auf dieser Grundlage entwickelten Testverfahren in der klinischen Anwendung zu erproben und gegebenenfalls zu optimieren.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in 3 Hauptkapitel unterteilt, die jeweils durch römische Ziffern gekennzeichnet sind. Das erste Hauptkapitel beinhaltet die für die Arbeit notwendigen theoretischen Grundlagen und beginnt mit einer Einleitung (Kapitel I-1), in der zunächst die Problemstellung und die Ziele der Arbeit erläutert werden (Kapitel I-1.1). In Kapitel I-2 erfolgt die Beschreibung der Ausgangslage sowie des Forschungsstandes. Die Belastungsverfahren in der medizinischen Rehabilitation werden bezüglich ihrer historischen Entwicklung (Kapitel I-2.1.1), ihrer Verbreitung (Kapitel I-2.1.2) sowie ihrer jeweiligen Vor- und Nachteile (Kapitel I-2.1.3) dargestellt. In Kapitel I-2.2 werden ausführlich die in der Literatur vorhandenen walkingbasierten Ausdauer-Testverfahren vorgestellt. Innerhalb dieses Kapitels erfolgt zunächst eine Analyse existierender Feldtests, anschließend werden die zahlreich vorhandenen unterschiedlichen Untersuchungsprotokolle für Gehbelastungen auf dem Laufband beschrieben und bewertet.

Das zweite Hauptkapitel beinhaltet die Darstellung der durchgeführten empirischen Untersuchungen zu den drei Zielen dieser Arbeit „Entwicklung eines Reha-Walking-Tests“ (Kapitel II-1), „Entwicklung und Überprüfung eines Walking-Tests auf dem Laufband“ (Kapitel II-2) und „Analyse der Testergebnisse des 2 km-Walking-Tests bei der Verwendung von Stöcken (Nordic-Walking)“ (Kapitel II-3).

Bezüglich des ersten Ziels dieser Arbeit, der Entwicklung eines Reha-Walking-Tests, erfolgt nach einer Einleitung (Kapitel II-1.1) zunächst eine ausführliche Begründung der zur Steuerung der Belastungsintensität gewählten Formel „Herzschlagfrequenz = 180 minus Lebensalter“ (Kapitel II-1.2). Anschließend werden in den Kapiteln II-1.3 und II-1.4 die Studien zur Überprüfung der Reliabilität und der Validität des neu entwickelten Testverfahrens beschrieben. Kapitel II-1.5 beinhaltet die Entwicklung und Darstellung erster orientierender Normwerttabellen des Reha-Walking-Tests. Ein Vergleich der Belastungsintensitäten und der Ergebnisse des UKK-Walk-Tests bzw. des 2 km-Walking-Tests und des neu entwickelten Reha-Walking-Tests erfolgt in Kapitel II-1.6. In Kapitel II-1.7 sind darüber hinaus für beide Testvarianten die Auswirkungen verschieden profilierter Teststrecken auf die Belastungsintensitäten sowie die Ergebnisse dokumentiert. Kapitel II-1.8 fasst die Ergebnisse aller Studien, die im Rahmen der Entwicklung des Reha-Walking-Tests durchgeführt wurden, zusammen.

Die Darstellung der Studien zum zweiten Ziel dieser Arbeit, nämlich der Entwicklung und Überprüfung eines Walking-Tests auf dem Laufband (Kapitel II-2), beginnt nach einer Einleitung (Kapitel II-2.1) mit der Beschreibung der im Vorfeld vollzogenen Entwicklungsschritte (Kapitel II-2.2). Kapitel II-2.3 beinhal-

tet die Darstellung der Studie zur Überprüfung der Anwendbarkeit des entwickelten Laufband-Tests im Rahmen der medizinischen Rehabilitation. Aus den hier gewonnenen Erkenntnissen resultiert die endgültige Festlegung eines standardisierten Belastungsprotokolls für männliche und weibliche Patienten. Hinweise zur Bewertung der im Walking-Stufentest auf dem Laufband erzielten Ergebnisse finden sich in Kapitel II-2.4. Weiterer Bestandteil dieses Kapitels ist die Untersuchung der Frage, ob das entwickelte Untersuchungsverfahren einen linearen Belastungsanstieg aufweist. Eine Zusammenfassung aller zur Entwicklung des Walking-Tests auf dem Laufband durchgeführten Studien mit abschließendem Fazit ist Inhalt des Kapitels II-2.5.

Das dritte Ziel dieser Arbeit, der Vergleich von Walking und Nordic-Walking im Rahmen des UKK Walk-Tests bzw. des 2 km-Walking-Tests, ist Gegenstand von Kapitel II-3. Zur Ermittlung des aktuellen Forschungsstandes bezüglich der Unterschiede von Walking und Nordic-Walking erfolgte im Vorfeld eine ausführliche Literaturanalyse (Kapitel II-3.2). Die durchgeführte spiroergometrische Vergleichsuntersuchung zur Klärung der Frage, ob der 2 km-Walking-Test auch unter Verwendung von Nordic-Walking-Stöcken durchgeführt werden kann, oder ob hierfür eine eigene, neu zu erstellende Ergebnisbewertung notwendig ist, ist in den Kapiteln II-3.3 bis II-3.7 dargestellt.

Eine Zusammenfassung aller im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studien und der daraus resultierenden Erkenntnisse mit einem abschließenden Fazit bilden den Inhalt von Hauptkapitel III. Das Literaturverzeichnis, ein Abbildungs- und ein Tabellenverzeichnis sowie ein Anhang schließen die Arbeit ab.

2 Forschungsstand und Ausgangslage

2.1 Belastungsverfahren in der medizinischen Rehabilitation

2.1.1 Historische Entwicklung

Die im Jahr 1789 durchgeführten Versuche von Lavoisier und Seguin, den menschlichen Gasstoffwechsel während qualifizierter körperlicher Arbeit zu erfassen, gelten als Ursprung heutiger Ausdauer-Testverfahren bzw. der heutigen Sportmedizin insgesamt (vgl. Tittel et al., 1993, S. 21). Im Jahr 1813 führte der englische Arzt Prout Untersuchungen zum Gasstoffwechsel in Verbindung mit Fußmärschen durch, ohne jedoch schlüssige Ergebnisse zu erzielen (vgl. Hollmann & Prinz, 1994, S. 248). Weitere nennenswerte Untersuchungen des Gasstoffwechsels unter Belastung gehen auf Smith im Jahre 1856 zurück, der Belastungsversuche beim Gehen und auf einem Tretrad unternahm (vgl. Hollmann et al., 2006, S. 2).

Laut Hollmann et al. (2006, S. 2f.) entstand das erste Ergometer im Sinne heutiger Definition durch den hessischen Arzt Speck im Jahr 1883. Hierbei handelte es sich um Drehkurbelarbeit im Stehen. Das erste Laufband, das ursprünglich für Arbeitsversuche am Pferd bestimmt war, entwickelte der Berliner Zuntz im Jahre 1889. Die Konstruktion des ersten Fahrradergometers der Welt geht auf den Franzosen Bouny und das Jahr 1896 zurück.

Die vom schottischen Physiologen Douglas entworfene Methode, die Ausatemluft in einem Sack zu sammeln und nachträglich zu analysieren, erweiterte die Möglichkeiten der Labor- und Felduntersuchungen. 1924 entdeckte der Engländer Hill die maximale Sauerstoffaufnahme als Bruttokriterium der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit. 4 Jahre später ermittelte Herbst erste Anhaltswerte bezüglich der Sauerstoffaufnahme bei Laufbandbelastungen unter Benutzung der Douglas-Sack-Methode.

Zuvor entstanden in den 1920er Jahren verschiedene so genannte Regulationsprüfungen, die jedoch keinen Einblick in die organische Leistungsfähigkeit ermöglichten. Weit verbreitet waren Steh-, Kniebeuge- und Atmungstests, die mit der Registrierung von Pulsfrequenz, Blutdruck und EKG kombiniert wurden. Zu diesen Regulationstests zählt auch der Schellong-Test, der in Deutschland bis weit in die zweite Hälfte des letzten Jahrhunderts sehr gebräuchlich war und auch heute noch zum Einsatz kommt. Bei diesem Verfahren wurden im Stehen und Liegen Pulsfrequenz und Blutdruck registriert, wodurch eventuelle Kreislaufregulationsstörungen festgestellt werden können, nicht aber die Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit des kardiopulmonalen Systems.

Im Jahre 1929 entstand in den USA der nach seinem Erfinder benannte Master-Stepptest, der dort noch heute eine nennenswerte Rolle spielt. Dabei han-

delte es sich im Gegensatz zu den oben genannten Regulationstests um einen echten Leistungstest, bei dem der Proband unter Registrierung von Pulsfrequenz und Blutdruck in einem bestimmten Tempo zwei Treppenstufen mit jeweils 22,86 cm Höhe hinauf und herunter gehen muss (vgl. Hollmann et al., 2006, S. 5). Weitere Testverfahren dieser Art sind der Harvard-Stepptest (Einstufentest) sowie die Kletterstufe nach Kaltenbach (1963).

Laut Hollmann et al. (2006, vgl. S. 7f.) entwickelte Knipping 1924 in der Universitätsklinik Hamburg eine Apparatur, die es ermöglichte, sowohl die Ventilation als auch den Gasstoffwechsel kontinuierlich zu erfassen. Diese Apparatur fand schnell weltweite Verbreitung und entwickelte sich zur Standardausrüstung von Kliniken für innere Erkrankungen. Allerdings machten die mit dieser Apparatur durchgeführten Untersuchungen Knipping und seinem Chef Brauer deutlich, dass in Körperruhe nur schwere pathologische Abweichungen von der Norm messbar waren. Daher kamen Knipping und Brauer im Jahre 1929 auf die Idee, die Erfassung der Ventilation sowie des Gasstoffwechsels mit Ergometerarbeit zu verbinden, um vorhandene Leistungsreserven zu bestimmen. Die Belastung erfolgte mittels Drehkurbelarbeit im Stehen. Knipping begründete die Wahl dieser Methode damit, dass die Drehkurbelarbeit eine unübliche Bewegung mit entsprechend vergleichbaren koordinativen Voraussetzungen für alle Patienten darstelle, was eine notwendige Ausgangsbedingung für den interindividuellen Vergleich sei. „Erst diese so genannte Leistungsdiagnose eröffnete die Chance, den Effekt von medikamentösen, chirurgischen, bewegungstherapeutischen oder rehabilitativen Maßnahmen zu erfassen. Darum kann das Jahr 1929 als die Geburtsstunde der klinischen Leistungsdiagnostik bezeichnet werden“ (Hollmann et al., 2006, S. 8).

Vor allem aufgrund der Tatsache, dass bei der von Knipping bevorzugten Methode der Drehkurbelarbeit im Stehen Blutdruck- und EKG-Messungen sowie Blutentnahmen unmöglich waren, setzte sich im Laufe der Jahre immer mehr die Drehkurbelarbeit im Liegen und Sitzen durch. So führte die Arbeitsgruppe um Bolt, Valentin, Venrath und Hollmann 1954 die „im Sitzen verrichtete Fahrradergometerarbeit mit gleichzeitiger spiographischer Atmungs- und Gasstoffwechselformung in die Medizinische Universitätsklinik Köln ein“ (vgl. Hollmann et al., 2006, S. 11).

Zu dieser Zeit war die maximale Sauerstoffaufnahme der einzig zuverlässige Parameter zur Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit. Allerdings war bzw. ist die Ermittlung dieses Parameters zum einen von der Motivation des Patienten abhängig, zum anderen bestand bzw. besteht die Gefahr der Überlastung, vor allem bei Patienten mit organischen Schäden. Die Suche nach submaximalen Belastungsuntersuchungen mit vergleichbarer Aussagekraft führte 1959 zur erstmaligen Beschreibung des „aerob-anaeroben Übergangs“ als Kriterium der aeroben Leistungsfähigkeit durch die oben genannte

Arbeitsgruppe. Dieses Messprinzip auf Basis der Bestimmung der Blutlaktatkonzentrationen setzte sich dann ab Mitte der 1970er Jahre mehr und mehr durch, spätestens mit der Beschreibung der 4 mmol/l-Laktat-Schwelle durch Mader im Jahre 1976 (vgl. Heck, 1990).

Bereits Anfang der 1960er Jahre hatte sich die EKG-Registrierung während Fahrradergometerarbeit als Methode zur Erkennung einer möglichen Herz-Kreislauf-Erkrankung, vor allem einer koronaren Herzkrankheit oder einer Herzrhythmusstörung, durchgesetzt. Nun wurde Anfang der 1980er Jahre die Verbindung aus Laktatbestimmung, EKG- und Blutdruckmessung während körperlicher Belastung auf dem Fahrradergometer zu einem kardiologischen Standardinstrument. Heute stellt laut Hollmann et al. (2006) „die Kombination von Spiroergometrie und Lactatmessung [...] das Nonplusultra in der Belastungsdiagnostik“ (S.17) dar.

Eine ausführliche Beschreibung der historischen Entwicklung der Leistungsdiagnostik im klinischen Bereich findet sich in Hollmann et al. (2006). Diesem Werk sind auch die wesentlichen Inhalte dieses Kapitels entnommen.

2.1.2 Gängige Belastungsverfahren und deren Verbreitung

Aus der Vielzahl existierender Belastungsverfahren sind in Tabelle 1 die bekanntesten und gebräuchlichsten zusammenfassend aufgelistet. Die Kniebeugenbelastung, die zu den im vorangegangenen Kapitel erwähnten Regulations-tests zählt, die seit den 1920er Jahren große Verbreitung fanden, wird hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt. Zwar war dieses Verfahren über viele Jahrzehnte lang eine sehr gängige Methode zur Überprüfung der Herzkreislaufregulation unter Belastung, inzwischen wurde es jedoch nicht zuletzt aufgrund der im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Nachteile durch andere Belastungsverfahren ersetzt.

Tab. 1: Häufig verwendete Belastungsverfahren bei Patienten und Sportlern (nach Kindermann, 1987, S. 246)

Belastungsverfahren
Kniebeugenbelastung
Master-Stepptest Harvard-Stepptest Kletterstufe
Handkurbelergometrie (Handkurbelarbeit)
Fahrradergometrie (Fußkurbelarbeit, sitzend oder liegend)
Laufbandergometrie
Spezielle (sportartspezifische) Ergometrie (u.a. Ruderergometrie)

Ähnliches gilt für die Stepptests. In den USA wurden Belastungsuntersuchungen bis in die 1940er Jahre ausschließlich mittels dieser Methode durchgeführt. Selbst im Jahre 1971 arbeiteten noch 45 % der leistungsdiagnostisch tätigen Labors in den USA mit Stepp- bzw. Stufentests. Diese Zahl sank bis 1980 auf einen Wert von 10 bis 12 % (Myers, 1996, zitiert nach Hollmann et al., 2006).

Im amerikanischen Raum wurden die Stepptests in erster Linie durch die Laufbandergometrie abgelöst, die dort auch heute noch bevorzugt im Rahmen der klinischen Diagnostik eingesetzt wird. Erst Mitte der 1950er Jahre wurde die Fahrradergometrie in Amerika überhaupt als europäische Methode bekannt (vgl. Hollmann & Hettinger, 2000, S. 563). Diese Bezeichnung macht bereits deutlich, dass in Europa und speziell in Deutschland die Fahrradergometrie nach Mitte des letzten Jahrhunderts das gebräuchlichste Belastungsverfahren darstellte. Erst ab Mitte der 1970er Jahre wurde in Deutschland für spezielle Fragenstellungen, beispielsweise bei sportartspezifischen Untersuchungen im Leistungssport, vereinzelt statt des Fahrradergometers das Laufband eingesetzt.

Die von Knipping Ende der 1920er Jahre bevorzugte Handkurbelergometrie wird heute vor allem bei Patienten mit bestimmten neurologischen Erkrankungen oder peripheren arteriellen Durchblutungsstörungen eingesetzt (vgl. Kindermann, 1987, S. 246). Daneben findet sie Verwendung bei sportartspezifischen Leistungsmessungen, beispielsweise im Kanusport. Somit zählt die Handkurbelergometrie teilweise auch zu den in Tabelle 1 aufgeführten speziellen Ergometrien, die vorwiegend im Leistungssport zur Erfassung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit Verwendung finden, so beispielsweise die Ruderergometrie.

Aktuell hat vor allem in Mitteleuropa die Anwendung der Fahrradergometrie in der Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit die weiteste Verbreitung gefunden (u.a. Rost & Hollmann, 1982; Löllgen et al., 1995, Hollmann et al., 2006).

An dieser Stelle sei zusätzlich auf die Verwendung von Feldtests, die außerhalb der definierten Bedingungen eines Labors ablaufen, hingewiesen. Zur zunehmenden Verbreitung dieser Belastungsverfahren hat die technische Entwicklung und Vereinfachung der Bestimmung verschiedener Messgrößen beigetragen. Feldtests kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn eine ausreichende sportartspezifische Belastung im Labor nicht möglich ist, so beispielsweise beim Schwimmen oder in Sportsportarten. Darüber hinaus werden auch viele ursprünglich für das Labor entwickelte Verfahren auf Feldbedingungen übertragen (vgl. Dickhuth, 2000, S. 199). Die Vor- und Nachteile dieses sowie der oben beschriebenen Belastungsverfahren werden im nachfolgenden Kapitel erläutert.

2.1.3 Vor- und Nachteile verschiedener Belastungsverfahren

Zur Beurteilung verschiedener Belastungsverfahren müssen laut Kindermann (1987, vgl. S. 246) die Kriterien Dosierbarkeit, Reproduzierbarkeit, Validität und Praktikabilität berücksichtigt werden. Dabei beinhaltet der Faktor Praktikabilität unter anderem die Patientensicherheit, die Anschaffungskosten, den Raumbedarf sowie die Möglichkeit der EKG- und Blutdruck-Registrierung während der Belastung.

Nach diesen Kriterien muss die „Kniebeugenbelastung heute als obsolet angesehen werden, da mit Ausnahme des geringen Platzbedarfes und apparativen Aufwandes alle anderen Kriterien nicht erfüllt sind“ (Kindermann, 1987, S. 246).

Zwar sind die Steptests ebenfalls ohne großen Aufwand durchführbar, sie besitzen jedoch gegenüber anderen Arbeitsformen auch wesentliche Nachteile. So ist die Belastung nicht exakt dosierbar und damit nicht vergleichbar. Dies resultiert aus Wirkungsgradunterschieden, die im Wesentlichen auf unterschiedliche Schrittlängen und variierende koordinative Bewegungsqualitäten zurückzuführen sind. Hinzu kommt der Einfluss des Körpergewichts, das bei Testwiederholung verändert sein kann und so eine Reproduktion erschwert. Außerdem ist eine Feindosierung der Belastungsintensität kaum möglich, da das Körpergewicht als Basislast immer in die Belastung einfließt und infolgedessen niedrigste Arbeitsstufen verhindert. Umgekehrt ist bei besonders leistungsfähigen Personen eine Belastungssteigerung nur durch Erhöhung des Tempos möglich, wodurch wiederum Wirkungsgradänderungen eintreten (vgl. Hollmann et al., 2006, S. 6). Mellerowicz & Maidorn (1979, vgl. S. 33) kritisieren außerdem, dass eine stufenweise ansteigende Belastung und damit eine Beurteilung des Schweregrades einer Koronarinsuffizienz kaum möglich ist. Heute sind diese Tests zur Erfassung der Ausdauerleistungsfähigkeit aus klinischen Einrichtungen weitestgehend verschwunden.

Wie in Kapitel I-2.1.1 beschrieben waren die ersten Ergometer der Welt Drehkurbelergometer. Knipping bevorzugte bei der Einführung spiroergometrischer Untersuchungen in die Klinik Drehkurbelarbeit im Stehen mit der Absicht, eine größtmögliche Muskelmasse einsetzen zu können. Vorteil dieser Methode war die schon damals exakte Dosierbarkeit und somit die Reproduzierbarkeit der Belastung. Nachteilig hierbei ist jedoch, dass Blutdruckmessungen, Blutentnahmen sowie EKG-Registrierungen während der Arbeit kaum möglich sind. Heute ist die Armergometrie im Sitzen die übliche Methode der Drehkurbelarbeit. Allerdings liegen die Sauerstoffaufnahme-Werte deutlich unterhalb der bei Beinarbeit erzielten Werte. Ursache ist zum einen ein vermindertes Herzschlagvolumen aufgrund des geringeren venösen Rückflusses und zum anderen die geringere eingesetzte Muskelmasse (vgl. Hollmann et al., 2006,

S.42f.). Daher kommt die Drehkurbelarbeit heute in erster Linie bei Untersuchungen von Menschen mit Behinderung oder bei speziellen sportartspezifischen Belastungsuntersuchungen zum Einsatz.

Der Vorteil der Tretkurbelarbeit ist in erster Linie die zuverlässige EKG-Registrierung und Blutdruckmessung sowie die Möglichkeit der Blutentnahme während der Belastung. Dies waren auch die Gründe, weshalb die im Sitzen bzw. Liegen verrichtete Fahrradergometerarbeit zur Durchführung spiroergometrischer Untersuchungen Mitte der 1950er Jahre eingeführt wurde. Der Vorteil der Tretkurbelarbeit im Liegen ist der leichtere Zugang zum Patienten bei Gefäßkatheterisierungen. Der Nachteil ist jedoch, dass der Patient diese Methode schon bei mittleren Belastungen als unangenehm und unbequem empfindet, so dass die theoretisch möglichen maximalen Sauerstoffaufnahmewerte nicht erreicht werden können. Darüber hinaus steigen die Laktatkonzentrationen schneller an als bei der Tretkurbelarbeit im Sitzen und das Herzschlagvolumen liegt bereits unter Ruhebedingungen im Bereich des Maximalwertes. Der Grund hierfür ist der im Liegen vermehrte venöse Rückstrom mit entsprechend größerem Blutangebot an das Herz. Dies bedingt auch eine größere Gefahr eines Lungenödems bei einem Patienten mit Herzinsuffizienz im Vergleich zur im Sitzen verrichteten Tretkurbelarbeit (vgl. Hollmann et al., 2006, S. 40).

Der grundsätzliche Vorteil der Fahrradergometrie ist die – auch bei übergewichtigen Patienten – gute Dosierbarkeit der Belastung sowie deren Reproduzierbarkeit. Weiter kommt im Gegensatz zur Laufbandergometrie der Koordination bei unterschiedlich geübten Personen kaum Bedeutung zu. Weiterer Vorteil der Fahrradergometrie ist neben dem geringen Raumbedarf sowie dem im Vergleich zum Laufband niedrigeren Anschaffungspreis die Tatsache, dass der Patient aufgrund der während der Belastung durchführbaren EKG- und Blutdruckkontrolle permanent überwacht werden kann.

Allerdings bestehen auch bei der Fahrradergometrie Nachteile. So ist Fahrradfahren nur für einen bestimmten Personenkreis eine alltägliche Belastung. Daher zwingt oftmals die Ermüdung der Oberschenkelmuskulatur zum Leistungsabbruch, bevor die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit erreicht werden kann (vgl. u.a. Kindermann, 1987, S. 246, Hollmann et al., 2006, S. 41). Dies wurde beispielsweise auch bei einer Probandenstudie von Woll (1995 und 1996) mit Teilnehmern im mittleren und späteren Erwachsenenalter festgestellt. Die Fahrradergometrie ist somit nicht für alle Personengruppen ein valides Instrument zur Erfassung der aeroben Leistungsfähigkeit. Nachteilig für den Einsatz im Bereich der medizinischen Rehabilitation sind auch die im Vergleich zur Laufbandergometrie höheren Laktatkonzentrationen und Blutdruckanstiege (vgl. Berg et al., 1980, Entleutner, 1995 und Kapitel II-2.4.3).

Nachteile der Laufbandergometrie, die teilweise bereits in Zusammenhang mit der Bewertung der anderen Belastungsverfahren genannt wurden, sind größere, koordinativ bedingte Wirkungsgradunterschiede vor allem bei laufbandunerfahrenen Patienten, unter Umständen Angst bei höheren Geschwindigkeiten, ein großer Raumbedarf sowie hohe Anschaffungskosten. Außerdem treten vielfach technische Schwierigkeiten bei der Registrierung von Blutdruck und EKG auf (vgl. Kindermann, 1987, S. 252 und Hollmann et al., 2006, S. 44f.). Allerdings ist diese Problematik bei den in der Rehabilitation üblichen Gehbelastungen geringer ausgeprägt als bei Laufbelastungen.

Der Vorteil von Lauf- bzw. Gehbelastungen ist, dass diese Bewegungsform mit der alltäglichen Aktivität in höherem Zusammenhang steht als das Radfahren (Greig et al., 1994). Dies ist vor allem für Patienten mit kardiopulmonalen Erkrankungen oder peripheren arteriellen Erkrankungen von Bedeutung. Durch die Laufbandbelastung kann somit aufgrund geringerer lokaler Muskelermüdung die reale maximale Leistungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems ermittelt werden. Insgesamt resultieren daraus laut Hollmann et al. (2006, vgl. S. 47) durchschnittlich 10 bis 20 % höhere maximale Sauerstoffaufnahme-Werte als bei der Fahrradergometrie und um 5 bis 20 % höhere maximale Herzschlagfrequenzen. Dies hat zur Folge, dass beispielsweise ST-Strecken-Senkungen als Zeichen koronarer Veränderungen oder belastungsbedingte myokardiale Ischämien bei Laufbandbelastungen leichter provoziert werden können als bei fahrradergometrischen Untersuchungen (Hambrecht et al., 1993, zitiert nach Hollmann et al., 2006, S. 47). Laut Berg et al. (1980) bietet die Laufbandergometrie gegenüber der Fahrradergometrie zusätzlich „den Vorteil des direkten Vergleichs mit in der Praxis tatsächlich vorhandenen Bewegungsformen“ (S. 356) und damit die Möglichkeit einer adäquaten Trainingssteuerung.

Der Nachteil von Felduntersuchungen gegenüber Labortests sind die meist nicht konstant zu haltenden Bedingungen wie Wetter oder Geländeprofil und die kaum gegebene permanente Überwachung des Patienten. Vorteilhaft ist die Möglichkeit, einfache und kostengünstige Gruppentests durchzuführen, wenn keine detaillierte Diagnostik/Überwachung notwendig ist. Teilweise kann auch die Motivation von Patienten größer bzw. die oftmals in einem Labor bestehende Beklemmung kleiner sein. Feldtests bieten darüber hinaus die Möglichkeit, sportartspezifisch zu testen. Auf den ersten Blick mag dies nur für den Leistungssport von Bedeutung sein, bei genauerer Betrachtung gilt dies jedoch genauso für den Bereich der medizinischen Rehabilitation. Wie bereits mehrfach angedeutet, ist es nach wie vor in zahlreichen Einrichtungen Brauch, aus einem fahrradergometrischen Labortest Intensitätsbereiche für die Therapie oder das Training abzuleiten, das dann allerdings eher als Geh-, Walk- oder Lauftraining durchgeführt wird. Hier ist ein für alltägliche Belastungen aus-

sagekräftiger, einfach durchzuführender und mit der Möglichkeit der Laktatkontrolle ausgelegter Feldtest zweifelsfrei die bessere Alternative (vgl. Roecker et al., 2003).

Grundsätzlich ist es das Ziel einer Belastungsuntersuchung, möglichst genaue Informationen bezüglich der pathophysiologischen Zusammenhänge, der Leistungsfähigkeit sowie der leistungsbegrenzenden Faktoren des Patienten zu erhalten. Darüber hinaus sollen geeignete Intensitätsbereiche für das Training bzw. die Therapie ermittelt werden. Unter Berücksichtigung dieser Zielstellungen gilt es, ein Belastungsverfahren zu nutzen, das den bestmöglichen Kompromiss zwischen maximaler Aussagekraft, möglichst geringer Belastung für den Patienten und möglichst geringer Untersuchungsdauer und Kosten bietet (vgl. Hollmann et al., 2006, S. 53).

Nach der Auswahl eines geeigneten Belastungsverfahrens ist es ferner notwendig, dass der Arzt bzw. Therapeut in Abhängigkeit von der Zielstellung der Untersuchung und den Fähigkeiten des Patienten ein adäquates Untersuchungsprotokoll wählt, welches für die entsprechende Fragestellung zweckmäßig ist. Nicht selten wird ein an sich sinnvolles Belastungsverfahren durch die Nutzung eines ungeeigneten Belastungsprotokolls unbrauchbar.

2.2 Walkingbasierte Ausdauer-testverfahren

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die verschiedenen Belastungsverfahren samt Vor- und Nachteilen dargestellt wurden, seien an dieser Stelle noch einmal die Vorteile walkingbasierter Ausdauer-testverfahren für den Anwendungsbereich der medizinischen Rehabilitation zusammengefasst:

- Bewegungsform aus Alltagsbedingungen vertraut
- Einsatz größerer Muskelmassen als bei der Fahrradergometrie
- Aufgrund der ersten beiden Punkte kann die reale maximale kardiopulmonale Leistungsfähigkeit eher ermittelt werden als mittels fahrradergometrischer Untersuchungen, bei denen häufig die Beinmuskulatur der leistungs-limitierende Faktor ist
- Laktatkonzentration und Blutdruckanstieg liegen unterhalb der bei der Fahrradergometrie messbaren Werte (vgl. Berg et al., 1980, Entleutner, 1995 und Kapitel II-2.4.3, Abb. 13)
- Leichtere und genauere Ermittlung sinnvoller Intensitätsbereiche für das Training bzw. die Therapie durch direkten Vergleich mit in der Praxis angewendeten Bewegungsformen

- Nutzung nichtergometrischer, walkingbasierter Testverfahren problemlos nach Ende des stationären Klinikaufenthaltes durch den Patienten möglich

Trotz dieser genannten Vorteile ist es selbstverständlich, dass bei bestimmten Fragestellungen und Untersuchungszielen die herkömmliche Fahrradergometrie in sitzender oder liegender Position die Methode der Wahl darstellt.

Die erste Anwendung von (nichtergometrischen) Geh- bzw. Walk-Test-Verfahren im klinischen Bereich geht laut Haass et al. (2000) auf McGavin zurück. Dieser führte auf der Basis des von Cooper (1968) entwickelten Lauftests den 12-Minuten-Gehtest ein, um die funktionelle Leistungsfähigkeit von Patienten mit chronischen Lungenerkrankungen zu objektivieren. Später führten Gyatt et al. (1985) den 6-Minuten-Gehtest zur Erfassung der Leistungsfähigkeit von Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz ein. Laut Löllgen et al. (1995, vgl. S. 65) sind die Ergebnisse von 6- und 12-Minuten Gehtest vergleichbar, weshalb in neuerer Zeit die kürzere Gehzeit bevorzugt wird. Zur Durchführung dieses Belastungsverfahrens ist eine Strecke von 30 m Länge erforderlich. Problematisch sind die fehlende Standardisierung sowie eventuell störende Umgebungsbedingungen. Dennoch nennen Löllgen et al. (1995, vgl. S. 65) für diese Testmethode Korrelationskoeffizienten zur maximalen Sauerstoffaufnahme von 0,5-0,89. Als Referenzwerte für den 6-min-Gehtest gelten Gehstrecken von 600 m bei 40jährigen Probanden bei einer Abnahme um jeweils 50 m pro Lebensdekade. Weitere Angaben zu Referenzwerten für dieses Testverfahren finden sich in Löllgen (2005, vgl. S. 237).

Von einem modifizierten 6-min-Gehtest mit der Bezeichnung „Shuttle Walking Test“ berichten Vagaggini et al. (2003). Dieser wurde entwickelt, weil der ursprüngliche 6 Minuten-Gehtest sehr stark von der Unterstützung des Therapeuten und der Motivation des Patienten abhängt und in vielen Fällen als maximaler und damit sehr belastender Test angesehen werden muss. Beim Shuttle Walking Test muss der Patient eine 10 m-Strecke hin- und hergehen. Die Geschwindigkeit wird durch ein akustisches Signal vorgegeben und jede Minute erhöht. Aufgrund dieses Belastungsprotokolls ist der Shuttle Walking Test vergleichbar mit den weiter unten dargestellten, stufenweise ansteigenden Laufbandbelastungen.

Kline et al. (1987) entwickelten den „Rockport One Mile Walking Field Test“ zur Abschätzung der maximalen Sauerstoffaufnahme bei gesunden Erwachsenen. Verschiedene Autoren überprüften die Anwendbarkeit dieses Testverfahrens bei speziellen Zielgruppen, so beispielsweise Ward et al. (1987) in Bezug auf übergewichtige Frauen, Ebbeling et al. (1992) für 60-69jährige Männer und Frauen oder Fenstermaker et al. (1992) für Frauen mit einem Alter über 65 Jahren. Donnelly et al. (1992) berichten von Überlastungssympto-

men übergewichtiger Frauen im „One-Mile“ Walking-Test und halbierten daher die Teststrecke zu einem „Half-Mile“ Walking-Test zur Schätzung der maximalen Sauerstoffaufnahme von übergewichtigen Frauen.

Anfang der 1990er Jahre entwickelten Oja und Laukkanen den „UKK Walk-Test“ (vgl. u.a. Oja et al., 1991, Laukkanen et al., 1992, Laukkanen, 1993, Oja et al., 2001). Ihr Ziel war die Erstellung und Evaluierung eines einfachen, validen Feldtests zur Bestimmung der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit Erwachsener sowie die Entwicklung einer Formel zur Berechnung der maximalen Sauerstoffaufnahme (vgl. Laukkanen, 1993, S. 32). Hierzu untersuchte Laukkanen (1993, vgl. S. 33) eine Stichprobe von 64 Personen (35 Männer und 29 Frauen) im Alter zwischen 20 und 65 Jahren, wobei die Probanden zu gleichen Anteilen aus den Altersklassen 20-25, 35-40, 50-55, und 60-65 stammen sollten. In einem Labortest wurde mittels eines Steigungslaufs auf dem Laufband die maximale Sauerstoffaufnahme ermittelt. Da Laukkanen dieselbe Stichprobe zur Ermittlung der optimalen Testdistanz verwendete, durchliefen die Probanden vor dem Labortest einen 1 km-, einen 1,5 km- und einen 2 km-Walking-Test. Nach dem Labortest absolvierten die Testpersonen zwei abschließende 2 km-Walking-Tests (vgl. Laukkanen, 1993, S. 38f.). Die Daten dieser Abschlusstests wurden schließlich zur Erstellung der Walking-Formel verwendet, d.h. „to construct and evaluate the equations for the prediction of $VO_2\max$ “ (Laukkanen, 1993, p. 39).

Dazu errechnete Laukkanen (1993, vgl. S. 44f.) auf der Basis der oben erwähnten Testergebnisse (Walking-Zeit und Herzschlagfrequenz im Ziel), ergänzt durch anthropometrische Daten (Alter, Größe und Gewicht bzw. BMI) und der im Labor ermittelten maximalen Sauerstoffaufnahme, die jeweiligen Korrelationen. Diese Korrelationen errechnete Laukkanen geschlechtsspezifisch und getrennt nach absoluter maximaler Sauerstoffaufnahme (in l/min) und relativer maximaler Sauerstoffaufnahme (in ml/min/kg). Tabelle 26 zeigt die in Abhängigkeit der jeweils einbezogenen Variablen resultierenden multiplen Korrelationskoeffizienten.

Laukkanen (1993, S. 45f.) verwendete schließlich die Variablen Walking-Zeit, Herzschlagfrequenz (HF) im Ziel, Alter und Körpergewicht bzw. BMI zur Erstellung der so genannten Walking-Formeln, wobei sie die einzelnen Faktoren mittels Regressionsanalyse nach dem Einschlussverfahren errechnete. Die resultierenden Regressionsgleichungen zur Abschätzung der maximalen Sauerstoffaufnahme lauten (vgl. Laukkanen, 1993, S. 45f.):

Männer (absolute $VO_2\max$ in l/min):

$$VO_2\max = 12,06 - 0,451 \cdot (\text{Zeit}) - 0,017 \cdot (\text{HF}) - 0,024 \cdot (\text{Alter}) + 0,022 \cdot (\text{Gewicht})$$

$$VO_2\max = 13,69 - 0,495 \cdot (\text{Zeit}) - 0,017 \cdot (\text{HF}) - 0,026 \cdot (\text{Alter}) + 0,035 \cdot (\text{BMI})$$

Männer (relative $VO_2\text{max}$ in ml/min/kg):

$$VO_2\text{max} = 189,6 - 5,32 \cdot (\text{Zeit}) - 0,22 \cdot (\text{HF}) - 0,32 \cdot (\text{Alter}) - 0,24 \cdot (\text{Gewicht})$$

$$VO_2\text{max} = 184,9 - 4,65 \cdot (\text{Zeit}) - 0,22 \cdot (\text{HF}) - 0,26 \cdot (\text{Alter}) - 1,05 \cdot (\text{BMI})$$

Frauen (absolute $VO_2\text{max}$ in l/min):

$$VO_2\text{max} = 5,95 - 0,201 \cdot (\text{Zeit}) - 0,008 \cdot (\text{HF}) - 0,012 \cdot (\text{Alter}) + 0,019 \cdot (\text{Gewicht})$$

$$VO_2\text{max} = 6,31 - 0,202 \cdot (\text{Zeit}) - 0,008 \cdot (\text{HF}) - 0,014 \cdot (\text{Alter}) + 0,044 \cdot (\text{BMI})$$

Frauen (relative $VO_2\text{max}$ in ml/min/kg):

$$VO_2\text{max} = 121,4 - 2,81 \cdot (\text{Zeit}) - 0,12 \cdot (\text{HF}) - 0,16 \cdot (\text{Alter}) - 0,24 \cdot (\text{Gewicht})$$

$$VO_2\text{max} = 116,2 - 2,98 \cdot (\text{Zeit}) - 0,11 \cdot (\text{HF}) - 0,14 \cdot (\text{Alter}) - 0,39 \cdot (\text{BMI})$$

Laukkanen (1993) weist darauf hin, dass die Anwendung des 2 km-Walking-Tests und der oben genannten Walking-Formeln im Allgemeinen zu einer zu niedrigen Einschätzung der tatsächlichen $VO_2\text{max}$ führt: „Because walking time is highly and inversely related to $VO_2\text{max}$ walking too slowly is likely to result in a systematic underprediction“ (p. 63). Um diese Abweichung so gering wie möglich zu halten, sollte die Testperson den Walking-Test mit einer möglichst hohen Intensität absolvieren. „When the walking speed is reduced to less than 80 % of HR_{max}^1 , the accuracy of the prediction decreases [...]“ (p. 69). Laukkanen (1993) zufolge ist die oben beschriebene Methode eine einfache und praktische Möglichkeit zur Leistungsdiagnose bei gesunden normal- und übergewichtigen Personen; nicht jedoch bei ausdauertrainierten Personen: „The validity is poor for individuals with very high maximal aerobic power“ (p. 69).

Der UKK Walk Test wurde in Deutschland von Bös (2003) überprüft und weiterentwickelt. So wurde dieses Testverfahren seit Beginn der 1990er Jahre an den Universitäten Frankfurt und Karlsruhe in zahlreichen Forschungsarbeiten eingesetzt (vgl. u.a. Bös, 2000; Bös, 2001; Bös & Schott, 1997; Müller et al., 2002). Allerdings stellt Bös (2003) die Aussagekraft des Walking-Indexes zur Bewertung der Testergebnisse in Frage und stellt die benötigte Walking-Zeit in den Mittelpunkt. Dementsprechend formulierte Bös (2003) alters- und geschlechtsspezifische Normwerte, denen Untersuchungen von mehr als 3500 Freizeit- und Gesundheitssportlern im Zeitraum von 1989-2002 zugrunde liegen (vgl. Tab. 2 und 3). In Anbetracht der spezifischen Bewertung der Ergebnisse wird dieses Verfahren nach Bös (2003) trotz identischer Belastungsmethodik zur besseren Unterscheidung vom UKK-Walk-Test als 2 km-Walking-Test bezeichnet.

¹ maximale Herzfrequenz; bei Laukkanen (1993, S. 37): $205 - \frac{1}{2} \cdot \text{Lebensalter}$

Tab. 2: Normwerte für den 2 km-Walking-Test männlicher Probanden (nach Bös, 2003)

Männer	--	-	0	+	++
Alter	< PR 20	PR 21-40	PR 41-60	PR 61-80	> PR 80
20	<16:16	16:16 – 15:08	15:07 – 14:08	14:07 – 12:58	<12:58
30	<16:49	16:49 – 15:41	15:40 – 14:41	14:40 – 13:31	<13:31
40	<17:22	17:22 – 16:14	16:13 – 15:14	15:13 – 14:04	<14:04
50	<17:56	17:56 – 16:48	16:47 – 15:48	15:47 – 14:38	<14:38
60	<18:29	18:29 – 17:20	17:19 – 16:21	16:20 – 15:11	<15:11
70	<19:02	19:02 – 17:54	17:53 – 16:44	16:43 – 15:44	<15:44
80	<19:35	19:35 – 18:27	18:26 – 17:27	17:26 – 16:17	<16:17

Tab. 3: Normwerte für den 2 km-Walking-Test weiblicher Probanden (nach Bös, 2003)

Frauen	--	-	0	+	++
Alter	< PR 20	PR 21-40	PR 41-60	PR 61-80	> PR 80
20	<17:25	17:25 – 16:21	16:20 – 15:25	15:24 – 14:19	<14:19
30	<17:59	17:59 – 16:55	16:54 – 15:59	15:58 – 14:53	<14:53
40	<18:33	18:33 – 17:29	17:28 – 16:33	16:32 – 15:27	<15:27
50	<19:07	19:07 – 18:03	18:02 – 17:07	17:06 – 16:01	<16:01
60	<19:41	19:41 – 18:37	18:36 – 17:41	17:40 – 16:35	<16:35
70	<20:15	20:15 – 19:11	19:10 – 18:15	18:14 – 17:09	<17:09
80	<20:49	20:49 – 19:45	19:44 – 18:49	18:48 – 17:43	<17:43

Neben den bisher dargestellten „Feldtest-Varianten“ walkingbasierter Ausdauer-er-testverfahren existieren auch zahlreiche Untersuchungsprotokolle für Geh- bzw. Walking-Testverfahren auf dem Laufband. Einen Überblick über einige Belastungsprotokolle liefern die Tabellen 4 und 5.

Laut Löllgen et al. (1997) verwenden 60-70 % aller Ärzte in den USA, wo die Laufbandergometrie deutlich häufiger eingesetzt wird als in Europa, das Protokoll nach Bruce (1994, vgl. S. 407). Im europäischen bzw. deutschen Raum konnte sich bislang keine einheitliche Methodik durchsetzen, was nicht zuletzt durch die Existenz der Vielzahl verschiedener Protokolle belegt wird.

Grundsätzlich kann die Intensität bei Gehbelastungen über Geschwindigkeit und Neigungswinkel des Laufbandes reguliert werden. Bei Untersuchungen im klinischen Bereich mit laufbandunerfahrenen Personen sollte zur Gewöhnung immer mit einer sehr geringen Geschwindigkeit begonnen werden. Auch die Belastungsanstiege sollten sowohl aus messmethodischen Gründen als auch aufgrund koordinativer Aspekte moderat sein. Für die Zielgruppe der Patienten in der medizinischen Rehabilitation scheidet zudem Protokolle aus, bei denen eine Geschwindigkeit vorgegeben wird, die nur im Laufstil bewältigt werden kann. Hollmann et al. (2006, vgl. S. 62) weisen außerdem darauf hin, dass zu steile Laufbandneigungen vermieden werden sollten, da dies einerseits zu weit von der Alltagsbewegung entfernt ist und andererseits Rückenbeschwerden auslösen kann.

Tab. 4: Darstellung verschiedener Belastungsprotokolle der Laufbandergometrie nach Löligen et al. (1997).
 t: Stufendauer; v: Geschwindigkeit in km/h; n: Steigung in %.

t	Bruce (Normalpers.)		Bruce (Patienten)		Kattus		Balkeware		Ellestad		Usafsam		Usafsam („slow“)		McHenry		Stanford (a)		Stanford (b)	
	v	n	v	n	v	n	v	n	v	n	v	n	v	n	v	n	v	n	v	n
1	2,75	10	2,75	0	3,2	10	5,3	1	2,75	10	3,2	0	3,2	0	3,2	3	4,8	0	3,2	3,5
2	4,0	12	2,75	5	4,8	10	5,3	2	4,8	10	5,3	0	3,2	5	5,3	6	4,8	2,5	3,2	7
3	5,5	14	2,75	10	6,4	10	5,3	3	6,4	10	5,3	5	3,2	10	5,3	9	4,8	5	3,2	10,5
4	6,75	16	4,0	12	6,4	14	5,3	4	8,0	10	5,3	10	3,2	15	5,3	12	4,8	7,5	3,2	14
5	8,0	18	5,5	14	6,4	18	5,3	5	8,0	15	5,3	15	3,2	20	5,3	15	4,8	10	3,2	17,5
6	8,85	20	6,75	16	6,4	22	5,3	6	9,65	15	5,3	20	3,2	25	5,3	18	4,8	12,5		
7	9,65	22	8,0	18			5,3	7			5,3	25			5,3	21	4,8	15		
8							5,3	8									4,8	17,5		
9							5,3	9									4,8	20		
10							5,3	10									4,8	22,5		

Tab. 5: Darstellung weiterer Belastungsprotokolle der Laufbandergometrie.
 t: Stufendauer; v: Geschwindigkeit in km/h; n: Steigung in %.

	Naughton		Löllgen		Berg		Dickhuth		Kindermann		Williams	
Quelle	Löllgen (2005)		Löllgen (2005)		Berg (1980)		Dickhuth (2000)		Kindermann (1987)		Williams (1983)	
t	3 min		3 min		3 min		3 min		3 min		2 min	
Stufe	v	n	v	n	v	n	v	n	v	n	v	n
1	3,2	0	4	0	4	5	3	0	4	0	5,6	5
2	3,2	3,5	5	0	4	7,5	6	0	5	0	5,6	10
3	3,2	7	6	0	4	10	6	2,5	6	0	5,6	12,5
4	3,2	10,5	7	10	4	12,5	6	5	7	0	5,6	15
5	3,2	14	8	10	4	15	6	7,5	8	0	5,6	17,5
6	3,2	17,5	9	10	4	17,5	6	10	9	0		
7	4,8	12,5	10	10	4	20	6	12,5	10	0		
8	4,8	15	11	10	4	22,5	6	15	11	0		
9	4,8	17,5	12	10	4	25	6	17,5	12	0		
10	4,8	20	13	10	4	27,5	6	20	13	0		

Zur Beurteilung der Laktatkinetik sowie anderer physiologischer Parameter ist es darüber hinaus unabdingbar, dass die Belastung gleichmäßig, d.h. möglichst linear ansteigt.

In Anbetracht dieser Voraussetzungen für ein im Bereich der Rehabilitation geeignetes Belastungsprotokoll scheiden einige der in den Tabellen 4 und 5 dargestellten Verfahren aus. So beginnen beispielsweise die Protokolle von Bruce (Normalpersonen), Kattus oder Ellestad mit sehr hohen Neigungswinkeln, andere (u.a. Stanford (b), Williams) weisen sehr früh sehr hohe Neigungswinkel auf und sind daher mit der oben genannten Problematik verbunden. Die Protokolle von Löllgen und Kindermann sollten nur mit Vorsicht angewendet werden, da sie mit Laufbelastungen verbunden sind, einige weitere sind aufgrund ihres nichtlinearen Belastungsanstieges ungeeignet.

Die Empfehlungen von Berg et al. (1980) und Dickhuth (2000) erfüllen am ehesten die genannten Kriterien für ein geeignetes Untersuchungsprotokoll für eine Laufbandergometrie im Rahmen der medizinischen Rehabilitation und bilden daher die Grundlage für die Entwicklung eines eigenen Walking-Tests auf dem Laufband (vgl. Kap. II-2).

II Empirische Untersuchungen

Die nachfolgenden Kapitel beschreiben die Entwicklung eines spezifischen Walking-Tests für den Bereich der medizinischen Rehabilitation, im Folgenden als „Reha-Walking-Test“ bezeichnet. Die Grundlage der Testentwicklung waren der UKK-Walk-Test bzw. der 2 km-Walking-Test. Bereits in diesem Kapitel wird zur Validierung (vgl. Kap. II-1.4) ein Walking-Stufentest auf dem Laufband verwendet, dessen Entwicklung, Optimierung und Überprüfung Gegenstand von Kapitel II-2 ist. Kapitel II-3 beinhaltet den Vergleich von Walking und Nordic-Walking im Rahmen des 2 km-Walking-Tests.

Zum besseren Verständnis seien an dieser Stelle die nachfolgend verwendeten Testverfahren beschrieben.

Der **UKK-Walk-Test** wurde in den 1990er Jahren in Finnland entwickelt (vgl. Laukkanen, 1993). Die Testvorgabe lautet, eine möglichst ebene, 2 km lange Gehstrecke in der Walking-Technik in maximaler Geschwindigkeit zurückzulegen. Zur Testdurchführung werden für jeden Probanden eine Pulsuhr und eine Stoppuhr zur Bestimmung der Walking-Zeit benötigt. Aus der benötigten Walking-Zeit, dem Belastungspuls im Ziel, dem BMI und dem Lebensalter wird dann für Männer und Frauen getrennt die maximale Sauerstoffaufnahme errechnet. Anhand dieses Wertes erfolgt schließlich eine Bewertung der Ergebnisse. Die Zielgruppe des UKK-Walk-Tests sind in erster Linie Gesundheits- und Freizeitsportler.

Der **2 km-Walking-Test** ist bezüglich Durchführung und Zielgruppe identisch mit dem UKK-Walk-Test. Die Bewertung der Testergebnisse erfolgt jedoch ausschließlich anhand der benötigten Walking-Zeit. Bös (2003) erstellte hierzu alters- und geschlechtsspezifische Normwerte.

Der **Reha-Walking-Test** basiert auf den beiden genannten Testverfahren, d.h. auch hier müssen die Probanden bzw. Patienten eine 2 km lange Strecke in der Walking-Technik zurücklegen. Allerdings erfolgt dies hier entsprechend der Zielgruppe (Patienten der medizinischen Rehabilitation) nicht mit maximaler Belastungsvorgabe, sondern bei einer über die Herzschlagfrequenz limitierten Belastung von „180 minus Lebensalter“. Zur Durchführung des Reha-Walking-Tests werden für jeden Probanden eine Pulsuhr und eine Stoppuhr zur Bestimmung der Walking-Zeit benötigt. Optimal ist die Verwendung von Pulsuhren mit Aufzeichnung der Herzschlagfrequenz. So kann nachträglich überprüft werden, inwieweit die Belastungsvorgabe eingehalten wurde. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Personen, deren Belastungspuls um mehr als 10 % von der Vorgabe „180 minus Lebensalter“ abwich, aus den jeweiligen Stichproben ausgeschlossen. Die Bewertung der Ergebnisse des Reha-Walking-Tests erfolgt anhand der benötigten Zeit mittels alters- und geschlechtsspezifischen Normwerttabellen (vgl. Kap. II-1.5).

Der **Walking-Test auf dem Laufband** ermöglicht im Gegensatz zu den oben vorgestellten Feldtests eine standardisierte Belastungssteigerung bis zur subjektiven Ausbelastung des Patienten bei gleichzeitiger dauerhafter Überwachung. Das im Rahmen dieser Arbeit optimierte Belastungsprotokoll ist den Tabellen 76 und 77 zu entnehmen. Die Bewertung der Ergebnisse des Walking-Tests auf dem Laufband erfolgt entweder anhand der maximal erbrachten Leistung (vgl. Kap. II-2.4) , anhand der auf den einzelnen Stufen ermittelten Laktatkonzentrationen oder über die erfassten Sauerstoffaufnahmewerte.

Bezüglich der maximalen Sauerstoffaufnahme ($VO_2\text{max}$) sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass verschiedene Autoren diese von der maximal erreichten symptomlimitierten Sauerstoffaufnahme ($VO_2\text{peak}$) abgrenzen, die ohne ein „levelling off“ einhergehen kann (Löllgen et al., 1995). Dieses „levelling off“ ist bei Belastungsuntersuchungen von Patienten selten zu sehen. In dieser Arbeit wurden $VO_2\text{peak}$ und $VO_2\text{max}$ aufgrund der besseren Übersichtlichkeit gleichgestellt.

1 Entwicklung eines Reha-Walking-Tests

1.1 Einleitung

Bei der Beschreibung walkingbasierter Feldtestverfahren im vorangegangenen Kapitel wurde deutlich, dass der UKK Walk Test bzw. der 2 km-Walking-Test geeignete Testverfahren zur Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit von gesunden Personen sind. Die einfache Übertragung dieser Tests in den Bereich der medizinischen Rehabilitation ist jedoch nicht möglich. So kann beispielsweise die Vorgabe „Absolvieren einer ebenen, 2 km langen Teststrecke in schnellstmöglicher Zeit“ zu Belastungen führen, die deutlich über dem für Patienten vertretbaren Bereich liegen. Darüber hinaus ist eine Bewertung der Testergebnisse mit den vorliegenden Formeln bzw. Normwerttabellen nicht möglich, da hierfür laut Laukkanen (1993) eine Belastung von mindestens 80 % der maximalen Herzschlagfrequenz ($205 - \frac{1}{2}$ Lebensalter) notwendig ist und die Normwerttabellen von Bös (2003) auf der Untersuchung von Freizeit- und Gesundheitssportlern basieren.

Daher ist es notwendig, auf der Grundlage des UKK-Walk-Tests bzw. des 2 km-Walking-Tests ein speziell für den Bereich der medizinischen Rehabilitation geeignetes Testverfahren mit entsprechend spezifischen Bewertungskriterien zu erstellen. Die Reha-Klinik Überrauch setzte bereits seit mehreren Jahren eine modifizierte Version des 2 km-Walking-Tests ein. Hierbei wurde die Belastung mit der im Gesundheitssport weit verbreiteten Herzfrequenzvorgabe „180 minus Lebensalter“ gesteuert.

Ziel und Inhalt der nachfolgend dargestellten Studien war daher die Entwicklung bzw. die wissenschaftliche Überprüfung eines einfachen, kostengünstigen und praktikablen Feldstufentests zur Ermittlung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit von Patienten der Rehabilitation sowie die Erstellung erster orientierender Normwertbereiche. Bei der Entwicklung eines neuen, risikoarmen Testverfahrens sind neben der Berücksichtigung der Praktikabilität und der Ökonomie selbstverständlich auch die Hauptgütekriterien zu erfüllen. So erfolgte die Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests mittels Test-Retest, die Validierung erfolgte mittels spiroergometrischer Analysen über das Kriterium der maximalen Sauerstoffaufnahme ($VO_2\text{max}$).

Das nachfolgende Kapitel beschreibt den Ursprung der zur Belastungssteuerung verwendeten Herzfrequenz-Formel sowie Studien, die sich mit deren Praktikabilität und den bei dieser Intensitätsvorgabe auftretenden Belastungen auseinandersetzen.

1.2 Verwendung der Formel „Herzschlagfrequenz = 180 minus Lebensalter“ als Mittel der Belastungssteuerung

Wie die Herzschlagfrequenz in Ruhe kann auch die submaximale Herzschlagfrequenz bei vergleichbarer körperlicher Belastung durch Training gesenkt werden. Dies drückt eine Ökonomisierung bzw. eine sauerstoffsparende Reaktion der Kreislauffunktion aus. Somit ist die Reduktion der submaximalen Herzschlagfrequenz bei gleicher Belastung als ein Zeichen einer verbesserten Herzsituation aufzufassen (vgl. Israel, 1982). Umgekehrt betrachtet bedeutet dies, dass durch eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit bei gleicher Herzschlagfrequenz eine höhere Leistung erbracht werden kann. Für die Bewertung des submaximalen 2 km-Walking-Tests heißt das, dass bei einer Verbesserung der Herzsituation die zu bewältigende 2 km-Strecke bei gegebener Herzschlagfrequenz von „180 minus Lebensalter“ in geringerer Zeit bewältigt werden kann.

Spätestens seit der Einführung sehr kostengünstiger, genauer Herzfrequenz-Messgeräte ist die Verwendung der Herzschlagfrequenz zur Ausrichtung der Trainingsintensität ein gängiges Verfahren. Die Bestimmung geeigneter Trainingspulsbereiche ist durch die Ermittlung der Laktatkonzentrationen in einem Stufentest möglich.

Einfacher, nichtinvasiv und kostengünstiger ist die Orientierung an Formeln zur Berechnung der Herzschlagfrequenz. Da es sich dabei im Allgemeinen um statistische Mittelwerte handelt, können diese Vorgaben jedoch lediglich einen Richtwert darstellen (vgl. Buskies & Boeckh-Behrens, 1996, S. 26). Tabelle 6 zeigt in einem Überblick einige ausgewählte, im Laufe der Jahre entstandene Faustformeln zur Steuerung der Trainingsintensität im Gesundheits- und Freizeitsport.

Tab. 6: Formeln zur Berechnung der Trainingsherzschlagfrequenz im Gesundheits- und Freizeitsport

Formel	Herkunft/Autor (Jahr)	Bemerkung
170 – Lebensalter	Baum (1971)	
180 – Lebensalter	Baum (1971)	für sportliches Training
180 – Lebensalter + 5 je Lebensjahrzehnt über 30	Liesen et al. (1979)	
170 – ½ Lebensalter ± 10	Schmith & Israel (1983)	
220 – ½ Lebensalter x 65 %	Lagerstrøm & Graf (1986)	wenig bis untrainierte Läufer
200 – Lebensalter	Kindermann & Rost (1991)	nur für Läufer
$HF_{\text{Ruhe}} + (HF_{\text{max}} - HF_{\text{Ruhe}}) \cdot \text{Intensitätsfaktor}$	Karvonen et al. (1957)	setzt Messung/Schätzung von HF_{Ruhe} und HF_{max} voraus

Diese Formeln existieren bis heute in der Literatur, auch wenn zahlreiche Kritikpunkte geäußert wurden. Entscheidend ist jedoch laut Buskies (1998, vgl. S. 78) die Tatsache, dass es sich bei den Vorgaben um grobe Richtwerte handelt, die eine Überlastung ausschließen sollen, was für den Bereich des Gesundheitssports eine besonders wichtige Tatsache darstellt.

Betrachtet man die in Tabelle 6 dargestellten Formeln über den Verlauf der Lebensspanne hinweg, so ergeben sich recht unterschiedliche Kurvenverläufe (vgl. Abb. 1). Zwar ist für die submaximale Herzschlagfrequenz eine eindeutige Altersabhängigkeit nicht nachgewiesen (vgl. Löllgen, 2005, S. 23), dennoch ist auf einem gegebenem Herzschlagfrequenz-Niveau die Belastung für den älteren Menschen aufgrund der Stoffwechselsituation höher (vgl. Hollmann et al., 1970, S. 1286). Zur Problematik der Abnahme der Herzschlagfrequenz im Altersverlauf sei an dieser Stelle verwiesen auf Hollmann (1963), Israel (1975 und 1982) sowie Robergs & Landwehr (2002).

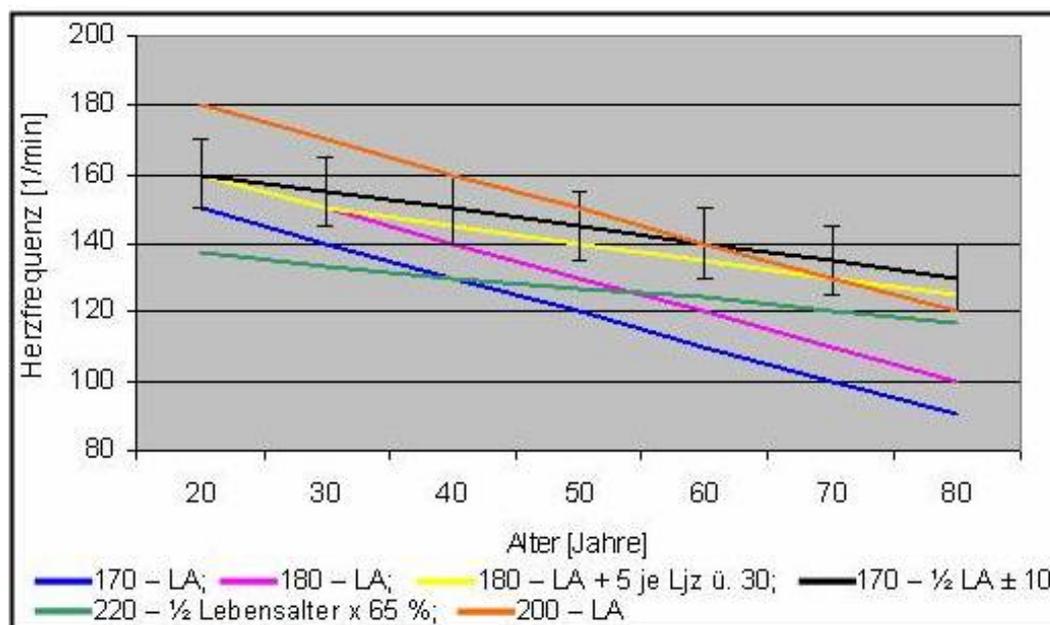


Abb. 1: Verlauf der mittels verschiedener Formeln berechneten Trainingpulsempfehlungen in Abhängigkeit vom Lebensalter (nach Hardung, 2006)

Die am häufigsten zitierte und in Studien verwendete Formel ist die von Baum, der im Jahr 1971 in einem Artikel mit dem Titel „Trainings-Pulsfrequenz: 170 minus Lebensalter“ schrieb: „Für ein sportliches Training könnte man ggf. die Faustregel von 180 minus Lebensalter aufstellen“ (S. 20). Er begründete diese beiden Formeln mit der Notwendigkeit einer individuellen Belastungsvorgabe während des Trainings am Fahrradergometer für sein inhomogenes Patientengut (vgl. Baum, 1971, S. 20). Als Grundlage für seine Formel nennt Baum (1971) Untersuchungen von Hollmann und Reindell. Leider geht aus dem Artikel nicht hervor, auf welche Untersuchungen er sich speziell bezieht, da im

Anhang keine Literaturangaben gemacht wurden. Nach einer Recherche von Hardung (2006) basiert die aufgestellte Formel auf vorangegangenen Untersuchungen von König et al. (1962), Hollmann (1963 und 1965), Hollmann & Venrath (1966), Hollmann & Bouchard (1970) sowie von Hollmann et al. (1970).

Die Anwendbarkeit der Formel von Baum wurde in zahlreichen Studien überprüft. So weisen beispielsweise Heinsberg et al. (1981) darauf hin, dass bei fahrradergometrischen Belastungen eine Vorgabe der Herzschlagfrequenz nach der Formel „180 minus Lebensalter“ deutlich unterhalb der optimalen Trainingsintensität für ein gesundheitssportliches Training liegt, was aber eine Überlastung in jedem Fall ausschließt. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Liesen et al. (1979). Buskies et al. (1993) berichten, dass die Baumsche Formel im Rahmen eines Laufausdauertrainings für ältere Männer Überlastungen ausschließt. Heitkamp et al. (2003) verglichen verschiedene Steuerungsmethoden des präventiven Ausdauertrainings und kamen zu dem Ergebnis, dass „die einfachste 180 – LA als die beste“ (S. 164) angesehen werden kann. Hierzu sei angemerkt, dass in dieser Studie Gehbelastungen auf dem Laufband untersucht wurden.

Darüber hinaus haben zahlreiche Autoren die Formel von Baum (1971) zitiert oder bewertet. So empfehlen Eckert (1978, vgl. S. 380) und Neumann (1978, vgl. S. 58) einen Trainingspulsbereich von „180 minus Lebensalter“ für Menschen jenseits des 4. und 5. Lebensjahrzehnts. Greinert (1979, vgl. S. 136) befürwortet die Formel für das Training Herz-Kreislauf-Erkrankter bzw. für über 50jährige in der präventiven Kardiologie. Beuker (1985) weist darauf hin, dass die Grundlage für die Aktion „Trimming 130“ des Deutschen Sportbundes die Formel von Baum (1971) war. Er verweist weiterhin auf die Notwendigkeit einer einfach zu handhabenden Intensitätsvorgabe, nicht zuletzt aufgrund der von Völker (1984) bei Freizeitläufern ermittelten mittleren Laktatkonzentration von über 7 mmol/l (bei frei gewählter Intensität). Kindermann & Rost (1991, vgl. S. 146 und 148) nennen die Formel „Herzschlagfrequenz = 180 minus Lebensalter“ als praktische Empfehlung auch für Hypertoniker. Im Jahr 1992 empfehlen Rost sowie Hollmann et al. die Formel für eine praktische Durchführung eines Ausdauertrainings im Alter. Allerdings weisen Hollmann et al. (1992) noch einmal darauf hin, dass es sich hierbei „nur um eine tendenzielle Aussage“ (S. B-1936) handelt.

Des Weiteren wird die Formel nach Baum u.a. genannt bei Bös & Banzer (1998, S.155), Buskies (1998, S.78), Krug et al. (1998, S.205), Hollmann & Hettinger (2000, S.528), Förderler (2001, S.46), Spanaus (2002, S. 57), Hohmann et al. (2002, S.238), Schwarz et al. (2002, S.292) und Steffny (2003, S.110).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Formel „Herzschlagfrequenz = 180 minus Lebensalter“ weit verbreitet ist und im Allgemeinen als Formel zur Ausrichtung des Training bei älteren Personen oder für bestimmte Patientengruppen empfohlen wird. Einige Autoren äußern sich gegenüber der Formel kritisch und berichten von einer Unterforderung der Probanden. Allerdings geschieht dies häufig bei Verwendung der Formel in Zusammenhang mit jüngeren oder sehr leistungsfähigen Probanden (vgl. Schmith & Israel (1983) sowie Hellwig et al. (1991)). Da die Zielgruppe des zu entwickelnden Testverfahrens Reha-Patienten sind, steht jedoch der Ausschluss einer Überlastung im Vordergrund.

Viele der oben genannten Aussagen basieren auf fahrradergometrischen Untersuchungen. Da das zu entwickelnde Testverfahren jedoch über eine alltagsnähere Geh- bzw. Walking-Belastung durchgeführt wird, sei an dieser Stelle noch einmal auf die Untersuchung von Heitkamp et al. (1993) verwiesen, der für ebendiese Belastungsart die Formel „Herzschlagfrequenz = 180 minus Lebensalter“ neben der Borg-Skala als die am besten geeignete Steuermöglichkeit nennt. Zwar hat die Borg-Skala laut Heitkamp et al. (2003) den weiteren Vorteil, dass auch Patienten unter β -Blockade gut gesteuert werden können, jedoch scheidet diese Belastungsvorgabe für ein standardisiertes Testverfahren aufgrund der schwierigen Umsetzung aus.

Ergänzend muss darauf hingewiesen werden, dass Pulsfrequenzregeln aller Art unter β -Blockade keine Gültigkeit besitzen. „Als Faustregel kann angegeben werden, daß die Pulsfrequenz unter Betablockade für den üblichen Trainingsbereich um 20 bis 30 Schläge gesenkt wird. Dies gilt allerdings nur sehr global und kann für die unterschiedlichen Betablocker in Abhängigkeit von der jeweiligen Dosierung sehr verschieden sein. Generelle Zahlen für die Betablocker und alle Dosierungen sind nicht anzugeben“ (Hollmann & Hettinger, S. 602). Für Patienten unter β -Blockade empfiehlt sich daher die Ermittlung sinnvoller Trainingspulsbereiche mittels Laktat-Stufentest.

Die Überprüfung der Praktikabilität sowie der Gütekriterien eines über die Formel „Herzschlagfrequenz = 180 minus Lebensalter“ gesteuerten Ausdauer-testverfahrens im Rahmen der medizinischen Rehabilitation wird in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben. Weitere und detailliertere Informationen zur Formel von Baum (1971) und anderen Formeln zur Steuerung der Belastungsintensität im Rahmen eines Ausdauertrainings finden sich in Hardung (2006).

1.3 Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests

Die Reliabilität liefert Aufschluss über die Zuverlässigkeit eines Messverfahrens und damit über die Messgenauigkeit. Diese ist abhängig von der Streu-

ung der Ergebnisse bei Wiederholung einer Untersuchung (Löllgen, 2005). Die Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests erfolgt entsprechend mittels Messwiederholung (Test-Retest-Reliabilität).

1.3.1 Untersuchungsstichprobe

Zur Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests liegen gültige Test-Retest-Ergebnisse von insgesamt 37 (m=24; w=13) kreislaufgesunden, normal belastbaren Reha-Patienten bzw. Teilnehmern von Präventivprogrammen vor (vgl. Tab. 7-9). Personen, bei denen der Belastungspuls um mehr als 10 % von der Vorgabe „180 minus Lebensalter“ abwich, wurden zuvor aus der Stichprobe ausgeschlossen.

Tab. 7: Gesamtstichprobe zur Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests (m=24; w=13)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (in Jahren)	37	20	62	39,2	8,8
Größe (m)	37	1,55	1,91	1,74	,09
Gewicht (kg)	37	56	122	86,7	15,1
BMI (kg/m ²)	37	23,0	41,5	28,6	4,0

Tab. 8: Stichprobe der männlichen Patienten zur Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (in Jahren)	24	22	62	40,6	8,2
Größe (m)	24	1,56	1,91	1,77	,08
Gewicht (kg)	24	56	122	89,0	16,4
BMI (kg/m ²)	24	23,0	35,1	28,2	3,6

Tab. 9: Stichprobe der weiblichen Patienten zur Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (in Jahren)	13	20	50	36,8	9,6
Größe (m)	13	1,55	1,76	1,68	,06
Gewicht (kg)	13	65	109	82,4	11,8
BMI (kg/m ²)	13	24,2	41,5	29,4	4,7

1.3.2 Untersuchungsmethodik

Die Studie zur Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests wurde im Frühjahr des Jahres 2003 an der Reha-Klinik Übrerruh durchgeführt. Beim ersten Test handelte es sich um den Eingangstest, den jeder Patient der Reha-Klinik Übrerruh am Tag nach der Anreise absolvieren muss. Die Einweisung

der Patienten in die Walking-Technik und in die Wegstrecke erfolgte durch den zuständigen Sporttherapeuten. Die Testwiederholung erfolgte am dritten Tag des Aufenthalts. Die Patienten hatten jeweils die Aufgabe, die 2 km lange Strecke im vorgegebenen Herzschlagfrequenzbereich von „180 minus Lebensalter“ zu absolvieren. Die Pulskontrolle erfolgte dabei selbstständig mittels einer Pulsuhr der Firma Polar (Modell „Accurex Plus“). Durch nachträgliches Auslesen der aufgezeichneten Herzschlagfrequenzen aus der Pulsuhr wurde die Einhaltung der Vorgaben überprüft. Neben der benötigten Walking-Zeit wurden am Ende der Walking-Tests Laktatproben entnommen. Die Laktatkonzentrationen wurden anschließend mit Hilfe des Super GL Ambulance der Firma RLT (Ruhrtal-Labor-Technik) ermittelt.

1.3.3 Ergebnisse

Der Vergleich der Testergebnisse von Test und Retest zeigt bei den Männern sowohl bezüglich der benötigten Zeit als auch bezüglich der akkumulierten Laktatkonzentrationen hohe positive Zusammenhänge (>0.80) und keine signifikanten Mittelwertsunterschiede (vgl. Tab. 10).

Tab. 10: Ergebnisse Test/Retest zur Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests, Männer ($n=24$).

Männer	Test		Retest		Korrelation		Mittelwertsunterschied		
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	r	p	T	df	p
Zeit in min	17,80	1,02	17,69	1,17	.86	.00	.91	23	.37
Laktat in mmol/l	4,15	1,16	3,93	1,18	.81	.00	1.50	23	.14

Bei den Frauen zeigen sich sowohl bei den benötigten Zeiten als auch bei den erfassten Laktatkonzentrationen hohe positive Korrelationen (>0.70) zwischen den Test- und den Retest-Ergebnissen. Im Mittelwertsvergleich zeigen sich bei den Laktatkonzentrationen keine signifikanten Unterschiede zwischen Test und Retest, während sich bei den benötigten Zeiten ein signifikanter Unterschied ergibt (vgl. Tab. 11). Der Unterschied von weniger als 30 Sekunden zwischen beiden Tests ist allerdings nicht als bedeutsam anzusehen.

Tab. 11: Ergebnisse Test/Retest zur Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests, Frauen ($n=13$).

Frauen	Test		Retest		Korrelation		Mittelwertsunterschied		
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	r	p	T	df	p
Zeit in min	19,58	1,03	19,96	1,26	.89	.00	-2.34	12	.04
Laktat in mmol/l	4,24	1,98	3,61	1,51	.73	.01	1.70	12	.12

1.3.4 Diskussion und Fazit

Bei der gesamten Stichprobe zeigen sich beim Vergleich der Test- mit den Retest-Ergebnissen sehr hohe Korrelationen. Dies bedeutet inhaltlich, dass es bei einer Testwiederholung zu keiner Veränderung der Rangreihenfolge kommt. Bei Betrachtung der Mittelwertsunterschiede sind bei den männlichen Probanden keinerlei signifikanten Veränderungen zwischen Test und Retest festzustellen. Dies gilt bei den Frauen auch für die erfassten Laktatkonzentrationen. Beim Vergleich der für den Reha-Walking-Test benötigten Zeiten zeigen sich bei der Testwiederholung etwas schlechtere Zeiten. Dieser Unterschied ist signifikant. Inhaltlich handelt es sich hier um eine durchschnittliche Verschlechterung der Zeiten um 24 Sekunden. Diese Verschlechterung ist möglicherweise auf Ermüdungseffekte zurückzuführen, die aus der für viele Patientinnen ungewohnten Belastung der Bewegungstherapie resultieren.

Trotz dieser Abweichung kann der Reha-Walking-Test auch bezüglich der Ergebnisse der weiblichen Patienten als reliabel bezeichnet werden.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass der Reha-Walking-Test sowohl bei männlichen als auch bei weiblichen Patienten der medizinischen Rehabilitation ein reliables Testverfahren darstellt.

1.4 Validität des Reha-Walking-Tests

Die Validität bezeichnet die auf das Messziel bezogene Gültigkeit eines Untersuchungsverfahrens (Löllgen, 2005). Die Überprüfung der Validität des Reha-Walking-Tests erfolgt mittels Korrelation der Testparameter des Reha-Walking-Tests mit der in einem Stufentest auf dem Laufband ermittelten $VO_2\max$, dem Bruttokriterium der körperlichen Leistungsfähigkeit (Hollmann & Hettinger, 2000).

1.4.1 Untersuchungsstichprobe

Nach zahlreichen Voruntersuchungen in den Jahren 2001 und 2002 am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH) wurden zur Validierung des Reha-Walking-Tests sowie zur Überprüfung der von Laukkanen (1993, vgl. Kap. I-2.2) erstellten Formeln zur Berechnung eines Walking-Indexes zwischen März 2003 und Dezember 2004 86 Patienten der Reha-Klinik Überruh getestet. Dabei handelte es sich ausschließlich um Rückenpatienten oder Patienten mit metabolischem Syndrom.

Notwendige Voraussetzung zur Testvalidierung war das Erreichen der Ausbelastung und damit der maximalen Sauerstoffaufnahme im Laufbandstufentest. Ausbelastungskriterien waren Herzschlagfrequenzen von mindestens „200 minus Lebensalter“, Atemäquivalente > 30 , Laktatwerte > 5 mmol/l und Respiratorische Quotienten > 1 (vgl. Löllgen, 2005) oder ein Levelling-off der Sauer-

stoffaufnahme (Hollmann et al., 2006). Ein aussagekräftiges Ergebnis setzt im UKK-Walk-Test einen Belastungspuls von mindestens 80-95% der maximalen Herzschlagfrequenz ($205 - \frac{1}{2}$ Lebensalter) voraus (Laukkanen, 1993). Alle Patienten, deren Belastungspuls die niedrigste Forderung von 80% der maximalen Herzschlagfrequenz um mehr als 10% unterschritt, wurden von den Analysen ausgeschlossen. Bezüglich des Reha-Walking-Tests wurden diejenigen Patienten ausgeschlossen, deren Belastungspuls um mehr als 10 % von der Vorgabe „180 minus Lebensalter“ abwich.

Insgesamt mussten 19 der 86 Patienten aus der Analyse ausgeschlossen werden, weil im Laufbandstufentest keine Ausbelastung vorlag. 30 der 86 Patienten verfehlten die notwendigen Herzschlagfrequenzen im UKK-Walk-Test und 6 Patienten mussten aufgrund zu hoher Abweichungen der Herzschlagfrequenz von der Vorgabe des Reha-Walking-Tests ausgeschlossen werden. Somit verblieben 67 (m=38; w=29) Patienten mit gültigem Laufbandstufentest, 56 (m=32; w=24) Patienten mit gültigem UKK-Walk-Test und 80 (m=42; w=38) Patienten mit gültigem Reha-Walking-Test. Insgesamt konnte bei 45 (m=27; w=18) Patienten sowohl die jeweilige VO_2 max als auch ein gültiges Ergebnis im UKK-Walk-Test ermittelt werden (vgl. Tab. 12-14).

Tab. 12: Gesamtstichprobe der Patienten mit erreichter Ausbelastung und gültigem UKK-Walk-Test (m=27; w=18)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	45	30	62	45,9	7,3
Größe (m)	45	1,58	1,96	1,74	,10
Gewicht (kg)	45	58	111	81,3	13,4
BMI (kg/m ²)	45	21,2	36,0	26,8	4,0

Tab. 13: Stichprobe der männlichen Patienten mit erreichter Ausbelastung und gültigem UKK-Walk-Test

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	27	30	58	44,8	7,0
Größe (m)	27	1,69	1,96	1,80	,07
Gewicht (kg)	27	65	111	86,4	12,6
BMI (kg/m ²)	27	21,2	36,0	26,6	4,2

Tab. 14: Stichprobe der weiblichen Patienten mit erreichter Ausbelastung und gültigem UKK-Walk-Test

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	18	33	62	47,6	7,7
Größe (m)	18	1,58	1,74	1,65	,04
Gewicht (kg)	18	58	100	73,6	10,9
BMI (kg/m ²)	18	22,7	35,4	27,1	3,7

Zur Validierung des Reha-Walking-Tests konnten die Ergebnisse von 62 (m=34; w=28) Patienten verwendet werden, da bei diesen sowohl eine VO₂max als auch ein gültiges Ergebnis im Reha-Walking-Test vorliegt (vgl. Tab. 15-17).

Tab. 15: Gesamtstichprobe der Patienten mit erreichter Ausbelastung und gültigem Reha-Walking-Test (m=34; w=28)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	62	26	62	43,9	8,0
Größe (m)	62	1,55	1,96	1,72	,10
Gewicht (kg)	62	51	133	80,2	16,6
BMI (kg/m ²)	62	19,2	45,1	26,9	4,7

Tab. 16: Stichprobe der männlichen Patienten mit erreichter Ausbelastung und gültigem Reha-Walking-Test

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	34	29	58	43,7	7,5
Größe (m)	34	1,63	1,96	1,80	,07
Gewicht (kg)	34	51	133	87,7	17,3
BMI (kg/m ²)	34	19,2	45,1	27,3	5,6

Tab. 17: Stichprobe der weiblichen Patienten mit erreichter Ausbelastung und gültigem Reha-Walking-Test

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	28	26	62	44,2	8,8
Größe (m)	28	1,55	1,74	1,64	,05
Gewicht (kg)	28	54	100	71,0	10,1
BMI (kg/m ²)	28	22,1	35,4	26,4	3,5

1.4.2 Methodik

Nach einer ausführlichen Anamnese sowie der Erfassung der körperlichen bzw. sportlichen Aktivität mittels Fragebogen durchliefen alle Patienten ein Belastungs-EKG, um die Risiken während des Ausbelastungstests auf dem Laufband zur Bestimmung der VO₂max auf ein Minimum zu reduzieren. Anschließend absolvierten alle Patienten die im Folgenden beschriebenen drei Tests:

1. Zur Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme wurde eine Vorstufe des später in Kapitel II-2 vorgestellten Laufband-Stufentests verwendet. Dabei absolvierten die Patienten zur Gewöhnung an das Laufband die ersten beiden Stufen bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten von 3 bzw. 4 km/h, die Stufendauer betrug jeweils eine Minute. Ab der 3. Stufe (5 km/h) betrug die Stufendauer jeweils 2 Minuten und nach jeder Stufe wurde die Geschwin-

digkeit des Laufbandes um 0,5 km/h erhöht. Die Steigung des Laufbandes betrug dabei jeweils 1 %. Erreichte der Patient seine maximale, mittels Walking-Technik zu bewältigende Geschwindigkeit vor der physiologischen Ausbelastung, so wurde statt der Geschwindigkeit die Steigung des Laufbandes um 2,5 % pro Stufe erhöht, bis die Ausbelastung schließlich erreicht wurde. Die Ausbelastungskriterien wurden bereits im vorangegangenen Kapitel II-1.4.1 beschrieben.

2. Zur Überprüfung der von Laukkanen (1993) erstellten Formeln (vgl. Kap. I-2.2) wurde der UKK-Walk-Test durchgeführt. Die Testaufgabe war, eine ebene, 2 km lange Strecke in schnellstmöglicher Zeit zu absolvieren.
3. Zur Validierung des Reha-Walking-Tests musste analog zu der in Kapitel II-1.3.2 beschriebenen Vorgehensweise eine ebene, 2 km lange Strecke mit einer vorgegebenen Herzschlagfrequenz von „180 minus Lebensalter“ bewältigt werden.

Um Trainingseffekte auszuschließen, wurden die 3 Tests in unterschiedlicher, d.h. zufälliger, Reihenfolge durchgeführt. Da auf dem Gelände der Reha-Klinik Übrerruh keine ebene Strecke zur Verfügung steht, wurden der UKK-Walk-Test sowie der Reha-Walking-Test in einer Sporthalle durchgeführt. Bei allen Tests wurden zusätzlich zu Zeit und Herzschlagfrequenz spiroergometrische Parameter erfasst. Die spiroergometrische Datenerfassung erfolgte mit Hilfe der portablen Spiroergometrie MetaMax 3B der Firma Cortex Biophysik, Leipzig. Außerdem wurden bei allen Tests Laktatkonzentrationen am Ende der Belastung erfasst und mittels Super GL Ambulance der Firma RLT (Ruhrtal-Labor-Technik) ausgewertet. Zur Erfassung der Herzschlagfrequenzen wurden Pulsuhren der Firma Polar, Modell Accurex Plus, verwendet. Die Untersuchungen erfolgten auf einem Laufband der Firma Woodway, Modell PPS 55 med-I.

Nach einer rein deskriptiven Auswertung der 3 verschiedenen Tests wurde in einem ersten Schritt das Vorgehen Laukkanens, das in Kapitel I-2.2 ausführlich erläutert wurde, reproduziert. Das heißt, die im Laufbandstufentest ermittelte VO_2 max sollte über eine Kombination aus im UKK-Walk-Test ermittelten Parametern (Walking-Zeit und Herzschlagfrequenz im Ziel) und charakteristischen Kenngrößen (Alter und BMI) geschätzt werden. Dies erfolgte – analog zu Laukkanen – mittels multipler Regression nach dem Einschussverfahren. Die Überprüfung der sich ergebenden Modellgüte sollte über die Anwendbarkeit von Laukkanens Vorgehensweise auf die hier vorliegende Untersuchungstichprobe von Reha-Patienten und den neu zu validierenden Reha-Walking-Test Aufschlüsse geben.

Schließlich wurden zur Validierung des Reha-Walking-Tests verschiedene Modelle mittels linearer Regression berechnet. Im Gegensatz zur Vorgehensweise von Laukkanen sollte dabei allerdings auf die Verwendung nichtsignifi-

kanter Variablen verzichtet werden, d.h. es wurde eine schrittweise lineare Regression durchgeführt.



Abb. 2: Patient während des Reha-Walking-Tests

1.4.3 Ergebnisse

Bei 67 (m=38; w=29) der insgesamt getesteten 86 (m=46; w=40) Patienten konnte die jeweilige VO_2 max ermittelt werden. Die dabei ermittelten Parameter sind Tabelle 18 zu entnehmen. Die Ergebnisse der 56 (m=32; w=24) gültigen UKK-Walk-Tests sind in Tabelle 19 dargestellt, die der 80 (m=42; w=38) gültigen Reha-Walking-Tests in Tabelle 20.

Tab. 18: Ausgewählte Parameter der Laufbandstufentests zum Zeitpunkt der Ausbelastung (N=67; m=38; w=29)

	Männer		Frauen	
	Mittelwert	s	Mittelwert	s
Relative VO_2 max (ml/min/kg)	37,18	7,15	30,24	4,69
Absolute VO_2 max (l/min)	3,21	,52	2,13	,39
Herzschlagfrequenz (S/min)	175,2	9,9	174,5	10,9
Respiratorischer Quotient	1,09	,07	1,10	,09
Atemäquivalent	36,7	4,7	36,3	5,7
Borg	15,1	1,8	15,0	1,4
Laktat (mmol/l)	5,96	1,61	5,34	1,81

Tab. 19: Ausgewählte Parameter der UKK-Walk-Tests (N=56; m=32; w=24)

	Männer		Frauen	
	Mittelwert	s	Mittelwert	s
Zeit (min)	16,13	1,60	18,37	1,43
Relative VO ₂ max (ml/min/kg)	26,37	5,34	21,63	2,82
Absolute VO ₂ (l/min, Ø)	2,27	,40	1,58	,25
Herzschlagfrequenz (S/min, Ø)	145,1	11,7	140,1	9,0
Respiratorischer Quotient (Ø)	,89	,05	,88	,05
Borg	13,4	2,0	12,4	1,5
Laktat (mmol/l, Ziel)	3,65	1,70	2,87	,70

Tab. 20: Ausgewählte Parameter der Reha-Walking-Tests (N=80; m=42; w=38)

	Männer		Frauen	
	Mittelwert	s	Mittelwert	s
Zeit (min)	17,63	1,81	19,63	2,24
Relative VO ₂ max (ml/min/kg)	22,21	4,39	18,76	3,23
Absolute VO ₂ (l/min, Ø)	1,92	,30	1,38	,27
HF (S/min, Ø) (vorgegeben)	133,1	7,5	131,9	8,9
Respiratorischer Quotient (Ø)	,87	,05	,86	,05
Borg	11,6	2,0	12,0	1,8
Laktat (mmol/l, Ziel)	2,10	,65	1,89	,55

Die Männer benötigten durchschnittlich 16,13 Minuten für den UKK-Walk-Test und 17,63 Minuten für den Reha-Walking-Test. Bei den Frauen waren es 18,37 bzw. 19,63 Minuten. Die im Laufbandstufentest ermittelte absolute VO₂max lag bei den Männern durchschnittlich bei 3,21 l/min, bzw. bezogen auf das Körpergewicht bei 37,18 ml/min/kg, bei den Frauen bei 2,13 l/min bzw. bei 30,24 ml/min/kg.

Der UKK-Walk-Test wurde von den Männern mit einer Sauerstoffaufnahme von durchschnittlich 2,27 l/min absolviert, was im Mittel 73,0 % der jeweiligen VO₂max entspricht; im Reha-Walking-Test lag die Sauerstoffaufnahme durchschnittlich bei 1,92 l/min und somit im Mittel bei 62,3 % der jeweiligen VO₂max. Bei den Frauen lag die Sauerstoffaufnahme im UKK-Walk-Test bei durchschnittlich 1,58 l/min und damit bei durchschnittlich 75,0 % der jeweiligen VO₂max. Im Reha-Walking-Test lagen die entsprechenden Werte bei 1,38 l/min bzw. bei 65,5 % der jeweiligen VO₂max.

Die anhand der Laktatkonzentrationen ermittelte Belastung lag mit 3,65 mmol/l bei den Männern und mit 2,87 mmol/l bei den Frauen im UKK-Walk-Test deutlich über den im Reha-Walking-Test ermittelten Werten von 2,10 mmol/l bei den Männern und 1,89 mmol/l bei den Frauen. Die mittels der Borg-Skala erfasste persönliche Belastungseinschätzung spiegelt diese Ergebnisse wider. Die Männer bewerteten die Belastung im UKK-Walk-Test im Mittel mit 13,4, während nach dem Reha-Walking-Test eine mittlere Belastungseinschätzung

von 11,6 genannt wurde. Bei den Frauen lagen die entsprechenden Werte bei 12,4 bzw. 12,0.

Insgesamt liegen von 45 Patienten (m=27; w=18) gültige Ergebnisse zu allen 3 Testverfahren (Laufband-Stufentest, UKK-Walk-Test, Reha-Walking-Test) vor. Tabelle 21 zeigt die Korrelationen der relativen Sauerstoffaufnahme zwischen den einzelnen Testverfahren. Bei den männlichen Patienten bestehen hohe positive Zusammenhänge (>0.83) zwischen der im Laufband-Stufentest ermittelten $VO_2\max$ und den durchschnittlich während des UKK-Walk-Tests sowie des Reha-Walking-Tests ermittelten Werten. Auch zwischen den Sauerstoffaufnahmewerten des UKK-Walk-Tests und des Reha-Walking-Tests besteht ein hoher positiver Zusammenhang ($r = .81$). Bei den weiblichen Patienten zeigen sich mittlere Zusammenhänge zwischen der im Laufband-Stufentest ermittelten relativen $VO_2\max$ und der in den beiden Feldtests erfassten Sauerstoffaufnahme. Die Sauerstoffaufnahme während der beiden Feldtests zeigt mit einem Wert von $r = .45$ ebenfalls einen mittleren Zusammenhang, allerdings ist dieser nicht signifikant.

Tab. 21: Korrelationen (r) und Signifikanzen (p) der relativen Sauerstoffaufnahme innerhalb der 3 Testvarianten. In Klammern Mittelwert \pm Standardabweichung. Männer ($n=27$) oben/kursiv, Frauen ($n=18$) unten

Rel. VO_2 in ml/min/kg	Laufband		UKK-Walk-Test		Reha-Walking-Test	
	r	p	r	p	r	p
Laufband (<i>37,1 \pm 6,9</i>) / (29,4 \pm 4,5)			.83	.00	.86	.00
UKK-Walk-Test (26,9 \pm 5,3) / (22,1 \pm 2,6)	.69	.00			.81	.00
Reha-Walking-Test (22,6 \pm 3,8) / (18,9 \pm 2,8)	.55	.02	.45	.06		

Bezüglich der in den 3 Testverfahren ermittelten Herzschlagfrequenzen zeigen sich sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen mittlere bis hohe positive Zusammenhänge (vgl. Tab. 22). Hierbei ist zu beachten, dass es sich bei der im Laufband-Test ermittelten Größe um die Herzschlagfrequenz zum Zeitpunkt der Ausbelastung handelt. Bei den beiden anderen Testverfahren handelt es sich um die über eine Distanz von 2 km durchschnittlich erfasste Herzschlagfrequenz. Im Reha-Walking-Test wurde die Herzschlagfrequenz zur Steuerung der Belastung vorgegeben (180 minus Lebensalter).

Tab. 22: Korrelationen (r) und Signifikanzen (p) der Herzschlagfrequenzen innerhalb der 3 Testvarianten. Laufband: HF_{\max} ; UKK und Reha: Durchschnittliche HF. In Klammern: Mittelwert \pm Standardabweichung. Männer ($n=27$) oben/kursiv, Frauen ($n=18$) unten

HF (1/min)	Laufband		UKK-Walk-Test		Reha-Walking-Test	
	r	p	r	p	r	p
Laufband (<i>175 \pm 10</i>) / (173 \pm 11)			.57	.00	.71	.00
UKK-Walk-Test (146 \pm 12) / (140 \pm 8)	.49	.04			.67	.00
Reha-Walking-Test (134 \pm 8) / (131 \pm 8)	.81	.00	.51	.03		

Bezüglich der Laktatkonzentrationen (vgl. Tab. 23) ergibt sich ein uneinheitliches Bild. Bei den Männern zeigt sich ein mittlerer positiver Zusammenhang zwischen den Laktatkonzentrationen am Ende des Laufband-Tests und denen am Ende des UKK-Walk-Tests, während der Reha-Walking-Test bezüglich der Laktatkonzentrationen nur einen niedrigen Zusammenhang zu den beiden anderen Testverfahren aufweist. Bei den weiblichen Patienten zeigen sich mittlere positive Zusammenhänge zwischen Reha-Walking-Test und den anderen beiden Verfahren. Die Laktatkonzentrationen am Ende des UKK-Walk-Tests weisen dagegen nur einen geringen Zusammenhang zu denen am Ende des Laufband-Tests auf.

Tab. 23: Korrelationen (r) und Signifikanzen (p) der Laktatkonzentrationen am Ende der 3 Testvarianten. In Klammern: Mittelwert \pm Standardabweichung. Männer ($n=27$) oben/kursiv, Frauen ($n=18$) unten

Laktat in mmol/l	Laufband		UKK-Walk-Test		Reha-Walking-Test	
	r	p	r	p	r	p
Laufband (6,28 \pm 1,65) / (5,51 \pm 2,17)			.61	.00	.38	.05
UKK-Walk-Test (3,81 \pm 1,78) / (2,95 \pm 0,77)	.36	.14			.31	.12
Reha-Walking-Test (2,12 \pm 0,72) / (1,78 \pm 0,52)	.66	.00	.50	.04		

Die Korrelationen der von den Patienten am Ende der 3 Testverfahren angegebenen subjektiven Belastungseinschätzung nach Borg sind in Tabelle 24 dargestellt. Hier besteht bei den männlichen Patienten ein mittlerer positiver Zusammenhang zwischen der nach dem Reha-Walking-Test und nach dem UKK-Walk-Test empfundenen Belastung. Zwischen Laufband- und UKK-Walk-Test sowie zwischen Laufband und Reha-Walking-Test besteht nur ein niedriger Zusammenhang bezüglich der Belastungseinschätzung. Bei den Frauen besteht ein mittlerer positiver Zusammenhang zwischen den Borg-Werten, die am Ende des Reha-Walking-Tests angegeben wurden und denen, die nach dem Laufband-Test genannt wurden. Dagegen besteht ein niedriger positiver Zusammenhang zwischen Laufband-Test und UKK-Walk-Test und ein sehr niedriger negativer Zusammenhang zwischen Reha-Walking-Test und UKK-Walk-Test.

Tab. 24: Korrelationen (r) und Signifikanzen (p) der subjektiven Belastung nach Borg am Ende der 3 Testvarianten. In Klammern: Mittelwert \pm Standardabweichung. Männer ($n=27$) oben/kursiv, Frauen ($n=18$) unten

Borg	Laufband		UKK-Walk-Test		Reha-Walking-Test	
	r	p	r	p	r	p
Laufband (15,0 \pm 1,9) / (14,7 \pm 1,1)			.39	.04	.21	.29
UKK-Walk-Test (13,5 \pm 2,1) / (12,6 \pm 1,0)	.27	.28			.66	.00
Reha-Walking-Test (11,6 \pm 1,9) / (11,6 \pm 1,1)	.56	.02	-.06	.83		

Korrelationen und Regressionen zum UKK-Walk-Test:

Bei der Anwendung der Vorgehensweise Laukkanens (vgl. Kap. I-2.2), die zur Schätzung der im Laufbandstufentest ermittelten VO₂max die im UKK-Walk-Test ermittelten Parameter Walking-Zeit und Herzschlagfrequenz im Ziel sowie die Parameter Alter und BMI verwendet, ergeben sich bezüglich der im Rahmen dieser Studie erfassten Daten die in Tabelle 25 dargestellten Ergebnisse.

Tab. 25: *Multiple lineare Regression, Einschlussverfahren. Kriterium: VO₂max relativ, unabhängige Variablen: Zeit, Herzschlagfrequenz, Alter, BMI (UKK-Walk-Test)*

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat
Männer (n=27)	.81	.66	.60
Frauen (n=18)	.75	.56	.42

Die erhaltenen multiplen Korrelationskoeffizienten R= .81 bei den Männern und R= .75 bei den Frauen liegen leicht unter den von Laukkanen (1993) ermittelten Werten von R= .84 bei den Männern und R= .83 für die Frauen (vgl. Tab. 26).

Tab. 26: *Multiple Korrelationskoeffizienten zwischen VO₂max, Walking-Zeit und Kombinationen ausgewählter Variablen im UKK-Walk-Test (nach Laukkanen, 1993, S. 45)*

Multiple Korrelationen	Männer (n=35) VO ₂ max		Frauen (n=29) VO ₂ max	
	Absolut	Relativ	Absolut	Relativ
Zeit	.65	.58	.59	.74
Zeit + Alter	.70	.68	.61	.77
Zeit + HF + Alter	.81	.77	.74	.82
Zeit + HF + Alter + Größe	.85	.77	.74	.82
Zeit + HF + Alter + Gewicht	.85	.81	.80	.85
Zeit + HF + Alter + Gewicht + Größe	.87	.83	.80	.85
Zeit + HF + Alter + BMI	.82	.84	.78	.83

Bei Betrachtung der Korrelationen der Prädiktorvariablen mit dem Kriterium der relativen VO₂max zeigt sich bezüglich der hier vorliegenden Ergebnisse, dass bei den Männern nur die Walking-Zeit und der BMI einen signifikanten Zusammenhang zur VO₂max aufweisen. Bei den Frauen trifft dies nur für die Walking-Zeit zu (vgl. Tab. 27).

Tab. 27: *Korrelationen und deren Signifikanzen aller bei der multiplen linearen Regression nach dem Einschlussverfahren verwendeter Parameter. Männer (n=27) oben/kursiv, Frauen (n=18) unten; UKK-Walk-Test*

	rel. VO ₂ max (ml/min/kg)		Zeit (min)		HF im Ziel (1/min)		Alter (Jahre)		BMI (kg/m ²)	
	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
rel. VO ₂ max (ml/min/kg)			<i>-.73</i>	<i>.00</i>	<i>.17</i>	<i>.20</i>	<i>-.16</i>	<i>.22</i>	<i>-.69</i>	<i>.00</i>
Zeit (min)	<i>-.69</i>	<i>.00</i>			<i>-.16</i>	<i>.21</i>	<i>-.12</i>	<i>.27</i>	<i>.67</i>	<i>.00</i>
HF im Ziel (1/min)	<i>.15</i>	<i>.27</i>	<i>-.47</i>	<i>.02</i>			<i>-.33</i>	<i>.05</i>	<i>-.34</i>	<i>.04</i>
Alter (Jahre)	<i>.10</i>	<i>.35</i>	<i>-.11</i>	<i>.33</i>	<i>-.61</i>	<i>.00</i>			<i>.07</i>	<i>.37</i>
BMI (kg/m ²)	<i>-.27</i>	<i>.14</i>	<i>.56</i>	<i>.01</i>	<i>-.34</i>	<i>.08</i>	<i>-.23</i>	<i>.18</i>		

Bei einer schrittweisen linearen multiplen Regression ergibt sich bei den Männern daher ein Modell, in das nur die Zeit und der BMI als Variablen aufgenommen werden. Bei den Frauen wird entsprechend nur die Walking-Zeit als erklärende Variable aufgenommen. Die resultierenden Modellgüten sind Tabelle 28 zu entnehmen.

Tab. 28: *Multiple schrittweise lineare Regression. Kriterium: VO₂max relativ; aufgenommene Variablen bei den Männern: Zeit, BMI; bei den Frauen: Zeit (UKK-Walk-Test)*

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat
Männer (n=27)	.78	.61	.58
Frauen (n=18)	.69	.48	.45

Beschränkt man sich zur Vereinheitlichung bei den Männern ebenfalls nur auf die benötigte Walking-Zeit als erklärende Variable, ergeben sich die in Tabelle 29 aufgeführten Werte. Die erhaltenen multiplen Korrelationskoeffizienten R liegen hier bei den Männern mit R= .73 deutlich über den von Laukkanen (1993) ermittelten Werten von R= .58; bei den Frauen mit R= .69 leicht unter dem von Laukkanen angegebenen Wert von R= .74.

Tab. 29: *Multiple lineare Regression. Kriterium: VO₂max relativ; aufgenommene Variable: Zeit (UKK-Walk-Test)*

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat
Männer (n=27)	.73	.54	.52
Frauen (n=18)	.69	.48	.45

Korrelationen und Regressionen zum Reha-Walking-Test:

Bezüglich der Ergebnisse des Reha-Walking-Tests ergibt eine analog zur Vorgehensweise Laukkanens (1993) errechnete multiple lineare Regression nach dem Einschussverfahren die in Tabelle 30 dargestellte Modellgüte. Auch hier wurde als Kriterium die im Laufbandstufentest ermittelte relative VO₂max verwendet. Die verwendeten unabhängigen Variablen waren die für den Reha-Walking-Test benötigte Walking-Zeit, das Alter und der BMI. Auf die Variable „Herzschlagfrequenz im Ziel“ wurde verzichtet, da sie zur Steuerung der Intensität vorgegeben war („180 minus Lebensalter“).

Tab. 30: *Multiple lineare Regression, Einschussverfahren. Kriterium: VO₂max relativ, unabhängige Variablen: Zeit, Alter, BMI (Reha-Walking-Test)*

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat
Männer (n=34)	.86	.74	.71
Frauen (n=28)	.55	.30	.22

Betrachtet man auch hier die Korrelation der einzelnen Prädiktorvariablen mit dem Kriterium relative VO₂max (vgl. Tab. 31), so zeigen wie bereits bei der Analyse des UKK-Walk-Tests bei den Männern nur die Walking-Zeit und der

BMI, bei den Frauen lediglich die Walking-Zeit, signifikante Korrelationen mit der relativen $VO_2\max$.

Tab. 31: Korrelationen und deren Signifikanzen aller bei der multiplen linearen Regression nach dem Einschussverfahren verwendeter Parameter. Männer (n=34) oben/kursiv, Frauen (n=28) unten; Reha-Walking-Test

	rel. $VO_2\max$ (ml/min/kg)		Zeit (min)		Alter (Jahre)		BMI (kg/m ²)	
	r	p	r	p	r	p	r	p
rel. $VO_2\max$ (ml/min/kg)			-.75	.00	-.16	.18	-.73	.00
Zeit (min)	-.55	.00			-.09	.30	.63	.00
Alter (Jahre)	-.11	.29	.25	.10			-.08	.33
BMI (kg/m ²)	-.11	.30	.29	.07	.03	.44		

Führt man eine schrittweise lineare Regression mit den zuvor verwendeten Parametern durch, so werden bei den Männern alle Variablen in das Modell aufgenommen, bei den Frauen nur die Walking-Zeit. Die resultierenden Modellgüten sind Tabelle 32 zu entnehmen.

Tab. 32: Multiple schrittweise lineare Regression. Kriterium: $VO_2\max$ relativ; aufgenommene Variablen bei den Männern: Zeit, BMI, Alter; bei den Frauen: Zeit (Reha-Walking-Test)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat
Männer (n=34)	.86	.74	.71
Frauen (n=28)	.55	.30	.27

Beschränkt man sich auch hier zur Vereinheitlichung wie bereits beim UKK-Walk-Test auf die Variable Walking-Zeit, ergeben sich Korrelationskoeffizienten von $R = .75$ bei den Männern und $R = .55$ bei den Frauen (vgl. Tab. 33).

Tab. 33: Multiple lineare Regression. Kriterium: $VO_2\max$ relativ; aufgenommene Variable: Zeit (Reha-Walking-Test)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat
Männer (n=34)	.75	.57	.55
Frauen (n=28)	.55	.30	.27

1.4.4 Diskussion und Fazit

Bereits bei der Beschreibung der Stichprobe wurde deutlich, dass der Reha-Walking-Test für den Bereich der medizinischen Rehabilitation ein sinnvolles und notwendiges Instrument zur Messung der Ausdauerleistungsfähigkeit ist. So mussten insgesamt 30 der 86 Probanden im UKK-Walk-Test von der Analyse ausgeschlossen werden, weil die zu einer aussagekräftigen Beurteilung der Ergebnisse erforderlichen Vorgaben nicht eingehalten werden konnten. Dagegen waren es lediglich 6 der 86 Probanden, die den Reha-Walking-Test nicht korrekt absolvierten. Bei der Beschreibung der in den drei absolvierten Tests erzielten Ergebnisse wird zudem deutlich, dass die Belastungsintensität

im Reha-Walking-Test deutlich geringer ist. So lag bei nur 5 der 80 Probanden die nach dem Test gemessene Laktatkonzentration über 3 mmol/l; die höchste gemessene Laktatkonzentration lag bei lediglich 3,60 mmol/l. Die Mittelwerte von 2,10 mmol/l bei den Männern und 1,89 mmol/l bei den Frauen bestätigen, dass die Belastung während des Reha-Walking-Tests vorwiegend über den aeroben Stoffwechselweg bewerkstelligt wird.

Die analog zu Laukkanen (1993) durchgeführte lineare Regression nach dem Einschussverfahren mit dem Kriterium der relativen $VO_2\text{max}$ zur Überprüfung der Validität des UKK-Walk-Tests zeigt bei der hier vorliegenden Stichprobe eine Varianzaufklärung von $R^2 = .58$ bei den Männern und von $R^2 = .45$ bei den Frauen. Dabei werden allerdings auch Parameter einbezogen, die geringe und nicht signifikante Korrelationen zur relativen $VO_2\text{max}$ aufweisen und somit nur sehr unwesentlich zu einer Verbesserung der Varianzaufklärung beitragen. Auch verwendet Laukkanen (1993) die Variablen Körpergewicht und BMI zur Abschätzung der relativen $VO_2\text{max}$, in der das Körpergewicht jedoch ebenfalls enthalten ist. Insgesamt ist daher eine identische Übertragung der Vorgehensweise Laukkanens, die zur Ermittlung der $VO_2\text{max}$ einen Lauf- und keinen Walking-Test durchführte, auf die vorliegende Stichprobe deutscher Reha-Patienten nicht sinnvoll.

Aus diesen Gründen wurde mittels linearer, schrittweiser Regression ein neues Modell berechnet. Dabei wurden bei den Ergebnissen der Männer nur die Parameter Walking-Zeit und BMI einbezogen, da die anderen Parameter sich als nicht signifikant erwiesen und daher aus dem Modell ausgeschlossen wurden. Zwar haben die Parameter Alter, Größe, Geschlecht, Körpergewicht und Körpergröße bzw. BMI durchaus einen Einfluss auf das Testergebnis, jedoch drücken sich diese schon in dem Parameter „benötigte Walking-Zeit“ aus. Da bei einer schrittweisen linearen Regression bei den Frauen nur die Variable „Walking-Zeit“ aufgenommen wurde, wurde zur Vereinheitlichung bei den Männern auf die Variable „BMI“ verzichtet. Die sich ergebende Modellgüte von $R = .73$, $R^2 = .54$ und korrigiertes $R^2 = .52$ bei den Männern und $R = .69$, $R^2 = .48$ und korrigiertes $R^2 = .45$ bei den Frauen zeigt, dass die nur auf der Walking-Zeit basierenden Modelle nur unwesentlich schlechter sind als die von Laukkanen (1993) ermittelten Werte (vgl. Tab. 26). Weit verbreitete und anerkannte Verfahren zur Erfassung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit liegen bezüglich der Validität in einer ähnlichen Größenordnung. So liegen beispielsweise die Korrelationen mit der maximalen Sauerstoffaufnahme beim Cooper-Test bei 9 verschiedenen Untersuchungen zwischen $R = .34$ und $R = .90$ und betragen im Mittel $R = .68$ (vgl. Bös 2001, S. 71).

Es wird daher auf die ursprünglich geplante Erstellung einer Regressionsformel zur Schätzung der $VO_2\text{max}$ -Werte verzichtet. Die $VO_2\text{max}$ dient in dieser Studie deshalb lediglich der Validierung der Walking-Testverfahren, zumal ei-

ne Abschätzung der $VO_2\max$ mittels submaximaler Testverfahren umstritten ist (vgl. u.a. Haber 2004, S. 169).

Die Überprüfung der Validität des Reha-Walking-Tests erfolgte aufgrund der im Rahmen des UKK-Walk-Tests erhaltenen Erkenntnisse ebenfalls mittels schrittweiser linearer Regression. Dabei musste von vornherein auf die Variable „Herzschlagfrequenz“ als Prädiktor verzichtet werden, da diese über das Alter (Belastungsintensität: Herzschlagfrequenz = 180 minus Lebensalter) vorgegeben war. Letztlich wurde auch hier nur der Parameter „Benötigte Walking-Zeit“ verwendet. Die sich dabei ergebenden Modellgüten von $R = .75$, $R^2 = .57$ und korrigiertes $R^2 = .55$ bei den Männern und $R = .55$, $R^2 = .30$ und korrigiertes $R^2 = .27$ bei den Frauen bestätigen die Validität des Reha-Walking-Tests.

Zusammenfassend lässt sich zur Validitätsbetrachtung festhalten, dass sowohl der UKK-Walk-Test als auch der Reha-Walking-Test, gemessen am Kriterium relative $VO_2\max$, eine gute Validität aufweisen.

Bei den Männern korreliert der UKK-Walk-Test mit 0.73, der Reha-Walking-Test mit 0.75 mit der gemessenen $VO_2\max$. Bei den Frauen korreliert der UKK-Walk-Test mit 0.69, der Reha-Walking-Test mit 0.55 mit der gemessenen $VO_2\max$.

1.5 Normierung des Reha-Walking-Tests

1.5.1 Untersuchungsstichprobe

Zur Normierung des Reha-Walking-Tests liegen gültige Testergebnisse von 4366 Patienten ($m=2930$; $w=1436$) der Reha-Klinik Überrauch vor (vgl. Tab. 34-36). Hierbei handelt es sich in erster Linie um Patienten mit Erkrankungen bzw. Beschwerden im Bereich des Rückens und um Patienten mit metabolischem Syndrom. Wie bei allen Studien wurden auch hier die Patienten aus der Stichprobe genommen, bei denen eine Abweichung von mehr als 10 % von der Belastungsvorgabe „Herzschlagfrequenz = 180 minus Lebensalter“ festgestellt wurde.

Tab. 34: Gesamtstichprobe zur Normierung des Reha-Walking-Tests ($m=2930$; $w=1436$)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	4366	20	68	46,0	8,7
Größe (m)	4366	1,40	2,15	1,72	,09
Gewicht (kg)	4366	35	190	83,9	17,2
BMI (kg/m^2)	4366	12,4	60,1	28,2	5,3

Tab. 35: Stichprobe der männlichen Patienten zur Normierung des Reha-Walking-Tests (n=2930)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	2930	20	66	45,6	8,7
Größe (m)	2930	1,47	2,15	1,77	,07
Gewicht (kg)	2930	42	190	87,8	15,9
BMI (kg/m ²)	2930	13,4	60,1	28,1	4,8

Tab. 36: Stichprobe der weiblichen Patienten zur Normierung des Reha-Walking-Tests (n=1436)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	1436	20	68	46,8	8,6
Größe (m)	1436	1,40	1,86	1,63	,06
Gewicht (kg)	1436	35	155	75,8	17,0
BMI (kg/m ²)	1436	12,4	56,9	28,5	6,2

1.5.2 Methodik

Die Daten zur Normierung des Reha-Walking-Tests wurden in den Jahren 1999 bis 2003 an der Reha-Klinik Überruh gesammelt. Jeder dort neu ankommende Patient absolviert seit 1999 an dieser Klinik im Rahmen der Eingangsdagnostik den Reha-Walking-Test. Die Tests finden am ersten Tag nach der Anreise statt. Die Instruktion und die Testdurchführung verlaufen wie in Kapitel II-1.3.2 beschrieben. Wie im vorangegangenen Kapitel II-1.4.3 erläutert erfolgt die Testbewertung lediglich über die für die 2 km benötigten Zeiten. Aufgrund der in Kapitel II-1.7 ausführlich dargestellten Ergebnisse kann bei der Bewertung der Zeiten des Reha-Walking-Tests die in der Reha-Klinik Überruh vorliegende Profilierung der Teststrecke von insgesamt etwa 40 Höhenmetern vernachlässigt werden. Die vorliegende Stichprobe wurde nach Geschlecht getrennt und in die 5 Altersgruppen 20-29, 30-39, 40-49, 50-59 und 60-69 Jahre unterteilt. Zuvor wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft, ob die Daten einer Normalverteilung entsprechen. Im Anschluss erfolgte die Erstellung der alters- und geschlechtsspezifischen Normwerte.

1.5.3 Ergebnisse

Die Tabellen 37 und 38 zeigen geschlechtsspezifisch die in den einzelnen Altersgruppen für den Reha-Walking-Test benötigten Zeiten.

Tab. 37: Ergebnisse Reha-Walking-Test, Männer (n=2930). Benötigte Zeit in Minuten

Alter	n	Mittelwert	s
20 – 29	88	17,49	2,17
30 – 39	659	17,82	2,07
40 – 49	1166	18,48	2,19
50 – 59	880	19,84	2,75
60 – 69	137	20,88	2,90

Tab. 38: Ergebnisse Reha-Walking-Test, Frauen (n=1436). Benötigte Zeit in Minuten

Alter	n	Mittelwert	s
20 – 29	47	20,51	2,96
30 – 39	241	20,05	2,38
40 – 49	552	21,02	2,56
50 – 59	541	22,17	2,64
60 – 69	55	22,73	2,50

Die Überprüfung der Daten mittels Kolmogorov-Smirnov-Test ergab sowohl für die männlichen (vgl. Tab. 39 und Abb. 3) als auch für die weiblichen Patienten (vgl. Tab. 40 und Abb. 4), dass keine Normalverteilung vorliegt. Die isolierte Betrachtung der einzelnen Altersgruppen führte zu analogen Ergebnissen.

Tab. 39: Überprüfung der Normalverteilung der Ergebnisse des Reha-Walking-Tests mittels Kolmogorov-Smirnov-Test bei den Männern (n=2930)

	Zeit (in min)
Mittelwert	18.82
Standardabweichung	2.55
Kolmogorov-Smirnov-Z	4.14
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	.00

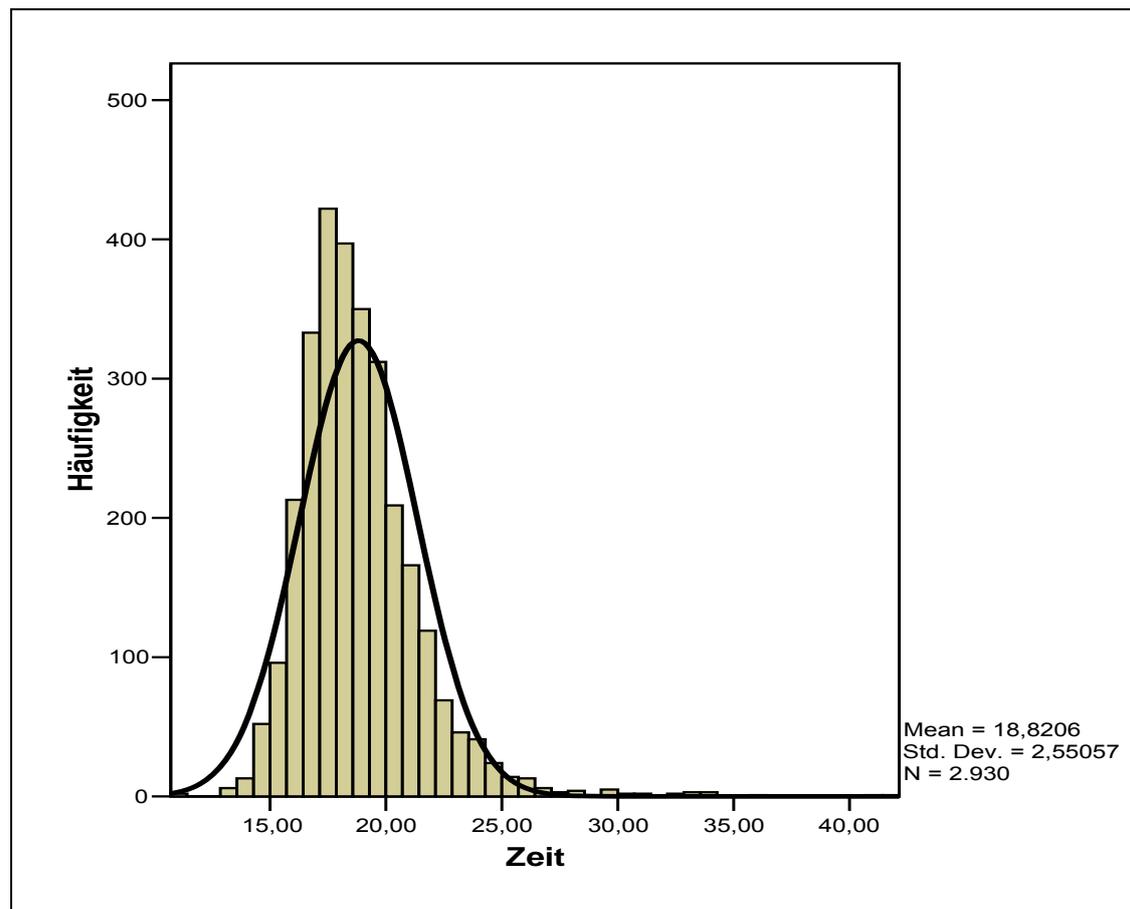


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der für den Reha-Walking-Test benötigten Walking-Zeit im Vergleich zur Normalverteilung (Männer)

Tab. 40: Überprüfung der Normalverteilung der Ergebnisse des Reha-Walking-Tests mittels Kolmogorov-Smirnov-Test bei den Frauen (n=1436)

	Zeit (in min)
Mittelwert	21.34
Standardabweichung	2.70
Kolmogorov-Smirnov-Z	2.94
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	.00

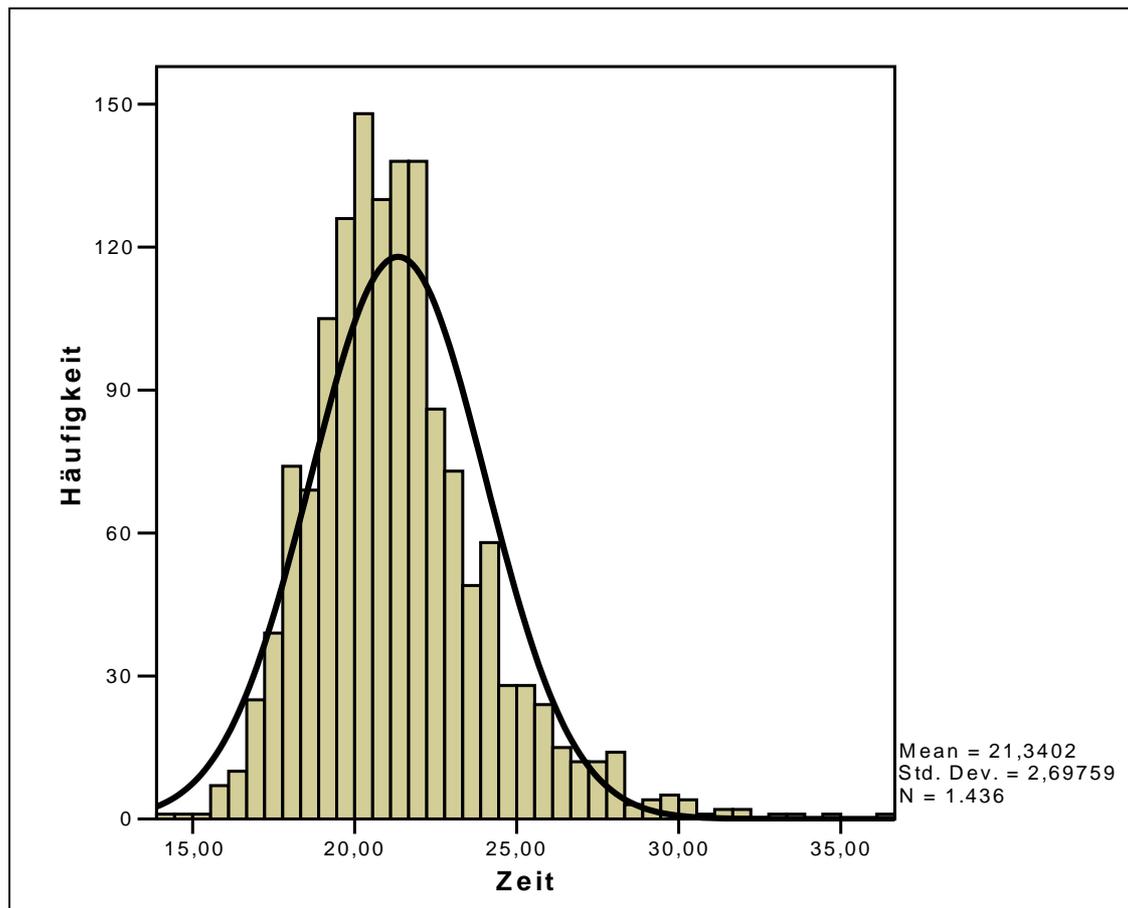


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung der für den Reha-Walking-Test benötigten Walking-Zeit im Vergleich zur Normalverteilung (Frauen)

Aus diesem Grund musste auf eine Erstellung der Normwertbereiche mittels Standardnormalverteilung verzichtet werden. Stattdessen wurden zur Normierung innerhalb der einzelnen Altersgruppen die Prozentränge (PR) 20, 40, 60 und 80 berechnet. Die Zeiten von Prozentrang 0-20 werden als weit unterdurchschnittliche Ergebnisse deklariert (--), die Zeiten von Prozentrang 20-40 als unterdurchschnittlich (-) und von Prozentrang 40-60 als durchschnittlich (O). Überdurchschnittlich sind die Zeiten von Prozentrang 60-80 (+), weit überdurchschnittlich die Zeiten von Prozentrang 80-100 (++) .

Aus den errechneten Prozenträngen ergeben sich für Männer (vgl. Tab. 41) und Frauen (vgl. Tab. 42) die nachfolgend dargestellten Normwerttabellen:

Tab. 41: Normwertbereiche Reha-Walking-Test, Männer (Zeit in min)

Männer		--	-	O	+	++
Alter	n	< PR 20	PR 21-40	PR 41-60	PR 61-80	>PR 80
30 – 39	659	> 19:04	19:04 – 17:56	17:55 – 17:10	17:09 – 16:19	< 16:19
40 – 49	1166	> 19:59	19:59 – 18:41	18:40 – 17:47	17:46 – 16:48	< 16:48
50 – 59	880	> 21:32	21:32 – 20:03	20:02 – 19:02	19:01 – 17:45	< 17:45
60 – 69	137	> 22:42	22:42 – 21:06	21:05 – 19:43	19:42 – 18:52	< 18:52

Tab. 42: Normwertbereiche Reha-Walking-Test, Frauen (Zeit in min)

Frauen		--	-	O	+	++
Alter	n	< PR 20	PR 21-40	PR 41-60	PR 61-80	>PR 80
30 – 39	241	> 21:55	21:55 – 20:15	20:14 – 19:12	19:11 – 18:12	< 18:12
40 – 49	552	> 22:43	22:43 – 21:12	21:11 – 20:14	20:13 – 19:08	< 19:08
50 – 59	541	> 23:59	23:59 – 22:19	22:18 – 21:23	21:22 – 20:11	< 20:11
60 – 69	55	> 24:30	24:30 – 22:49	22:48 – 21:46	21:45 – 20:34	< 20:34

1.5.4 Diskussion und Fazit

Die Normierung wurde in 10-Jahres-Schritten für die Altersgruppen von 30-69 Jahren vorgenommen. Die Altersgruppe der 20-29jährigen wurde ausgeklammert, da der Anteil der 20-29jährigen an der Gesamtstichprobe vergleichsweise gering war. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass solch junge Menschen in der Rehabilitation mit erheblichen gesundheitlichen Problemen belastet und dadurch in der Leistungsfähigkeit in besonderem Maße eingeschränkt sind. In der vorliegenden Stichprobe waren 88 Männer und 47 Frauen 20-29 Jahre alt. Die durchschnittlichen Testergebnisse dieser Subgruppen betragen 17,49 Minuten für die Männer und 20,51 Minuten für die Frauen. Insbesondere bei den Frauen bestätigt sich somit die Vermutung, dass es sich dabei um eine besonders wenig leistungsfähige Gruppe handelt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für den Reha-Walking-Test für die Altersgruppen von 30-69 Jahren eine erste, recht breite Normierungsbasis vorhanden ist. Selbstverständlich handelt es sich bei diesen Normwerttabellen nur um Richtwerte, da es sich bei der zugrunde liegenden Untersuchungsstichprobe um eine sehr heterogene Patientengruppe handelt. Dennoch ermöglichen die dargestellten Tabellen eine grundsätzliche geschlechts- und altersspezifische Einschätzung der Leistungsfähigkeit von Reha-Patienten.

In vielen Fällen wird beim Einsatz des Reha-Walking-Tests der intraindividuelle Vergleich der Ergebnisse bei Testwiederholung im Vordergrund stehen, so beispielsweise um die Entwicklung der Ausdauerleistungsfähigkeit vom Beginn bis zum Abschluss des Klinikaufenthaltes zu erfassen. Aufgabe zukünftiger Studien sollte dennoch die Entwicklung krankheitsbildspezifischer Normwert-

tabellen sein, um auch eine genauere interindividuelle Einordnung der Ausdauerleistungsfähigkeit eines Patienten zu ermöglichen.

1.6 Vergleich der Ergebnisse von UKK-Walk-Test und Reha-Walking-Test

1.6.1 Einleitung

In den vorangegangenen Kapiteln wurde bereits die Notwendigkeit eines Walkingtestverfahrens mit submaximaler Belastungsintensität offensichtlich. Ebenso wurde bereits in Kapitel II-1.4 deutlich, dass sich die mit maximaler Geschwindigkeit zu absolvierenden UKK-Walk-Test und 2 km-Walking-Test hinsichtlich verschiedener Belastungsparameter und subjektiv empfundener Belastung deutlich vom submaximalen Reha-Walking-Test unterscheiden.

Das Ziel der nachfolgend dargestellten Untersuchung war die genaue Überprüfung dieser Unterschiede, die die Entwicklung eines neuen, spezifischen Testverfahrens rechtfertigen.

1.6.2 Untersuchungsstichprobe

Zur Überprüfung dieser Fragestellung liegen Ergebnisse von 138 (m= 113; w= 25) Reha-Patienten unter maximaler bzw. submaximaler Leistungsvorgabe vor. Wie in Kapitel II-1.4.1 beschrieben, setzt eine treffende Abschätzung der $VO_2\text{max}$ im UKK-Walk-Test einen Belastungspuls von mindestens 80 % der maximalen Herzschlagfrequenz (205 minus $\frac{1}{2}$ Lebensalter) voraus (Laukkanen, 1993). Auch hier wurden alle Patienten, deren Belastungspuls die niedrigste Forderung von 80 % der maximalen Herzschlagfrequenz um 10 % unterschritt, von den Analysen ausgeschlossen. Im Reha-Walking-Test wurden wieder diejenigen Patienten ausgeschlossen, die um mehr als 10 % von der Belastungsvorgabe (Herzschlagfrequenz = 180 minus Lebensalter) abwichen. Nach Überprüfung dieser Vorgaben durch nachträgliches Auslesen der Pulsuhren verblieben 122 (m=98; w=24) Patienten in der Stichprobe (vgl. Tab. 43-45).

Tab. 43: Gesamtstichprobe zum Vergleich der Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests bei maximaler und bei submaximaler Belastungsvorgabe (m=98, w=24)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (in Jahren)	122	24	60	41,6	6,2
Größe (m)	122	1,56	2,00	1,75	,09
Gewicht (kg)	122	45	125	83,1	15,1
BMI (kg/m ²)	122	18,0	37,7	26,9	3,8

Tab. 44: Stichprobe der männlichen Patienten zum Vergleich der Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests bei maximaler und bei submaximaler Belastungsvorgabe (n=98)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (in Jahren)	98	24	60	21,2	6,4
Größe (m)	98	1,64	2,00	1,78	,07
Gewicht (kg)	98	56	125	87,7	12,5
BMI (kg/m ²)	98	19,4	37,7	27,8	3,6

Tab. 45: Stichprobe der weiblichen Patienten zum Vergleich der Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests bei maximaler und bei submaximaler Belastungsvorgabe (n=24)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (in Jahren)	24	34	53	42,8	5,2
Größe (m)	24	1,56	1,78	1,65	,06
Gewicht (kg)	24	45	77	64,3	8,7
BMI (kg/m ²)	24	18,0	28,4	23,5	3,0

1.6.3 Methodik

Die Studie wurde von 2001 bis 2003 an der Reha-Klinik Überrauch durchgeführt. Die Einweisung der Patienten in die Walking-Technik erfolgte am Vortag im Rahmen des Frühsports. Um Übungs- und Trainingseffekte auszuschließen, erfolgten die Tests in randomisierter Reihenfolge. Neben der benötigten Walking-Zeit wurden die Herzschlagfrequenz sowie die Laktatkonzentrationen am Ende der Belastung erfasst. Aus diesen Parametern und zusätzlich Alter und BMI wurde mittels der von Laukkanen (1993, S. 45f) erstellten Regressionsgleichungen (vgl. Kap. I-2.2) die relative VO₂max errechnet. Um festzustellen, in welcher Größenordnung die aus den Ergebnissen des Reha-Walking-Tests geschätzte VO₂max bei Verwendung der ursprünglich für den UKK-Walk-Test erstellten Formeln abweicht, wurden die Ergebnisse beider Tests in die Formeln eingesetzt und anschließend miteinander verglichen. Zusätzlich wurden am Ende der Walking-Tests die Laktatkonzentrationen mit Hilfe des Super GL Ambulance der Firma RLT (Ruhrtal-Labor-Technik) ermittelt und die subjektive Belastungseinschätzung anhand der Borg-Skala erfragt.

1.6.4 Ergebnisse

Tabelle 46 zeigt die Mittelwertsunterschiede sowie die ermittelten Korrelationen zwischen den Parametern des Walking-Tests mit submaximaler (Reha-Walking-Test) und maximaler (UKK-Walk-Test) Belastungsvorgabe bei den Männern.

Tab. 46: Ergebnisse Parametervergleich Reha-Walking-Test und UKK-Walk-Test, Männer (N= 98)

Parameter	Reha (\bar{x})	UKK (\bar{x})	Differenz in %	Mittelwertsunter- schied			Korrelation	
				t	df	p	r	p
Zeit (min)	17,87	15,90	-11,0	19.4	97	<.01	.61	<.01
HF (S/min)	137,4	157,5	+14,6	-15.1	97	<.01	.42	<.01
Borg	11,0	12,7	+15,5	-7.6	97	<.01	.28	<.01
Laktat (mmol/l)	2,6	4,8	+84,6	-12.0	97	<.01	.30	<.01
geschätzte VO_2 max (ml/min/kg)	31,8	36,6	+15,1	-11.2	97	<.01	.85	<.01

Es zeigt sich eine mittlere und signifikante Korrelation ($r = .61$, $p < .01$) zwischen der benötigten Walking-Zeit bei submaximaler und maximaler Ausführung des 2 km-Walking-Tests. Die Mittelwertsunterschiede werden im t-Test signifikant ($t_{df=97} = 19.4$, $p < .01$). Der Walking-Test mit maximaler Belastungsvorgabe wurde mit durchschnittlich benötigten 15 Minuten und 54 Sekunden signifikant schneller absolviert als der Test mit submaximaler Belastungsvorgabe bei durchschnittlich benötigten 17 Minuten und 52 Sekunden (-11,0 %).

Gleichzeitig zeigt sich eine mittlere und signifikante Korrelation ($r = .42$, $p < .01$) bei der Belastungsherzschlagfrequenz. Die Patienten hatten beim maximalen Test mit durchschnittlich 158 Schlägen pro Minute eine signifikant höhere Herzschlagfrequenz als beim submaximalen Test (+14,6 %), bei dem die Herzschlagfrequenz über die Vorgabe „180 minus Lebensalter“ limitiert war. Hier wurden die 2 km mit einer Herzschlagfrequenz von durchschnittlich 137 Schlägen pro Minute ($t_{df=97} = -15.1$, $p < .01$) absolviert.

Die subjektive Belastungseinschätzung, die mit Hilfe der Borgskala erfasst wurde, zeigt mit $r = .28$ ($p < .01$) eine niedrige aber signifikante Korrelation. Die Einschätzung der Belastung liegt mit durchschnittlich 12,7 Punkten beim maximalen Test signifikant höher als mit durchschnittlich 11,0 beim submaximalen Reha-Walking-Test ($t_{df=97} = -7.6$, $p < .01$) (+15,5 %).

Die Laktatkonzentrationen weisen mit $r = .30$ eine niedrige aber signifikante Korrelation auf ($p < .01$). Die durchschnittliche Laktatkonzentration am Ende des Reha-Walking-Tests betrug 2,6 mmol/l im Vergleich zu 4,8 mmol/l am Ende des maximalen Tests (+84,6 %). Diese Mittelwertsunterschiede sind im t-Test signifikant ($t_{df=97} = -12.0$, $p < .01$).

Die Berechnung der VO_2 max nach den Formeln von Laukkanen (1993) ergibt für den UKK-Walk-Test einen Wert von durchschnittlich 36,6 ml/min/kg. Verwendet man diese für den UKK-Walk-Test konzipierte Formel zum Vergleich auch für den Reha-Walking-Test, so ergeben sich Werte von durchschnittlich 31,8 ml/min/kg. Die mittels der Ergebnisse des maximalen Tests errechnete

VO₂max liegt somit um 15,1 % höher. Der Mittelwertsunterschied ist signifikant ($t_{df=97} = -11.2, p < .01$).

Tabelle 47 zeigt die ermittelten Mittelwertsunterschiede und Korrelationen zwischen den Parametern des Reha-Walking-Tests und des UKK-Walk-Tests bei den weiblichen Patienten.

Tab. 47: Ergebnisse Parametervergleich Reha-Walking-Test und UKK-Walk-Test, Frauen (N=24)

Parameter	Reha (\bar{x})	UKK (\bar{x})	Differenz in %	Mittelwertsunterschied			Korrelation	
				t	df	p	r	p
Zeit (min)	18,88	16,47	-12,8	8.8	23	<.01	.47	<.05
HF (S/min)	134,8	165,2	+22,6	-9.8	23	<.01	.34	.11
Borg	11,3	13,9	+23,0	-4.3	23	<.01	.15	.48
Laktat (mmol/l)	2,2	4,1	+86,4	-7.1	23	<.01	.53	<.01
geschätzte VO ₂ max (ml/min/kg)	29,9	33,8	+13,0	-5.6	23	<.01	.72	<.01

Es zeigt sich eine mittlere und signifikante Korrelation ($r = .47, p < .05$) zwischen der benötigten Walking-Zeit bei submaximaler und maximaler Ausführung. Die Mittelwertsunterschiede werden im t-Test signifikant ($t_{df=23} = 8.8, p < .01$). Der Walking-Test mit maximaler Belastungsvorgabe wurde mit durchschnittlich benötigten 16 Minuten und 28 Sekunden signifikant schneller absolviert als der Reha-Walking-Test mit submaximaler Belastungsvorgabe bei durchschnittlich benötigten 18 Minuten und 53 Sekunden (-12,8 %).

Gleichzeitig zeigt sich eine niedrige aber nichtsignifikante Korrelation ($r = .34, p = .11$) bei der Belastungsherzschlagfrequenz. Auch hier waren die Patienten beim maximalen Test mit durchschnittlich 165 Schlägen pro Minute signifikant höher belastet als beim über die Vorgabe der Herzschlagfrequenz gesteuerten submaximalen Test mit durchschnittlich 135 Schlägen ($t_{df=23} = -9.8, p < .01$) (+22,6 %).

Die subjektive Belastungseinschätzung nach der Borgskala zeigt mit $r = .15$ ($p = .48$) einen sehr geringen Zusammenhang. Die Einschätzung der Belastung mit durchschnittlich 13,9 Punkten beim maximalen Test ist signifikant höher als mit durchschnittlich 11,3 beim submaximalen Test ($t_{df=23} = -4.3, p < .01$) (+23 %).

Die Laktatkonzentrationen weisen mit $r = .53$ eine mittlere und signifikante Korrelation auf ($p < .01$). Die durchschnittliche Laktatkonzentration lag am Ende des submaximalen Tests bei 2,2 mmol/l, am Ende des maximalen UKK-Walk-Tests bei 4,1 mmol/l (+86,4 %). Diese Mittelwertsunterschiede sind im t-Test signifikant ($t_{df=23} = -7.1, p < .01$).

Die Berechnung der VO₂max nach den Formeln von Laukkanen (1993) ergibt für den UKK-Walk-Test der weiblichen Patienten einen Wert von durchschnittlich

lich 33,8 ml/min/kg. Verwendet man die für den UKK-Walk-Test konzipierte Formel zum Vergleich auch für den Reha-Walking-Test, so ergeben sich Werte von durchschnittlich 29,9 ml/min/kg. Die mittels der Ergebnisse des maximalen Tests errechnete $VO_2\text{max}$ liegt somit um 13,0 % höher. Der Mittelwertsunterschied ist signifikant ($t_{df=23} = -5.6, p < .01$).

1.6.5 Diskussion und Fazit

Beim Vergleich der für die beiden Testvarianten benötigten Zeiten zeigt sich, dass die Limitierung der Herzschlagfrequenz im Reha-Walking-Test zu einer signifikant höheren Belastungszeit führt. Entsprechend wird der UKK-Walk-Test sowohl von Männern als auch von Frauen anhand der Borg-Skala als subjektiv belastender bewertet. Auch die mittels der Laktatkonzentrationen erfasste objektive Belastung liegt sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern im UKK-Walk-Test deutlich oberhalb der nach dem Reha-Walking-Test ermittelten Werte.

Beim Vergleich der mittels der Regressionsgleichung von Laukkanen (1993) errechneten $VO_2\text{max}$ -Werte zeigen sich sehr hohe Zusammenhänge, obgleich die Anwendung der Formel für den Reha-Walking-Test eigentlich unzulässig ist. Die Entwicklung einer eigenen, speziellen Regressionsgleichung zur Schätzung der $VO_2\text{max}$ für den Reha-Walking-Test wurde bereits in Kapitel II-1.4 diskutiert. Darüber hinaus bestätigen die errechneten $VO_2\text{max}$ -Werte die bereits in Kapitel I-2.2 zum UKK-Walk-Test erläuterte Anmerkung Laukkanens (1993) „When the walking speed is reduced to less than 80 % of HRmax, the accuracy of the prediction decreases [...]“ (p. 69).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Belastungsvorgabe des UKK-Walk-Tests, die 2 km-Distanz in möglichst kurzer Zeit zu absolvieren ($HF > 80\%$ von $205 - \frac{1}{2}$ Lebensalter), ein deutlich höheres Belastungsprofil aufweist als der über die Herzschlagfrequenz limitierte Reha-Walking-Test ($HF = 180 - \text{Lebensalter}$). Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen somit die im Rahmen der Validierungsstudie gewonnenen Resultate (vgl. Kapitel II-1.4). Mit Herzschlagfrequenzen von durchschnittlich 158 S/min (Männer) bzw. 166 S/min (Frauen) und Laktatkonzentrationen von durchschnittlich 4,8 mmol/l (Männer) bzw. 4,1 mmol/l (Frauen) sollte der UKK-Walk-Test bzw. der 2 km-Walking-Test nur bei gesunden und leistungsfähigen Personen Anwendung finden. Für den Bereich der stationären Rehabilitation ist das Belastungsprofil des Reha-Walking-Tests wesentlich günstiger.

1.7 Der Einfluss von profiliertem Gelände auf die Ergebnisse und die Belastungsintensität des Reha-Walking-Tests und des 2 km-Walking-Tests

1.7.1 Einleitung

Häufig steht Reha-Kliniken oder anderen Einrichtungen kein ebenes Gelände zur Durchführung von Walking und speziell Walking-Tests zur Verfügung. Dies betrifft auch die Reha-Klinik Überraum, in der der Reha-Walking-Test bzw. der 2 km-Walking-Test auf einer viermal zu bewältigenden 500 m-Strecke absolviert werden muss, die insgesamt etwa 40 Höhenmeter aufweist (viermal 10 Höhenmeter).

Daher sollte mittels der nachfolgend dargestellten Studie der Einfluss verschiedener Höhenprofile auf die Ergebnisse und die jeweils vorherrschenden Belastungsintensitäten des 2 km-Walking-Tests bei maximaler und submaximaler Belastungsvorgabe untersucht werden.

1.7.2 Untersuchungsstichprobe

Die Stichproben zur Überprüfung des Einflusses von profiliertem Gelände auf die Ergebnisse und die Parameter des 2 km-Walking-Tests und des Reha-Walking-Tests entstammen der gleichen Grundgesamtheit und unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander.

An der Studie zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Höhenprofile auf die Parameter des 2 km-Walking-Tests nahmen insgesamt 33 durchschnittlich trainierte Frauen teil (vgl. Tab. 48). Zuvor mussten 10 Probandinnen aufgrund gesundheitlicher Risiken oder der Einnahme von β -Blockern ausgeschlossen werden.

Tab. 48: Stichprobe zur Überprüfung des Einflusses von profiliertem Gelände auf die Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests (nur Frauen)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	33	32	64	47,6	8,2
Größe (m)	33	1,56	1,72	1,65	,05
Gewicht (kg)	33	51	98	66,3	9,7
BMI (kg/m ²)	33	20,0	33,1	24,3	3,2

Der Einfluss verschiedener Höhenprofile auf die Parameter des Reha-Walking-Tests wurde an 30 durchschnittlich trainierten Frauen untersucht (vgl. Tab. 49). Insgesamt nahmen 16 Frauen an beiden Teilstudien teil (vgl. Tab. 50).

Tab. 49: Stichprobe zur Überprüfung des Einflusses von profiliertem Gelände auf die Ergebnisse des Reha-Walking-Tests (nur Frauen)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	30	32	64	46,8	8,4
Größe (m)	30	1,56	1,72	1,66	,04
Gewicht (kg)	30	54	98	69,4	11,1
BMI (kg/m ²)	30	20,3	33,1	25,3	3,9

Tab. 50: Stichprobe zum Vergleich des Einflusses von profiliertem Gelände auf die Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests bei maximaler und submaximaler Belastungsvorgabe (nur Frauen)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	16	32	64	46,0	7,9
Größe (m)	16	1,60	1,72	1,66	,04
Gewicht (kg)	16	57	98	69,8	11,2
BMI (kg/m ²)	16	20,3	33,1	25,2	3,8

1.7.3 Methodik

Die Studie zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Höhenprofile auf die Parameter des 2 km-Walking-Tests erfolgte von September bis November des Jahres 2003 in Karlsruhe (vgl. Graf, 2004). Die Probandinnen mussten insgesamt dreimal eine Teststrecke von 2 km Länge absolvieren: in der Ebene (400 m Rundbahn im Stadion), in leicht profiliertem Gelände (25 Höhenmeter, vgl. Abb. 5) und in stark profiliertem Gelände (50 Höhenmeter, vgl. Abb. 6). Bei den profilierten Strecken befand sich der Wendepunkt bei 1000 m, so dass Start- und Zielpunkt identisch waren und somit auch auf gleicher Höhe lagen.

Um Trainingseffekte auszuschließen, wurden die 3 Tests in unterschiedlicher Reihenfolge durchgeführt, d.h. 11 Probandinnen begannen mit dem Test in leicht profiliertem Gelände, 11 mit dem Test in stark profiliertem Gelände und die übrigen 11 mit dem Test in der Ebene. Um Ermüdungseffekte einzugrenzen lag zwischen den Tests immer mindestens ein Tag Pause.

Die Probandinnen hatten die Aufgabe, die jeweilige Strecke in schnellstmöglicher Zeit mittels korrekter Walking-Technik zu bewältigen und starteten nach vorhergegangener Instruktion einzeln. Vor dem Start wurde neben Alter, Größe und Gewicht auch die jeweilige sportliche Aktivität der Probandinnen erfragt. Während der Tests wurde mittels Pulsuhren der Firma Polar, Modell Accurex Plus, kontinuierlich die Herzschlagfrequenz erfasst. Im Ziel wurden die benötigte Walking-Zeit und die Herzschlagfrequenz bei Testende notiert und eine Blutprobe aus dem Ohrläppchen zur Bestimmung der Laktatkonzentration entnommen. Die Auswertung der Laktatproben erfolgte mittels Biosen 5030 der Firma EKF.

Die Studie zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Höhenprofile auf die Parameter des Reha-Walking-Tests erfolgte von Oktober bis Dezember 2004 in Karlsruhe. Die Methodik war analog zur Studie bezüglich des 2 km-Walking-Tests. Lediglich die Belastungsintensität wurde über die Herzschlagfrequenz limitiert und auf „180 minus Lebensalter“ festgesetzt. Diese Vorgabe musste von den Probandinnen während des gesamten Tests eingehalten werden und wurde durch nachträgliches Auslesen der aufgezeichneten Herzschlagfrequenzen überprüft.

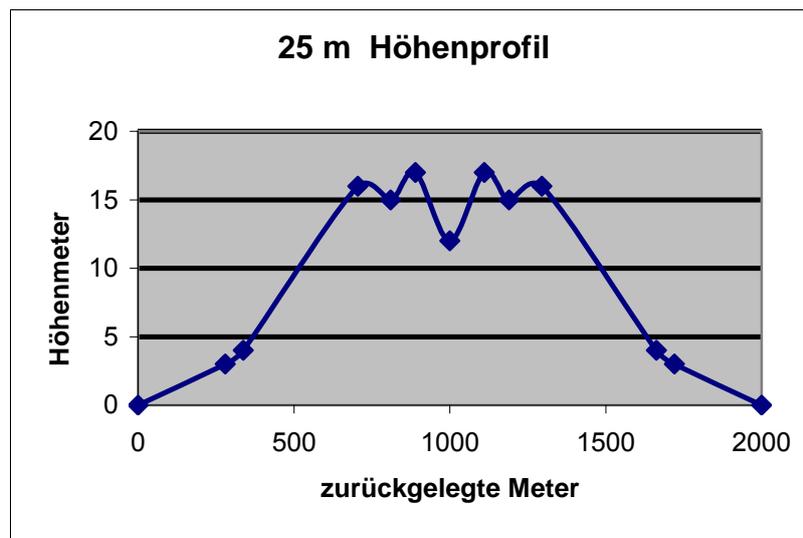


Abb. 5: Profil der leicht profilierten Strecke (25 Höhenmeter).

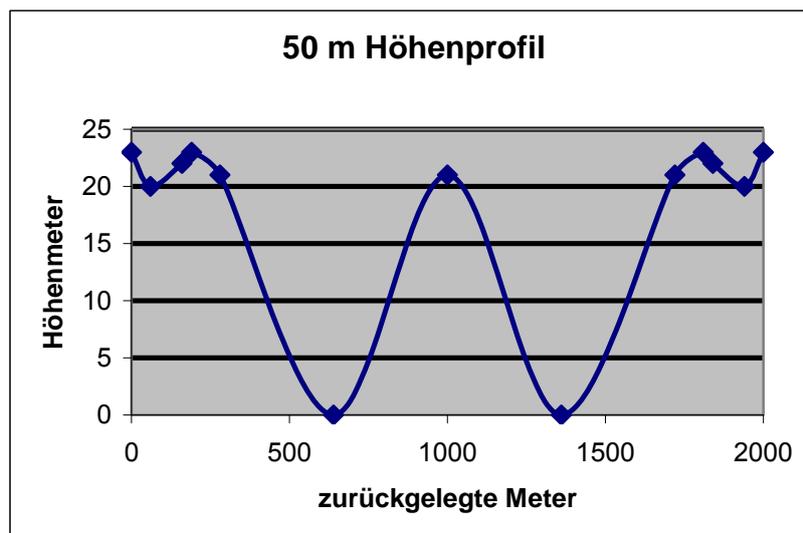


Abb. 6: Profil der stark profilierten Strecke (50 Höhenmeter).

1.7.4 Ergebnisse

Tabelle 51 zeigt die Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests, Tabelle 52 die Ergebnisse des Reha-Walking-Tests in den unterschiedlichen Höhenprofilen in einer Übersicht. Eine genauere Analyse der einzelnen Parameter erfolgt im Anschluss.

Tab. 51: Übersicht über die Parameter der 2 km-Walking-Tests (\bar{x}) in verschiedenen Geländeprofilen

	N	Zeit (min)	Laktat (mmol/l)	HF (Ø) (1/min)	HF (Ziel) (1/min)
Ebene	33	16,52	4,59	150,4	160,5
25 Höhenmeter	33	16,18	5,27	151,7	157,1
50 Höhenmeter	33	15,13	7,82	155,3	163,4

Tab. 52: Übersicht über die Parameter der Reha-Walking-Tests (\bar{x}) in verschiedenen Geländeprofilen

	N	Zeit (min)	Laktat (mmol/l)	HF (Ø) (1/min)	HF (Ziel) (1/min)
Ebene	30	18,03	2,45	134,0	137,1
25 Höhenmeter	30	18,71	2,23	133,8	136,4
50 Höhenmeter	30	17,66	2,63	134,9	137,9

Ergebnisse Walking-Zeiten

Bezüglich der benötigten Walking-Zeiten ergaben sich die in Tabelle 53 aufgeführten Ergebnisse.

Tab. 53: Benötigte Walking-Zeiten in Abhängigkeit des Geländeprofils

	2 km-Walking-Test (Zeit in min, n= 33)		Reha-Walking-Test (Zeit in min, n= 30)	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Ebene	16,52	1,49	18,03	1,60
25 Höhenmeter	16,18	1,43	18,71	1,70
50 Höhenmeter	15,13	1,38	17,66	2,33

Für den 2 km-Walking-Test in der Ebene benötigten die Probandinnen im Mittel 16,52 Minuten, bei leicht profiliertem Gelände (25 Höhenmeter) wurden mit 16,18 Minuten im Mittel 0,34 Minuten weniger benötigt (-2,1 %). Am schnellsten wurde der 2 km-Walking-Test mit durchschnittlich 15,13 Minuten in stark profiliertem Gelände absolviert. Dies entspricht im Vergleich zur Zeit in der Ebene einer Abnahme um 1,39 Minuten (-8,4 %).

Die für den Test in der Ebene benötigte Walking-Zeit korreliert in hohem Maße mit der Walking-Zeit in leicht profiliertem Gelände ($r = .93$, $p < .01$). Bezüglich der Walking-Zeit in stark profiliertem Gelände zeigen sich ähnlich hohe Zu-

sammenhänge ($r = .88$, $p < .01$). Im Mittelwertsvergleich mittels t-Test zeigen sich beim Vergleich der Walking-Zeit in der Ebene mit der Zeit in leicht profiliertem Gelände signifikante Unterschiede ($t_{df=32} = 3.65$, $p < .01$), beim Vergleich Ebene – stark profiliertes Gelände ebenfalls ($t_{df=32} = 11,23$, $p < .01$).

Beim Vergleich der Zeiten in leicht und stark profiliertem Gelände zeigen sich sehr hohe Zusammenhänge ($r = .95$; $p < .01$). Der Mittelwertsvergleich zeigt signifikante Unterschiede ($t_{df=32} = 13,82$, $p < .01$).

Für den Reha-Walking-Test in der Ebene benötigten die Probandinnen im Mittel 18,03 Minuten, bei leicht profiliertem Gelände (25 Höhenmeter) wurden mit 18,71 Minuten im Mittel 0,68 Minuten mehr benötigt (+3,8 %). Mit durchschnittlich 17,66 Minuten wurde auch im Reha-Walking-Test die geringste Zeit in stark profiliertem Gelände benötigt. Dies entspricht im Vergleich zur Zeit in der Ebene einer Abnahme um 0,37 Minuten (-2,1 %).

Die für den Reha-Walking-Test in der Ebene benötigte Walking-Zeit korreliert sehr stark mit der Walking-Zeit in leicht profiliertem Gelände ($r = .89$, $p < .01$) und auch mit der Walking-Zeit in stark profiliertem Gelände ($r = .74$, $p < .01$). Im Mittelwertsvergleich mittels t-Test zeigen sich beim Vergleich der Walking-Zeit in der Ebene mit der Zeit in leicht profiliertem Gelände signifikante Unterschiede ($t_{df=29} = -4.61$, $p < .01$). Beim Vergleich Ebene – stark profiliertes Gelände zeigen sich dagegen keine signifikanten Mittelwertsunterschiede ($t_{df=29} = 1.34$, $p = .19$). Beim Vergleich der Zeiten in leicht und stark profiliertem Gelände zeigen sich im Reha-Walking-Test hohe Zusammenhänge ($r = .77$; $p < .01$). Der Mittelwertsvergleich zeigt signifikante Unterschiede ($t_{df=29} = 3,88$, $p < .01$).

Die für die maximalen 2 km-Walking-Tests benötigten Zeiten korrelieren innerhalb der einzelnen Profile signifikant mit den für die submaximalen Reha-Walking-Tests benötigten Zeiten. Der größte Zusammenhang zeigt sich dabei mit $r = .91$ im 25 m-Profil. Die für die beiden Testvarianten benötigten Zeiten korrelieren in der Ebene mit $r = .70$, im 50 m-Profil mit $r = .73$. Bei Betrachtung der Mittelwertsunterschiede zeigen sich im t-Test in allen Profilen signifikant schnellere Zeiten bei den mit maximaler Belastungsvorgabe zu absolvierenden 2 km-Walking-Tests (vgl. Tab. 54). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass nur 16 Probandinnen sowohl den 2 km-Walking-Test als auch den Reha-Walking-Test absolvierten.

Tab. 54: Mittelwertsunterschiede und Korrelationen der für die 2 km-Walking-Tests und die Reha-Walking-Tests benötigten Zeiten innerhalb der einzelnen Geländeprofile (N=16)

	Reha-W-Test Zeit (\bar{x} in min)	2 km-W-Test Zeit (\bar{x} in min)	Mittelwertsunterschied			Korrelation	
			t	df	p	r	p
Ebene	16,44	18,00	-5.29	15	.00	.70	.00
25 HM	15,95	18,33	-15.63	15	.00	.91	.00
50 HM	14,95	17,55	-6.05	15	.00	.73	.00

Ergebnisse Laktat

Bezüglich der am Ende der Belastung gemessenen Laktatkonzentrationen ergaben sich die in Tabelle 55 dargestellten Ergebnisse.

Tab. 55: Laktatkonzentrationen am Ende der Belastung in Abhängigkeit des Geländeprofils

	2 km-Walking-Test (Laktat in mmol/l, n= 33)		Reha-Walking-Test (Laktat in mmol/l, n= 30)	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Ebene	4,59	1,91	2,45	0,83
25 Höhenmeter	5,27	2,21	2,23	0,69
50 Höhenmeter	7,82	2,17	2,63	0,99

Im Ziel des 2 km-Walking-Tests in der Ebene wurden mittlere Laktatkonzentrationen von 4,59 mmol/l gemessen. Nach den Tests in leicht profiliertem Gelände wurden durchschnittlich 5,27 mmol/l erfasst. Die höchsten Laktatkonzentrationen fanden sich nach den 2 km-Walking-Tests in stark profiliertem Gelände mit durchschnittlich 7,82 mmol/l.

Die im ebenen Gelände erfassten Laktatkonzentrationen korrelieren signifikant mit den in leicht profiliertem Gelände gemessenen Werten ($r = .84$, $p < .01$) und auch mit den in stark profiliertem Gelände erfassten Werten ($r = .70$, $p < .01$). Der Mittelwertsvergleich mittels t-Test zeigt, dass die Laktatwerte nach dem 2 km-Walking-Test in leicht profiliertem Gelände signifikant höher liegen als nach dem Test in der Ebene ($t_{df=32} = -3.28$, $p < .01$). Das Gleiche gilt für den Test in stark profiliertem Gelände ($t_{df=29} = -11.59$, $p < .01$).

Die Laktatkonzentrationen nach den Reha-Walking-Tests sind mit 2,45 mmol/l (Ebene), 2,23 mmol/l (leicht profiliertes Gelände) und 2,63 mmol/l (stark profiliertes Gelände) vergleichbar. Die nach dem Reha-Walking-Test in der Ebene gemessenen Laktatwerte korrelieren signifikant mit den bei leichter Profilierung gemessenen Werten ($r = .69$, $p < .01$), jedoch nicht signifikant mit den bei starker Profilierung erfassten Konzentrationen ($r = .28$, $p = .14$). Im t-Test ergeben sich für die Reha-Walking-Tests keine signifikanten Mittelwertsunterschiede zwischen den einzelnen Geländeprofilen. Dies gilt sowohl für den Vergleich Ebene – leichte Profilierung ($t_{df=29} = 2.01$, $p = .05$) als auch für den Vergleich Ebene – starke Profilierung ($t_{df=29} = -.87$, $p = .39$).

Die nach den 2 km-Walking-Tests erfassten Laktatkonzentrationen korrelieren innerhalb der einzelnen Profile nur gering mit den nach den submaximalen Reha-Walking-Tests erfassten Werten. Im t-Test zeigen sich bei allen Geländeprofilen signifikant höhere Laktatwerte nach den 2 km-Walking-Tests als nach den Reha-Walking-Tests (vgl. Tab. 56).

Tab. 56: Mittelwertsunterschiede und Korrelationen der im Ziel der 2 km-Walking-Tests und des Reha-Walking-Tests erfassten Laktatkonzentrationen innerhalb der einzelnen Geländeprofile (N=16)

	2 km-W-Test Laktat (\bar{x} in mmol/l)	Reha-W-Test Laktat (\bar{x} in mmol/l)	Mittelwertsunterschied			Korrelation	
			t	df	p	r	p
Ebene	4,51	2,47	4.28	15	.00	.19	.48
25 HM	5,46	2,14	8.23	15	.00	.49	.06
50 HM	7,95	2,38	11.20	15	.00	.20	.45

Ergebnisse Herzschlagfrequenz

Tabelle 57 zeigt die im 2 km-Walking-Tests und im Reha-Walking-Test gemessenen Herzschlagfrequenzen (HF) bei Testende sowie die Durchschnittswerte über die gesamte, jeweils 2 km lange Teststrecke.

Tab. 57: Herzschlagfrequenzen bei Testende und im Durchschnitt über die gesamte Testdauer in Abhängigkeit des Geländeprofiles

	2 km-Walking-Test (HF in S/min)		Reha-Walking-Test (HF in S/min)	
	Durchschnitt	Ende	Durchschnitt	Ende
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Ebene	150,4 ± 14,6	160,5 ± 14,7	134,0 ± 8,3	137,1 ± 9,5
25 Höhenmeter	151,7 ± 16,5	157,1 ± 14,8	133,8 ± 7,8	136,4 ± 8,1
50 Höhenmeter	155,3 ± 14,4	163,4 ± 15,4	134,9 ± 8,4	137,9 ± 8,8

Die mittleren Herzschlagfrequenzen lagen am Ende des 2 km-Walking-Tests bei 150 S/min in der Ebene, bei 152 S/min im leicht profilierten Gelände und bei 155 S/min in stark profiliertem Gelände. Die Herzschlagfrequenzen am Ende der Belastung lagen jeweils über den Durchschnittswerten, und zwar bei 160 S/min in der Ebene, bei 157 S/min in leicht profiliertem Gelände und bei 163 S/min in stark profiliertem Gelände.

Der in der Ebene erfasste Endpuls korreliert mit $r = .71$ mit dem Endpuls in leicht profiliertem Gelände und mit $r = .61$ mit dem Endpuls in stark profiliertem Gelände. Beide Korrelationen sind signifikant ($p < .01$). Im Mittelwertsvergleich zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Endpuls Ebene und Endpuls in leicht profiliertem Gelände ($t_{df=32} = 1.72$, $p = .10$) und auch nicht zwischen Endpuls Ebene und Endpuls in stark profiliertem Gelände ($t_{df=32} = -1.25$, $p = .22$).

Die durchschnittliche Herzschlagfrequenz des 2 km-Walking-Tests in der Ebene korreliert mit $r = .70$ ($p < .01$) mit der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz in leicht profiliertem Gelände und mit $r = .85$ ($p < .01$) mit der des Tests in stark profiliertem Gelände. Der Mittelwertsvergleich zwischen Ebene und leicht profiliertem Gelände zeigt keine signifikanten Unterschiede ($t_{df=32} = -.61$, $p = .55$),

im Gegensatz zum Vergleich Durchschnittspuls Ebene – stark profiliertes Gelände ($t_{df=32} = -3.51, p < .01$).

Am Ende des Reha-Walking-Tests lagen die mittleren Herzschlagfrequenzen, über die in diesem Testverfahren die Belastungsintensität vorgegeben wird, bei 134 S/min (Ebene und leicht profiliertes Gelände) bzw. bei 135 S/min in stark profiliertem Gelände. Die Herzschlagfrequenzen am Ende der Belastung lagen etwas höher bei 137 S/min in der Ebene, bei 136 S/min im leicht profilierten Gelände und bei 138 S/min im stark profilierten Gelände.

Der beim submaximalen 2 km-Walking-Test in der Ebene erfasste Endpuls korreliert mit $r = .66$ mit dem Endpuls in leicht profiliertem Gelände und mit $r = .57$ mit dem Endpuls in stark profiliertem Gelände. Beide Korrelationen sind signifikant ($p < .01$). Im Mittelwertsvergleich zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Endpuls Ebene und Endpuls in leicht profiliertem Gelände ($t_{df=29} = .52, p = .61$) und auch nicht zwischen Endpuls Ebene und Endpuls in stark profiliertem Gelände ($t_{df=29} = -.54, p = .60$).

Die durchschnittliche Herzschlagfrequenz während des Reha-Walking-Tests in der Ebene korreliert mit $r = .69$ signifikant ($p < .01$) mit der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz in leicht profiliertem Gelände und mit $r = .52$ ebenfalls signifikant ($p < .01$) mit der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz in stark profiliertem Gelände. Der Mittelwertsvergleich zwischen Ebene und leicht profiliertem Gelände zeigt keine signifikanten Unterschiede ($t_{df=29} = -1.98, p = .06$), im Gegensatz zum Vergleich Durchschnittspuls Ebene – stark profiliertes Gelände ($t_{df=29} = -2.52, p < .05$).

Die durchschnittlich über die gesamten 2 km erfassten Herzschlagfrequenzen korrelieren bei allen durchgeführten Tests signifikant mit den bei Zieldurchlauf erfassten Werten. Im Mittelwertsvergleich mittels t-Test zeigen sich bei allen Tests signifikante Unterschiede zwischen Durchschnitts-Herzschlagfrequenz und Herzschlagfrequenz am Ende der Belastung (vgl. Tab. 58 und 59).

Tab. 58: Mittelwertsunterschiede und Korrelationen der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz und der Herzschlagfrequenz im Ziel der 2 km-Walking-Tests innerhalb der einzelnen Geländeprofile (N=33)

	HF (Ø) (S/min)	HF (Ziel) (S/min)	Mittelwertsunterschied			Korrelation	
			t	df	p	r	p
Ebene	150,4	160,5	9.22	32	.00	.91	.00
25 HM	151,7	157,1	3.19	32	.00	.81	.00
50 HM	155,3	163,4	4.70	32	.00	.78	.00

Tab. 59: Mittelwertsunterschiede und Korrelationen der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz und der Herzschlagfrequenz im Ziel der Reha-Walking-Tests innerhalb der einzelnen Geländeprofile (N=30)

	HF (Ø) (S/min)	HF (Ziel) (S/min)	Mittelwertsunterschied			Korrelation	
			t	df	p	r	p
Ebene	134,0	137,1	3.83	29	.00	.89	.00
25 HM	133,8	136,4	3.50	29	.00	.87	.00
50 HM	134,9	137,9	2.64	29	.01	.74	.00

Die nach den maximalen 2 km-Walking-Tests erfassten Herzschlagfrequenzen korrelieren in ebenem Gelände und bei leichter Profilierung signifikant mit den nach den submaximalen Reha-Walking-Tests erfassten Werten. Bei starker Profilierung zeigt sich ein nur geringer, nichtsignifikanter Zusammenhang. Im t-Test zeigen sich bei allen Profilen signifikant höhere Herzschlagfrequenzen nach den 2 km-Walking-Tests (vgl. Tab. 60).

Tab. 60: Mittelwertsunterschiede und Korrelationen der am Ende der 2 km-Walking-Tests und am Ende der Reha-Walking-Tests erfassten Herzschlagfrequenzen innerhalb der einzelnen Geländeprofile (N=16)

	2 km-Walking-Test HF (Ziel) (\bar{x} in min)	Reha-Walking-Test HF (Ziel) (\bar{x} in min)	Mittelwertsunterschied			Korrelation	
			t	df	p	r	p
Ebene	164,4	135,4	8.42	15	.00	.57	.02
25 HM	162,6	136,4	10.86	15	.00	.61	.01
50 HM	168,0	136,6	8.52	15	.00	.37	.16

Die während der maximalen 2 km-Walking-Tests erfassten durchschnittlichen Herzschlagfrequenzen korrelieren in ebenem Gelände nur gering und nicht signifikant mit den während der submaximalen Reha-Walking-Tests erfassten Werten. Dagegen zeigen sich in den profilierten Geländen signifikante Zusammenhänge. Im t-Test zeigen sich signifikant höhere durchschnittliche Herzschlagfrequenzen bei den maximalen 2 km-Walking-Tests (vgl. Tab. 61).

Tab. 61: Mittelwertsunterschiede und Korrelationen der während der 2 km-Walking-Tests und am Ende der Reha-Walking-Tests erfassten durchschnittlichen Herzschlagfrequenzen innerhalb der einzelnen Geländeprofile (N=16)

	2 km-Walking-Test HF (Ø) (\bar{x} in min)	Reha-Walking-Test HF (Ø) (\bar{x} in min)	Mittelwertsunterschied			Korrelation	
			t	df	p	r	p
Ebene	153,3	133,6	6.47	15	.00	.48	.06
25 HM	158,3	133,6	9.99	15	.00	.72	.00
50 HM	159,4	133,9	11.09	15	.00	.73	.00

Nach Laukkanen (1993) ist die Anwendung der Regressionsgleichungen zur Berechnung der VO_2 max nur gültig, wenn die Belastung bei mindestens 80 %

der maximalen Herzschlagfrequenzen, berechnet mit „205 minus $\frac{1}{2}$ Lebensalter“, lag. Bei Betrachtung der durchschnittlich über die gesamten 2 km erfassten Herzschlagfrequenzen erreichten die 33 Probandinnen in ebenem Gelände im Mittel 83,0 % ihrer errechneten maximalen Herzschlagfrequenzen, bezogen auf die im Ziel gemessenen Herzschlagfrequenzen lag dieser Wert bei 88,5 %. In leicht profiliertem Gelände wurden im Mittel 83,7 % (Durchschnitt) bzw. 86,7 % (im Ziel) erreicht. In stark profiliertem Gelände lagen die erzielten Herzschlagfrequenzen mit 85,7 % (Durchschnitt) bzw. 90,1 % (im Ziel) der maximalen Herzschlagfrequenz am höchsten.

Im Reha-Walking-Test wurde die Belastungsvorgabe von „180 minus Lebensalter“ in ebenem Gelände im Mittel um 0,9 Schläge pro Minute (+0,8 %) überschritten. Betrachtet man statt der durchschnittlich über die gesamten 2 km gemessenen Herzschlagfrequenz die bei Zieldurchlauf erfassten Werte, so liegen diese hier um 3,9 S/min (+3,1 %) über der Vorgabe. Die in leicht profiliertem Gelände im Mittel gemessenen Herzschlagfrequenzen liegen 0,6 S/min (+0,5 %) über der Vorgabe, die Herzschlagfrequenzen beim Zieleinlauf sind 3,2 S/min (+2,5 %) höher als vorgegeben. In stark profiliertem Gelände wurden die Vorgaben um 1,8 S/min (+1,5 %) bezüglich der durchschnittlichen Herzschlagfrequenzen und um 4,7 S/min (+3,7 %) bezüglich der im Ziel gemessenen Herzschlagfrequenzen überschritten.

1.7.5 Diskussion und Fazit

Nicht ganz erwartungsgemäß wurde der 2 km-Walking-Test im Gelände mit der stärksten Profilierung (50 Höhenmeter) mit 15,13 Minuten am schnellsten und in ebenem Gelände mit 16,52 Minuten am langsamsten absolviert. Die Ursache ist wohl, dass die Walking-Technik bzw. die monotone Dauerbelastung im ebenen Gelände der limitierende Faktor ist. Bei zunehmender Profilierung und einem Wechsel von Bergauf- und Bergabgehen kommt es dagegen zu einer Veränderung der Beanspruchung. Die Probandinnen konnten vermutlich an den Anstiegen durch eine Erhöhung der Intensität das Tempo halten und bergab das Tempo erhöhen, woraus letztlich schnellere Zeiten resultierten. Dementsprechend zeigten sich mit zunehmender Profilierung deutlich höhere Belastungsintensitäten. Durchschnittliche Laktatkonzentrationen von 7,82 mmol/l im 50 Höhenmeter-Profil weisen darauf hin, dass die Belastungen bei stärkerer Profilierung mit einer höheren anaerob-laktaziden Komponente bewerkstelligt werden. Auch bei einer leichten Profilierung liegen die erfassten Laktatkonzentrationen mit 5,27 mmol/l höher als in ebenem Gelände. Bereits die in der Ebene angefallenen Laktatkonzentrationen von durchschnittlichen 4,59 mmol/l weisen jedoch grundsätzlich auf eine Intensität des 2 km-Walking-Tests hin, die für Patienten der medizinischen Rehabilitation bedenklich sein könnten.

Die durchschnittlich über die 2 km-Strecke erfassten Herzschlagfrequenzen liegen entsprechend mit zunehmender Profilierung höher als in ebenem Gelände, allerdings ist der Unterschied zwischen Ebene und leicht profiliertem Gelände nur sehr gering. Betrachtet man nur den Endpuls, so zeigen sich deutlichere und auch durchweg signifikante Unterschiede bei den unterschiedlichen Streckenprofilen, wobei der Puls nach dem 2 km-Walking-Test in leicht profiliertem Gelände niedriger ist als nach dem Test in der Ebene. Ursache hierfür dürfte jedoch sein, dass die leicht profilierte Teststrecke zum Ziel hin ein deutliches Gefälle aufweist (vgl. Abb. 5). Die im Ziel erfassten Herzschlagfrequenzen liegen alle signifikant über den durchschnittlich während der 2 km gemessenen Werten. Die Ursache hierfür kann in der Vorgabe „absolvieren der 2 km-Strecke in schnellstmöglicher Zeit“ liegen, die bei den in dieser Untersuchungsstichprobe meist hoch motivierten Probandinnen dafür gesorgt hat, eine Art Endspurt zu absolvieren. Dies führt bei der Berechnung der $VO_2\text{max}$ mittels der Regressionsgleichungen Laukkanens (1993) zu niedrigeren Werten (vgl. Kap. I-2.2). Die schnelleren Walking-Zeiten in den profilierten Geländen führen im Gegensatz dazu zu höheren $VO_2\text{max}$ -Schätzungen. Um diesen Fehler bei der Bewertung der Testergebnisse des 2 km-Walking-Tests auszuschließen empfiehlt es sich daher, eine Pulsuhr mit Aufzeichnung der Herzschlagfrequenz über die gesamte Testdauer zu verwenden. Dies ermöglicht zum einen eine nachträgliche Überprüfung der Herzfrequenzen, zum anderen kann der oftmals repräsentativere Durchschnittspuls zur Berechnung der $VO_2\text{max}$ verwendet werden.

Insgesamt liegen die hier im 2 km-Walking-Test ermittelten Herzschlagfrequenzen bei den getesteten Probandinnen allesamt über 80 % der jeweiligen maximalen Herzschlagfrequenz (berechnet nach $205 - \frac{1}{2}$ Lebensalter), während bei der Untersuchung der Reha-Patienten diese Vorgabe häufiger nicht eingehalten werden konnte (vgl. Kap. II-1.4 und II-1.6).

Die gemessenen Herzschlagfrequenzen über die 2 km-Strecken des Reha-Walking-Tests belegen, dass die vorgegebene Belastung von „180 minus Lebensalter“ in jedem Profil gut eingehalten wurde. Zwar liegen auch hier die Endpulse statistisch signifikant über den durchschnittlich gemessenen Werten, aber praktisch ist diese Abweichung von ca. 3 S/min nicht relevant. Die physiologischen Belastungen liegen unabhängig vom Gelände deutlich tiefer als beim 2 km-Walking-Test. Das heißt, auch bei stärkerer Profilierung sind kaum anaerob-laktazide Komponenten an der Energiebereitstellung beteiligt, da die Herzfrequenzvorgabe auch bergauf eingehalten werden muss. Die resultierenden Zeiten unterscheiden sich nur beim Vergleich Ebene – leichte Profilierung signifikant, allerdings deutlich geringer als im maximalen 2 km-Walking-Test. Bei einer Mittelung der Abweichungen der benötigten Zeiten in leicht profiliertem Gelände und der Zeiten in stärker profiliertem Gelände ergibt sich ei-

ne Abweichung von lediglich 9 sec. Folglich sind bei der Bewertung des Reha-Walking-Test in profiliertem Gelände keine Umrechnungen der benötigten Zeiten notwendig.

Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass beim 2 km-Walking-Test in profiliertem Gelände hohe Belastungsspitzen auftreten, die bei älteren Probanden oder Personen mit Risikofaktoren vermieden werden sollten. Daher sollte der 2 km-Walking-Test mit Patienten nicht in profiliertem Gelände durchgeführt werden. Hinzu kommt, dass die Testergebnisse des 2 km-Walking-Tests in profiliertem und ebenem Gelände nur eingeschränkt vergleichbar sind. Da beim Reha-Walking-Test die Belastungen durchgehend, also auch bei den Steigungen, definiert sind, liegen die anfallenden Laktatkonzentrationen deutlich niedriger. Folglich ist für den klinischen Bereich der Reha-Walking-Test dem klassischen 2 km-Walking-Test bzw. dem UKK-Walk-Test vorzuziehen, insbesondere wenn es sich um ein nicht ebenes Gelände handelt. Insgesamt konnte die Belastungsvorgabe des Reha-Walking-Tests sehr gut eingehalten werden und erwies sich somit als sehr praktikabel. Bei einer Geländeprofilierung von bis zu 50 Höhenmetern ist es für den Reha-Walking-Test nicht erforderlich, Zeitkorrekturen vorzunehmen, da die Ergebnisse vergleichbar sind.

1.8 Zusammenfassung und Fazit

Bereits seit vielen Jahren verwendet die Reha-Klinik Überruh im Rahmen der Eingangs- und Abschlussuntersuchungen Ihrer Patienten eine submaximale Variante des UKK-Walk-Tests bzw. des 2 km-Walking-Tests zur Erfassung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Eine wissenschaftliche Überprüfung dieses Testverfahrens, bei dem die Belastung über eine Vorgabe der Herzschlagfrequenz (180 minus Lebensalter) gesteuert bzw. limitiert wird und entsprechend seiner Hauptzielgruppe als Reha-Walking-Test bezeichnet wird, lag bislang jedoch nicht vor.

Aufgrund der Ergebnisse der durchgeführten Studien konnte nun festgestellt werden, dass der Reha-Walking-Test ein reliables Messverfahren darstellt. Vergleichsanalysen über die spiroergometrisch auf dem Laufband ermittelte maximale Sauerstoffaufnahme zeigen darüber hinaus, dass der Reha-Walking-Test ein valides Testverfahren zur Ermittlung der Ausdauerleistungsfähigkeit von Patienten der medizinischen Rehabilitation ist. Anhand der Testergebnisse von 4366 Patienten der Rehaklinik Überruh konnten erste geschlechts- und altersspezifische Normwerttabellen erstellt werden. Diese dienen einer ersten orientierenden Bewertung der ermittelten Testergebnisse. Aufgrund der Vielzahl der Krankheitsbilder und der daraus resultierenden un-

terschiedlichen Leistungsfähigkeit von Patienten der medizinischen Rehabilitation ist es jedoch oftmals notwendig, intraindividuelle Vergleiche vorzuziehen.

Der Vergleich der Ergebnisse des klassischen 2 km-Walking-Tests und des Reha-Walking-Tests zeigt, dass der 2 km-Walking-Test ein deutlich höheres Belastungsprofil aufweist als der Reha-Walking-Test. Das heißt, für den Bereich der stationären Rehabilitation ist das Belastungsprofil des Reha-Walking-Tests als wesentlich günstiger und risikoarmer anzusehen.

Bei der Überprüfung des Einflusses verschiedener Höhenprofile auf die Ergebnisse und die Belastungsintensitäten der beiden 2 km-Walking-Test-Varianten wird dieser Unterschied noch größer. Während beim 2 km-Walking-Test in profiliertem Gelände sehr hohe mittlere Laktatkonzentrationen von 5 bzw. knapp 8 mmol/l (25 bzw. 50 Meter Höhendifferenz) gemessen wurden, lagen die mittleren Laktatkonzentrationen am Ende des Reha-Walking-Tests aufgrund der Vorgabe der Herzschlagfrequenz unabhängig von der Profilierung immer im Bereich von 2 mmol/l. Im Gegensatz zum 2 km-Walking-Test ergaben sich hier auch keine wesentlichen Zeitunterschiede, so dass die in ebenen Testbedingungen ermittelten Normwertbereiche auch bei profilierten Teststrecken mit einer Höhendifferenz von bis zu 50 Metern gültig sind.

In Kapitel II-1.2 wurde beschrieben, dass die zur Steuerung der Belastungsintensität des Reha-Walking-Tests gewählte Formel „Herzschlagfrequenz = 180 minus Lebensalter“ von zahlreichen Autoren vor allem dann empfohlen wird, wenn es sich bei der Zielgruppe um ältere Menschen handelt oder um Personen mit gesundheitlichen Einschränkungen. Die zum Ende des Reha-Walking-Tests ermittelten Laktatkonzentrationen lagen in allen der hier durchgeführten Studien zwischen 2 und 3 mmol/l Laktat und bestätigen somit diese Empfehlung.

Grundsätzlich bietet es sich an, am Ende des Reha-Walking-Tests eine einmalige Bestimmung der Laktatkonzentration durchzuführen. Dies ermöglicht über die Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit hinaus eine erste orientierende Aussage über die Eignung der Herzschlagfrequenz von „180 minus Lebensalter“ als Trainingspulsfrequenz. Liegt die im Ziel des Reha-Walking-Tests gemessene Laktatkonzentration bei Einhaltung der Pulsvorgabe deutlich (>3 mmol/l) über einem Wert von 2 mmol/l, so muss die Herzschlagfrequenz während der sporttherapeutischen Behandlung reduziert werden. Liegen die Laktatkonzentrationen dagegen deutlich ($<1,5$ mmol/l) unterhalb von 2 mmol/l, so kann entsprechend eine höhere Herzschlagfrequenz als Trainingsempfehlung gegeben werden.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass der Reha-Walking-Test ein einfaches, kostengünstiges und praktikables Feldtestverfahren zur Ermittlung der Ausdauerleistungsfähigkeit darstellt, das von den Patienten sehr gut ange-

nommen wird. Es erfüllt die Hauptgütekriterien und ermöglicht mit überschaubarem Aufwand eine grundlegende Einordnung der Ausdauerleistungsfähigkeit eines Patienten, die Ermittlung möglicher Leistungsveränderungen sowie die grobe Festlegung bzw. Überprüfung der für ein Ausdauertraining sinnvollen Pulsbereiche. Somit stellt der Reha-Walking-Test dann eine sinnvolle Alternative zu den aufwändigeren und teureren ergometrischen Untersuchungsverfahren dar, wenn der Patient während der Belastung keiner permanenten Überwachung bedarf. Umgekehrt bleibt selbstverständlich bei entsprechenden Fragestellungen und Untersuchungszielen die herkömmliche ergometrische Untersuchungsmethode im Labor die Methode der Wahl.

2 Entwicklung und Überprüfung eines Walking-Tests auf dem Laufband

2.1 Einleitung

Bei der Beschreibung der Vor- und Nachteile verschiedener Ausdauer-testverfahren (vgl. Kap. I-2.1.3) und im vorangegangenen Kapitel wurde mehrfach darauf hingewiesen, dass ergometrische Untersuchungsverfahren die höchste Aussagekraft besitzen und darüber hinaus eine permanente Überwachung des Patienten während der Belastung ermöglichen. Ebenso konnten in Kapitel I-2.1.3 bzw. I-2.2 die Vorteile walkingbasierter Ausdauer-testverfahren für den Bereich der medizinischen Rehabilitation aufgezeigt werden. Dementsprechend bietet es sich für diese Zielgruppe an, beider Vorteile zu verbinden und die Ausdauerleistungsfähigkeit mittels einer stufenförmig ansteigenden Gehbelastung auf dem Laufband zu ermitteln.

Aus der Vielzahl bereits existierender Belastungsprotokolle dieser Art (vgl. Tab. 4 und 5) konnte sich im europäischen Raum bisher kein einheitliches Belastungsprotokoll für einen Walking-Stufentest auf dem Laufband durchsetzen. Mögliche Ursachen wurden in Kapitel I-2.2. aufgeführt.

Der am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH) entwickelte Walking-Test auf dem Laufband stellt einen Versuch dar, die Vorteile bereits existierender Protokolle zu vereinen und den notwendigen Bedingungen eines sinnvollen Untersuchungsprotokolls für die Zielgruppe der Patienten der medizinischen Rehabilitation möglichst gerecht zu werden. Diese Bedingungen wurden bereits ausführlich in Kapitel I-2.2 erläutert. Zusammenfassend sei an dieser Stelle noch einmal auf die wesentlichen Aspekte hingewiesen, nämlich moderater Belastungsbeginn, moderate Belastungssteigerung, Vermeidung zu hoher Laufbandneigungen, möglichst linearer Belastungsanstieg.

Die nachfolgend beschriebenen Vorarbeiten und Entwicklungsschritte dienen zunächst dem Zweck, ein grundlegendes, sinnvolles Belastungsprotokoll für einen Walking-Test auf dem Laufband zu entwickeln. Im Rahmen der anschließend dargestellten Studie erfolgten dann die Überprüfung der Anwendbarkeit im Bereich der medizinischen Rehabilitation sowie die endgültige Festlegung des Belastungsprotokolls (vgl. Kap. II-2.3). Zur genaueren Abschätzung der auftretenden Belastungen auf den einzelnen Stufen und zur Bewertung der Testergebnisse wurde eine weitere Untersuchung durchgeführt (vgl. Kap. II-2.4). In dieser wurden anhand verschiedener physiologischer Parameter die Belastungsintensitäten des Walking-Tests auf dem Laufband mit den Belastungen eines klassischen Stufentests auf dem Fahrradergometer verglichen. Die gewonnenen Ergebnisse ermöglichen eine Umrechnung der auf dem Laufband erbrachten Leistung, die sich aus der Geschwindigkeit und der

Steigung ergibt, in Watt. Mit Hilfe dieser berechneten Leistung in Watt ist es wiederum möglich, die jeweils erzielte Leistung anhand bereits existierender Normwerttabellen einzuordnen.

2.2 Vorarbeiten und Entwicklungsschritte

Die ursprüngliche Entwicklung des Walking-Tests auf dem Laufband fand im Jahr 2000 am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH) statt (vgl. Kräutle, 2000). Dabei ging es vornehmlich um die Gestaltung eines sinnvollen Testprotokolls. Bereits in dieser ersten Version wurde die Laufbandgeschwindigkeit der ersten beiden Stufen auf 3 bzw. 4 km/h bei einer Stufendauer von jeweils einer Minute festgelegt. Diese beiden Geschwindigkeits-Stufen sollten der Gewöhnung der Patienten bzw. der Probanden an das Laufband dienen. Dies ist sinnvoll, da es sich bei der Zielgruppe, für die dieser Walking-Test auf dem Laufband konzipiert werden soll, vornehmlich um Personen ohne Laufbänderfahrung handelt. Bei diesen geringen Geschwindigkeiten können sich die Probanden noch problemlos am Laufband-Geländer festhalten und sich langsam an die ungewohnte Bewegung gewöhnen. Dadurch kann auf ein zeitaufwendiges Üben bzw. „Probewalken“ verzichtet werden. Auch eine zusätzliche Aufwärmphase vor Testbeginn ist somit nicht mehr notwendig. Auf der dritten Stufe betrug die Laufbandgeschwindigkeit 5 km/h. Bei einer Stufendauer von nun jeweils 2 Minuten wurde die Geschwindigkeit nach jeder Stufe um 0,5 km/h erhöht. Um den im Vergleich zum Walking im Freien veränderten Rahmenbedingungen gerecht zu werden (fehlender Luftwiderstand, geringerer Krafteinsatz durch nach hinten weglaufende Fläche), wurde die Steigung des Laufbandes auf allen Stufen auf 1 % festgesetzt. Der Testabbruch sollte symptomlimitiert oder aufgrund subjektiver Erschöpfung erfolgen. In dieser ersten Studie von Kräutle (2000) wurde anhand 40 getesteter Probanden unterschiedlicher Trainiertheit die Praktikabilität und Eignung des Testprotokolls sowie die Testreliabilität überprüft.

In zwei Folgestudien von Frenzel (2002) sowie Härtel & Ludwig (2002) wurden zur Validierung des Testverfahrens zusätzlich spiroergometrische Parameter erfasst. Auch die Ergebnisse dieser beiden Studien zeigten, dass das gewählte Belastungsprotokoll grundsätzlich praktikabel ist. Vor allem die Eingangsstufe (3 bzw. 4 km/h) zur Gewöhnung an das Laufband und zur Erwärmung erwies sich bei den hier getesteten untrainierten Erwachsenen als äußerst sinnvoll. Aus beiden Studien wurde jedoch auch deutlich, dass das bis dahin angewendete Belastungsprotokoll aufgrund koordinativer Aspekte in zahlreichen Fällen zu einem verfrühten Testabbruch führte, d.h. die vorgegebenen Geschwindigkeiten konnten mittels Walking-Technik nicht mehr bewältigt werden, obgleich eine physiologische Ausbelastung nicht gegeben war. Als Konsequenz wurde in das Belastungsprotokoll eine stufenweise ansteigende

Laufbandsteigung integriert, d.h. ab einer gewissen Stufe wurde die Geschwindigkeit konstant gehalten und stattdessen die Steigung des Laufbandes um jeweils 2,5 % pro Stufe erhöht (vgl. Berg, 1980 und Dickhuth, 2000 sowie Tab. 5). In der nachfolgend beschriebenen Studie zur Überprüfung der Anwendbarkeit des Walking-Stufentests auf dem Laufband bei Reha-Patienten wurde dies noch individuell variierend gestaltet. Das Ziel war jedoch, eine standardisierte optimale maximale Geschwindigkeit für Männer und Frauen zu ermitteln, von der ab die Belastungsintensität über die Erhöhung der Steigung des Laufbandes erfolgen sollte. Diese maximale Walking-Geschwindigkeit sollte einerseits so hoch wie möglich liegen, um die alltäglichere Belastungsform „Walken in der Ebene“ zu simulieren, andererseits sollten möglichst alle Probanden, unabhängig von Körpergröße bzw. Beinlänge, diese Geschwindigkeit koordinativ bewältigen können.

2.3 Überprüfung der Anwendbarkeit des Walking-Tests auf dem Laufband im Bereich der Rehabilitation

2.3.1 Einleitung

Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, war das Ziel dieser Studie die Überprüfung der Anwendbarkeit des Walking-Tests auf dem Laufband bei Patienten der medizinischen Rehabilitation. Dabei ging es neben der Praktikabilität bzw. der Akzeptanz bei den Patienten auch um die Fragen, inwieweit mit dem vorliegenden Testprotokoll eine Ausbelastung der Patienten erzielt werden kann, in welchem Bereich die durchschnittliche Testdauer angesiedelt ist und ab welcher Geschwindigkeit eine weitere Steigerung der Belastung über die Laufband-Steigung sinnvoll ist. Insgesamt sollte somit das bisher nur an Probanden entwickelte und getestete Belastungsprotokoll optimiert und endgültig festgelegt werden.

2.3.2 Untersuchungsstichprobe

Die Überprüfung des Walking-Tests auf dem Laufband erfolgte anhand der bereits in Kapitel II-1.4.1 beschriebenen Stichprobe. Dabei handelte es sich um 86 Patienten der Reha-Klinik Überrauch (vgl. Tab. 62), wovon 46 männlich (vgl. Tab. 63) und 40 weiblich (vgl. Tab. 64) waren.

Tab. 62: Gesamtstichprobe zur Überprüfung des Walking-Tests auf dem Laufband (N=86)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	86	26	65	44,8	8,3
Größe (m)	86	1,55	1,96	1,72	0,1
Gewicht (kg)	86	51	138	82,0	17,1
BMI (kg/m ²)	86	19,2	53,9	27,6	5,5

Tab. 63: Stichprobe der männlichen Patienten zur Überprüfung des Walking-Tests auf dem Laufband (N=46)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	46	28	58	44,1	7,4
Größe (m)	46	1,60	1,96	1,79	,08
Gewicht (kg)	46	51	133	89,1	15,5
BMI (kg/m ²)	46	19,2	45,1	27,9	5,3

Tab. 64: Stichprobe der weiblichen Patienten zur Überprüfung des Walking-Tests auf dem Laufband (N=40)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	40	26	65	45,6	9,2
Größe (m)	40	1,55	1,76	1,65	,05
Gewicht (kg)	40	54	138	73,9	15,3
BMI (kg/m ²)	40	19,8	53,9	27,3	5,7

2.3.3 Methodik

Die Studie zur Überprüfung der Eignung des Walking-Tests auf dem Laufband für Patienten der medizinischen Rehabilitation erfolgte zwischen März 2003 und Dezember 2004 an der Reha-Klinik Überra. Nach einer ausführlichen Anamnese sowie der Erfassung der körperlichen bzw. sportlichen Aktivität mittels Fragebogen durchliefen alle Probanden ein Belastungs-EKG, um die Risiken während des Walking-Tests auf dem Laufband, der zu einer Ausbelastung führen sollte, auf ein Minimum zu reduzieren. Der Walking-Test auf dem Laufband wurde entsprechend der Beschreibung in Kapitel II-1.4.2 durchgeführt, d.h. die Laufbandgeschwindigkeit der ersten beiden Stufen betrug 3 bzw. 4 km/h bei einer Stufendauer von jeweils einer Minute. Diese beiden Geschwindigkeits-Stufen sollten der Gewöhnung der Probanden an das Laufband dienen. Auf der dritten Stufe betrug die Laufbandgeschwindigkeit 5 km/h. Bei einer Stufendauer von nun jeweils 2 Minuten wurde die Geschwindigkeit nach jeder Stufe um 0,5 km/h erhöht. Die Steigung des Laufbandes wurde auf diesen Stufen auf 1 % festgesetzt (vgl. Hollmann et al., 2006). Konnte die vorgegebene Geschwindigkeit mittels Walking-Technik nicht mehr bewältigt werden, wurde die Geschwindigkeit konstant gehalten und stattdessen die Steigung des Laufbandes um jeweils 2,5 % pro Stufe erhöht. Der Zeitpunkt der Erhöhung der Laufbandsteigung erfolgte durch den Testleiter aufgrund der Einschätzung der jeweiligen Walking-Technik.

Der Testabbruch erfolgte symptomlimitiert oder aufgrund subjektiver Erschöpfung. Ausbelastungskriterien waren Herzschlagfrequenzen von mindestens „200 minus Lebensalter“, Atemäquivalente >30, Laktatwerte >5 mmol/l und Respiratorische Quotienten >1 (vgl. Löllgen, 2005) oder ein Levelling-off der Sauerstoffaufnahme (Hollmann et al., 2006).



Abb. 7: Patient während des Walking-Tests auf dem Laufband.

Neben der Anzahl der absolvierten Stufen wurden über die gesamte Testdauer im breath-by-breath-Verfahren spiroergometrische Daten mittels der portablen Spiroergometrie MetaMax 3B der Firma Cortex Biophysik, Leipzig, erfasst. Zusätzlich wurden bei allen Tests am Ende der Belastung die Laktatkonzentrationen ermittelt und mit Hilfe des Super GL Ambulance der Firma RLT (Ruhrtal-Labor-Technik) bestimmt. Zur Erfassung der Herzschlagfrequenzen wurden Pulsuhren der Firma Polar, Modell Accurex Plus, verwendet. Die Untersuchungen erfolgten auf Laufbändern der Firma Woodway, Modell PPS 55med-I.

2.3.4 Ergebnisse

Tabelle 65 liefert einen Überblick über ausgewählte Parameter zum Zeitpunkt des Testabbruches. Die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme der getesteten Patienten lag zum Zeitpunkt des Testabbruches bei 2,66 l/min bzw. 32,8 ml/min/kg. Die maximalen Herzschlagfrequenzen lagen im Mittel bei 171,2 Schlägen pro Minute, die Laktatkonzentrationen betragen zum Testabbruch durchschnittlich 5,25 mmol/l bei einem mittleren RQ von 1,07. Die Belastung wurde anhand der Borg-Skala im Mittel mit 15, d.h. „anstrengend“, bewertet. Die Testdauer betrug durchschnittlich 16,89 Minuten. Der Testab-

bruch erfolgte im Mittel bei einer Geschwindigkeit von 6,6 km/h und einer Laufband-Steigung von 9,4 %. Die geschlechtsspezifischen Ergebnisse sind den Tabellen 66 und 67 zu entnehmen.

Tab. 65: Ausgewählte Parameter beim Walking-Test auf dem Laufband zum Zeitpunkt des Testabbruches (N=86; m=46; w=40)

	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Abs. VO ₂ (l/min)	1,43	4,52	2,66	,69
Rel. VO ₂ (ml/min/kg)	14	56	32,8	7,3
Herzschlagfrequenz (S/min)	141	201	171,2	12,4
Laktat (mmol/l)	1,97	12,1	5,25	1,78
RQ	0,80	1,34	1,07	,09
Borg	11	20	15,0	1,7
Zeit (min)	2,50	28,00	16,89	4,52
Steigung (%)	1,0	21,0	9,4	4,7
Geschwindigkeit (km/h)	5,0	8,0	6,6	,7

Tab. 66: Ausgewählte Parameter der männlichen Patienten beim Walking-Test auf dem Laufband zum Zeitpunkt des Testabbruches (N=46)

	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Abs. VO ₂ (l/min)	2,43	4,52	3,15	,52
Rel. VO ₂ (ml/min/kg)	23	56	36,2	7,1
Herzschlagfrequenz (S/min)	149	201	173,1	10,5
Laktat (mmol/l)	2,57	10,20	5,57	1,72
RQ	0,90	1,25	1,07	,08
Borg	11	20	15,0	1,9
Zeit (min)	12,00	28,00	18,93	4,22
Steigung (%)	3,5	21	10,8	4,7
Geschwindigkeit (km/h)	5,0	8,0	6,8	,6

Tab. 67: Ausgewählte Parameter der weiblichen Patienten beim Walking-Test auf dem Laufband zum Zeitpunkt des Testabbruches (N=40)

	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Abs. VO ₂ (l/min)	1,43	3,28	2,10	,37
Rel. VO ₂ (ml/min/kg)	14	40	29,0	5,3
Herzschlagfrequenz (S/min)	141	196	169,1	14,1
Laktat (mmol/l)	1,97	12,10	4,88	1,79
RQ	0,80	1,34	1,08	,09
Borg	12	19	15,0	1,5
Zeit (min)	2,50	22,00	14,56	3,68
Steigung (%)	1,0	16,0	7,8	4,1
Geschwindigkeit (km/h)	5,0	7,5	6,4	,6

Bei 67 (m=38; w=29) der getesteten 86 Patienten konnte mit Hilfe des verwendeten Belastungsprotokolls eine Ausbelastung nach den oben genannten Kriterien erzielt werden. Die durchschnittliche Testdauer bis zum Erreichen der Ausbelastung betrug durchschnittlich 17,94 Minuten. Die durchschnittlich erreichte Geschwindigkeit betrug 6,7 km/h bei einer durchschnittlichen Laufbandsteigung von 10,1 %. Die hierbei erfasste maximale Sauerstoffaufnahme lag im Mittel bei 2,74 l/min bzw. körpergewichtsbezogen bei 34,18 ml/min/kg. Die mittlere Herzschlagfrequenz lag zum Zeitpunkt der Ausbelastung bei 174,9 Schlägen pro Minute (vgl. Tab. 68). Die entsprechenden geschlechtsspezifischen Werte sind den Tabellen 69 und 70 zu entnehmen.

Tab. 68: Ausgewählte Parameter beim Walking-Test auf dem Laufband zum Zeitpunkt der Ausbelastung (N=67; m=38; w=27)

	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Zeit (min)	11,00	28,00	17,94	3,96
Steigung (%)	1,0	21,0	10,1	4,4
Geschwindigkeit (km/h)	5,0	8,0	6,7	,6
Abs. VO ₂ max (l/min)	1,43	4,52	2,74	,71
Rel. VO ₂ max (ml/min/kg)	22	56	34,18	7,07
Herzschlagfrequenz (S/min)	153	201	174,9	10,3

Tab. 69: Ausgewählte Parameter der männlichen Patienten beim Walking-Test auf dem Laufband zum Zeitpunkt der Ausbelastung (N=38)

	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Zeit (min)	12,00	28,00	19,59	4,10
Steigung (%)	3,5	21,0	11,3	4,7
Geschwindigkeit (km/h)	5,0	8,0	6,9	,6
Abs. VO ₂ max (l/min)	2,43	4,52	3,21	,52
Rel. VO ₂ max (ml/min/kg)	23	56	37,18	7,15
Herzschlagfrequenz (S/min)	159	201	175,2	9,9

Tab. 70: Ausgewählte Parameter der weiblichen Patienten beim Walking-Test auf dem Laufband zum Zeitpunkt der Ausbelastung (N=27)

	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Zeit (min)	11,00	22,00	15,78	2,49
Steigung (%)	1,0	16,0	8,6	3,7
Geschwindigkeit (km/h)	5,0	7,5	6,5	,6
Abs. VO ₂ max (l/min)	1,43	3,28	2,13	,39
Rel. VO ₂ max (ml/min/kg)	22	40	30,24	4,69
Herzschlagfrequenz (S/min)	153	196	174,5	10,9

Tabelle 71 zeigt, dass die letztlich nach objektiven Kriterien ausbelasteten Patienten zum Zeitpunkt der letzten Stufe vor Erhöhung der Laufbandsteigung durchschnittlich bei 81,7 % ihrer später erzielten VO₂max bzw. bei 73,1 % ihrer

später erzielten maximalen Herzschlagfrequenz lagen. Die entsprechenden geschlechtsspezifischen Werte sind in den Tabellen 72 und 73 dargestellt.

Tab. 71: Belastungsparameter des Walking-Tests auf dem Laufband vor Erhöhung der Laufband-Steigung (N=67; m=38; w=27)

	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
VO ₂ (l/min)	1,01	3,24	1,95	,43
HF (S/min)	105	188	142,9	17,9
% VO ₂ max	58,3	100	81,7	8,6
% HFmax	44,6	100	73,1	13,2

Tab. 72: Belastungsparameter der männlichen Patienten während des Walking-Tests auf dem Laufband vor Erhöhung der Laufband-Steigung (N=38)

	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
VO ₂ (l/min)	1,46	3,24	2,18	,38
HF (S/min)	105	167	138,6	15,6
% VO ₂ max	44,6	100	68,8	13,5
% HFmax	58,3	94,4	79,2	8,1

Tab. 73: Belastungsparameter der weiblichen Patienten während des Walking-Tests auf dem Laufband vor Erhöhung der Laufband-Steigung (N=27)

	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
VO ₂ (l/min)	1,01	2,19	1,67	,31
HF (S/min)	116	188	148,5	19,3
% VO ₂ max	56,5	100	78,8	10,7
% HFmax	68,8	100	85,0	8,2

Die Tabellen 74 und 75 zeigen, welche Laufband-Geschwindigkeiten von den männlichen und weiblichen Patienten maximal bewältigt werden konnten, bevor eine Steigerung der Belastung durch die Erhöhung der Laufband-Steigung um 2,5 % pro Stufe erfolgte.

Tab. 74: Häufigkeitsverteilung der maximalen Laufband-Geschwindigkeit der männlichen Patienten im Walking-Test auf dem Laufband (N=46)

Geschwindigkeit (km/h)	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
5,0	2	4,3	4,3
5,5	0	0	4,3
6,0	3	6,5	10,9
6,5	14	30,4	41,3
7,0	18	39,1	80,4
7,5	6	13,0	93,5
8,0	3	6,5	100,0

Tab. 75: Häufigkeitsverteilung der maximalen Laufband-Geschwindigkeit der weiblichen Patienten im Walking-Test auf dem Laufband (N=40)

Geschwindigkeit (km/h)	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
5,0	3	7,5	7,5
5,5	3	7,5	15,0
6,0	9	22,5	37,5
6,5	10	25,0	62,5
7,0	14	35,0	97,5
7,5	1	2,5	100,0

Zu den in Tabelle 74 und 75 angegebenen Ergebnissen ist anzumerken, dass nicht alle Patienten nach den genannten maximalen Geschwindigkeiten noch eine weitere Steigerung der Belastung mittels Erhöhung der Laufband-Steigung durchliefen. Einige Patienten beendeten den Test bereits zuvor aufgrund subjektiver Erschöpfung oder anderer Gründe. So brachen 4 männliche Patienten den Test bereits nach der 5 bzw. der 6 km/h-Stufe ab. Lediglich bei einem Patienten wurde aufgrund massiver koordinativer Schwierigkeiten bereits ab der 6 km/h-Stufe die Laufband-Steigung statt der Geschwindigkeit erhöht. Bei 14 der getesteten Patienten wurde ab 6,5 km/h keine weitere Steigerung der Geschwindigkeit vorgenommen. Bei 4 dieser 14 Patienten war die Ursache ein vorzeitiger Testabbruch, bei weiteren 7 Patienten wurde zu Beginn der Testserie aus Gründen eines behutsamen Herantastens an die mögliche maximale Walking-Geschwindigkeit von Reha-Patienten recht früh die Belastung über die Laufband-Steigung erhöht, d.h. rückblickend wären diese 7 Patienten durchaus in der Lage gewesen, die 7 km/h-Stufe mittels Walking-Technik zu bewältigen. Nur bei 3 Patienten war die Ursache für eine recht frühe Erhöhung der Belastung über den Faktor Laufband-Steigung mangelnde Koordination oder auch fehlende Bereitschaft des Patienten, eine höhere Geschwindigkeit mittels Walking-Technik zu bewältigen. Von den 6 weiblichen Patienten mit einer maximalen Laufband-Geschwindigkeit von unter 6 km/h wurde lediglich bei 2 Patientinnen die Steigung aufgrund koordinativer Probleme vorzeitig erhöht. Die restlichen 4 Patientinnen beendeten den Test vorzeitig.

2.3.5 Diskussion und Fazit

Aus den Vorstudien (Frenzel 2002; Härtel & Ludwig 2002) ging bereits hervor, dass der Test zur Erfassung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit bei Älteren und bei Personen ohne sportliche Vorerfahrungen gut geeignet ist. Auch beim erstmaligen Einsatz bei Reha-Patienten erwies sich der Walking-Test auf dem Laufband als sehr praktikabel.

Aus Tabelle 71 wurde ersichtlich, dass die Patienten vor Erhöhung der Laufbandsteigung lediglich bei 81,7 % ihrer VO_2 max bzw. bei 73,1 % ihrer maximalen Herzschlagfrequenz lagen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit der an-

schließenden Steigerung der Belastung mittels einer Erhöhung der Laufbandsteigung. Die Analyse der von den Patienten koordinativ einfach zu bewältigenden Geschwindigkeiten (vgl. Tab. 74 und 75) führte schließlich zur Festlegung eines standardisierten Belastungsprotokolls für Männer und Frauen, das in den Tabellen 76 und 77 dargestellt ist.

In Ausnahmefällen bietet es sich trotz der gewünschten Standardisierung an, bei besonders leistungsschwachen, adipösen oder koordinativ überforderten männlichen Patienten das für weibliche Patienten entwickelte Belastungsprotokoll einzusetzen, bei dem bereits bei einer Geschwindigkeit von 6 km/h die Steigung des Laufbandes erhöht wird. Auch bei koordinativ überforderten Patientinnen kann gegebenenfalls bereits bei einer geringeren Geschwindigkeit die Belastung über die Laufband-Steigung erhöht werden.

Tab. 76: Endgültiges Belastungsprotokoll für den Walking-Test auf dem Laufband für Männer

Stufe	Geschwindigkeit	Steigung	Dauer
0	3 & 4 km/h	1 %	1 & 1 min
1	5 km/h	1 %	2 min
2	6 km/h	1 %	2 min
3	7 km/h	1 %	2 min
4	7 km/h	3,5 %	2 min
5	7 km/h	6 %	2 min
6	7 km/h	8,5 %	2 min
7	7 km/h	11 %	2 min
8	7 km/h	13,5 %	2 min
9	7 km/h	16 %	2 min
10	7 km/h	18,5 %	2 min

Tab. 77: Endgültiges Belastungsprotokoll für den Walking-Test auf dem Laufband für Frauen

Stufe	Geschwindigkeit	Steigung	Dauer
0	3 & 4 km/h	1 %	1 & 1 min
1	5 km/h	1 %	2 min
2	5,5 km/h	1 %	2 min
3	6 km/h	1 %	2 min
4	6 km/h	3,5 %	2 min
5	6 km/h	6 %	2 min
6	6 km/h	8,5 %	2 min
7	6 km/h	11 %	2 min
8	6 km/h	13,5 %	2 min
9	6 km/h	16 %	2 min
10	6 km/h	18,5 %	2 min

Bei der Kombination aus Steigerung der Laufbandgeschwindigkeit und anschließender Erhöhung der Laufbandsteigung konnte in einer gut überwachbaren Testsituation in 67 der 86 Fälle (77,9 %) eine Ausbelastung erzielt werden.

In Anbetracht der Tatsache, dass es sich hierbei um eine Patientenstudie handelte, ist diese Zahl außerordentlich positiv zu bewerten.

Die durchschnittliche Testdauer betrug in dieser Studie 16,89 Minuten. Nach der oben dargestellten Standardisierung der Testprotokolle verkürzt sich die Belastungsdauer im Vergleich zu dem hier angewandten Protokoll um etwa 2 Belastungsstufen und somit um etwa 4 Minuten. Berücksichtigt man die an den erfassten $VO_2\text{max}$ -Werten (vgl. Tab. 68-70) erkennbare Tatsache, dass es sich bei der hier untersuchten Stichprobe um überdurchschnittlich leistungsfähige Reha-Patienten handelt, so kann man davon ausgehen, dass die durchschnittliche Testdauer im klinischen Alltag noch etwas niedriger anzusetzen ist. Die mittlere Testdauer dürfte somit im Bereich der laut Löllgen (1995, vgl. S. 56) für eine Ergometrie optimalen Testdauer von 10-12 Minuten liegen. Die von Dickhuth (2000, vgl. S. 202) zur Bestimmung der aeroben Kapazität angegebenen Belastungszeiten von 10-20 Minuten oder kürzer werden mit dem entwickelten Testprotokoll in fast allen Fällen eingehalten.

2.4 Bewertung der Ergebnisse des Walking-Tests auf dem Laufband

2.4.1 Einleitung

Die Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit anhand der in einem Belastungstest erzielten Ergebnisse kann mittels maximaler Sauerstoffaufnahme oder über die Analyse der Laktatschwellen erfolgen. Beides erfordert allerdings einen recht hohen apparativen bzw. organisatorischen Aufwand. Grundsätzlich stellt dagegen die erzielte maximale Leistung eine sehr einfache und zuverlässige Messgröße dar. Voraussetzung hierfür ist jedoch wie bei der Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme, dass eine objektive Ausbelastung des Probanden oder Patienten stattgefunden hat. Während die erzielte Leistung bei modernen, drehzahlunabhängigen Fahrradergometern einfach als absolute Größe in Watt eingestellt bzw. abgelesen werden kann, muss die auf dem Laufband erbrachte Leistung in Watt umgerechnet werden. Dies erfolgt oft mittels der Formel

$$W = G \cdot v \cdot \sin \alpha$$

(mit G = Körpermasse ($9,81 \text{ m/s} \cdot$ Körpergewicht in kg), v = Laufband-Geschwindigkeit in m/s und α = Steigungswinkel in Grad) (vgl. u.a. Dickhuth, 2000; Löllgen, 2005). Die Berechnung der auf dem Laufband erbrachten Leistung mit Hilfe dieser einfachen physikalischen Formel ist jedoch kritisch zu bewerten, da die jeweilige Lauf- bzw. Geh-Technik mit den Komponenten Schrittlänge, -frequenz und Hubhöhe der Beine keine Beachtung findet. Im folgenden Kapitel werden daher verschiedene komplexere Formeln zur Um-

rechnung von auf dem Laufband erbrachten Leistungen in Watt vorgestellt und bewertet.

Neben einem physikalischen Vergleich der Leistungen auf dem Fahrradergometer und dem Laufband bietet sich ein Vergleich der beiden Belastungen mittels physiologischer Parameter an. In einer eigenen Studie wurde daher die Belastung während eines klassischen Stufentests auf dem Fahrradergometer mit den Belastungen während des Walking-Tests auf dem Laufband anhand der jeweiligen Sauerstoffaufnahme verglichen (vgl. Kap. II-2.4.3). Eine Umrechnung der im Walking-Test auf dem Laufband erbrachten Leistung in Watt ermöglicht eine einfache Bewertung der Ergebnisse, da für diese Größen orientierende Normwertbereiche vorliegen (vgl. Kapitel II-2.4.4).

2.4.2 Umrechnung der Leistung auf dem Laufband in Watt

Nach Nowacki (1981, S. 259) leitet sich die Formel zur Berechnung der auf dem Laufband erzielten Formel in Watt aus den allgemein gültigen Gesetzen der schiefen Ebene her und beinhaltet folglich die Parameter Körpergewicht, Laufband-Geschwindigkeit und Neigungswinkel des Laufbandes. Die entsprechende Formel lautet:

$$\text{Leistung (P) in Watt} = m \cdot g \cdot v \cdot \sin \alpha$$

(mit m = Körpermasse in kg, g = Erdbeschleunigung, die im Gravitationsfeld der Erde $9,81 \text{ m/s}^2$ beträgt, v = Geschwindigkeit in m/s, α = Steigungswinkel in Grad). Häufig wird die Formel vereinfacht dargestellt mit:

$$P = G \cdot v \cdot \sin \alpha$$

Dabei wird „G“ oft etwas verwirrend mit „Körpermasse in kg“ statt mit „Gewichtskraft“ bezeichnet (z.B. Löllgen, 2005, S. 240 und Dickhuth, 2000, S. 195). Beim Umrechnen der auf dem Laufband erzielten Leistung in Watt ergeben sich dann unter Umständen durch die Tatsache, dass der Faktor $9,81 \text{ m/s}^2$ für die Erdbeschleunigung vergessen wird, fehlerhafte Werte.

Eine weitere Umrechnungsformel publizierten Cooper und Storer (2001, S. 28). Sie lautet:

$$P = 0,1634 \cdot v \cdot (100/n) \cdot m$$

(mit v = Geschwindigkeit in m/min, m = Körpermasse in kg, n = Steigung des Laufbandes in %). Diese auf den ersten Blick abweichende Formel entspricht jedoch im Wesentlichen der Formel Nowackis (1981, S. 259) mit veränderten Einheiten. So ergibt sich der Faktor von 0,1634 lediglich durch die Einberechnung der Erdbeschleunigung sowie der Umwandlung der Einheit m/s in die Einheit m/min. Außerdem berechnen Cooper und Storer die Laufband-Steigung in Prozent.

Darüber hinaus konnten über Laufbandhersteller zwei mittels Regressionsanalyse aufgestellte Umrechnungen recherchiert werden. So verwendet die Firma Woodway GmbH eine von Schulz¹ (o.J.) erstellte Formel:

$$P = (1,065 + 0,0511 \cdot n + 9,322 \cdot 10^{-4} \cdot n) \cdot v \cdot m/4$$

Der Laufbandhersteller h/p/cosmos sports & medical gmbh errechnet die auf dem Laufband erbrachte Leistung in Watt mittels einer von Eschenbacher¹ (o.J.) entwickelten Formel:

$$P = (m \cdot v \cdot (2,11 + 0,25 \cdot n) + 2,2 \cdot m - 151) / 10,5$$

(beide Gleichungen mit n = Steigung des Laufbandes in %, v = Geschwindigkeit in km/h, m = Körpermasse in kg). Genauere Informationen zu Entstehungsjahr und zugrunde liegenden Untersuchungen konnten bezüglich beider Umrechnungsformeln nicht gewonnen werden. Die Firma h/p/cosmos sports & medical gmbh weist im Zusammenhang mit der Formel explizit noch einmal darauf hin, dass es sich bei dieser Umrechnung um rechnerische Schätzwerte handelt und dass die Belastung auf dem Laufband physikalisch korrekt nur in Geschwindigkeit und Steigungswinkel angezeigt werden kann. Eine genaue Berechnung ist laut h/p/cosmos sports & medical gmbh aufgrund der Fülle von Faktoren, die den Wirkungsgrad beeinflussen und nicht in einer Umrechnungsformel berücksichtigt werden können, nicht möglich.

Die grundsätzliche Problematik der Umrechnung von Laufbandleistungen in Watt ist offensichtlich, wenn man die Formeln nach Nowacki (1981) oder Cooper und Storer (2001) bei einer Belastung ohne Steigung, d.h. bei 0 Grad oder 0 %, verwendet. Die resultierende Leistung wäre demnach unabhängig von der bewältigten Geschwindigkeit rein rechnerisch 0 Watt (vgl. Heck, 1990). Zwar wird immer eine gewisse Höhendifferenz zurückgelegt, indem mit jedem Schritt der Körper angehoben wird, allerdings ist diese Höhe wie der gesamte Bewegungsstil von Mensch zu Mensch unterschiedlich. Der resultierende Wirkungsgrad ist zusätzlich abhängig von der Geschwindigkeit, der Belastungsart (Gehen oder Laufen), der Körpergröße, dem Körpergewicht, der Gewichtsverteilung, der Schrittlänge, der Schrittfrequenz, der Schritthöhe, dem Laufstil und der damit verbundenen Laufökonomie. Folglich kann es sich bei den ermittelten Formeln nur um „Schätzformeln“ handeln, die grobe Richtwerte liefern.

¹ Die Formeln von Schulz und Eschenbacher wurden von den Laufbandherstellern Woodway GmbH und h/p/cosmos sports & medical gmbh zur Verfügung gestellt und sind nach Angaben dieser Firmen nicht publiziert. Dementsprechend sind beide Personen nicht im Literaturverzeichnis aufgelistet.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass 3 verschiedene „Schätzformeln“ zur Berechnung der Laufbandleistung in Watt ermittelt werden konnten. Da die häufig in Fach- oder Lehrbüchern (u.a. Dickhuth, 2000 und Löllgen, 2005) angegebene Formel sowie die Formel von Cooper und Storer (2001) mit der Formel von Nowacki (1981) gleichzusetzen sind, werden diese im Folgenden zusammenfassend als „Formel nach Nowacki“ bezeichnet. Mit Hilfe dieser sowie der von den Laufbandherstellern Woodway GmbH und h/p/cosmos sports & medical gmbh stammenden bzw. ermittelten Formeln von Schulz und Eschenbacher wurden für die einzelnen Belastungsstufen des neu entwickelten Walking-Tests auf dem Laufband exemplarisch für männliche Personen mit einem Körpergewicht von 75 kg die entsprechenden Wattzahlen berechnet (vgl. Tab. 78).

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse dieser Umrechnung noch einmal grafisch dargestellt. Dabei ist deutlich ersichtlich, dass sich bei der Anwendung der Nowacki-Formel für die ersten 4 Stufen, bei denen die Laufband-Steigung konstant 1 % beträgt, sehr niedrige Wattzahlen ergeben. Mit Zunahme der Steigung ab der 5. Stufe steigen die errechneten Wattzahlen dann linear an. Die mit Hilfe der Nowacki-Formel errechneten Werte liegen durchgehend sehr deutlich unter den mit Hilfe der Formeln von Eschenbacher und Schulz errechneten Werten.

Tab. 78: Nach den Formeln von Nowacki, Eschenbacher und Schulz berechnete Wattzahlen für die Belastungsstufen des Walking-Tests auf dem Laufband bei männlichen Personen mit einem Körpergewicht von 75 kg

Stufe	Geschwindigkeit	Steigung	Errechnete Wattzahl nach der Formel von		
			Nowacki	Eschenbacher	Schulz
0	3 / 4 km/h	1 %	8*	69*	84*
1	5 km/h	1 %	10	86	105
2	6 km/h	1 %	12	102	126
3	7 km/h	1 %	14	119	147
4	7 km/h	3,5 %	50	151	165
5	7 km/h	6 %	86	182	184
6	7 km/h	8,5 %	122	213	206
7	7 km/h	11 %	157	244	228
8	7 km/h	13,5 %	193	276	253
9	7 km/h	16 %	228	307	278
10	7 km/h	18,5 %	262	338	306

* Entspricht einer Geschwindigkeit von 4 km/h

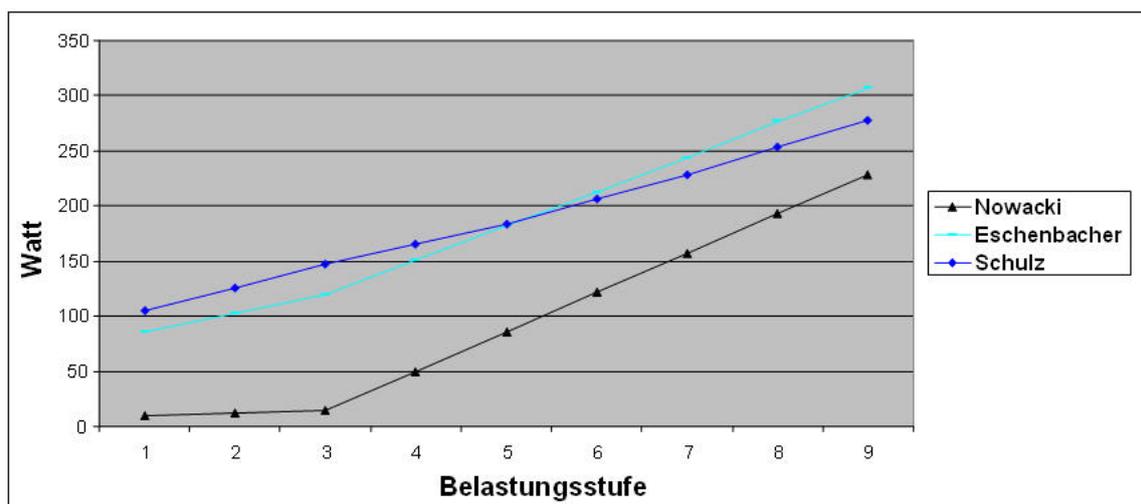


Abb. 8: Vergleich der nach den Formeln von Nowacki, Eschenbacher und Schulz berechneten Wattzahlen für die Belastungsstufen des Walking-Tests auf dem Laufband bei männlichen Personen mit einem Körpergewicht von 75 kg

Aus den Formeln von Eschenbacher und Schulz resultieren recht ähnlich verlaufende Kurven, die annähernd linear verlaufen. Das bedeutet, dass nach diesen beiden Formeln die Steigerung der Geschwindigkeit auf den ersten 4 Teststufen und die anschließende Steigerung der Laufband-Steigung um 2,5 % ab der 5. Belastungsstufe in etwa analoge Belastungs-Inkrementen darstellen. Die nach der Formel von Eschenbacher errechneten Wattzahlen steigen etwas steiler an als bei der Verwendung der Formel von Schulz.

Abschließend sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die vorliegende Recherche bezüglich existierender Umrechnungsformeln von auf dem Laufband erbrachten Leistungen in Watt keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Das Ziel dieses Kapitels war die Darstellung der Problematik bei ebendieser Umrechnung sowie die exemplarische Darstellung von in der Praxis angewendeten Formeln.

Inwieweit nun die hier rechnerisch ermittelten Werte tatsächlich anwendbar sind, soll im nachfolgenden Kapitel analysiert werden. Hierzu wurde mittels so genannter „biologischer Eichung“ ein Vergleich der Belastungen auf dem Fahrradergometer und dem Laufband durchgeführt.

2.4.3 Vergleich der Leistung auf dem Laufband und dem Fahrradergometer mittels spiroergometrischer Analysen

2.4.3.1 Einleitung

Um die im vorangegangenen Kapitel dargestellten „Schätzformeln“ zur Umrechnung der auf dem Laufband erbrachten Leistung in Watt zu überprüfen bietet es sich an, eine spiroergometrische Vergleichsuntersuchung durchzuführen. Hierbei werden die beiden verschiedenen Belastungsarten anhand der

auf den einzelnen Belastungsstufen erfassten biologischen Parameter miteinander verglichen. Dies bezeichnet man auch als „biologische Eichung“. Wichtigster Parameter ist neben den am Ende der einzelnen Belastungsstufen erfassten Herzschlagfrequenzen und Laktatkonzentrationen vor allem die jeweilige Sauerstoffaufnahme, über die die einzelnen Belastungsstufen direkt miteinander verglichen werden können.

2.4.3.2 Stichprobe

An der Studie zum Vergleich der Leistung auf dem Laufband und dem Fahrradergometer mittels spiroergometrischer Analysen nahmen 10 männliche Sportstudierende des Instituts für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH) teil. Alle Probanden betrieben den im Rahmen ihres Studiums üblichen Sport, ohne in einer bestimmten Sportart Leistungssportler zu sein. Da die auf dem Laufband erbrachte Leistung sehr stark vom jeweiligen Körpergewicht abhängig ist, wurde bei der Auswahl der Stichprobe auf eine möglichst homogene Gruppe Wert gelegt (vgl. Tab. 79).

Tab. 79: Stichprobe zur Überprüfung der aus dem Walking-Test auf dem Laufband errechneten Wattzahlen mittels spiroergometrischer Analysen (N=10, nur Männer)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (Jahre)	10	21	28	26,3	2,16
Größe (m)	10	1,77	1,91	1,82	,05
Gewicht (kg)	10	71	81	75,6	3,7
BMI (kg/m ²)	10	21,0	23,4	22,2	1,0

2.4.3.3 Methodik

Die Untersuchung zum Vergleich der Leistung auf dem Laufband und dem Fahrradergometer mittels spiroergometrischer Analysen erfolgte im Juli und August des Jahres 2006 am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH). Die 10 Probanden wurden angewiesen, 24 Stunden vor dem jeweiligen Belastungstest intensive Belastungen zu vermeiden. Die Untersuchungen auf dem Fahrradergometer und dem Laufband erfolgten in zufälliger Reihenfolge im Abstand von etwa 48 Stunden. Dies gewährleistete einen erholteten Zustand zu Testbeginn und einen Ausschluss möglicher Trainingseinflüsse. Um tageszeitbedingte rhythmische Schwankungen zu minimieren, fanden die Tests eines Probanden jeweils zur gleichen Uhrzeit statt. Vor den Belastungstests wurde von den Probanden ein Anamnesebogen ausgefüllt, um etwaige Erkrankungen oder Risikofaktoren auszuschließen.

Die Untersuchung auf dem Fahrradergometer erfolgte in Anlehnung an das standardisierte Belastungsschema der WHO (vgl. Rost, 2001, S. 53), das eine Anfangslast von 25 Watt und eine Steigerung von 25 Watt pro Stufe bei einer

Stufendauer von jeweils 2 Minuten vorsieht. Löllgen (2005, S. 244) nennt als Empfehlung für die Bereiche der Klinik, der Praxis, für die Arbeitsmedizin sowie für die „Routineergometrie“ eine Anfangslast von 50 Watt. Am Ende jeder Stufe wurden die Parameter Sauerstoffaufnahme, Herzschlagfrequenz sowie die Laktatkonzentration bestimmt. Der Testabbruch erfolgte symptomlimitiert oder aufgrund subjektiver Erschöpfung.



Abb. 9: Proband auf dem Fahrradergometer beim Vergleich der Leistung auf dem Laufband und dem Fahrradergometer mittels spiroergometrischer Analysen (aus Schlenker, 2006)

Die Laufbanduntersuchung erfolgte nach dem in Tabelle 76 dargestellten Belastungsprotokoll für männliche Probanden bzw. Patienten. Auch hier wurden die Parameter Herzschlagfrequenz und Sauerstoffaufnahme am Ende jeder Belastungsstufe erfasst. Zur Bestimmung der Laktatkonzentrationen erfolgte eine standardisierte Pause von 20 Sekunden zwischen den einzelnen Stufen. Wie beim Fahrradergometertest hatten die Probanden die Aufgabe, sich maximal zu belasten, d.h. der Testabbruch erfolgte symptomlimitiert oder aufgrund subjektiver Erschöpfung. Ausbelastungskriterien waren Herzschlagfrequenzen von mindestens „200 minus Lebensalter“, Atemäquivalente >30 , Laktatwerte >5 mmol/l und Respiratorische Quotienten >1 (vgl. Löllgen, 2005) oder ein Levelling-off der Sauerstoffaufnahme (Hollmann et al., 2006).



Abb. 10: Proband auf dem Laufband beim Vergleich der Leistung auf dem Laufband und dem Fahrradergometer mittels spirometrischer Analysen (aus Schlenker, 2006)

Tabelle 80 zeigt zum besseren Verständnis der im nachfolgenden Kapitel dargestellten Ergebnisse noch einmal die für den Fahrradergometertest und den Walking-Test auf dem Laufband verwendeten Belastungsprotokolle.

Tab. 80: Zum Vergleich der Leistung auf dem Laufband und dem Fahrradergometer mittels spirometrischer Analysen verwendete Belastungsprotokolle

Stufe	Fahrradergometer	Laufband	
	Watt	Geschwindigkeit	Steigung
0	--	3 / 4 km/h	1 %
1	50	5 km/h	1 %
2	75	6 km/h	1 %
3	100	7 km/h	1 %
4	125	7 km/h	3,5 %
5	150	7 km/h	6 %
6	175	7 km/h	8,5 %
7	200	7 km/h	11 %
8	225	7 km/h	13,5 %
9	250	7 km/h	16 %
10	275	7 km/h	18,5 %

Der Fahrradergometer-Test wurde auf einem drehzahlunabhängigen Ergometer der Firma Ergo Bike, Modell „8008 TRS“, durchgeführt. Der Walking-Test erfolgte auf einem Laufband der Firma Woodway GmbH, Weil am Rhein, Modell „PPSmed L 70“. Zur Entnahme der Blutproben wurden 20 µl end-to-end-Kapillaren verwendet. Die Bestimmung der Laktatkonzentrationen erfolgte mittels „BIOSEN C_line Sport“ der Firma EKF-diagnostic GmbH, Barleben/Magdeburg. Zur Erfassung der spiroergometrischen Parameter wurde das portable System „MetaMax 3B“ der Firma Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, verwendet. Die Erfassung der Herzschlagfrequenzen erfolgte über Pulsuhren der Firma Polar, „Modell RS400“.

2.4.3.4 Ergebnisse

In Tabelle 81 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen sowie die Mittelwertsunterschiede der absoluten Sauerstoffaufnahme für die einzelnen Stufen des Walking- bzw. des Fahrradergometer-Tests dargestellt. Tabelle 82 zeigt die entsprechenden Werte für die körpertgewichtsbezogene relative Sauerstoffaufnahme. Dabei wurde die erste Stufe des Fahrradergometer-Tests mit einer Last von 50 Watt der ersten Stufe des Walking-Tests auf dem Laufband gegenübergestellt, d.h. die Eingewöhnungsstufe des Laufbandtests mit einer Geschwindigkeit von 3 bzw. 4 km/h wurde nicht berücksichtigt. Die Überprüfung der Mittelwertsunterschiede zeigt bezüglich der absoluten Sauerstoffaufnahme für die Werte der 6., 7. und 9. Stufe signifikante Unterschiede. Das Gleiche gilt entsprechend für die Werte der körpertgewichtsbezogenen relativen Sauerstoffaufnahme.

Tab. 81: Mittelwerte, Standardabweichungen und Mittelwertsunterschiede der auf den einzelnen Stufen des Fahrrad- und des Laufbandtests erfassten absoluten Sauerstoffaufnahmewerte

Stufe	Fahrrad abs. VO ₂ (l/min)		Laufband abs. VO ₂ (l/min)		Mittelwertsunterschied		
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	t	df	p
Vorstart	0,41	0,12	0,42	0,09	-0.38	9	.71
1*	0,99	0,10	0,97	0,08	0.46	9	.65
2	1,20	0,13	1,17	0,08	0.70	9	.50
3	1,44	0,11	1,51	0,09	-1.95	9	.08
4	1,73	0,10	1,74	0,13	-0.49	9	.64
5	1,98	0,09	2,04	0,13	-1.35	9	.21
6	2,26	0,12	2,36	0,15	-2.44	9	.04
7	2,55	0,13	2,71	0,20	-3.04	9	.01
8	2,90	0,14	3,07	0,17	-2.11	8	.07
9	3,17	0,18	3,39	0,17	-3.63	7	.01
10	3,58	0,15	3,75	0,21	-2.17	4	.10

* Die Einführungsstufe (Stufe 0, vgl. Tab. 58) des Walking-Tests wurde bei diesem Vergleich nicht berücksichtigt, d.h. Stufe 1 entspricht 5 km/h (Steigung 1 %). Dies gilt für alle in diesem Kapitel aufgeführten Tabellen und Abbildungen.

Tab. 82: Mittelwerte, Standardabweichungen und Mittelwertsunterschiede der auf den einzelnen Stufen des Fahrrad- und des Laufbandtests erfassten relativen Sauerstoffaufnahme.

Stufe	Fahrrad rel. VO ₂ (ml/min/kg)		Laufband rel. VO ₂ (ml/min/kg)		Mittelwertsunterschied		
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	t	df	p
Vorstart	5,39	1,45	5,60	1,14	-0.44	9	.67
1	13,18	1,54	12,94	1,18	0.47	9	.65
2	16,10	1,95	15,65	1,17	0.73	9	.48
3	19,27	1,42	20,15	1,23	-1.92	9	.09
4	23,04	0,98	23,27	1,68	-0.52	9	.62
5	26,47	1,78	27,22	1,67	-1.29	9	.23
6	30,26	2,25	31,54	2,01	-2.45	9	.04
7	33,99	2,06	36,20	2,61	-3.14	9	.01
8	38,73	2,49	40,59	1,60	-2.12	8	.07
9	42,30	2,31	44,98	1,71	-3.76	7	.01
10	47,42	3,08	49,68	3,26	-2.24	4	.09

Die geringen Unterschiede bezüglich der Sauerstoffaufnahme sind auch aus Abbildung 11 ersichtlich. Erst ab Stufe 6 verläuft die relative Sauerstoffaufnahme während des Fahrradergometertests leicht unterhalb der zum Walking-Test auf dem Laufband gehörenden Kurve.

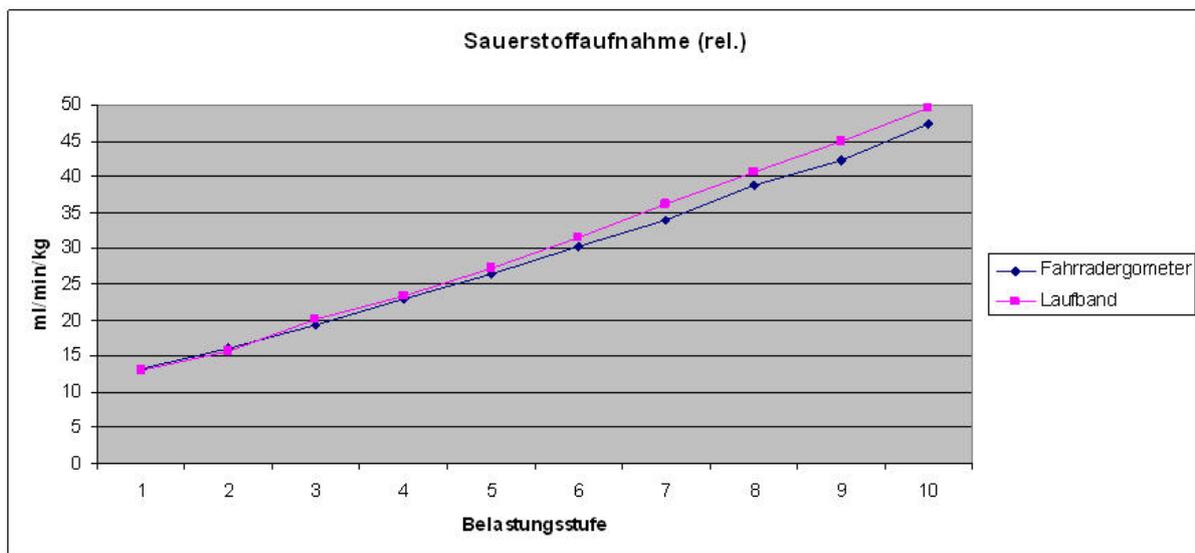


Abb. 11: Vergleich der mittleren relativen Sauerstoffaufnahme auf dem Fahrradergometer und dem Laufband (N=10)

Der Vergleich der durchschnittlich auf den einzelnen Stufen erfassten Herzschlagfrequenzen ist in Tabelle 83 dargestellt. Hier zeigen sich nur für die Werte der ersten Belastungsstufe bei 50 Watt bzw. 5 km/h und 1 % Steigung signifikante Mittelwertsunterschiede. Das sehr ähnliche Herzfrequenz-Verhalten während der beiden Belastungsarten ist auch aus Abbildung 12 ersichtlich.

Tab. 83: Mittelwerte, Standardabweichungen und Mittelwertsunterschiede der auf den einzelnen Stufen des Fahrrad- und des Laufbandtests erfassten Herzschlagfrequenzen

Stufe	Fahrrad HF (S/min)		Laufband HF (S/min)		Mittelwertsunterschied		
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	t	df	p
Vorstart	81,7	7,59	78,2	9,96	1.87	9	.10
1	99,4	5,54	92,1	8,05	3.07	9	.01
2	106,1	5,99	100,2	9,44	2.17	9	.06
3	115,7	6,11	110,8	10,56	1.65	9	.13
4	124,6	7,73	118,2	10,75	1.62	9	.14
5	132,9	9,19	128,7	12,3	1.10	9	.30
6	145,2	9,8	140	13,06	1.55	9	.16
7	155,4	9,47	152,2	12,28	1.14	9	.28
8	163,8	8,22	160,9	10,95	1.10	8	.31
9	172,5	7,23	170,5	10,85	0.96	7	.37
10	177,6	6,31	176,4	10,78	0.94	4	.40

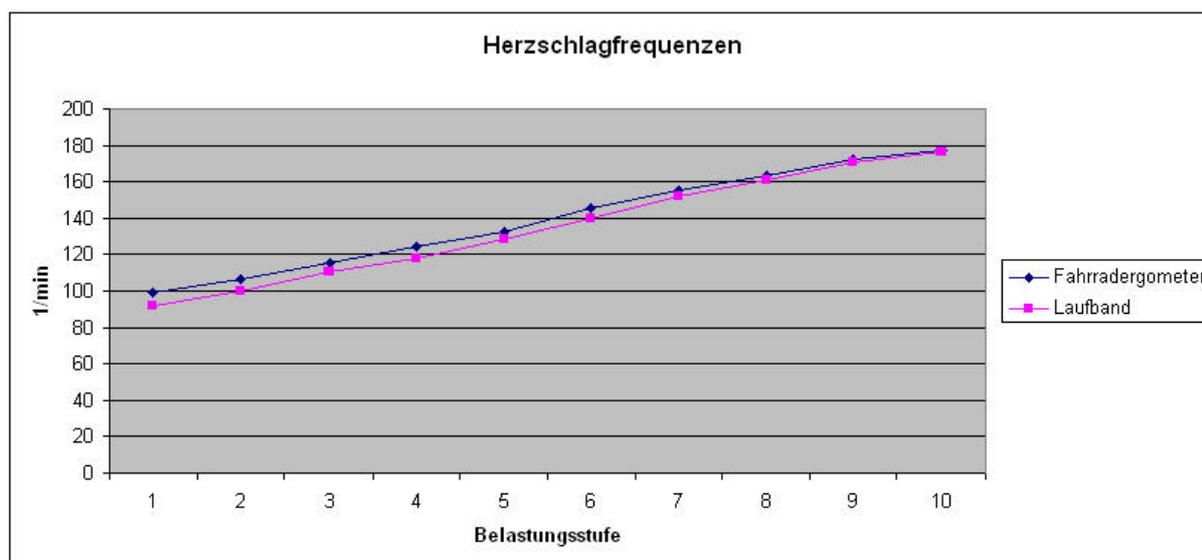


Abb. 12: Vergleich der mittleren Herzschlagfrequenzen auf dem Fahrradergometer und dem Laufband (N=10)

Der in Tabelle 84 dargestellte Vergleich der durchschnittlich auf den einzelnen Stufen erfassten Laktatkonzentrationen zeigt ein etwas anderes Bild. Hier bestehen signifikante Mittelwertsunterschiede auf den Stufen 7, 8, und 9, d.h. die Laktatkonzentrationen während des Fahrradergometertest liegen ab Stufe 7 signifikant über den durchschnittlich während des Walking-Stufentests auf dem Laufband erfassten Werten. Dies ist deutlich anhand der in Abbildung 13 dargestellten Kurvenverläufe ersichtlich.

Tab. 84: Mittelwerte, Standardabweichungen und Mittelwertsunterschiede der auf den einzelnen Stufen des Fahrrad- und des Laufbandtests erfassten Laktatkonzentrationen

Stufe	Fahrrad Laktat (mmol/l)		Laufband Laktat (mmol/l)		Mittelwertsunterschied		
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	t	df	p
Vorstart	1,23	0,41	1,34	0,5	-0.58	9	.58
1	1,24	0,28	1,39	0,51	-0.78	9	.47
2	1,32	0,34	1,35	0,43	-0.16	9	.88
3	1,55	0,41	1,49	0,42	0.32	9	.75
4	1,81	0,58	1,62	0,6	0.80	9	.44
5	2,23	0,76	2,1	0,79	0.42	9	.69
6	2,87	0,85	2,46	0,99	1.09	9	.30
7	4,09	1,25	3,1	0,99	2.21	9	.05
8	5,56	1,5	3,98	1,24	2.45	8	.04
9	7,56	2,01	5,52	1,7	2.61	7	.04
10	9,19	2,28	6,71	2,03	2.08	4	.11

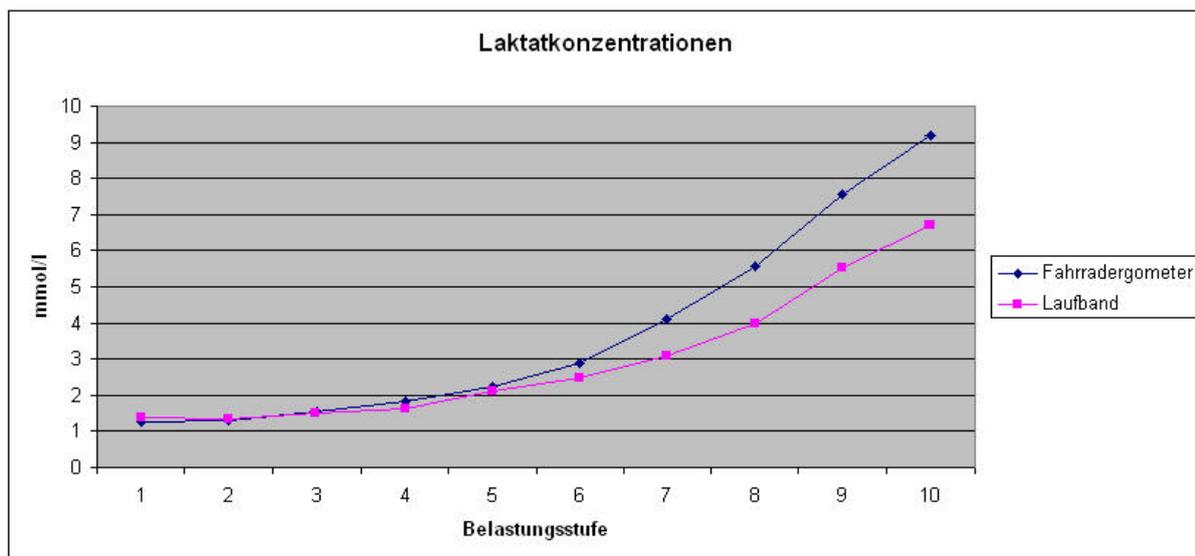


Abb. 13: Vergleich der mittleren Laktatkonzentrationen auf dem Fahrradergometer und dem Laufband (N=10)

2.4.3.5 Diskussion und Fazit

Laut Dickhuth (2000, vgl. S. 195) kann unter praktischen Gesichtspunkten am einfachsten über die relative Sauerstoffaufnahme eines gesunden Kollektivs die Vergleichbarkeit verschiedener Belastungsprotokolle überprüft werden. Demzufolge kann nach den in dieser Untersuchung ermittelten Werten bezüglich der relativen Sauerstoffaufnahme (vgl. Tab. 82 und Abb. 11) davon ausgegangen werden, dass die physiologischen Belastungen auf den Stufen des neu entwickelten Walking-Tests auf dem Laufband prinzipiell mit den Belastungen während des Fahrradergometertests nach dem WHO-Schema vergleichbar sind. Dies gilt zunächst jedoch nur für das hier untersuchte Kollektiv gesunder männlicher Probanden mit einem Körpergewicht von etwa 75 kg.

Vergleicht man dieses Ergebnis mit den in Kapitel II-2.4.2 in Tabelle 78 und Abbildung 8 dargestellten Werten, die mittels der Umrechnungsformeln von Nowacki, Eschenbacher und Schulz bestimmt wurden, so zeigen sich deutliche Unterschiede (vgl. Tab. 85 und Abb. 14).

Tab. 85: Nach den Formeln von Nowacki, Eschenbacher und Schulz berechnete sowie eigene Wattzahlen für die Belastungsstufen des Walking-Tests auf dem Laufband bei männlichen Personen mit einem Körpergewicht von 75 kg

Stufe	Geschwindigkeit	Steigung	Errechnete Wattzahl nach der Formel von			Eigene Werte
			Nowacki	Eschenbacher	Schulz	
1	5 km/h	1 %	10	86	105	50
2	6 km/h	1 %	12	102	126	75
3	7 km/h	1 %	14	119	147	100
4	7 km/h	3,5 %	50	151	165	125
5	7 km/h	6 %	86	182	184	150
6	7 km/h	8,5 %	122	213	206	175
7	7 km/h	11 %	157	244	228	200
8	7 km/h	13,5 %	193	276	253	225
9	7 km/h	16 %	228	307	278	250
10	7 km/h	18,5 %	262	338	306	275

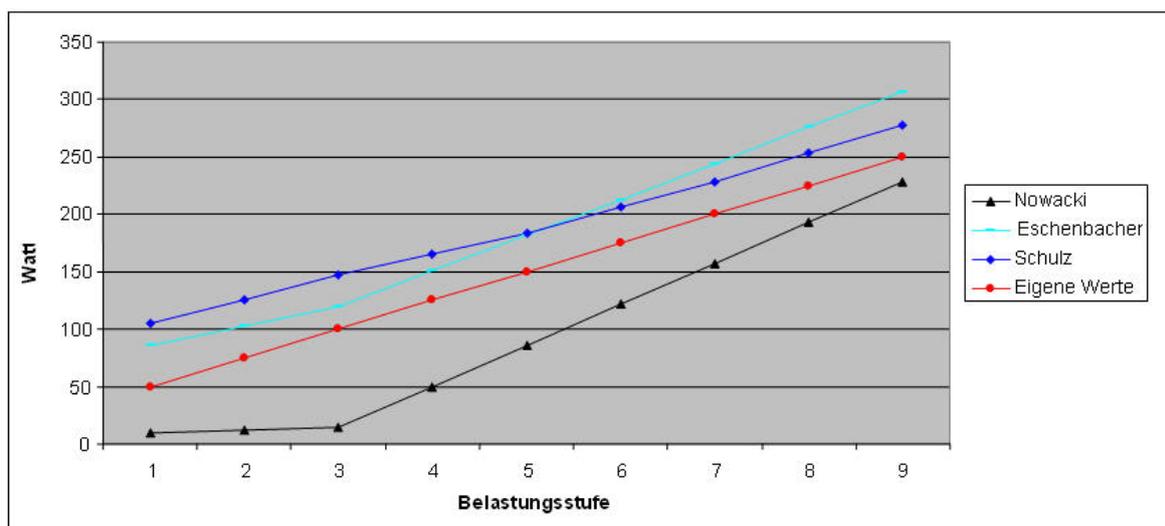


Abb. 14: Nach den Formeln von Nowacki, Eschenbacher und Schulz berechnete sowie eigene Wattzahlen für die Belastungsstufen des Walking-Tests auf dem Laufband bei männlichen Personen mit einem Körpergewicht von 75 kg

Aus der durchgeführten Vergleichsuntersuchung resultieren Werte, die durchgehend oberhalb der aus der Nowacki-Formel errechneten Werte und permanent unterhalb der mittels der Formeln von Schulz und Eschenbacher ermittelten Wattzahlen liegen. Anhand der auf den einzelnen Belastungsstufen erfassten Sauerstoffaufnahme konnte festgestellt werden, dass ein nichtlinearer Verlauf – wie in der Nowacki-Kurve dargestellt – nicht dem tatsächlichen Belastungsverlauf des Walking-Tests auf dem Laufband gerecht wird. Die aus den Formeln von Eschenbacher und Schulz berechneten Wattzahlen erscheinen besonders auf den ersten Stufen etwas zu hoch, denn eine Belastung von 5

bzw. 6 km/h bei einer Steigung von 1 % wirkt bei einer nicht sportartspezifisch trainierten Person weniger intensiv als eine Belastung von über 100 Watt auf dem Fahrradergometer.

Somit kann zusammenfassend festgestellt werden, dass nach den vorliegenden Ergebnissen das Protokoll des Walking-Tests auf dem Laufband mit dem Fahrradergometertest nach dem Belastungsschema der WHO im Hinblick auf die physiologische Belastungsreaktion vergleichbar ist und folglich einen linearen Belastungsanstieg aufweist. Um vom Körpergewicht unabhängige Richtwerte zu erhalten, empfiehlt sich eine Angabe der erzielten Leistung in Watt pro kg. Tabelle 86 zeigt die nach diesem Schema errechneten körpergewichtsbezogenen Wattwerte, die den einzelnen Belastungsstufen des Walking-Tests auf dem Laufband entsprechen.

Tab. 86: In Watt/kg umgerechnete Leistung (Belastungsprotokoll Männer)

Stufe	Geschwindigkeit	Steigung	Leistung in Watt/kg (eigene Werte)
1	5 km/h	1 %	0,67
2	6 km/h	1 %	1,00
3	7 km/h	1 %	1,33
4	7 km/h	3,5 %	1,67
5	7 km/h	6 %	2,00
6	7 km/h	8,5 %	2,33
7	7 km/h	11 %	2,67
8	7 km/h	13,5 %	3,00
9	7 km/h	16 %	3,33
10	7 km/h	18,5 %	3,67

Für die einzelnen Belastungsstufen des Walking-Tests auf dem Laufband für Frauen ergeben sich die aus Tabelle 87 ersichtlichen körpergewichtsbezogenen Wattwerte.

Tab. 87: In Watt/kg umgerechnete Leistung (Belastungsprotokoll Frauen)

Stufe	Geschwindigkeit	Steigung	Leistung in Watt/kg (eigene Werte)
1	5 km/h	1 %	0,67
2	5,5 km/h	1 %	0,83
3	6 km/h	1 %	1,00
4	6 km/h	3,5 %	1,33
5	6 km/h	6 %	1,67
6	6 km/h	8,5 %	2,00
7	6 km/h	11 %	2,33
8	6 km/h	13,5 %	2,67
9	6 km/h	16 %	3,00
10	6 km/h	18,5 %	3,33

Eine mögliche Bewertung der in Watt/kg umgerechneten maximalen Leistung, die im Walking-Test auf dem Laufband erbracht wurde, ist im folgenden Kapitel dargestellt.

2.4.4 Beurteilung der Ergebnisse

Es bestehen insgesamt drei verschiedene Möglichkeiten, die im Walking-Test auf dem Laufband erzielten Ergebnisse zu beurteilen. So kann man das neu entwickelte Belastungsprotokoll beispielsweise zur Durchführung eines Laktatstufen-Tests verwenden (vgl. Lang, 2006) und die erzielte Leistung anhand der ermittelten Schwellen bewerten. Der dafür optimale bzw. notwendige lineare Belastungsanstieg konnte im vorangegangenen Kapitel festgestellt werden. Eine weitere Möglichkeit ist – wie bei allen ergometrischen Verfahren – die Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit anhand der maximalen Sauerstoffaufnahme, was jedoch neben einer notwendigen Ausbelastung des Probanden/Patienten zusätzlich apparativ recht aufwändig ist. Einfacher zu bestimmen ist daher die Bewertung der Ergebnisse anhand der maximal erzielten Leistung. So lange für den Walking-Test auf dem Laufband noch keine speziellen Vergleichswerte vorliegen, bietet es sich an, die erzielte Leistung in Watt umzurechnen (vgl. Kapitel II-2.4.3), da hierfür entsprechende Referenzwerte vorliegen.

Nach Rost und Hollmann (1982) liegt die normale maximale Leistungsfähigkeit für Männer zwischen 20 und 30 Jahren bei 3 Watt/kg Körpergewicht. Für Frauen liegt dieser Wert aufgrund eines geringeren Muskulaturanteils an der gesamten Körpermasse bei 2,5 Watt/kg Körpergewicht. Der altersbedingte Leistungsverlust beträgt ab dem 30. Lebensjahr 1 % pro Jahr bzw. 10 % pro Lebensdekade (Robinson, 1938, zitiert nach Rost & Hollmann, 1982, vgl. S. 79).

Um der Tatsache gerecht zu werden, dass bei einem Lauf- bzw. Walking-Test im Gegensatz zur Fahrradergometrie das Körpergewicht getragen werden muss, sollten die erzielten Ergebnisse wieder in eine absolute Wattzahl zurückgerechnet werden. Das heißt, ein 100 kg schwerer Mann, der die 8. Belastungsstufe (7 km/h, 13,5 % Steigung) absolvieren konnte und somit nach Tabelle 86 eine Leistung von 3 W/kg erzielte, erbrachte eine Leistung von $3 \text{ W/kg} \times 100 \text{ kg Körpergewicht} = 300 \text{ Watt}$. Dagegen erbringt ein 75 kg schwerer Mann, der ebenfalls nach der 8. Belastungsstufe den Test beendet, nur eine Leistung von $3 \text{ W/kg} \times 80 \text{ kg Körpergewicht} = 240 \text{ Watt}$.

Eine so errechnete Wattzahl kann nun anhand der in den Tabellen 88 und 89 ersichtlichen geschlechts- und altersspezifischen Referenzwerte eingeordnet werden.

Tab. 88: Sollwerte für die maximale Leistung in Watt von Männern (nach Nordenfelt, 1985, zitiert nach Löllgen, 2005)

Gewicht in kg	Alter in Jahren						Leistungsfähigkeit
	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	
< 65	> 267	> 253	> 239	> 208	> 170	> 132	gut
	178-267	169-253	160-239	139-208	113-170	88-132	normal
	156-178	148-169	140-160	121-139	99-113	77-88	leicht vermindert
	111-156	106-148	100-140	87-121	71-99	55-77	vermindert
	67-111	63-106	60-100	52-87	42-71	33-55	deutlich vermindert
	< 67	< 63	< 60	< 52	< 42	< 33	erheblich vermindert
65-85	> 275	> 261	> 246	> 214	> 175	> 136	gut
	183-275	174-261	164-246	143-214	117-175	90-136	normal
	160-183	152-174	144-164	125-143	102-117	79-90	leicht vermindert
	115-160	109-152	103-144	89-125	73-102	57-79	vermindert
	69-115	65-109	62-103	54-89	44-73	34-57	deutlich vermindert
	< 69	< 65	< 62	< 54	< 44	< 34	erheblich vermindert
> 85	> 283	> 268	> 253	> 220	> 180	> 140	gut
	188-283	179-268	169-253	147-220	120-180	93-140	normal
	165-188	156-179	148-169	128-147	105-120	81-93	leicht vermindert
	118-165	112-156	105-148	92-128	75-105	58-81	vermindert
	71-118	67-112	63-105	55-92	45-75	35-58	deutlich vermindert
	< 71	< 67	< 63	< 55	< 45	< 35	erheblich vermindert

Tab. 89: Sollwerte für die maximale Leistung in Watt von Frauen (nach Nordenfelt, 1985, zitiert nach Löllgen, 2005)

Gewicht in kg	Alter in Jahren						Leistungsfähigkeit
	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	
< 55	> 162	> 159	> 157	> 142	> 123	> 103	gut
	108-162	106-159	105-157	95-142	82-123	68-103	normal
	94-108	93-106	92-105	83-95	72-82	60-68	leicht vermindert
	67-94	66-93	65-92	59-83	51-72	43-60	vermindert
	40-67	40-66	39-65	36-59	31-52	26-43	deutlich vermindert
	< 40	< 40	< 39	< 36	< 31	< 26	erheblich vermindert
55-70	> 169	> 167	> 164	> 149	> 129	> 107	gut
	113-169	111-167	110-164	99-149	86-129	72-107	normal
	99-113	97-111	96-110	87-99	75-86	63-72	leicht vermindert
	70-99	69-97	69-96	62-87	54-75	45-63	vermindert
	42-70	42-69	41-69	37-62	32-54	27-45	deutlich vermindert
	< 42	< 42	< 41	< 37	< 32	< 27	erheblich vermindert
> 70	> 177	> 174	> 172	> 156	> 135	> 112	gut
	118-177	116-174	115-172	104-156	90-135	75-112	normal
	103-118	102-116	100-115	91-104	78-90	66-75	leicht vermindert
	74-103	73-102	72-100	65-91	56-78	47-66	vermindert
	44-74	44-73	43-72	39-65	34-56	28-47	deutlich vermindert
	< 44	< 44	< 43	< 39	< 34	< 28	erheblich vermindert

Wurde der Stufen-Test nicht am Ende sondern während einer Belastungsstufe abgebrochen, so kann man aufgrund des linearen Anstiegs der Leistung im Testverlauf die genaue, dem Zeitpunkt des Testabbruchs entsprechende Leistung P mittels Interpolation errechnen:

$$P = W1 + (W2 - W1) \cdot X$$

Dabei steht $W1$ für die letzte, komplett absolvierte Belastungsstufe, $W2$ für die Belastungsstufe, auf der der Test abgebrochen wurde (vgl. Tab. 86 und 87) und der Faktor X für den Anteil, bis zu dem diese letzte Stufe absolviert wurde.

Zwei beispielhafte Fälle sollen das oben dargestellte Bewertungsschema verdeutlichen:

- Ein 55jähriger Mann mit einem Körpergewicht von 80 kg beendet den Walking-Stufentest auf dem Laufband nach 1 Minute der 6. Belastungsstufe (7 km/h, 8,5 % Steigung, vgl. Tab. 86).

Aus Tabelle 86 können die Werte für $W1$ (2,0 W/kg) und $W2$ (2,33 W/kg) entnommen werden. Da die 6. Belastungsstufe, die insgesamt 2 Minuten dauert, nur zur Hälfte, d.h. 1 Minute lang, durchlaufen wurde, ergibt sich für den Faktor X ein Wert von 0,5. Die in Watt/kg umgerechnete Belastung beträgt demnach:

$$P = 2,0 \text{ W/kg} + (2,33 \text{ W/kg} - 2,0 \text{ W/kg}) \cdot 0,5 = 2,165 \text{ W/kg}$$

Unter Einbezug des Körpergewichts ergibt sich eine Leistung von:

$$P = 2,165 \text{ W/kg} \cdot 80 \text{ kg Körpergewicht} = 173,2 \text{ Watt}$$

Anhand der in Tabelle 88 dargestellten Referenzwerte ist ersichtlich, dass diese Leistung von 173,2 Watt für einen 55jährigen, 80 kg schweren Mann als „normal“ einzustufen ist.

- Eine 30jährige Frau mit einem Körpergewicht von 75 kg beendet den Walking-Stufentest auf dem Laufband nach der 4. Belastungsstufe (6 km/h, 3,5 % Steigung, vgl. Tab. 87).

Da die letzte Belastungsstufe vollständig absolviert wurde, ist keine Interpolation notwendig, d.h. die erzielte Leistung von 1,33 W/kg kann direkt aus Tabelle 87 abgelesen werden. Unter Einbezug des Körpergewichts ergibt sich hieraus eine Leistung von:

$$P = 1,33 \text{ W/kg} \cdot 75 \text{ kg Körpergewicht} = 99,75 \text{ Watt}$$

Eine Einordnung dieses Ergebnisses mittels der in Tabelle 89 dargestellten Referenzwerte zeigt, dass eine Leistung von 99,75 Watt für eine 30jährige Frau mit einem Körpergewicht von 75 kg als „vermindert“ einzustufen ist.

Grundsätzlich ist eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit anhand von Referenzwerten differenziert zu betrachten. Zum einen handelt es sich in den Tabellen 88 und 89 um maximale Sollwerte, d.h. es sollte eine Ausbelastung vorliegen. Zum anderen ist zu berücksichtigen, aus welcher Untersuchungsstichprobe die angegebenen Referenzwerte resultieren. Vor allem im Bereich der Rehabilitation hat man es meist mit sehr unterschiedlich leistungsfähigen Patientengruppen zu tun, so dass statt einer Querschnittsbeurteilung mittels Referenzwerten oft eine Längsschnittbetrachtung vorzuziehen ist, beispielsweise zu den Zeitpunkten Beginn und Ende der stationären Therapie.

Kann oder soll keine Ausbelastung erzielt werden, so kann der Walking-Test auf dem Laufband auch als PWC-Test absolviert werden, der eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit anhand submaximaler Werte (Herzschlagfrequenz 130, 150 oder 170) ermöglicht. Weitere Informationen hierzu finden sich u.a. in Rost & Hollmann (1982, vgl. S. 82).

2.5 Zusammenfassung und Fazit

Das Ziel der in diesem Kapitel dargestellten Studien war die Entwicklung bzw. Optimierung eines Walking-Tests auf dem Laufband für Patienten im Rahmen der medizinischen Rehabilitation. Diese Optimierung erfolgte auf Basis des im Jahr 2000 am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH) entwickelten Belastungsprotokolls (vgl. Kräutle, 2000). Zur Überprüfung der Anwendbarkeit des Walking-Stufentests auf dem Laufband im Rahmen der medizinischen Rehabilitation wurden 86 Patienten der Rehaklinik Übberruh mit einem aufgrund verschiedener Vorarbeiten (vgl. Frenzel, 2002, Härtel & Ludwig, 2002) leicht modifizierten Belastungsprotokoll getestet. Dabei konnte bei 67 Patienten der 86 Patienten (77,9 %) eine Ausbelastung erzielt werden. Anhand der bezüglich verschiedener Faktoren wie durchschnittliche Testdauer oder Laufband-Geschwindigkeit ermittelten Ergebnisse konnte das Belastungsprotokoll für den Walking-Stufentest auf dem Laufband angepasst und optimiert werden. Die geschlechtsspezifischen, standardisierten Protokolle sind den Tabellen 76 (Männer) und 77 (Frauen) zu entnehmen. Entsprechende vorgefertigte Belastungsformulare finden sich im Anhang (Anlage I und II).

Zur Überprüfung der auf den einzelnen Belastungsstufen des Walking-Tests auf dem Laufband auftretenden physiologischen Belastungen wurde mittels spiroergometrischer Analysen ein Vergleich mit einem Stufentest auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Hierbei wurde deutlich, dass das Protokoll des Walking-Tests auf dem Laufband für die untersuchte Stichprobe mit dem Fahrradergometertest nach dem Belastungsschema der WHO, das routinemäßig im klinischen Bereich eingesetzt wird, vergleichbar ist. Somit konnte auch nachgewiesen werden, dass die Steigerung der Belastungsintensität, die

sich im Walking-Test aus einer Kombination von Laufband-Geschwindigkeit und Steigung ergibt, annähernd linear verläuft.

Die Bewertung der Ergebnisse des neu entwickelten Walking-Stufentests auf dem Laufband kann auf drei verschiedene Arten erfolgen. Zum einen kann das Belastungsprotokoll zur Durchführung eines Laktatstufen-Tests verwendet werden, zum anderen kann die erzielte Leistung anhand der ermittelten spiroergometrischen Parameter beurteilt werden. Selbstverständlich ist auch die Kombination dieser beiden Messverfahren zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit möglich. Weniger aufwändig ist die Bewertung der Testergebnisse anhand der maximal erzielten Leistung. Da für den Walking-Test auf dem Laufband noch keine speziellen Vergleichswerte vorliegen, wurden die Ergebnisse der spiroergometrischen Vergleichsuntersuchung dazu verwendet, um die auf dem Laufband erbrachte Leistung in Watt umzurechnen (vgl. Tab. 86 und 87). Dies ermöglicht eine Einordnung der Testergebnisse über bereits vorhandene Referenzwerttabellen (vgl. Tab. 88 und 89).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass ein für den Bereich der medizinischen Rehabilitation geeignetes, einfaches und praktikables Belastungsverfahren mit zugehörigen Referenzwerten erstellt werden konnte.

Inzwischen wurde der hier dargestellte Walking-Test auf dem Laufband in weiteren eigenen Studien erfolgreich eingesetzt. So verwendete ihn beispielsweise Blass (2006) als Laktat-Stufentest zur Bestimmung der aeroben und anaeroben Schwelle von Bergwanderern, die sich auf eine längere Himalaja-Tour vorbereiteten. Hierzu erfolgte nach jeder absolvierten Stufe eine standardisierte Pause von 20 Sekunden zur Bestimmung der jeweiligen Laktatkonzentration. So war anhand der Testergebnisse eine optimale Trainingssteuerung möglich, während die Ergebnisse eines herkömmlichen Lauf-Stufentests für die entsprechende Zielgruppe der Bergwanderer weitaus schwieriger zu interpretieren gewesen wären. Darüber hinaus wurde der Test auch in dieser Studie erfolgreich zur Bestimmung der $VO_2\text{max}$ verwendet.

In einer weiteren eigenen Studie wurden mit Hilfe der im Walking-Stufentest erfassten Laktatkonzentrationen sowie spiroergometrisch erfasster Parameter die Bereiche des optimalen Fettstoffwechsels der untersuchten Probanden ermittelt (vgl. Lang, 2006). Vorteil des entwickelten Belastungsprotokolls war hierbei vor allem die sehr langsam gesteigerte Belastung auf den ersten Stufen (3 bzw. 4 km/h). Dies verhindert den bei alternativen Belastungsprotokollen häufig auftretenden Effekt unverhältnismäßig hoher Laktatkonzentrationen oder RQ-Werte zu Belastungsbeginn aufgrund ungewohnter, koordinativ überfordernder Belastung auf dem Laufband.

3 Analyse der Testergebnisse des 2 km-Walking-Tests bei der Verwendung von Stöcken (Nordic-Walking)

3.1 Einleitung

Als neue Trendsportart etabliert sich zunehmend die aus Finnland stammende „Stockvariante des Walkings“, das Nordic-Walking. So betreiben auch in Deutschland immer mehr Menschen diese Bewegungsform regelmäßig. Für die medizinische Rehabilitation ist das Walking-Training mit Stöcken vor allem aufgrund sturzprophylaktischer Argumente von Bedeutung.

Seitens der Medien wird dem Nordic-Walking im Rahmen eines Gesundheitstrainings eine höhere Effizienz als dem Walking zugeschrieben. Auch die Resultate zahlreicher Studien deuten in diese Richtung (vgl. Kap II-3.2). Dies legt die Vermutung nahe, dass die Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests bzw. des UKK-Walk-Tests bei der Verwendung von Walking-Stöcken nicht ohne Weiteres mit den existierenden Normwerttabellen und Auswertungsformeln bewertet werden können und die Entwicklung spezieller Auswertungsmethoden für einen 2 km-Nordic-Walking-Test notwendig wäre.

Insgesamt existieren bislang jedoch wenige wissenschaftliche Studien, die als Feldversuche angelegt sind, d.h. die meisten Untersuchungen zum Unterschied von Walking und Nordic-Walking erfolgten bisher auf dem Laufband bei vorgegebener Leistung. Eine Technikbeurteilung wurde bisher in allen Studien völlig außer Acht gelassen.

Das Ziel dieser Studie war daher der Vergleich von Walking und Nordic-Walking hinsichtlich der Belastungs- und Wirkungsstruktur beim 2 km-Walking-Test unter besonderer Berücksichtigung der jeweiligen Technik.

3.2 Aktueller Forschungsstand

Wie in der Einleitung angedeutet, schreiben zahlreiche Autoren dem Nordic-Walking eine deutlich höhere Effektivität als dem Walking zu (u.a. Kreuzriegler et al., 2002). So sollen laut Roschinsky (2004) beim Nordic-Walking etwa 85 % aller Muskeln während der Ausführung angesprochen werden und der Energieverbrauch soll entsprechend um 20-30 % höher liegen als beim Walking. Stengel & Bartosch (2003) bezeichnen Nordic-Walking als die Gesundheits-sportart schlechthin, die hinsichtlich des gesundheitlichen Nutzens und der Effektivität andere Sportarten bei Weitem übertrifft.

Tabelle 90 zeigt einen Überblick bezüglich der aktuell in der Literatur vorliegenden Ergebnisse von Untersuchungen, die den Vergleich von Walking und Nordic-Walking zum Gegenstand hatten, sowie die jeweils angewendete Untersuchungsmethodik. Tabelle 91 zeigt zusammenfassend die Uneinheitlichkeit der Ergebnisse der verschiedenen Studien. So messen Church et al.

(2001), Höltke et al. (2003 und 2005), Porcari et al. (1997), Rodgers et al. (1995) und Schiebel et al. (2003) beim Nordic-Walking höhere Sauerstoffaufnahmewerte, während Jacobson et al. (2000) und Schaar (2006) keine Unterschiede feststellen konnten. Ähnliches gilt entsprechend für den erfassten Energieverbrauch: Church et al. (2001), Höltke et al. (2003), Porcari et al. (1997) und Rodgers et al. (1995) ermitteln beim Nordic-Walking höhere Kalorienzahlen; Jacobson et al. (2000) und Schaar (2006) können auch hier keine Unterschiede zwischen den beiden Disziplinen feststellen.

Aigner et al. (2004), Church et al. (2001), Porcari et al. (1997), Rodgers et al. (1995), Rudack et al. (2005) und Schiebel et al. (2003) erfassen bei Anwendung der Nordic-Walking-Technik höhere Herzschlagfrequenzen, während Höltke et al. (2003 und 2005), Jacobson et al. (2000) und Schaar (2006) keine Unterschiede ermitteln konnten. Noch weiter liegen die Ergebnisse beim Parameter Laktat auseinander. Während Aigner et al. (2004) und Schiebel et al. im Dauertest (2003) beim Nordic-Walking höhere Werte ermitteln, liegen bei Höltke et al. (2003 und 2005) die Laktatkonzentrationen beim Walking höher. Keine Unterschiede finden sich hier wiederum bei Schaar (2006) sowie bei Schiebel et al. (2003) im Stufentest.

Etwas einheitlicher sind die Ergebnisse bei der subjektiven Einschätzung der Belastung (RPE). Hier finden sich nur bei Jacobson et al. (2000), bei denen die Nordic-Walking-Belastung als weniger anstrengend eingeschätzt wird und bei Porcari et al. (1997), bei denen das Walking als anstrengender empfunden wird, Unterschiede.

In den Studien von Church et al. (2001) und Schaar (2006) wurde im Gegensatz zu den anderen Studien keine Geschwindigkeit vorgegeben, sondern eine zu absolvierende Strecke. Bezüglich der benötigten Zeit zeigen sich bei Church et al. (2001) keine Unterschiede zwischen den beiden Disziplinen, bei Schaar (2006) benötigten die Probanden in der Nordic-Walking-Technik mehr Zeit.

Ursache für die zum Teil sehr widersprüchlichen Ergebnisse der oben beschriebenen Studien könnte einerseits die zum Teil sehr unterschiedliche Untersuchungsmethodik sein (Feld- und Laufbandtests bzw. Stufen- und Dauertests). Andererseits finden sich bei den untersuchten Stichproben sehr große Unterschiede (u.a. Probanden mit und ohne Erfahrung im Nordic-Walking), so dass die Walking- bzw. Nordic-Walking-Technik einen entscheidenden Einfluss haben könnte. Betrachtet man die Ergebnisse der einzelnen Studien unter besonderer Berücksichtigung dieser unterschiedlichen Untersuchungsmethoden, d.h. beispielsweise Feldtests und Laufbandtests separat, lassen sich jedoch ebenfalls keine einheitlichen Tendenzen erkennen.

Tab. 90a: Übersichtstabelle zu Vergleichsstudien von Walking und Nordic-Walking

Autor	Stichprobe	Belastungsart	Parameter	Zusammenfassung der Ergebnisse (bezogen auf das Nordic-Walking)
Aigner et al. (2004)	n=20 (m=10 / w=10) Alter: 46,5 ± 13,8 Jahre nicht speziell ausdauertrainiert	Laufband (3 km/h Belastungsbeginn, Inkrement 1 km/h, Stufendauer 3 min, 1 % Steigung)	HF, Laktat, V _{max}	– HF und Laktat auf gegebenen Stufen höher – erreichte V _{max} minimal niedriger
Church et al. (2001)	n=22 (m=11 / w=11) Alter: m=33,8 w=27,1 Jahre Nordic-Walking erfahren	Feldtest (1600 m auf Zeit)	VO ₂ , EE, HF, RPE, Zeit	– signifikant höhere VO ₂ , EE und HF – keine Unterschiede bezüglich RPE und Zeit
Höltke et al. (2003)	n=20 (m=10 / w=10) Alter: m=40,2 w=44,7 Jahre	Laufband (5 km/h mit zunehmender Steigung bis zur Ausbelastung)	VO ₂ , EE ¹ , HF, Laktat, RPE ²	– VO ₂ und EE höher – Laktat niedriger – Kaum Unterschiede bei HF und RPE
Höltke et al. (2005)	n=17 (nur Männer) Alter: 45 ± 5,4 Jahre	Laufband (5 km/h mit zunehmender Steigung, keine Ausbelastung)	VO ₂ , HF, Laktat, RPE	– VO ₂ höher – HF bei geringer Belastung niedriger – Laktat tendenziell niedriger – RPE bei hohen Belastungen höher
Jacobson et al. (2000)	n=20 (nur Männer) Alter: 29,8 Jahre Nordic-Walking erfahren	Laufband (mit 15 kg-Rucksack: 1,5 mph mit zunehmender Steigung)	VO ₂ , EE, HF, RPE	– Keine signifikanten Unterschiede bei VO ₂ , EE und HF – RPE niedriger
Porcari et al. (1997)	n=32 (m=16 / w=16) Alter: 23,6 ± 3,1 Jahre Nordic-Walking erfahren	Laufband (selbst gewählte Geschwindigkeit, alle 2 min Erhöhung der Steigung um 2,5 %)	VO ₂ , EE, HF, RPE	– VO ₂ , EE, HF, RPE höher

¹ Energy-Expenditure (Energieverbrauch)² Rating of Perceived Exertion (subjektives Belastungsempfinden) nach Borg (2004)

Tab. 90b: Übersichtstabelle zu Vergleichsstudien von Walking und Nordic-Walking

Autor	Stichprobe	Belastungsart	Parameter	Zusammenfassung der Ergebnisse (bezogen auf das Nordic-Walking)
Rodgers et al. (1995)	n=10 (nur Frauen) Alter: 23,6 Jahre moderat ausdauertrainiert	Laufband (6,7 km/h, alle 2 min Erhöhung der Steigung um 2 %)	VO ₂ , EE, HF	– VO ₂ , HF und EE höher
Rudack et al. (2005)	n=31 (Geschlecht: o.A.) Alter: 50 ± 13 Jahre Nordic-Walking erfahren	Feldtest (4,6 km/h Belastungsbeginn, Inkrement 0,4 km/h, Stufendauer 3 min)	HF, Laktat, RPE, V _{max}	– HF und Laktat signifikant höher – Keine signifikanten Unterschiede bei RPE – V _{max} deutlich geringer
Schaar (2006)	n=20 (m=13 / w=7) Alter: 26,3 ± 1,95 Jahre Sportstudierende	Feldtest (maximaler 2 km-Walking-Test)	VO ₂ , EE, HF, Laktat, RPE, Zeit	– Keine signifikanten Unterschiede bei VO ₂ , EE, HF, Laktat und RPE – Zeit höher
Schiebel et al. (2003)	n=15 (Geschlecht: o.A.) Alter: 58 ± 9 Jahre Walking erfahren, 4 Wochen Technikkurs Nordic-Walking	Laufband (a) 5 km/h, alle 3 min Erhöhung der Steigung um 2,5 % (b) Dauertest (15 min bei 6 km/h, 0 % Steigung)	VO ₂ , HF, Laktat, RPE	(a) Stufentest – VO ₂ und HF höher – Kaum Unterschiede bei Laktat und RPE (b) Dauertest – VO ₂ , HF und Laktat signifikant höher – RPE unverändert
Wüpper et al. (2005)	n=14 (m=8 / w=6) Alter: 23-47 Jahre Uneinheitlich Walking und Nordic-Walking erfahren	Feldtest (2 x 10 min mit selbst gewählter moderater (1,5-1,9 m/s) und höherer (1,8-2,5 m/s) Geschwindigkeit)	EE, HF, RPE	– EE bei moderater Geschwindigkeit höher, bei höherer Geschwindigkeit war dies nur bei Nordic-Walking unerfahrenen Probanden der Fall, bei Erfahrenen EE gleich – HF: o.A. – RPE ohne einheitliche Tendenz

Tab. 91: Zusammenfassende Übersichtstabelle zu den von verschiedenen Autoren ermittelten Unterschieden von Walking und Nordic-Walking

(+: Parameter beim Nordic-Walking höher

-: Parameter beim Nordic-Walking niedriger

o: keine Unterschiede bzw. uneinheitliche Tendenz)

Autor	VO ₂	EE	HF	Laktat	RPE	Zeit
Aigner et al. (2004)			+	+		
Church et al. (2001)	+	+	+		o	o
Höltke et al. (2003)	+	+	o	-	o	
Höltke et al. (2005)	+		o	-	o	
Jacobson et al. (2000)	o	o	o		-	
Porcari et al. (1997)	+	+	+		+	
Rodgers et al. (1995)	+	+	+			
Rudack et al. (2005)			+		o	
Schaar (2006)	o	o	o	o	o	-
Schiebel et al. (2003) (Stufentest)	+		+	o	o	
Schiebel et al. (2003) (Dauertest)	+		+	+	o	
Wüpper et al. (2005)		+			o	

* bei moderater Geschwindigkeit, bei höherer Geschwindigkeit nur bei Probanden ohne Nordic-Walking-Erfahrung. Bei Nordic-Walking-Erfahrenen keine Unterschiede

3.3 Untersuchungsstichprobe

An der Untersuchung zur Analyse des Einflusses von Walking-Stöcken auf die Testergebnisse des 2 km-Walking-Tests nahmen 17 Probanden im Alter von $55,7 \pm 9,9$ Jahren teil (vgl. Tab. 92). 9 Probandinnen verfügten im Vorfeld bereits über Technikenkenntnisse bezüglich Walking, 8 Probandinnen waren mit der Nordic-Walking-Technik vertraut. Hinsichtlich Alter und BMI bestanden keine signifikanten Mittelwertsunterschiede zwischen der Gruppe der Walker und der Gruppe der Nordic-Walker.

Tab. 92: Untersuchungsstichprobe für den Vergleich von Walking und Nordic-Walking (n=17; nur Frauen)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Alter (in Jahren)	17	39	73	55,7	9,93
Größe (m)	17	1,54	1,71	1,63	,05
Gewicht (kg)	17	56	90	70,9	9,9
BMI (kg/m ²)	17	21,8	32,4	26,7	3,3

3.4 Methodik

Eine Woche vor Testbeginn erhielten die Teilnehmerinnen eine einstündige Einführung in die ihnen unbekanntete Technik. Mit Hilfe eines Fragebogens wurde vor Testbeginn das Aktivitätsprofil der Probanden (u.a. Trainingshäufigkeit, -umfang und -intensität) erfasst.

Der 2 km-Walking-Test wurde für diese Studie sowohl für Walking als auch für Nordic-Walking eingesetzt. Die Probandinnen absolvierten die beiden Feldtests auf einer 400 m-Tartanrundbahn an zwei verschiedenen Tagen in randomisierter Reihenfolge. Der Nordic-Walking-Test wurde mit Nordic-Walking-Pads durchgeführt.

Gemessen wurden die Parameter Gehzeit, mittlere Herzschlagfrequenz, Laktatkonzentration im Ziel, mittlere absolute und relative Sauerstoffaufnahme, der Respiratorische Quotient sowie der Energieverbrauch (indirekte Kalorimetrie). Die Erfassung der spiroergometrischen Daten erfolgte mittels des mobilen Gerätes MetaMax 3B der Firma Cortex Biophysik, Leipzig. Die Analyse der Blutlaktatkonzentrationen, die aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entnommen wurden, erfolgte mit Hilfe des Geräts BIOSEN 5030 der Firma EKF-Diagnostik, Barleben/Magdeburg. Um das subjektive Anstrengungsempfinden zu ermitteln, fand die RPE-Skala nach Borg (2004, S. A1016) Verwendung.



Abb. 15: Probandin während der Kapillarblutentnahme zur Bestimmung der Laktatkonzentration beim Vergleich von Walking und Nordic-Walking

Da in dieser Studie die Technikausführung beim Walking und Nordic-Walking speziell berücksichtigt werden sollte, erfolgte eine Technikbeurteilung mittels Technikbeurteilungsbogen des Deutschen Walking Instituts (vgl. Bader, 2006).

Dieser enthält 12 mögliche Technikfehler für Walking und 16 mögliche Technikfehler für Nordic-Walking (vgl. Anhang, Anlage III). Auf Basis dieser Technikbeurteilung erfolgte im Anschluss eine isolierte Analyse der Belastungsparameter der Probandinnen mit guter Technik in beiden Disziplinen.

Darüber hinaus sollten die Probandinnen mit Hilfe eines Wirkungsprofilfragebogens (vgl. Krieb & Bös, 2004) die Wirkungen von Walking und Nordic-Walking beurteilen. Die Probandinnen mussten hierzu anhand einer Notenskala von 1-5 ihren persönlichen Nutzen von Walking bzw. Nordic-Walking bewerten (vgl. Anhang, Anlage IV).



Abb. 16: Probandin im Feldstufentest beim Vergleich von Walking und Nordic-Walking

3.5 Ergebnisse

Tabelle 93 zeigt, dass sich die Ergebnisse in den gemessenen Belastungsparametern bei der Walking- und Nordic-Walking Technik nur unwesentlich unterscheiden. Signifikante Unterschiede zeigen sich allerdings bezüglich der Gehzeit ($t_{df=16} = -2.70$, $p = .02$), d.h. der 2 km-Walking-Test wurde in der Walking-Technik schneller bewältigt als in der Nordic-Walking-Technik. Analysiert man die Ergebnisse unter besonderer Berücksichtigung der vertrauten Technik, so zeigen sich ebenfalls nur beim Parameter Gehzeit signifikante Unterschiede innerhalb des Walking-Tests, d.h. die geübten Walkerinnen absolvierten den Walking-Test signifikant schneller als die ursprünglich vom Nordic-Walking kommenden Probandinnen ($t_{df=15} = -2.63$, $p = .02$).

Die erfassten Herzschlagfrequenzen unterscheiden sich bezüglich der gesamten Gruppe nur minimal um etwa einen Schlag pro Minute. Das Absolvieren der 2 km langen Strecke ohne Stöcke wurde anhand der Borg-Skala als leicht mehr beanspruchend eingeschätzt als bei der Verwendung von Stöcken. Dies gilt sowohl für die geübten Nordic-Walkerinnen als auch für die geübten Walkerinnen. Bei den erfassten Laktatkonzentrationen ergaben sich keine relevanten Unterschiede. Lediglich die Walkerinnen erzielten im Walking-Test analog zur benötigten Zeit mit Konzentrationen von durchschnittlich 3 mmol/l etwas abweichende Werte. Diese Unterschiede werden im t-Test jedoch nicht signifikant.

Tab. 93: Belastungsparameter beim Walking und Nordic-Walking im Vergleich

Testart	Walking-Test			Nordic-Walking-Test		
	Mittelwert Walking	Walker	Nordic-Walker	Mittelwert Nordic-W.	Walker	Nordic-Walker
Gehzeit (min)	17,92 ± 1,7*	17,07*	18,87*	18,65 ± 1,4*	18,45	18,88
HF (S/min)	135,2 ± 19,2	138,6	131,5	136,8 ± 11,8	135,6	138,1
Borg	11,2 ± 2,5	10,6	11,9	10,5 ± 2,4	9,8	11,4
Laktat (mmol/l)	2,7 ± 1,2	3,0	2,4	2,3 ± 1,1	2,3	2,3
Energieverbrauch (kcal)	151,8 ± 24,1	155,1	148,1	151,7 ± 21,2	149,9	153,6
RQ	0,97 ± 0,08	0,99	0,94	0,97 ± 0,05	0,98	0,96
Abs. VO ₂ (l/min)	1,71 ± 0,35	1,84	1,56	1,62 ± 0,30	1,64	1,60
Rel. VO ₂ (ml/min/kg)	24,2 ± 4,6	25,7	22,4	23,1 ± 4,6	23,1	23,1

* = Signifikanter Unterschied

Hinsichtlich der über die Distanz der 2 km-Strecke verbrauchten Energie ergeben sich ebenso wie für die erfassten Respiratorischen Quotienten keine disziplinspezifischen Unterschiede. Auch die gemessene mittlere Sauerstoffaufnahme unterscheidet sich zwischen den beiden Tests nur unwesentlich. Dies gilt sowohl für die absolut erfassten Werte als auch für die körperrgewichtbezogenen, relativen Werte. Leichte und statistisch nichtsignifikante Abweichungen sind auch bei diesen Parametern entsprechend der geringeren Zeiten bei der Gruppe der geübten Walkerinnen im Walking-Test feststellbar.

Bei der Auswertung der Technikbeurteilungsbögen ergaben sich die in Tabelle 94 dargestellten Ergebnisse. Da bei der Walking-Technik 12 Fehler und bei der Nordic-Walking-Technik 16 Fehler möglich waren, erfolgte eine Umrechnung der Fehleranzahl in Prozent. Insgesamt zeigt sich in der Nordic-Walking-Technik mit einer durchschnittlichen Fehlerquote von knapp 28 % eine signifikant ($t_{df=16} = -5.10$, $p = .00$) höhere Fehlerquote als beim Walking mit etwa 16 %.

Tab. 94: Fehlerquote in Prozent beim Walking und Nordic-Walking

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	s
Fehlerquote Walking in %	17	,00	33,33	16,18	9,98
Fehlerquote Nordic-Walking in %	17	6,25	50,00	27,94	11,72

Um auszuschließen, dass die in Tabelle 93 dargestellten Ergebnisse durch fehlerhafte Bewegungsausführungen beeinflusst wurden, wurden die Ergebnisse derjenigen Probandinnen, die sowohl beim Walking als auch beim Nordic-Walking eine gut ausgeführte Technik aufwiesen (2 Fehler und weniger), isoliert betrachtet. Hierbei konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der erfassten Belastungsparameter festgestellt werden (vgl. Tab. 95). Zwar wurde auch von dieser ausgewählten Probandengruppe der Walking-Test schneller als der Nordic-Walking-Test absolviert, allerdings ist der Unterschied von 24 Sekunden statistisch nicht signifikant. Sowohl die mittleren Herzschlagfrequenzen als auch die am Ende der Belastung erfassten Laktatkonzentrationen weisen nur minimale Differenzen auf. Das Gleiche gilt auch für den Kalorienverbrauch und die durchschnittlichen absoluten Sauerstoffaufnahmewerte.

Tab. 95: Belastungsparameter beim Walking und Nordic-Walking im Vergleich (ausschließlich Probanden mit guter Technik) (N=5)

	Mittelwert Walking	Mittelwert Nordic-W.	Mittelwertsunterschied		
			t	df	p
Gehzeit (min)	17,77 ± 0,59	18,17 ± 0,62	-1.69	4	.17
HF (S/min)	143,8 ± 7,7	141,2 ± 11,4	1.11	4	.33
Laktat (mmol/l)	2,38 ± 0,82	2,54 ± 0,85	-.50	4	.65
Energieverbrauch (kcal)	145,8 ± 29,1	146,4 ± 27,6	-.17	4	.87
VO ₂ absolut (l/min)	1,61 ± 0,31	1,57 ± 0,28	1.43	4	.23

Aus dem im Vorfeld der Tests eingesetzten Aktivitätsfragebogen wurde ein Aktivitätsindex (Häufigkeit pro Woche x Dauer in min x Intensität in kcal/min) errechnet. Tabelle 96 zeigt, dass dieser Index bei der untersuchten Gruppe der Walkerinnen höher liegt als bei den Nordic-Walkerinnen, d.h. die Walkerinnen gaben an, im Mittel etwas häufiger, länger und intensiver zu trainieren als die Gruppe der Nordic-Walkerinnen.

Tab. 96: Aktivitätsindex (in kcal) der Walkerinnen und Nordic-Walkerinnen

	N	Mittelwert	s
aktive Walkerinnen	9	686,7	258,3
aktive Nordic-Walkerinnen	8	525,0	318,6

Die Analyse des Wirkungsprofils (11 Kategorien; Skala 1-5; 1 = sehr gut, 5 = mangelhaft) macht deutlich, dass Nordic-Walking mit einer Durchschnittsnote von 1,67 deutlich positiver eingeschätzt wird als das Walking mit einer Durchschnittsnote von 2,5 (vgl. Tab. 97). Nordic-Walking wird also sowohl von den Nordic-Walkerinnen als auch von den Walkerinnen als insgesamt wirksamer bewertet.

Tab. 97: Ergebnisse des Wirkungsprofilfragebogens bezüglich Walking und Nordic-Walking (1= sehr gut, 5= mangelhaft)

	Einschätzung Walking		Einschätzung Nordic-Walking	
	aktive Walker	aktive Nordic-Walker	aktive Walker	aktive Nordic-Walker
Kräftigung Schultermuskulatur	2,56	3,50	1,78	1,75
Kräftigung Rückenmuskulatur	2,44	3,38	1,89	1,63
Kräftigung Armmuskulatur	2,56	3,38	1,89	2,00
Kräftigung Brustmuskulatur	2,44	3,38	2,00	1,88
Kräftigung Beinmuskulatur	2,22	2,75	1,89	1,63
Entlastung Gelenke	1,89	3,88	1,56	1,63
Linderung gesundheitlicher Beschwerden	2,13	3,50	1,88	1,38
Förderung Ausdauerleistung	1,67	2,75	1,22	1,75
Förderung Stressabbau	1,78	2,63	1,56	1,88
Eignung für alle Altersgruppen	1,44	2,00	1,33	1,50
Eignung als Sportart für Sportanfänger	1,22	1,38	1,33	1,38
Ø Gesamt	2,03	2,96	1,67	1,67

3.6 Diskussion

Beim Vergleich der vorliegenden Ergebnisse dieser Studie mit den Ergebnissen anderer Studien muss grundsätzlich berücksichtigt werden, dass hier eine individuelle Tempowahl zugrunde lag. Die Probandinnen hatten die Aufgabe, die gegebene 2 km lange Strecke in möglichst kurzer Zeit zu absolvieren. Andere Studien verglichen die Belastungsparameter meist bei standardisierten Bedingungen, z.B. bei vorgegebenen Geschwindigkeiten auf dem Laufband. Der Vorteil der hier angewendeten Vorgehensweise gegenüber den standardisierten Bedingungen auf dem Laufband im Labor ist in einer größeren Nähe zur realen Situation der Freizeitsportler zu sehen. Lediglich die Studie von Schaar (2006), die ebenso den 2 km-Walking-Test verwendete, sowie die Stu-

die von Church et al. (2001), bei denen eine 1600 m lange Strecke absolviert werden musste, sind mit der vorliegenden Studie vergleichbar.

Während Church et. al. (2001) eine deutlich höhere physiologische Beanspruchung bei gleicher Leistung (d.h. bei gleicher Zeit) im Nordic-Walking ermittelten, berichtet Schaar (2006) von vergleichbaren Belastungsparametern jedoch bei geringerer Leistung im Nordic-Walking (d.h. bei größerer Testdauer bei gleicher Distanz).

Bei der Analyse der in dieser Studie ermittelten Ergebnisse finden sich die oftmals zitierten höheren Sauerstoffaufnahmewerte bzw. der höhere Kalorienverbrauch beim Nordic-Walking aufgrund des Einsatzes größerer Muskelgruppen nicht. Allerdings wurde wie bei der Untersuchung von Schaar (2006) die 2 km-Strecke in der Nordic-Walking-Technik in signifikant längerer Zeit absolviert als in der Walking-Technik, d.h. die erbrachte Leistung war in der Nordic-Walking-Technik geringer. Dementsprechend lässt sich vermuten, dass die Belastungsparameter bei vergleichbarer Leistung im Nordic-Walking höher liegen als beim Walking.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse nach vertrauter Technik fällt auf, dass die Gruppe der geübten Walkerinnen in beiden Techniken, also auch bei der ungewohnten Nordic-Walking-Technik, schneller war als die Gruppe der Nordic-Walkerinnen. Dies mag auf die bereits in anderen Studien erwähnte Problematik der schwierigeren Technik beim Nordic-Walking zurückzuführen sein. Andererseits kann dies auch die mittels des Aktivitätsindex erfasste Tatsache widerspiegeln, dass die untersuchte Gruppe der Walkerinnen im Durchschnitt häufiger, länger und intensiver als die untersuchten Nordic-Walkerinnen trainiert und somit vermutlich als leistungsfähiger einzustufen ist.

Als weiterer wichtiger Belastungsparameter im Vergleich von Walking zu Nordic-Walking wurde der Wert des Respiratorischen Quotienten untersucht, der über die jeweils ablaufenden Stoffwechselvorgänge Aufschluss gibt. Dieser zeigte beim Walking und Nordic-Walking einen übereinstimmenden Mittelwert von 0,97. Es zeigte sich, dass die geübten Walkerinnen sowohl beim Walking als auch beim Nordic-Walking einen höheren RQ-Wert erreichten. Vermutlich ist der niedrigere RQ-Wert der Nordic-Walkerinnen mit der schlechteren Gehzeit zu begründen.

Die erfassten Laktatkonzentrationen liegen am Ende der Walking-Tests gering, jedoch nicht signifikant höher als am Ende der Nordic-Walking-Tests. Dies kann wiederum auf die schnelleren Gehzeiten im Walking-Test zurückgeführt werden. Eine mögliche Argumentation in Richtung einer vermehrten Verstoffwechslung von anfallendem Laktat aufgrund eines größeren Umfangs aerob arbeitender Muskelmasse beim Nordic-Walking würde eine korrekte Technik beim Einsatz der Stöcke voraussetzen. Dies war jedoch, wie im folgenden Abschnitt dargestellt, nur bei wenigen Probanden gegeben.

Im Rahmen dieser Studie sollte im Gegensatz zu den in Kapitel II-3.2 genannten Studien der Technik ein besonders hoher Stellenwert beigemessen werden, um mögliche Verfälschungen der physiologischen Ergebnisse auszuschließen. Die hierzu erfolgte Fehleranalyse zeigt eine signifikant höhere Fehlerquote in der Nordic-Walking-Technik. Sowohl beim Nordic-Walking als auch beim Walking bestand der häufigste Fehler in der nicht vorhandenen Schulter-Beckengürtel-Gegenrotation, was mit den Erkenntnissen von Bader (2006) übereinstimmt. Beim Walking wurden überraschenderweise bei den geübten Walkerinnen mehr Fehler beobachtet als bei den Nordic-Walkerinnen. Beim Nordic-Walking traten ebenfalls bei den Walkerinnen deutlich mehr Fehler auf als bei den Nordic-Walkerinnen. Für den Vergleich der Belastungsparameter unter Berücksichtigung der richtigen Technik konnten lediglich 5 Probandinnen (2 Walkerinnen und 3 Nordic-Walkerinnen), die sowohl beim Walking als auch beim Nordic-Walking eine gute Technikausführung besaßen, in die Untersuchungsstichprobe aufgenommen werden.

Sowohl die Herzschlagfrequenz als auch die gemessene Sauerstoffaufnahme und der Energieverbrauch weisen bei der Analyse der Probandinnen mit korrekter Bewegungsausführung keine nennenswerten Unterschiede auf. Dies gilt auch für die erfassten Laktatkonzentrationen am Ende der Belastung. Wie bei der gesamten Stichprobe wurde auch von den Probandinnen mit guter Technik der Walking-Test ohne Stöcke schneller absolviert, d.h. auch hier war die in der Nordic-Walking-Technik erbrachte physikalische Leistung etwas geringer. Allerdings beträgt der Unterschied zwischen den beiden Techniken hier nur 24 Sekunden, während er bei der gesamten Stichprobe bei 57 Sekunden lag. Hierbei ist einschränkend die geringe Stichprobengröße zu berücksichtigen.

Für die hier im Mittelpunkt stehende Frage, ob sich die Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests bei der Verwendung von Nordic-Walking-Stöcken entscheidend verändern, kann somit aufgrund der vorliegenden Ergebnisse festgestellt werden, dass die Belastungsparameter im Wesentlichen vergleichbar sind, allerdings ist die Walking-Zeit, anhand der letztlich die Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests bewertet werden, bei der Verwendung von Walking-Stöcken länger.

Bei der Analyse der Ergebnisse des Wirkungsprofilfragebogens konnten eindeutige Unterschiede bezüglich der Einschätzung der Effektivität von Walking und Nordic-Walking nachgewiesen werden. Es wurde sichtbar, dass die Probandinnen dem Nordic-Walking effektivere Wirkungen beimessen als dem Walking, und zwar unabhängig von der vertrauten bzw. bisher ausgeübten Technik. Dieses Ergebnis erklärt möglicherweise die zunehmende Bedeutung und Verbreitung des Nordic-Walking.

3.7 Zusammenfassung und Fazit

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich die im Rahmen des 2 km-Walking-Tests erfassten physiologischen Belastungsparameter beim Walking und Nordic-Walking nicht unterscheiden. Allerdings geht dies mit einer geringeren physikalischen Leistung in der Nordic-Walking-Technik einher, die aus einer signifikant längeren Zeit resultiert, die für die 2 km-Distanz benötigt wird. Dies bestätigt die Ergebnisse von Schaar (2006), die eine Studie mit vergleichbarer Methodik durchführte.

Nach Ausschluss der Probandinnen mit schlechter Technik verblieben lediglich 5 Probandinnen in der Stichprobe. Die dadurch nur mit Einschränkung zu bewertenden Daten zeigen analoge Resultate, allerdings bei einem geringeren Zeitunterschied zwischen den beiden Techniken.

Hinsichtlich der für diese Arbeit relevanten Fragestellung bedeutet dies, dass der mit Walking-Stöcken absolvierte 2 km-Walking-Test aufgrund der geringeren Walking-Geschwindigkeit nicht anhand der Normwerttabellen für den 2 km-Walking-Test (vgl. Tab. 2 und 3) bewertet werden kann. Zur Erstellung spezifischer Normwerttabellen für einen „2 km-Nordic-Walking-Test“ sollten daher weitere Untersuchungen mit einer größeren Stichprobenzahl durchgeführt werden.

Da die erfassten Herzschlagfrequenzen in der vorliegenden Untersuchung beim Walking und Nordic-Walking nahezu identisch waren, ist davon auszugehen, dass sich auch beim Reha-Walking-Test bei der Verwendung von Stöcken entsprechende Unterschiede bezüglich der benötigten Zeit ergeben könnten. Eine Untersuchung dieser Fragestellung steht allerdings noch aus.

III Zusammenfassung und Ausblick

Bewegungsprogramme zur körperlich-sportlichen Aktivierung und Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit gehören inzwischen zum Standard von Rehabilitationsmaßnahmen. Die positiven Wirkungen von körperlich-sportlicher Aktivität bezüglich der Vermeidung von Krankheiten, insbesondere das Herz-Kreislauf-System und den Bewegungsapparat betreffend, sind vielfach untersucht (vgl. im Überblick Bös & Brehm, 1998, Bouchard et. al., 1994). Das Ziel von bewegungsbezogenen Rehabilitationsmaßnahmen muss es sein, den Patienten die Zusammenhänge von körperlicher Aktivität, Leistungsfähigkeit und Gesundheit zu verdeutlichen und die Patienten nachhaltig zu einem aktiven Lebensstil anzuregen. Als ideales Bewegungsprogramm für den klinischen Bereich gilt „Walking“. Ergänzt um Programmelemente zur funktionellen Dehnung und Kräftigung bietet Walking optimale Voraussetzungen, um die geforderten Bedingungen an Bewegungsprogramme in der Rehabilitation in optimaler Weise zu erfüllen (vgl. zusammenfassend Bös 1994, 2000). Walking ist einfach zu erlernen, risikolos durchführbar und die Belastungsintensität lässt sich optimal steuern. Hinzu kommt, dass Walking gerade bei leistungsschwächeren Patienten außerordentlich beliebt ist und sich mühelos auf den Alltag und auf Sport- und Selbsthilfegruppen außerhalb der Klinik übertragen lässt.

In der stationären medizinischen Rehabilitation ist die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit ein entscheidender Parameter für die sozialmedizinische Begutachtung. Als Goldstandard zur Beurteilung dieses Parameters sowie zur Bestimmung optimaler Trainingspulsbereiche gelten (spiro)ergometrische Untersuchungsverfahren, die zumeist als Tretkurbelarbeit im Sitzen oder Liegen durchgeführt werden. In der diagnostischen Praxis besitzt die Fahrradergometrie als Standardmethode zur Beurteilung des aktuellen Leistungszustandes und von Leistungsfortschritten jedoch wesentliche physiologische und ökonomische Nachteile. So ist beispielsweise aufgrund der für viele Patienten ungewohnten Belastungsform oftmals die Muskulatur der leistungslimitierende Faktor und nicht das kardiopulmonale System. Zudem ist es in Abhängigkeit von der Indikation und der jeweiligen Fragestellung nicht immer notwendig, eine zwar aussagekräftige, aber eben auch aufwändige und teure Ergometrie durchzuführen.

Als einfaches Testverfahren zur Diagnose der allgemeinen aeroben Ausdauer hat sich im Bereich des Freizeit- und Gesundheitssports der von Oja und Laukkanen (vgl. Laukkanen, 1993) entwickelte UKK-Walk-Test bewährt, der von Bös (2003) zusätzlich evaluiert und mit speziellen Referenzwerten ausgestattet wurde und in diesem Zusammenhang als 2 km-Walking-Test bekannt ist. Für spezielle Zielgruppen – insbesondere für Patienten in der Rehabilitati-

on – ist es jedoch erforderlich, die Belastungsintensität dieses maximalen 2 km-Walking-Tests zu reduzieren.

Das erste Ziel der vorliegenden Studien war daher die Entwicklung und Validierung eines submaximalen 2 km-Walking-Tests, d.h. eines Reha-Walking-Tests, der über die Vorgabe einer Herzschlagfrequenz von „180 minus Lebensalter“ gesteuert wird. Aufgrund der oft bestehenden Schwierigkeit, ein ebenes Testgelände zu finden, wurde darüber hinaus der Einfluss verschiedener Höhenprofile auf die Testergebnisse untersucht.

Die Ergebnisse der durchgeführten Studien zeigen, dass der entwickelte Reha-Walking-Test ein reliables, valides, praktikables und ökonomisches Feldtest-Verfahren zur Erfassung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit bei Reha-Patienten darstellt. In der Rehabilitationspraxis ermöglicht er eine rasche, unkomplizierte und risikoarme Bewertung der Alltagsleistungsfähigkeit von Patienten und ist daher zur Einteilung von Therapiegruppen sowie zur Veränderungsmessung gut einsetzbar. Anhand der auf sehr breiter Datenbasis erstellten Normwerttabellen können die Testergebnisse von 30-70jährigen Männern und Frauen darüber hinaus orientierend eingeordnet werden. Bei der Untersuchung der Einflüsse verschiedener Höhenprofile auf die Testergebnisse und die Belastungsintensitäten wurde deutlich, dass der klassische 2 km-Walking-Test in profiliertem Gelände bei Personen mit gesundheitlichen Risiken aufgrund sehr hoher Belastungen nicht einsetzbar ist. Dagegen konnten beim Reha-Walking-Test unabhängig von der Streckenprofilierung durchweg geringe Belastungsintensitäten gemessen werden. Bei einem Geländeprofil von maximal 50 m Höhenunterschied ist es beim Reha-Walking-Test auch nicht erforderlich Zeitkorrekturen vorzunehmen, da die Ergebnisse vergleichbar sind. Die zur Belastungssteuerung verwendete Vorgabe der Herzschlagfrequenz von „180 minus Lebensalter“ konnte fast ausnahmslos von allen Patienten gut eingehalten werden. Die bei dieser Belastung aufgetretenen Laktatkonzentrationen lagen in den meisten Fällen im Bereich von 2 mmol/l und bestätigen die in der Literatur angegebene Eignung der Formel zur Vermeidung von Überlastungen. Grundsätzlich bietet es sich an, am Ende des Reha-Walking-Tests eine einmalige Bestimmung der Laktatkonzentration durchzuführen. Dies ermöglicht über die Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit hinaus eine erste orientierende Aussage über die Eignung der Herzschlagfrequenz von „180 minus Lebensalter“ als Trainingspulsfrequenz. Nicht anwendbar ist das vorgestellte Testverfahren bei Patienten unter Beta-Blockade. Hier empfiehlt sich die Ermittlung sinnvoller Trainingspulsbereiche mittels Laktat-Stufentest.

Ergometrische Untersuchungsverfahren stellen aufgrund ihrer Standardisierung und ihrer Aussagekraft selbstverständlich bei zahlreichen Fragestellungen und Untersuchungszielen die Methode der Wahl dar. Zudem ermöglichen

sie eine permanente Überwachung der Herz-Kreislauf-Parameter durch den Arzt. Wie oben beschrieben besitzen walkingbasierte Belastungsformen auch bei ergometrischen Untersuchungsverfahren im Bereich der medizinischen Rehabilitation wesentliche Vorteile. Allerdings hängen die Praktikabilität sowie die Validität einer ergometrischen Untersuchung neben der Belastungsform im Wesentlichen vom genutzten Belastungsprotokoll ab. Dieses sollte für den klinischen Bereich u.a. durch einen moderaten Belastungsbeginn, eine moderate Belastungssteigerung, eine Vermeidung zu hoher Laufbandneigungen und einen möglichst linearen Belastungsanstieg gekennzeichnet sein. Viele der bereits existierenden Belastungsprotokolle für eine Gehbelastung auf dem Laufband erfüllen diese Vorgaben jedoch nicht.

Das zweite Ziel dieser Arbeit war daher die Entwicklung und Überprüfung eines Walking-Tests auf dem Laufband für den Bereich der medizinischen Rehabilitation, der die Vorteile bereits existierender Protokolle vereint. Dies erfolgte auf Basis des im Jahr 2000 am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH) entwickelten Belastungsprotokolls (vgl. Kräutle, 2000). Zur Überprüfung der Anwendbarkeit des Walking-Stufentests auf dem Laufband im Rahmen der medizinischen Rehabilitation wurden 86 Patienten der Rehaklinik Überraun getestet. Anhand der ermittelten Ergebnisse wurde das Belastungsprotokoll für den Walking-Stufentest auf dem Laufband optimiert und endgültig festgelegt. Die geschlechtsspezifischen, standardisierten Protokolle sind dem Anhang (I und II) zu entnehmen.

Zur Überprüfung der auf den einzelnen Belastungsstufen des Walking-Tests auf dem Laufband auftretenden Belastungsintensitäten wurde mittels spiroergometrischer Analysen ein Vergleich mit einem Stufentest auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Hierbei konnte nachgewiesen werden, dass die Steigerung der Belastungsintensität, die sich im Walking-Test aus einer Kombination von Laufband-Geschwindigkeit und Steigung ergibt, annähernd linear verläuft und keine zu großen Inkremente aufweist.

Da für den Walking-Test auf dem Laufband noch keine speziellen Vergleichswerte vorliegen, wurden die Ergebnisse der spiroergometrischen Vergleichsuntersuchung dazu verwendet, um die auf dem Laufband erbrachte Leistung in Watt umzurechnen. Dies ermöglicht eine orientierende Einordnung der Testergebnisse über bereits vorhandene Referenzwerttabellen. Aufgrund des linearen Belastungsanstiegs kann der entwickelte Walking-Test auf dem Laufband auch in Form eines Laktatstufen-Tests eingesetzt werden. In den durchgeführten Untersuchungen wurde zudem deutlich, dass das entwickelte Belastungsprotokoll eine Ausbelastung der untersuchten Patienten und damit die Bestimmung der VO_2 max sehr gut ermöglicht.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass ein für den Bereich der medizinischen Rehabilitation geeignetes, einfaches und praktikables Belastungsver-

fahren mit zugehörigen Referenzwerten erstellt werden konnte. Inzwischen wurde der hier dargestellte Walking-Test auf dem Laufband in weiteren eigenen Studien erfolgreich eingesetzt. So verwendete ihn beispielsweise Blass (2006) als Laktat-Stufentest zur Bestimmung der aeroben und anaeroben Schwelle von Bergwanderern sowie zur Ermittlung der jeweiligen $VO_2\text{max}$. Lang (2006) verwendete das vorliegende Belastungsverfahren im Rahmen spiroergometrischer Untersuchungen zur Bestimmung der Belastungsintensitäten, bei denen der Energiebedarf vorwiegend über den Fettstoffwechsel gedeckt wird. Vorteil des neu entwickelten Belastungsprotokolls war hierbei vor allem die sehr langsam gesteigerte Belastung auf den ersten Stufen (3 bzw. 4 km/h). Dies verhindert den bei alternativen Belastungsprotokollen häufig auftretenden Effekt unverhältnismäßig hoher Laktatkonzentrationen oder RQ-Werte zu Belastungsbeginn aufgrund ungewohnter, koordinativ überfordernder Belastung auf dem Laufband.

Die Trendsportart Nordic-Walking findet zunehmend auch in Deutschland Verbreitung. Für die medizinische Rehabilitation könnte das Walking-Training mit Stöcken vor allem aufgrund sturzprophylaktischer und motivationaler Argumente von Bedeutung sein. Dem Nordic-Walking wird von zahlreichen Autoren eine deutlich höhere Effektivität und somit ein effizienteres Gesundheitstraining als dem Walking zugeschrieben. Dies würde auch bedeuten, dass die Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests bzw. des UKK-Walk-Tests bei der Verwendung von Walking-Stöcken nicht ohne weiteres mit den existierenden Normwerttabellen und Auswertungsformeln bewertet werden können. Das heißt, es müssten unter Umständen spezielle Auswertungsmethoden für einen 2 km-Nordic-Walking-Test entwickelt werden. Insgesamt existieren bislang jedoch wenige wissenschaftliche Studien, die als Feldversuche angelegt sind, d.h. die meisten Untersuchungen zum Vergleich von Walking und Nordic-Walking erfolgten bisher auf dem Laufband bei vorgegebener Geschwindigkeit. Eine Technikbeurteilung wurde bisher in allen Studien völlig außer Acht gelassen.

Das dritte Ziel dieser Arbeit war daher der Vergleich von Walking und Nordic-Walking hinsichtlich der Belastungs- und Wirkungsstruktur beim 2 km-Walking-Test unter besonderer Berücksichtigung der jeweiligen Technik.

Die Ergebnisse der durchgeführten Studie zeigen, dass sich die im Rahmen des 2 km-Walking-Tests erfassten physiologischen Belastungsparameter beim Walking und Nordic-Walking nicht unterscheiden. Allerdings geht dies mit einer geringeren physikalischen Leistung in der Nordic-Walking-Technik einher, die aus einer signifikant längeren Zeit resultiert, die für die 2 km-Distanz benötigt wird. Dies bestätigt die Ergebnisse von Schaar (2006), die eine Studie mit vergleichbarer Methodik durchführte.

Nach Ausschluss der Probandinnen mit schlechter Technik verblieben lediglich 5 Probandinnen in der Stichprobe. Die dadurch nur mit Einschränkung zu bewertenden Daten zeigen analoge Resultate, allerdings bei einem geringeren Zeitunterschied zwischen den beiden Techniken.

Hinsichtlich der für diese Arbeit relevanten Fragestellung bedeutet dies, dass der mit Walking-Stöcken absolvierte 2 km-Walking-Test aufgrund der geringeren Walking-Geschwindigkeit nicht anhand der Normwerttabellen für den 2 km-Walking-Test bewertet werden kann. Zur Erstellung spezifischer Normwerttabellen für einen „2 km-Nordic-Walking-Test“ sollten daher weitere Untersuchungen mit einer größeren Stichprobenzahl durchgeführt werden.

Da die erfassten Herzschlagfrequenzen in der vorliegenden Untersuchung beim Walking und Nordic-Walking nahezu identisch waren, ist davon auszugehen, dass sich auch beim Reha-Walking-Test bei der Verwendung von Stöcken entsprechende Unterschiede bezüglich der benötigten Zeit ergeben könnten. Eine Untersuchung dieser Fragestellung steht allerdings noch aus.

Abschließend kann zusammenfassend festgehalten werden, dass mit dem Reha-Walking-Test ein einfaches, kostengünstiges und praktikables Feldtestverfahren zur Ermittlung der Ausdauerleistungsfähigkeit erstellt werden konnte, das von den Patienten sehr gut angenommen wird und die Hauptgütekriterien erfüllt.

Darüber hinaus wurde in der Reha-Klinik Überruh bei inzwischen weit über 5000 durchgeführten Reha-Walking-Tests und langjähriger Erfahrung bezüglich des Walking-Trainings im Rahmen der klinischen Reha-Routine bisher keine einzige ernsthafte Komplikation festgestellt, obwohl die dort behandelten Patienten in vielfältiger Weise Gesundheitsrisiken aufweisen.

Auch der entwickelte Walking-Test auf dem Laufband erweist sich in der klinischen Praxis als äußerst praktikabel und ermöglicht neben der Erfassung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit die exakte Bestimmung der für die Therapie sinnvollen Intensitätsbereiche.

Nordic-Walking gewinnt auch im Rahmen der medizinischen Rehabilitation zunehmend an Bedeutung. Die Ergebnisse der zum Vergleich von Walking und Nordic-Walking durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass der mit Walking-Stöcken absolvierte 2 km-Walking-Test aufgrund der geringeren Geh-Geschwindigkeit beim Nordic-Walking nicht anhand der Normwerttabellen für den 2 km-Walking-Test bewertet werden kann. Das heißt, weitere Untersuchungen zur Erstellung spezifischer Normwerttabellen für einen „2 km-Nordic-Walking-Test“ sind notwendig.

Grundsätzlicher Vorteil des Walkings für den Bereich der medizinischen Rehabilitation ist die hohe Alltagsrelevanz dieser Bewegungsform und dadurch

der leichte Transfer des in der Rehabilitation erlernten Verhaltens in die Alltagssituation. Günstig sind neben den physiologischen Effekten auch die psychosozialen Wirkungen des Walkings, das meist mit Partner oder mit einer Gruppe durchgeführt wird. Dies schafft günstige Voraussetzungen für eine verbesserte Compliance und damit eine bessere Chance auf eine erfolgreiche Lebensstiländerung.

Vor diesem Hintergrund bieten die hier vorgestellten, walkingbasierten Ausdauer-testverfahren eine sinnvolle Alternative zu den bisher in der medizinischen Rehabilitation bekannten und verwendeten Belastungsverfahren.

Literaturverzeichnis

- Aigner, A., Ledl-Kurkowski, E., Hörl, S. & Salzmann, K. (2004). Effekte von Nordic Walking bzw. normalem Gehen auf Herzfrequenz und arterielle Laktatkonzentration. *Österreichisches Journal für Sportmedizin*, 34 (3), 32-36.
- Bader, S. (2006). *Technikanalyse beim Walking und Nordic Walking*. Unveröffentlichter Forschungsbericht am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH).
- Baum, K.V. (1971). Trainings-Pulsfrequenz: 170 minus Lebensalter. *Sportarzt und Sportmedizin*, 22 (1), 20.
- Berg, A., Keul, J., Stippig, J., Stippig, L., Huber, G. & Kindermann, W. (1980). Die Bedeutung eines praxisorientierten Belastungstests (Laufbandergometrie) für Patienten mit koronarer Herzkrankheit. *Herz/Kreislauf: Zeitschrift für Kardiologie und Angiologie in Klinik und Praxis*, 12 (8), 352-357.
- Beuker, F. (1985). Trimming 130 – ein Fitneß-Programm? *Sport und Gesundheit*, 2 (2), 8-10.
- Blass, K. (2007). *Die Umrundung der Annapurna – psychologische und physiologische Auswirkungen auf den Organismus in Bezug auf Leistungsfähigkeit, Blutwerte und Konstitution*. Unveröffentlichte Examensarbeit am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH).
- Borg, G. (2004). Anstrengungsempfinden und körperliche Arbeit. *Deutsches Ärzteblatt*, 101 (15), A1016-A1021
- Bös, K. (1994). *Handbuch für Walking*. Aachen: Meyer & Meyer Sport.
- Bös, K. (2000). Walking in der stationären Rehabilitation. *Gesundheitssport und Sporttherapie*, 16 (4), 134-139.
- Bös, K. (Hrsg.) (2001). *Handbuch Motorische Tests* (2., vollst. überarb. u. erw. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Bös, K. (2003). Der 2 km-Walking-Test. *Gesundheitssport und Sporttherapie*, 19 (6), 201-207.
- Bös, K. & Banzer, W. (1998). Ausdauer und Widerstandsfähigkeit. In K. Bös & W. Brehm, (Hrsg.) *Gesundheitssport. Ein Handbuch* (S.147-159). Schorndorf: Hofmann.
- Bös, K. & Brehm, W. (Hrsg.) (1998). *Handbuch Gesundheitssport*. Schorndorf: Hofmann.
- Bös, K. & Schott, N. (1997). Belastungsparameter beim Walking. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 48 (4), 145-154.
- Bös, K., Wydra, G. & Karisch, G. (1992). *Gesundheitsförderung durch Bewegung, Spiel & Sport. Ziele und Methoden des Gesundheitssports in der Klinik*. Erlangen: Perimed.
- Bouchard, C., Shephard, R.J. & Stephens, T. (1994). *Physical activity, fitness and health*. Champaign Il.: Human kinetics.
- Bruce, R.A. (1994). Clinical exercise testing. A review of personal and community practice experience. *Exercise Testing*, 21 (3), 405-414.

- Buskies, W. (1998). Laufausdauertraining mit Älteren nach dem subjektiven Belastungsempfinden unter Berücksichtigung physischer und psychischer Parameter (Wohlbefinden). In H. Mechling (Hrsg.), *Training im Alterssport* (S.77-79). Schorndorf: Hofmann.
- Buskies, W. & Boeckh-Behrens, W.-U. (1996). *Gesundheitsorientiertes Fitnesstraining* (2. Auflage). Lüneburg: Wehdemeier & Pusch.
- Buskies, W., Liesner, K. & Zieschang, K. (1993). Zur Problematik der Steuerung der Belastungsintensität beim Dauerlauftraining älterer Männer. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 44 (12), 568-573.
- Church, T.S., Earnest, C.P. & Morss, G.M. (2002). Field testing of physiological responses associated with Nordic Walking. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73 (3), 296-300.
- Cooper, C. & Storer, T. (2001). *Handbook of Exercise testing and interpretation*. Cambridge: University Press.
- Cooper, K.H. (1968). A means of assessing maximal oxygen uptake. *Journal of the American Medical Association*, (232), 135-137.
- Donnelly, J.E., Jacobsen, D.J., Jakicic, J.M., Whatley, J., Gunderson, S., Gillespie, W.J., Blackburn, G.L. & Tran, Z.V. (1992). Estimation of peak oxygen consumption from a sub-maximal half mile walk in obese females. *International Journal of Obesity*, 16, 585-589.
- Ebbeling, C.B., Ward, A. & Brown D.R. (1992). Assessment and comparison of submaximal walking tests in adults aged 60-69 years. *Medicine and science in sports and exercise*, 24 (5), 26.
- Eckert, W. (1978). Der Sport in der zweiten Lebenshälfte unter Berücksichtigung des Ausdauertrainings und dessen Bedeutung in der Prävention und Rehabilitation der Herz-Kreislaufkrankheiten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 29 (11), IX-X und (12), 378-VI.
- Entleutner V. (1995). *Vergleichende Untersuchung zur Anwendung von Laufband und Fahrrad-Ergometrie bei der Leistungsprüfung von gesunden Probanden im Rahmen des bewegungstherapeutischen Konzepts*. Dissertation, Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Fenstermaker K.L., Plowman, S.A. & Looney, M.A. (1992). Validation of the Rockport Fitness Walking Test in females 65 years and older. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 63, 322-327.
- Förderler, A. (2001). Walking – der Weg zur gesunden Fitness. *Sportpraxis*, 42 (5), 46-47.
- Frenzel, J. (2002). *Validierung des 2 km-Walking-Tests und des Walking-Stufentests auf dem Laufband mittels Spiroergometrie*. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fakultät für Bio- und Geowissenschaften der Universität Karlsruhe (TH).
- Graf, P. (2004). *Vergleich der 2 km Walking-Test-Ergebnisse auf ebenem mit den Testergebnissen in profiliertem Gelände*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH).
- Graf, P. (2005). *Vergleich der submaximalen 2 km Walking-Test-Ergebnisse auf ebenem mit den Testergebnissen in profiliertem Gelände*. Unveröffentlichte Masterarbeit am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH).

- Greig, C.A., Botella, J. & Young, A. (1994). The quadriceps strength of healthy elderly people remeasured after eight years. *Muscle & Nerve*, 16, 6 -10.
- Greinert, M. (1979). Sportmethodische Erfahrungen bei einem langjährigen Training mit Herz-Kreislauf-Kranken. *Medizin und Sport*, 19 (4/5/6), 135-137.
- Gyatt, G.H., Sullivan, M.J. & Thomson P.J. (1985). The six-minute walk: A new measure of exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Canadian Med. Association Journal*, 132, 919-923.
- Haass, M., Zugck, C. & Kübler, W. (2000). Der 6-Minuten-Gehtest: Eine kostengünstige Alternative zur Spiroergometrie bei Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz? *Zeitschrift für Kardiologie*, 89 (2), 72-80.
- Haber, P. (2004). *Lungenfunktion und Spiroergometrie*. Wien: Springer.
- Hambrecht, R., Niebauer, J., Marburger, C., Grunze, M., Kalberer, B., Hauer, K., Schlierf, G., Kubler, W. & Schuler, G. (1993). Various intensities of leisure time, physical activity in patients of with coronary artery disease: effects on cardiorespiratory fitness and progression of coronary atherosclerotic lesions. *J Am Coll Cardiol*, 22, 468-477.
- Hardung, M. (2006). „Herzfrequenz = 180 minus Lebensalter“. *Belastungssteuerung in der Rehabilitation. Eine Kontrolluntersuchung mittels Spiroergometrie*. Unveröffentlichte Masterarbeit am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH).
- Härtel, S. & Ludwig, S. (2002). *Sauerstoffaufnahme beim Walking. Vergleich der realen Sauerstoffaufnahme im Feld- und Laufbandtest mit der mittels Walking-Formel errechneten Sauerstoffaufnahme an ausgewählten Probanden*. Unveröffentlichte Examensarbeit am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH).
- Heck, H. (1990). *Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik*. Schorndorf: Hofmann.
- Heinsberg, K.E., Liesen, H., Stein, N. & Hollmann, W. (1981). Vergleichende Untersuchungen über die aerob-anaerobe Schwelle bei untrainierten Männern und Frauen im Altersgang. In W. Kindermann & W. Hort (Hrsg.), *Sportmedizin für Breiten- und Leistungssport* (S. 241-244). Gräfeling: Demeter.
- Heitkamp, H.-C., Vogt, P., Venter, C., Hipp, A., Furian, T.C. & Horstmann, T. (2003). *Steuerung des präventiven Ausdauertrainings*. In D. Jeschke & R. Lorenz (Hrsg.), *Sportmedizinische Trainingssteuerung: Sport – Prävention – Therapie. Aus der Reihe Wissenschaftliche Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft*. Band: 4 (S.161-167). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2002). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- Hollmann, W. (1963). *Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers*. München: Johann Ambrosius Barth.
- Hollmann, W. (1965). *Körperliches Training als Prävention von Herz-Kreislaufkrankheiten*. Stuttgart: Hippokrates.
- Hollmann, W., Barg, W., Weyer, G. & Heck, H. (1970). Der Alterseinfluß auf spiroergometrische Meßgrößen im submaximalen Arbeitsbereich. *Medizinische Welt*, 21 (28), 1280-1288.

- Hollmann, W. & Bouchard, C. (1970). Alter, körperliche Leistung und Training. *Zeitschrift für Gerontologie*, 3 (3), 188-197.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin* (4., völlig neu bearb. Aufl.). Stuttgart, New York: Schattauer.
- Hollmann, W. & Prinz, J.P. (1994). Zur Geschichte der klinischen Bedeutung der kardiopulmonalen Arbeitsuntersuchung unter besonderer Berücksichtigung der Spiroergometrie. *Zeitschrift für Kardiologie*, 83 (4), 247-257.
- Hollmann, W., Rost, R., Dufaux, B. & Liesen, H. (1983). *Prävention und Rehabilitation von Herz-Kreislaufkrankheiten durch körperliches Training*. Stuttgart: Hippokrates.
- Hollmann, W., Rost, R., Mader, A. & Liesen, H. (1992). Altern, Leistungsfähigkeit und Training. *Deutsches Ärzteblatt*, 89 (38), 1930-1937.
- Hollmann, W., Strüder, H.K., Predel, H.-G. & Tagarakis, C.V.M. (2006). *Spiroergometrie. Kardiopulmonale Leistungsdiagnostik des Gesunden und Kranken*. Stuttgart: Schattauer.
- Hollmann, W. & Venrath, H. (1966). Funktionsbeeinflussung im Alternsgang durch Sport und Belastbarkeit des älteren Menschen. In W. Ries (Hrsg.), *Sport und Körperkultur des älteren Menschen - Bericht der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin in der Deutschen Demokratischen Republik* (S. 49-60). Leipzig: Barth.
- Höltke, V., Steuer, M., Jöns, H., Krakor, S., Steinacker T. & Jakob, E. (2005). Walking vs. Nordic-Walking II – Belastungsparameter im Vergleich. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56 (7/8), 243.
- Höltke, V., Steuer, M., Schneider, U., Krakor, S. & Jakob, E. (2003). Walking vs. Nordic-Walking – Belastungsparameter im Vergleich. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54 (7/8), 91.
- Israel, S. (1975). Die maximale Herzfrequenz im Altersgang. *Medizin und Sport*, 15 (12), 370-373.
- Israel, S. (1982). *Sport und Herzschlagfrequenz*. Saalfeld: Gutenberg.
- Israel, S. & Weidner, A. (1988). *Körperliche Aktivität und Altern*. Band 26: Sportmedizinische Schriftreihe. Leipzig: Barth.
- Jacobson, B.H., Wright, T. & Dugan, B. (2000). Load carriage energy expenditure with and without walking poles during inclined walking. *International Journal of Sports Medicine*, 21 (5), 356-359.
- Karvonen, M.J., Kentala, E. & Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate - a longitudinal study. *Annales Medicinæ Experimentalis et Biologiae Fenniae*, 35 (3), 307-315.
- Kindermann, W. & Rost, R. (1991). *Hypertonie, Bewegung, Sport*. München: Aktuelles Wissen Hoechst.
- Kline, G.M., Porcari, J.P., Hintermaister, R., Freedson, P.S., Ward, A., McCarron, F., Ross, J. & Rippe, J. (1987). Estimation of VO₂max from a one-mile track walk, gender, age and body weight. *Medicine and science in sports and exercise*, 19, 253-259.

- König, K., Reindell, H., Musshoff, K. & Roskamm, H. (1962). *Das Herzvolumen und die Leistungsfähigkeit bei 60-75-jährigen gesunden Männern*. Band 39: Archiv für Kreislauforschung: Organ der Deutschen Gesellschaft für Kreislaufforschung (S.143-181). Darmstadt: Steinkopf.
- Kräutle, T. (2000). *Entwicklung und wissenschaftliche Erprobung eines Walking-Stufentests auf dem Laufband*. Unveröffentlichte Examensarbeit am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH).
- Kreb, G. & Bös, K. (2004). Walking und Nordic Walking. *Fit mit Walking 1*, 36-38.
- Kreuzriegler, F., Gollner, E. & Fichtner, H. (2002). *Das ist Nordic-Walking. Ausrüstung, Technik und Training*. München: Urban und Fischer
- Krug, J., Carl, K., Hartmann, U., Hohmann, A. & Starischka, S. (1998). Training im Alterssport aus der Sicht der Trainingswissenschaft. In H. Mechling (Hrsg.), *Training im Alterssport* (S. 200-215). Schorndorf: Hofmann.
- Lagerstrøm, D. & Graf, J. (1986). Die richtige Trainingspulsfrequenz beim Ausdauersport. *Herz, Sport und Gesundheit*, 3 (1), 21-24.
- Lang, S. & Graf, P. (2006). *Pilotstudie zum Einfluss der Ernährung auf die Fett-Glucose-Utilisation unter moderater Ausdauerbelastung – Vergleich zwischen low-fat/ high carb und low-carb (LOGI) Ernährungsformen*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH).
- Laukkanen, R. (1993). *Development and Evaluation of a 2-km Walking-Test for Assessing Maximal Aerobic Power of Adults in Field Conditions*. Kuopio: Kuopio University Publications.
- Laukkanen, R., Oja, P., Ojala, K.H., Pasanen, M.E. & Vuori, I.M. (1992). Feasibility of a 2-km walking test for fitness assessment in a population study. *Scandinavian Journal of Social Medicine*, 20 (2), 119-126.
- Liesen, H., Dufaux, B., Heck, H., Mader, A., Rost, R., Lötzerich, S. & Hollmann, W. (1979). Körperliche Belastung und Training im Alter. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 30 (7), 218-226.
- Löllgen, H. (2005). *Kardiopulmonale Funktionsdiagnostik* (4., neu bearb. Aufl.). Nürnberg: Novartis.
- Löllgen, H., Winter, U.J. & Erdmann, E. (Hrsg.) (1997). *Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., Schürch, W. & Hollmann, W. (1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt und Sportmedizin*, 27 (5), 80-88.
- Mellerowicz, H. & Maidorn, K. (1979). *Ergometrie: Grundriss der medizinischen Leistungsmessung* (3., überarb. und erweiter. Auflage). München: Urban & Schwarzenberg.
- Müller, C., Bremer, C., Schott, N., Meißner-Pöthig, D., Schulz, J., Lemperle, M. & Bös, K. (2002). Vitalität und Übergewicht. Evaluation eines ambulanten Therapiekonzeptes zur Gesundheitsförderung übergewichtiger Frauen im mittleren Erwachsenenalter. *Gesundheitssport und Sporttherapie*, 2, 53-58.

- Myers, J.N. (1996). *Essentials of Cardiopulmonary Exercise Testing*. Champaign (IL): Human Kinetics.
- Neumann, O. (1978). *Art, Maß und Methode von Bewegung und Sport bei älteren Menschen. Bericht über die vom Bundesministerium für Jugend, Familie und Gesundheit geförderten Untersuchungen am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Heidelberg 1973/75* (2. Auflage). Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz: Kohlhammer.
- Nordenfelt, I., Adolfsson, L., Nilsson, J.E. & Olsson, S. (1985). Reference values for exercise tests with continuous increase in load. *Clinical Physiology*, 5 (2), 161-172.
- Nowacki, P. (1981). Neue Aspekte der körperrgewichtbezogenen Fahrrad- und Laufbandergometrie für den Leistungs-, Breiten- und Rehabilitationssport. In W. Kindermann & W. Hort (Hrsg.). *Sportmedizin für Breiten- und Leistungssport*. Gräfelfing: Demeter.
- Oja, P., Laukkanen, R., Pasanen, M., Tyry, T. & Vuori, I. (1991). A 2-km walking test for assessing the cardiorespiratory fitness of healthy adults. *International Journal of Sports Medicine*, 12 (4), 356-362.
- Oja, P., Mänttari, A., Pokki, T., Kukkonen-Harjula, K., Laukkanen, R., Malmberg, J., Miilunpalo, S. & Suni, J. (2001). *UKK Walk Test – Tester's guide*. Tampere: UKK Institute.
- Porcari, J.P., Hendrickson, T.L., Walter, P.R., Terry, L. & Walsko, G. (1997). The physiological response to walking with and without poles on treadmill exercise. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 68 (2), 161-166.
- Robergs, R.A. & Landwehr, R. (2002). The surprising history of the "Hrmax = 220 – age" equation. *Journal of Exercise Physiology online*, 5 (2).
- Robinson, S. (1938). Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiologie*, (10), 251-323.
- Rodgers, C.D., Vanheest, J.L. & Schachter, C.L. (1995). Energy expenditure during submaximal walking exersitriders. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27 (4), 607-611.
- Roecker K., Striegel H. & Dickhuth H.-H. (2003). Heart-rate recommendations: transfer between running and cycling exercise? *International Journal of Sports Medicine*, 24 (3), 173-178.
- Roschinsky, J. (2004). *Nordic-Walking*. Aachen: Meyer und Meyer.
- Rost, R. (1992). Fitness im Alter. *Herz, Sport und Gesundheit*, 9 (3), 10-11.
- Rost, R. (2001). *Lehrbuch der Sportmedizin*. Köln: Deutscher Ärzte.
- Rost, R. & Hollmann, W. (1982). Belastungsuntersuchungen in der Praxis. *Grundlagen, Techniken und Interpretation ergometrischer Untersuchungsverfahren*. Stuttgart: Thieme.
- Rudack, P., Ahrens, U., Thorwesten, L. & Völker, K. (2005). Vergleich der kardiopulmonalen und metabolischen Belastungscharakteristik des Nordic Walkings und Walkings – Konsequenzen für die Trainingssteuerung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56 (7/8), 253.

- Schaar, B. (2006). *Evaluation ausgewählter sportlicher Aktivitäten in Prävention und Rehabilitation*. Habilitationsschrift am Institut für Rehabilitation und Behindertensport der Deutschen Sporthochschule Köln.
- Schiebel, F., Heitkamp H.C., Thoma, S., Hipp, A. & Horstmann, T. (2003). Nordic Walking und Walking im Vergleich. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54 (7/8), 43.
- Schlenker, L. (2006). *Vergleich des Walking Stufentests auf dem Laufband mit dem Stufentest auf dem Fahrradergometer mittels spiroergometrischer Analysen*. Unveröffentlichte Masterarbeit am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH).
- Schmith, G. & Israel, S. (1983). Herzschlagfrequenz beim gesundheitsstabilisierenden Ausdauertraining: 170-1/2 Lebensalter (Jahre) \pm 10 pro min. *Medizin und Sport*, 23 (5), 158-161.
- Schwarz, M., Scharz, L., Urhausen, A. & Kindermann, W. (2002). Walking. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53 (10), 292-293.
- Spanaus, W. (2002). *Herzfrequenzkontrolle im Ausdauersport*. Aachen: Meyer und Meyer.
- Steffny, H. (2003). Das rehabilitative Lauftraining - "Move it or lose it!". In H.A. Kuhlenkampff & A. Berg (Hrsg.), *Ausdauersport in der Rehabilitation* (S.101-117). Median Kliniken GmbH & Co KG.
- Stengel, S. von & Bartosch, H. (2003). *Nordic Walking*. München: Copress.
- Tittel, K., Arndt, K.H. & Hollmann, W. (1993). *Sportmedizin: gestern – heute – morgen*. Band 28: Sportmedizinische Schriftreihe. Leipzig, Berlin, Heidelberg: Johann Ambrosius Barth.
- Vagaggini, B., Taccola, M., Severino, S., Marcello, M., Antonelli, S., Brogi, S., De Simone, C., Giardina, A. & Paggiaro, P.L. (2003). Shuttle walking test and 6-minute walking test induce a similar cardiorespiratory performance in patients recovering from an acute exacerbation chronic obstructive pulmonary disease. *Respiration*, (70), 579-584.
- Völker, K. (1984). Probleme der Belastungssteuerung beim Freizeitsport. *Sport und Gesundheit*, 1 (1), 5-7.
- Ward, A., Wilkie, S., O'Hanley, S., Trask, C., Kallmes, D., Kleinerman, J., Grawford, B. & Freedson, P. (1987). Estimation of VO₂max in overweight females. *Medicine and science in sports and exercise*, 19 (2), 29.
- Widmann, N. (2005). *Analyse und Vergleich der Belastungsparameter von Walking und Nordic-Walking beim 2 km-Walking-Test unter Berücksichtigung der jeweiligen Technik*. Unveröffentlichte Examensarbeit am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Karlsruhe (TH).
- Woll, A. (1995). *Sportliche Aktivität, Fitneß und Gesundheit. Methodenband*. Unveröffentlichter Bericht des Instituts für Sportwissenschaften der Universität Frankfurt.
- Woll, A. (1996). *Gesundheitsförderung in der Gemeinde*. Neu-Isenburg: LinguaMed.
- Wüpper, C., Schulte, A., Geese, R. & Hillmer-Vogel, U. (2005). Energieumsatz beim Walking im Feldtest – Ein Vergleich zwischen Walking und Nordic Walking. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56 (7/8), 249.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Verlauf der mittels verschiedener Formeln berechneten Trainingpuls-empfehlungen in Abhängigkeit vom Lebensalter (nach Hardung, 2006).....	30
Abb. 2:	Patient während des Reha-Walking-Tests.....	39
Abb. 3:	Häufigkeitsverteilung der für den Reha-Walking-Test benötigten Walking-Zeit im Vergleich zur Normalverteilung (Männer)	49
Abb. 4:	Häufigkeitsverteilung der für den Reha-Walking-Test benötigten Walking-Zeit im Vergleich zur Normalverteilung (Frauen)	50
Abb. 5:	Profil der leicht profilierten Strecke (25 Höhenmeter).....	59
Abb. 6:	Profil der stark profilierten Strecke (50 Höhenmeter).....	59
Abb. 7:	Patient während des Walking-Tests auf dem Laufband	75
Abb. 8:	Vergleich der nach den Formeln von Nowacki, Eschenbacher und Schulz berechneten Wattzahlen für die Belastungsstufen des Walking-Tests auf dem Laufband bei männlichen Personen mit einem Körpergewicht von 75 kg.	85
Abb. 9:	Proband auf dem Fahrradergometer beim Vergleich der Leistung auf dem Laufband und dem Fahrradergometer mittels spiroergometrischer Analysen (aus Schlenker, 2006).	87
Abb. 10:	Proband auf dem Laufband beim Vergleich der Leistung auf dem Laufband und dem Fahrradergometer mittels spiroergometrischer Analysen (aus Schlenker, 2006).....	88
Abb. 11:	Vergleich der mittleren relativen Sauerstoffaufnahme auf dem Fahrrad-ergometer und dem Laufband (N=10).	90
Abb. 12:	Vergleich der mittleren Herzschlagfrequenzen auf dem Fahrradergometer und dem Laufband (N=10).	91
Abb. 13:	Vergleich der mittleren Laktatkonzentrationen auf dem Fahrradergometer und dem Laufband (N=10).	92
Abb. 14:	Nach den Formeln von Nowacki, Eschenbacher und Schulz berechnete sowie eigene Wattzahlen für die Belastungsstufen des Walking-Tests auf dem Laufband bei männlichen Personen mit einem Körpergewicht von 75 kg	93
Abb. 15:	Probandin während der Kapillarblutentnahme zur Bestimmung der Laktatkonzentration beim Vergleich von Walking und Nordic-Walking.....	105
Abb. 16:	Probandin im Feldstufentest beim Vergleich von Walking und Nordic-Walking.	106

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Häufig verwendete Belastungsverfahren bei Patienten und Sportlern (nach Kindermann, 1987, S. 246).	13
Tab. 2:	Normwerte für den 2 km-Walking-Test männlicher Probanden (nach Bös, 2003).	22
Tab. 3:	Normwerte für den 2 km-Walking-Test weiblicher Probanden (nach Bös, 2003).	22
Tab. 4:	Darstellung verschiedener Belastungsprotokolle der Laufbandergometrie nach Löllgen et al. (1997).	27
Tab. 5:	Darstellung weiterer Belastungsprotokolle der Laufbandergometrie	28
Tab. 6:	Formeln zur Berechnung der Trainingsherzschlagfrequenz im Gesundheits- und Freizeitsport.	29
Tab. 7:	Gesamtstichprobe zur Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests (m=24; w=13).	33
Tab. 8:	Stichprobe der männlichen Patienten zur Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests.	33
Tab. 9:	Stichprobe der weiblichen Patienten zur Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests.	33
Tab. 10:	Ergebnisse Test/Retest zur Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests, Männer (n=24).	34
Tab. 11:	Ergebnisse Test/Retest zur Überprüfung der Reliabilität des Reha-Walking-Tests, Frauen (n=13).	34
Tab. 12:	Gesamtstichprobe der Patienten mit erreichter Ausbelastung und gültigem UKK-Walk-Test (m=27; w=18).	36
Tab. 13:	Stichprobe der männlichen Patienten mit erreichter Ausbelastung und gültigem UKK-Walk-Test.	36
Tab. 14:	Stichprobe der weiblichen Patienten mit erreichter Ausbelastung und gültigem UKK-Walk-Test.	36
Tab. 15:	Gesamtstichprobe der Patienten mit erreichter Ausbelastung und gültigem Reha-Walking-Test (m=34; w=28).	37
Tab. 16:	Stichprobe der männlichen Patienten mit erreichter Ausbelastung und gültigem Reha-Walking-Test.	37
Tab. 17:	Stichprobe der weiblichen Patienten mit erreichter Ausbelastung und gültigem Reha-Walking-Test.	37
Tab. 18:	Ausgewählte Parameter der Laufbandstufentests zum Zeitpunkt der Ausbelastung (N=67; m=38; w=29).	39
Tab. 19:	Ausgewählte Parameter der UKK-Walk-Tests (N=56; m=32; w=24).	40
Tab. 20:	Ausgewählte Parameter der Reha-Walking-Tests (N=80; m=42; w=38).	40
Tab. 21:	Korrelationen (r) und Signifikanzen (p) der relativen Sauerstoffaufnahme innerhalb der 3 Testvarianten.	41
Tab. 22:	Korrelationen (r) und Signifikanzen (p) der Herzschlagfrequenzen innerhalb der 3 Testvarianten.	41
Tab. 23:	Korrelationen (r) und Signifikanzen (p) der Laktatkonzentrationen am Ende der 3 Testvarianten.	42
Tab. 24:	Korrelationen (r) und Signifikanzen (p) der subjektiv empfundenen Belastung nach Borg am Ende der 3 Testvarianten.	42
Tab. 25:	Multiple lineare Regression, Einschlussverfahren. Kriterium: VO ₂ max relativ, unabhängige Variablen: Zeit, Herzschlagfrequenz, Alter, BMI (UKK-Walk-Test).	43

Tab. 26:	Multiple Korrelationskoeffizienten zwischen $VO_2\max$, Walking-Zeit und Kombinationen ausgewählter Variablen im UKK-Walk-Test (nach Laukkanen, 1993, S. 45).....	43
Tab. 27:	Korrelationen und deren Signifikanzen aller bei der multiplen linearen Regression nach dem Einschlussverfahren verwendeter Parameter. Männer (n=27) oben/blau, Frauen (n=18) unten/schwarz; UKK-Walk-Test.	43
Tab. 28:	Multiple schrittweise lineare Regression. Kriterium: $VO_2\max$ relativ; aufgenommene Variablen bei den Männern: Zeit, BMI; bei den Frauen: Zeit (UKK-Walk-Test).....	44
Tab. 29:	Multiple lineare Regression. Kriterium: $VO_2\max$ relativ; aufgenommene Variable: Zeit (UKK-Walk-Test).	44
Tab. 30:	Multiple lineare Regression, Einschlussverfahren. Kriterium: $VO_2\max$ relativ, unabhängige Variablen: Zeit, Alter, BMI (Reha-Walking-Test).....	44
Tab. 31:	Korrelationen und deren Signifikanzen aller bei der multiplen linearen Regression nach dem Einschlussverfahren verwendeter Parameter. Männer (n=34) oben/blau, Frauen (n=28) unten/schwarz; Reha-Walking-Test.	45
Tab. 32:	Multiple schrittweise lineare Regression. Kriterium: $VO_2\max$ relativ; aufgenommene Variablen bei den Männern: Zeit, BMI, Alter; bei den Frauen: Zeit (Reha-Walking-Test).....	45
Tab. 33:	Multiple lineare Regression. Kriterium: $VO_2\max$ relativ; aufgenommene Variable: Zeit (Reha-Walking-Test).....	45
Tab. 34:	Gesamtstichprobe zur Normierung des Reha-Walking-Tests (m=2930; w=1436).	47
Tab. 35:	Stichprobe der männlichen Patienten zur Normierung des Reha-Walking-Tests (n=2930).	48
Tab. 36:	Stichprobe der weiblichen Patienten zur Normierung des Reha-Walking-Tests (n=1436).	48
Tab. 37:	Ergebnisse Reha-Walking-Test, Männer (n=2930). Benötigte Zeit in Minuten.	48
Tab. 38:	Ergebnisse Reha-Walking-Test, Frauen (n=1436). Benötigte Zeit in Minuten.	49
Tab. 39:	Überprüfung der Normalverteilung der Ergebnisse des Reha-Walking-Tests mittels Kolmogorov-Smirnov-Test bei den Männern (n=2930).....	49
Tab. 40:	Überprüfung der Normalverteilung der Ergebnisse des Reha-Walking-Tests mittels Kolmogorov-Smirnov-Test bei den Frauen (n=1436).....	50
Tab. 41:	Normwertbereiche Reha-Walking-Test, Männer (Zeit in min).....	51
Tab. 42:	Normwertbereiche Reha-Walking-Test, Frauen (Zeit in min).	51
Tab. 43:	Gesamtstichprobe zum Vergleich der Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests bei maximaler und bei submaximaler Belastungsvorgabe (m=98, w=24).	52
Tab. 44:	Stichprobe der männlichen Patienten zum Vergleich der Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests bei maximaler und bei submaximaler Belastungsvorgabe (n=98).	53
Tab. 45:	Stichprobe der weiblichen Patienten zum Vergleich der Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests bei maximaler und bei submaximaler Belastungsvorgabe (n=24).	53
Tab. 46:	Ergebnisse Parametervergleich UKK-Walk-Test und Reha-Walking-Test, Männer, (N= 98).	54
Tab. 47:	Ergebnisse Parametervergleich UKK-Walk-Test und Reha-Walking-Test, Frauen (N =24).	55
Tab. 48:	Stichprobe zur Überprüfung des Einflusses von profiliertem Gelände auf die Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests (nur Frauen).....	57
Tab. 49:	Stichprobe zur Überprüfung des Einflusses von profiliertem Gelände auf die Ergebnisse des Reha-Walking-Tests (nur Frauen).....	58

Tab. 50:	Stichprobe zum Vergleich des Einflusses von profiliertem Gelände auf die Ergebnisse des 2 km-Walking-Tests bei maximaler und sub-maximaler Belastungsvorgabe (nur Frauen).	58
Tab. 51:	Übersicht über die Parameter der 2 km-Walking-Tests (\bar{x}) in verschiedenen Geländeprofilen.	60
Tab. 52:	Übersicht über die Parameter der Reha-Walking-Tests (\bar{x}) in verschiedenen Geländeprofilen.	60
Tab. 53:	Benötigte Walking-Zeiten in Abhängigkeit des Geländeprofils.	60
Tab. 54:	Mittelwertsunterschiede und Korrelationen der für die 2 km-Walking-Tests und die Reha-Walking-Tests benötigten Zeiten innerhalb der einzelnen Geländeprofile (N=16)	61
Tab. 55:	Laktatkonzentrationen am Ende der Belastung in Abhängigkeit des Geländeprofils	62
Tab. 56:	Mittelwertsunterschiede und Korrelationen der im Ziel der 2 km-Walking-Tests und des Reha-Walking-Tests erfassten Laktatkonzentrationen innerhalb der einzelnen Geländeprofile (N=16).....	63
Tab. 57:	Herzschlagfrequenzen bei Testende und im Durchschnitt über die gesamte Testdauer in Abhängigkeit des Geländeprofils.	63
Tab. 58:	Mittelwertsunterschiede und Korrelationen der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz und der Herzschlagfrequenz im Ziel der 2 km-Walking-Tests innerhalb der einzelnen Geländeprofile (N=33)	64
Tab. 59:	Mittelwertsunterschiede und Korrelationen der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz und der Herzschlagfrequenz im Ziel der Reha-Walking-Tests innerhalb der einzelnen Geländeprofile (N=30)	65
Tab. 60:	Mittelwertsunterschiede und Korrelationen der am Ende der 2 km-Walking-Tests und am Ende der Reha-Walking-Tests erfassten Herzschlagfrequenzen innerhalb der einzelnen Geländeprofile (N=16)	65
Tab. 61:	Mittelwertsunterschiede und Korrelationen der während der 2 km-Walking-Tests und am Ende der Reha-Walking-Tests erfassten durchschnittlichen Herzschlagfrequenzen innerhalb der einzelnen Geländeprofile (N=16).....	65
Tab. 62:	Gesamtstichprobe zur Überprüfung des Walking-Tests auf dem Laufband (N=86).....	73
Tab. 63:	Stichprobe der männlichen Patienten zur Überprüfung des Walking-Tests auf dem Laufband (N=46)	74
Tab. 64:	Stichprobe der weiblichen Patienten zur Überprüfung des Walking-Tests auf dem Laufband (N=40)	74
Tab. 65:	Ausgewählte Parameter beim Walking-Test auf dem Laufband zum Zeitpunkt des Testabbruches (N=86; m=46; w=40).....	76
Tab. 66:	Ausgewählte Parameter der männlichen Patienten beim Walking-Test auf dem Laufband zum Zeitpunkt des Testabbruches (N=46).....	76
Tab. 67:	Ausgewählte Parameter der weiblichen Patienten beim Walking-Test auf dem Laufband zum Zeitpunkt des Testabbruches (N=40).....	76
Tab. 68:	Ausgewählte Parameter beim Walking-Test auf dem Laufband zum Zeitpunkt der Ausbelastung (N=67; m=38; w=27).....	77
Tab. 69:	Ausgewählte Parameter der männlichen Patienten beim Walking-Test auf dem Laufband zum Zeitpunkt der Ausbelastung (N=38).	77
Tab. 70:	Ausgewählte Parameter der weiblichen Patienten beim Walking-Test auf dem Laufband zum Zeitpunkt der Ausbelastung (N=27).	77
Tab. 71:	Belastungsparameter des Walking-Tests auf dem Laufband vor Erhöhung der Laufband-Steigung (N=67; m=38; w=27).....	78
Tab. 72:	Belastungsparameter der männlichen Patienten während des Walking-Tests auf dem Laufband vor Erhöhung der Laufband-Steigung (N=38).....	78

Tab. 73:	Belastungsparameter der weiblichen Patienten während des Walking-Tests auf dem Laufband vor Erhöhung der Laufband-Steigung (N=27).....	78
Tab. 74:	Häufigkeitsverteilung der maximalen Laufband-Geschwindigkeit der männlichen Patienten im Walking-Test auf dem Laufband (N=46).	78
Tab. 75:	Häufigkeitsverteilung der maximalen Laufband-Geschwindigkeit der weiblichen Patienten im Walking-Test auf dem Laufband (N=40).	79
Tab. 76:	Endgültiges Belastungsprotokoll für den Walking-Test auf dem Laufband für Männer.	80
Tab. 77:	Endgültiges Belastungsprotokoll für den Walking-Test auf dem Laufband für Frauen	80
Tab. 78:	Nach den Formeln von Nowacki, Eschenbacher und Schulz berechnete Wattzahlen für die Belastungsstufen des Walking-Tests auf dem Laufband bei männlichen Personen mit einem Körpergewicht von 75 kg.....	84
Tab. 79:	Stichprobe zur Überprüfung der aus dem Walking-Test auf dem Laufband errechneten Wattzahlen mittels spiroergometrischer Analysen (N=10, nur Männer).	86
Tab. 80:	Zum Vergleich der Leistung auf dem Laufband und dem Fahrradergometer mittels spiroergometrischer Analysen verwendete Belastungsprotokolle.	88
Tab. 81:	Mittelwerte, Standardabweichungen und Mittelwertsunterschiede der auf den einzelnen Stufen des Fahrrad- und des Laufbandtests erfassten absoluten Sauerstoffaufnahmewerte.	89
Tab. 82:	Mittelwerte, Standardabweichungen und Mittelwertsunterschiede der auf den einzelnen Stufen des Fahrrad- und des Laufbandtests erfassten relativen Sauerstoffaufnahme.	90
Tab. 83:	Mittelwerte, Standardabweichungen und Mittelwertsunterschiede der auf den einzelnen Stufen des Fahrrad- und des Laufbandtests erfassten Herzschlagfrequenzen.	91
Tab. 84:	Mittelwerte, Standardabweichungen und Mittelwertsunterschiede der auf den einzelnen Stufen des Fahrrad- und des Laufbandtests erfassten Laktatkonzentrationen.	92
Tab. 85:	Nach den Formeln von Nowacki, Eschenbacher und Schulz berechnete sowie eigene Wattzahlen für die Belastungsstufen des Walking-Tests auf dem Laufband bei männlichen Personen mit einem Körpergewicht von 75 kg.	93
Tab. 86:	In Watt/kg umgerechnete Leistung (Belastungsprotokoll Männer).	94
Tab. 87:	In Watt/kg umgerechnete Leistung (Belastungsprotokoll Frauen).	94
Tab. 88:	Sollwerte für die maximale Leistung in Watt von Männern (nach Nordenfelt, 1985, zitiert nach Löllgen, 2005).	96
Tab. 89:	Sollwerte für die maximale Leistung in Watt von Frauen (nach Nordenfelt, 1985, zitiert nach Löllgen, 2005).	96
Tab. 90:	Übersichtstabelle zu Vergleichsstudien von Walking und Nordic-Walking....	102
Tab. 91:	Zusammenfassende Übersichtstabelle zu den von verschiedenen Autoren ermittelten Unterschieden von Walking und Nordic-Walking.	104
Tab. 92:	Untersuchungsstichprobe für den Vergleich von Walking und Nordic-Walking (n=17; nur Frauen).	104
Tab. 93:	Belastungsparameter beim Walking und Nordic-Walking im Vergleich.	107
Tab. 94:	Fehlerquote in Prozent beim Walking und Nordic-Walking.	108
Tab. 95:	Belastungsparameter beim Walking und Nordic-Walking im Vergleich (ausschließlich Probanden mit guter Technik) (N=5).....	108
Tab. 96:	Aktivitätsindex (in kcal) der Walkerinnen und Nordic-Walkerinnen.....	108
Tab. 97:	Ergebnisse des Wirkungsprofilfragebogens bezüglich Walking und Nordic-Walking (1= sehr gut; 5= mangelhaft).	109

Anhang

- I Belastungsbogen Walking-Test auf dem Laufband (Männer)
- II Belastungsbogen Walking-Test auf dem Laufband (Frauen)
- III Technikbeurteilungsbogen des Deutschen Walking Instituts
- IV Wirkungsprofilfragebogen

I Belastungsbogen Walking-Test auf dem Laufband (Männer)

Institut für Sport und Sportwissenschaft - Universität Karlsruhe 

Belastungsbogen (Walking-Stufentest Laufband Männer)

ID: _____
 Geburtsdatum: _____
 Untersuchung am: _____ Alter: _____

Stufe	Geschw.	Steigung	Herzfrequenz	Laktat	Blutdruck
<i>Vorstart</i>					
0	3/4 km/h	1 %			
1	5 km/h	1 %			
2	6 km/h	1 %			
3	7 km/h	1 %			
4	7 km/h	3,5 %			
5	7 km/h	6 %			
6	7 km/h	8,5 %			
7	7 km/h	11 %			
8	7 km/h	13,5 %			
9	7 km/h	16 %			
10	7 km/h	18,5 %			
11	7 km/h	21 %			
	+ 1 min				
	+ 3 min				
	+ 5 min				

Abbruch nach _____ min bei Stufe ____ . Ursache: _____

II Belastungsbogen Walking-Test auf dem Laufband (Frauen)

Institut für Sport und Sportwissenschaft - Universität Karlsruhe 

Belastungsbogen (Walking-Stufentest Laufband Frauen)

ID: _____
 Geburtsdatum: _____
 Untersuchung am: _____ Alter: _____

Stufe	Geschw.	Steigung	Herzfrequenz	Laktat	Blutdruck
<i>Vorstart</i>					
0	3/4 km/h	1 %			
1	5 km/h	1 %			
2	5,5 km/h	1 %			
3	6 km/h	1 %			
4	6 km/h	3,5 %			
5	6 km/h	6 %			
6	6 km/h	8,5 %			
7	6 km/h	11 %			
8	6 km/h	13,5 %			
9	6 km/h	16 %			
10	6 km/h	18,5 %			
11	6 km/h	21 %			
	+ 1 min				
	+ 3 min				
	+ 5 min				

Abbruch nach _____ min bei Stufe ____ . Ursache: _____

III Technikbeurteilungsbogen des Deutschen Walking Instituts (vgl. Bader, 2006)

Walking	Nordic-Walking
<p>Fuß</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Steiler Fersenaufsatz <input type="radio"/> Abrollen über Fußinnenkante <p>Knie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Gestrecktes Knie beim Aufkommen <p>Becken</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Das Becken kippt zur Seite <p>Hüfte</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Bleibt permanent leicht gebeugt <p>Oberkörper</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Nach vorne geneigt <input type="radio"/> Starke BWS-Hyperkyphose <input type="radio"/> Keine Schulter-Beckengürtel Gegenrot. <p>Schultern</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Schultern hochgezogen <p>Kopf</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Blick 2-3m vor dem Körper nach unten <p>Arme</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Kein Armwinkel <input type="radio"/> Armwinkel > 90° 	<p>Fuß</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Steiler Fersenaufsatz <input type="radio"/> Abrollen über Fußinnenkante <p>Knie</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Gestrecktes Knie beim Aufkommen <p>Becken</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Das Becken kippt zur Seite <p>Hüfte</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Bleibt permanent leicht gebeugt <p>Oberkörper</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Nach vorne geneigt <input type="radio"/> Starke BWS-Hyperkyphose <input type="radio"/> Keine Schulter-Beckengürtel Gegenrot. <p>Schultern</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Schultern hochgezogen <p>Kopf</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Blick 2-3m vor dem Körper nach unten <p>Arme</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Werden nach vorne oben angehoben, starker Ellenbogenwinkel <input type="radio"/> Werden maximal bis auf Hüfthöhe nach hinten geschwungen <p>Hände</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Griff beim Einstecken des Stockes nicht umschlossen <input type="radio"/> Geschlossen beim Ausschwing des Stockes nach hinten <p>Stockeinsatz</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Auf Höhe des vorderen Fußes <input type="radio"/> Auf Hüfthöhe
Fehleranzahl:	Fehleranzahl:

IV Wirkungsprofilfragebogen (vgl. Krieb & Bös, 2004)

Bewerten Sie anhand der Notenskala ihren persönlichen Nutzen von Walking bzw. Nordic-Walking		
Sehr gut = 1 gut = 2 bef. = 3 ausr. = 4 mangelh. = 5		
	Walking	Nordic-Walking
Kräftigung der Schultermuskulatur Rückenmuskulatur Armmuskulatur Brustmuskulatur Beinmuskulatur		
Entlastung der Gelenke		
Linderung von gesundheitlichen Beschwerden		
Fördert die Ausdauerleistung den Stressabbau		
Eignet sich für alle Altersklassen		
Eignet sich als Sportart für Sportanfänger		
Kostenfaktor (1 = sehr günstig...5 = sehr teuer)		

In der stationären medizinischen Rehabilitation ist die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit ein entscheidender Parameter für die sozialmedizinische Begutachtung. Als Goldstandard zur Beurteilung dieses Parameters sowie zur Bestimmung optimaler Trainingspulsbereiche gelten (spiro)ergometrische Untersuchungsverfahren, die zumeist als Trekkurbelastung im Sitzen oder Liegen durchgeführt werden. In der diagnostischen Praxis besitzt die Fahrradergometrie als Standardmethode zur Beurteilung des aktuellen Leistungszustandes und von Leistungsfortschritten jedoch wesentliche physiologische und ökonomische Nachteile.

Vor diesem Hintergrund bieten die hier vorgestellten, walkingbasierten Ausdauererprobungsverfahren eine sinnvolle Alternative zu den bisher in der medizinischen Rehabilitation bekannten und verwendeten Belastungsverfahren.