

MARKUS SCHWARZ

**WALKING ALS AUSDAUERTRAININGSFORM
IM FREIZEIT- UND GESUNDHEITSSPORT**

**DISSERTATION ZUR ERLANGUNG DES GRADES EINES
DOKTORS DER PHILOSOPHIE DER PHILOSOPHISCHEN
FAKULTÄTEN DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES**

- 1. GUTACHTER: PROF. DR. GEORG WYDRA**
- 2. GUTACHTER: PROF. DR. AXEL URHAUSEN**

Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes

SAARBRÜCKEN, 5.6.2001

	Seite
Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 Biomechanische Aspekte des Walking	3
2.1.1 Bewegungstechnik beim (Sport-)Gehen, Walking und Laufen	3
2.1.2 Bodenreaktionskräfte beim Gehen und Laufen	7
2.1.3 Muskuläre Überlastungsreaktionen beim Walking	9
2.2 Physiologische Aspekte des Walking	16
2.2.1 Sauerstoffaufnahme und Energieverbrauch	17
2.2.2 Trainingseffekte und gesundheitliche Auswirkungen	22
2.2.3 Trainingsintensität und Testverfahren	28
3 Untersuchungen	34
3.1 Allgemeine Fragestellungen	34
3.2 Allgemeine Methodik	34
3.2.1 Probanden und Testverfahren	35
3.2.2 Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit	38
3.2.3 Statistik	39
3.3 <u>Studie I</u>: Vergleich des Beanspruchungsprofils beim Walking, Jogging und Radfahren während stufenweise ansteigender Testverfahren bei Freizeit- und Gesundheitssportlern	40
3.3.1 Fragestellung und Hypothesen	40
3.3.2 Methodik	41
3.3.2.1 Probanden	41
3.3.2.2 Untersuchungsdesign	41
3.3.3 Ergebnisse	42
3.3.3.1 Herzfrequenz	42
3.3.3.2 Laktat	46
3.3.3.3 Subjektiver Anstrengungsgrad	48
3.3.3.4 Geschwindigkeit	49
3.3.3.4 Beschwerden	51

3.4 <u>Studie II:</u> Kardiovaskuläre Beanspruchung beim Walking und Jogging in der ambulanten Bewegungstherapie mit Herzpatienten	52
3.4.1 Fragestellungen und Hypothesen	52
3.4.2 Methodik	53
3.4.2.1 Probanden	53
3.4.2.2 Untersuchungsdesign	54
3.4.3 Ergebnisse	54
3.4.3.1 Herzfrequenz	54
3.4.3.2 Blutdruck	56
3.4.3.3 Laktat	58
3.4.3.4 Katecholamine	59
3.4.3.5 Subjektiver Anstrengungsgrad	60
3.4.3.6 Beschwerden	60
3.4.3.7 EKG-Verhalten	61
3.4.3.8 Gesamtstrecke	62
3.5 <u>Studie III:</u> Trainingsempfehlungen für das Walking mit Gesundheitssportlern	63
3.5.1 Fragestellungen und Hypothesen	63
3.5.2 Voruntersuchungen	64
3.5.2.1 Walking ohne Intensitätsvorgabe	64
3.5.2.2 Walking-Geschwindigkeit bei mehrstündiger Belastung	65
3.5.3 Methodik	66
3.5.3.1 Probanden	66
3.5.3.2 Untersuchungsdesign	66
3.5.4 Ergebnisse	68
3.5.4.1 Walking-Dauerbelastungen	68
3.5.4.1.1 Herzfrequenz	68
3.5.4.1.2 Laktat	73
3.5.4.1.3 Katecholamine	75
3.5.4.1.4 Sauerstoffaufnahme	77
3.5.4.1.5 Energieumsatz	80
3.5.4.1.6 Subjektiver Anstrengungsgrad	81
3.5.4.1.7 Beschwerden	83
3.5.4.2 Zusammenhang zwischen der Leistung bei der Fahrradergometrie und beim Walking	85

3.6	Studie IV: Eignung des Walking für leistungs-	
	fähigere Freizeitsportler	87
3.6.1	Fragestellungen und Hypothesen	87
3.6.2	Methodik	88
	3.6.2.1 Probanden	88
	3.6.2.2 Untersuchungsdesign	88
3.6.3	Ergebnisse	90
	3.6.3.1 Walking Dauerbelastungen	90
	3.6.3.1.1 Herzfrequenz	90
	3.6.3.1.2 Laktat	91
	3.6.3.1.3 Sauerstoffaufnahme	93
	3.6.3.1.4 Energieverbrauch	95
	3.6.3.1.5 Subjektiver Anstrengungsgrad	96
	3.6.3.1.6 Schrittfrequenz	98
	3.6.3.1.7 Atemfrequenz	99
	3.6.3.1.8 Beschwerden	102
	3.6.3.2 Herzfrequenz an der Ausdauerleistungsgrenze bei der Fahrradergometrie und beim Walking	103
	3.6.3.3 Einzelfallbetrachtungen	104
4	Diskussion	108
4.1	Vorgaben und Verfahren zur Bestimmung der Belastungsintensität	108
	4.1.1 Fixer Prozentsatz der maximalen Sauerstoff- aufnahme bzw. der maximalen Herzfrequenz	108
	4.1.2 Ausdauerleistungsgrenze	109
	4.1.3 Maximale Walking-Geschwindigkeit	110
4.2	Walking und Jogging Feld-Stufentests bei unter- schiedlich leistungsfähigen Personen	110
4.3	Walking mit Herzpatienten	112
4.4	Walking mit Gesundheitssportlern	116
4.5	Walking mit leistungsfähigeren Freizeitsportlern	122
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	128
	Literaturverzeichnis	134
	Danksagungen	150

Abkürzungsverzeichnis

A	Adrenalin
ACSM	American College of Sports Medicine
AF	Atemfrequenz
AHG	Ambulante Herzgruppe
ALG	Ausdauerleistungsgrenze
EKG	Elektrokardiogramm
FE	Fahrradergometrie
FS	Fahrradergometrie in sitzender Position
HF	Herzfrequenz
HF _{max}	Maximale Herzfrequenz
HF _{peak}	Maximal gemessene Herzfrequenz
HF _R	Herzfrequenzreserve
HF _{submax}	submaximale Herzfrequenz
HF _{2 mmol·l⁻¹}	Herzfrequenz bei 2 mmol·l ⁻¹ Laktat
IAS	Individuelle anaerobe Schwelle
Kat	Katecholamine
kcal	Kilokalorien
KHK	Koronare Herzkrankheit
kJ	Kilojoule
La	Laktat
LB	Laufband
LF _{max}	Maximale Leistungsfähigkeit
MET	Metabolische Einheit
N	Noradrenalin
RQ	Respiratorischer Quotient
RR	Blutdruck nach Riva-Rocci
THF	Trainingsherzfrequenz
V	Geschwindigkeit
$\dot{V}O_{2max}$	Maximale Sauerstoffaufnahme
$\dot{V}O_{2max} \cdot kg^{-1}$	Maximale Sauerstoffaufnahme pro Kilogramm Körpergewicht
$\dot{V}O_{2peak}$	Maximal gemessene Sauerstoffaufnahme
W·kg ⁻¹	Watt pro Kilogramm Körpergewicht
♂	Männlich
♀	Weiblich
$\bar{x} \pm s$	Mittelwert und Standardabweichung
2'p, 3'p, 5'p	Zwei, drei, fünf Minuten nach Belastung

1 Einleitung

Ausdauertraining besitzt aufgrund seiner günstigen Auswirkungen auf das Herz-Kreislaufsystem, den Stoffwechsel und der damit verbundenen kardioprotektiven Wirkung einen hohen Stellenwert im Rahmen eines gesundheitsorientierten Trainingsprogramms. Dabei haben sich die "per-pedes Sportarten" wie beispielsweise Laufen bzw. Jogging wegen der einfachen und natürlichen Bewegungsausführung und des hohen kardiozirkulatorischen Trainingseffekts bei gleichzeitig geringer Druckbelastung des Herzens, guter Dosierbarkeit und geringem materiellem Aufwand bewährt (Folsom/ Ensrud 1993; Hollmann 1991; Hollmann et al. 1985; Lagerström/ Stemper 1989; Rost 1995).

Allerdings werden in der Praxis beim Laufen häufig Überforderungen durch zu hohe Trainingsintensität und orthopädische Beschwerden beobachtet. Untersuchungen an untrainierten Freizeitsportlern bzw. Herzpatienten zeigen, dass die Belastungsdosierung beim Jogging schwierig ist und häufig Laktatkonzentrationen gemessen werden (über 6 mmol l^{-1}), die auf eine zu hohe Intensität für ein freizeit- und gesundheits-sportlich orientiertes Ausdauertraining hinweisen (Coen 1993; Völker 1985; Schulz 1997; Schwarz 1998). Walking, die sportliche Variante des Gehens, wird in der Literatur als "sanfte" Ausdauertrainingsform beschrieben, die einen ausreichenden Trainingsreiz bei gleichzeitig geringer Überforderungsgefahr bietet (Morris 1997; Rippe 1988; Duncan 1991). Deshalb wird gerade für Sport(wieder-)einsteiger, Senioren, Leistungsschwächere und Risikogruppen Walking als "ideale Gesundheitssportart" propagiert (Bös/ Schott 1997).

Seit Anfang der 80er Jahre hat sich das Walking neben dem Jogging als gesundheitsorientierte Bewegungsform etabliert. Seinen Ursprung hat das „sportliche und fitnessorientierte Gehen“ in den USA und Skandinavien und ist mittlerweile auch in Deutschland weit verbreitet (Bös/ Saam 1997). In den USA wurde schon 1983 die Zahl der Fitness-Walker auf über 55 Millionen geschätzt (Rippe et al. 1987). Ein Bericht der National Sporting Goods Association besagt, dass bis zum Jahr 1987 weitere 7,2 Millionen Walker hinzukamen (Porcari 1989). 1990 belief sich die Anzahl der Walker bereits auf 66,6 Millionen (Spelman et al. 1993) und aktuell wird von über 80 Millionen aktiven Walkern in den USA berichtet. 1993 wurde Walking zum erstenmal offiziell beim Deutschen Leichtathletik Verband angeboten und in Form zusätzlicher Gruppen in die Lauftreffs integriert. Seither gewinnt Walking auch in Vereinen und Verbänden immer mehr an Bedeutung und zählt mittlerweile zu den beliebtesten Fitnessaktivitäten.

Walking unterscheidet sich vom Bewegungsablauf des „normalen Gehens“ durch einige technische Besonderheiten. Durch schwungvollen Armeinsatz und gezielte Beintechnik (d. h. Verlängerung der Schrittlänge und Erhöhung der

Schrittfrequenz) wird eine größere Muskelmasse eingesetzt und eine höhere Bewegungsgeschwindigkeit erreicht, wodurch die Sauerstoffaufnahme gegenüber dem normalen Gehen deutlich ansteigt (Hoffmann et al. 1996).

Im Vergleich zum Laufen weist Walking eine deutlich geringere Stoßbelastung auf (Brüggemann 1993), da der Bremsstoß beim Fußaufsatz durch die fehlende Flugphase wesentlich geringer ist (s. Kap. 2.2). Diese biomechanischen Eigenschaften und die gute Dosierbarkeit (Pollock et al. 1993) bedingen das geringe Verletzungsrisiko beim Walking (Davison/Grant 1993) und sind insbesondere für Personen, die aufgrund orthopädischer Vorschäden oder erhöhtem Körpergewicht auf eine gelenkschonende Form des Ausdauertrainings angewiesen sind, von großer Bedeutung (Bös/ Saam 1997).

Darüber hinaus sind aber auch psycho-soziale und sportpädagogische Aspekte erwähnenswert. Unter Berücksichtigung der individuellen Leistungsniveaus ist Walking, analog zum Jogging, in der Gruppe durchführbar (Bös/ Saam 1997). Außerdem werden einem moderaten Ausdauertraining positive Auswirkung auf das Wohlbefinden, als wesentlicher Bestandteil von Gesundheit, zugeschrieben (Häuser et al. 1989; Schlicht 1994; Wydra 1996). Hassmen et al. (1992) und Moul et al. 1995 finden neben der Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit auch kognitive Leistungsverbesserungen, Bahrke/ Morgan (1978) und Porcari et al. (1988) beschreiben sogar eine positive Beeinflussung von Depressions- und Angstzuständen durch ein Walkingtraining.

In der theoretischen Einführung dieser Arbeit werden zunächst anhand von Literaturbefunden biomechanische und physiologische Aspekte des Walking erläutert. Anhand einer Untersuchungsreihe bestehend aus vier Teilstudien wird im empirischen Teil die Eignung des Walking als Ausdauertrainingsform bei unterschiedlich leistungsfähigen Personengruppen überprüft. Weiterhin wird untersucht, welche in die Praxis umsetzbaren Vorgaben hinsichtlich der Trainingsintensität beim Walking möglich sind.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Biomechanische Aspekte des Walking

2.1.1 Bewegungstechnik beim (Sport-)Gehen, Walking und Laufen

"Walking" heißt übersetzt zunächst nur "Gehen", das neben dem Laufen zu den natürlichen Arten körperlicher Fortbewegung gehört. Beim Gehen unterscheidet man eine vordere und hintere Stützphase sowie eine hintere und vordere Schwungphase. Der vollständige Bewegungszyklus des Gehens (s. Abb. 1) wird durch eine Reihe von Muskeln realisiert, die in ihrem Zusammenwirken aufeinander abgestimmt sein müssen.

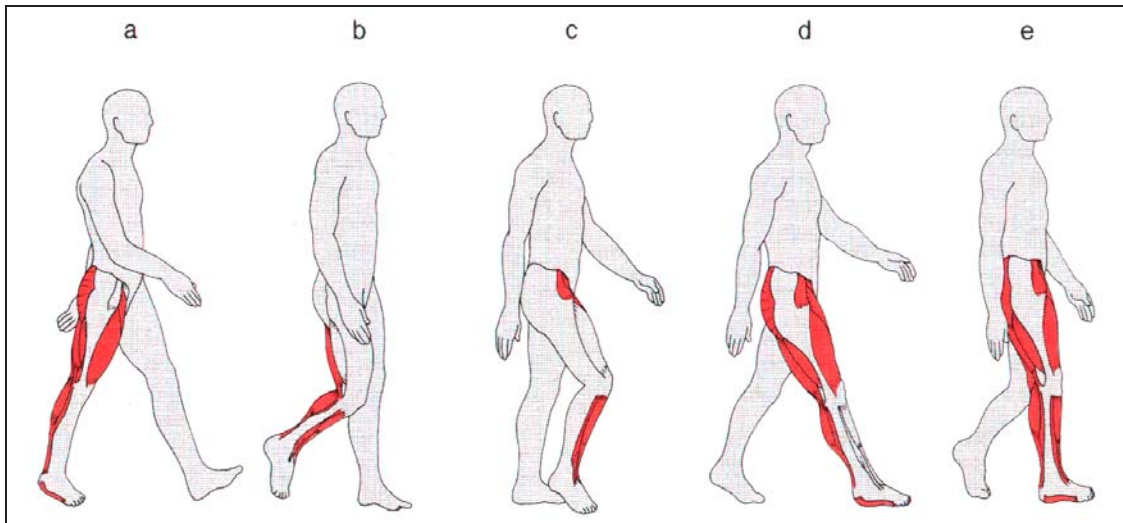


Abbildung 1: Muskelbeteiligung in der hinteren und vorderen Schwung- bzw. Stützphase beim Gehen (Weineck 1995, 205)

Die *hintere Schwungphase* (Abb. 1a) wird durch den Abdruck des hinteren Beines, hauptsächlich durch den M. triceps surae, eingeleitet. Im Moment der Gewichtsentlastung unterstützt die anhaltende Kontraktion der Mm. ischiocrurales die Hüftstreckung, es kommt gleichzeitig zur Beugung im Kniegelenk (Abb. 1b). Während der Oberschenkel in der hinteren Schwungphase passiv zur Vertikalen schwingt, wird der Unterschenkel vor allem durch die Mm. ischiocrurales zum Vorschwingen etwas angehoben. Dabei erfolgt eine gleichzeitige Dorsalextension im oberen Sprunggelenk vor allem durch den M. tibialis anterior.

In der *vorderen Schwungphase* kommt es zu einer zunehmenden Hüftbeugung (Vornahme des Oberschenkels) durch die Kontraktion der Mm. rectus femoris, iliopsoas und tensor fasciae latae (Abb. 1c). Am Ende der vorderen Schwungphase vollzieht sich die Unterschenkelstreckung, bei schnellem Gehen und großer Schrittlänge aktiv durch den M. quadriceps femoris. Die vordere Schwungphase wird durch die Mm. ischiocrurales abgebremst und durch das Aufsetzen

des Schwungbeines mit der Ferse am Boden beendet. Hier beginnt *die vordere Stützphase* des Stütz- oder Standbeines. Sobald die Ferse auf dem Boden aufsetzt, kontrahiert der M. gluteus maximus und wird von den Mm. adductores und ischiocrurales unterstützt (Abb. 1d). Der M. tibialis anterior führt den Unterschenkel zum Fuß heran, der M. triceps surae übernimmt das Aufpressen der Fußsohle auf den Boden. Der M. quadriceps femoris stabilisiert mit dem M. tensor fasciae latae die Standsäule Fuß über die Streckung und Sicherung im Kniegelenk.

Die hintere Stützphase beginnt mit dem Passieren der senkrechten Stellung des Stützbeines (Abb. 1e) und beinhaltet die völlige Streckung der Hüfte durch den Einsatz des schon erwähnten M. gluteus maximus und der Mm. ischiocrurales. Im Moment des Abdruckes des Fußes vom Boden haben alle an der Hüftstreckung, Kniestreckung (M. quadriceps femoris) und Plantarflexion (M. triceps surae und restliche Flexoren) beteiligten Muskeln ihr zweites und höchstes Kontraktionsmaximum (Abb. 1a).

Die Schrittlänge und Schrittfrequenz sind die entscheidenden Komponenten der Gehgeschwindigkeit. In der Schwungphase ist vor allem die Kontraktionskraft der Hüftbeuger (M. rectus femoris, M. iliopsoas, M. tensor fasciae latae u. a.), in der Stütz- und Abdruckphase vorwiegend die der Hüft- und Kniegelenkstrecker (M. gluteus maximus, M. quadriceps femoris) sowie der Plantarflexoren (M. triceps surae) leistungsbestimmend (Weineck 1995).

Das Gehen bzw. Walking unterscheidet sich vom Laufen primär durch die fehlende Flugphase und der dadurch geringeren Bewegungsgeschwindigkeit (Abb. 2). Beim Laufen muss aufgrund der Flugphase bei jedem Schritt das gesamte Körpergewicht abgefangen werden (s. Kapitel 2.1.2), was insbesondere für Adipöse und Patienten mit Erkrankungen des Bewegungsapparates ungünstig ist (Bös/ Saam 1997; Kindermann 1991).

Beim Gehen ist dadurch die Gelenkbelastung geringer und es kommt, insbesondere bei Sporeinsteigern und älteren Menschen, zu weniger Verletzungen und Überlastungsschäden am Bewegungsapparat als beim Laufen (Pollock et al. 1993).

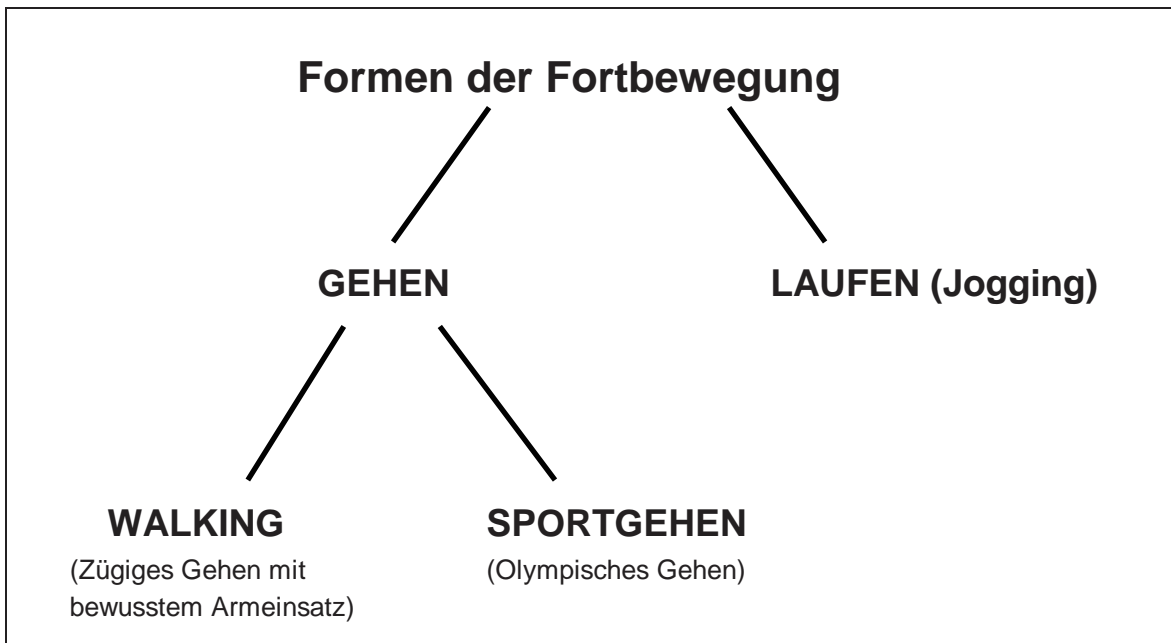


Abbildung 2: Abgrenzung von Gehen, Laufen, Walking und Sportgehen

In Tabelle 1 werden die wesentlichen Unterschiede in der Bewegungsausführung beim Walking, Sportgehen und Laufen bzw. Jogging gegenübergestellt.

Tabelle 1: Bewegungstechnik beim Walking, Sportgehen und Jogging (modifiziert nach Bauer 1992; Bauersfeld/ Schröter 1992; Berry 1990; Bös/ Saam 1997; Jonath et al. 1995)

	Walking	Sportgehen	Jogging
Körperhaltung	<ul style="list-style-type: none"> Aufrecht und leicht nach vorne gebeugt 	<ul style="list-style-type: none"> Aufrecht und leicht nach vorne gebeugt 	<ul style="list-style-type: none"> Aufrecht und leicht nach vorne gebeugt
Aufsetzen des Fußes	<ul style="list-style-type: none"> Nebeneinander <u>Keine Flugphase:</u> Ein Fuß soll immer Bodenkontakt haben <u>Doppelstützphase:</u> Phasenweise haben beide Füße Bodenkontakt (s. Abb. 1) 	<ul style="list-style-type: none"> Geradlinig <u>Keine Flugphase:</u> Ein Fuß muss immer Bodenkontakt haben <u>Doppelstützphase:</u> Phasenweise haben beide Füße Bodenkontakt (s. Abb. 1) 	<ul style="list-style-type: none"> Nebeneinander <u>Flugphase:</u> Nach dem Abrollen des Fußes erfolgt der Abstoß vom Boden - phasenweise haben beide Füße keinen Bodenkontakt
Kniehaltung beim Aufsetzen des Fußes	<ul style="list-style-type: none"> Kniegelenk leicht gebeugt 	<ul style="list-style-type: none"> Kniegelenk gestreckt 	<ul style="list-style-type: none"> Kniegelenk leicht gebeugt
Bewegungen von Becken und Schulter	<ul style="list-style-type: none"> Um die Längsachse 	<ul style="list-style-type: none"> Um die Längs- und Tiefenachse -> Verwirrung von Becken- und Schulterachse 	<ul style="list-style-type: none"> Um die Längsachse
Armschwung	<ul style="list-style-type: none"> Seitlich am Körper 	<ul style="list-style-type: none"> Vor dem Körper bis zur Längsachse 	<ul style="list-style-type: none"> Seitlich am Körper

Der Fußaufsatz erfolgt beim Walking und Jogging nebeneinander und nicht geradlinig, wie beim Sportgehen. Beim Walken und Joggen ist das Kniegelenk beim Fußaufsatz leicht gebeugt und nicht wie beim Sportgeher gestreckt. Die Bewegungen von Becken und Schulter erfolgen lediglich um die Längsachse und nicht um die Längs- und Tiefenachse. Der Armschwung beim Walking erfolgt seitlich am Körper und nicht vor dem Körper bis zur Körpermitte, wie das beim Sportgehen der Fall ist. Damit wird die Beckenkipfung bei gleichzeitiger Torsion im Wirbelsäulenbereich, die für den Freizeit- und Gesundheitssportler möglicherweise eine unnötige Gelenkbelastung darstellen kann, vermieden (Bauersfeld/ Schröter 1992; Berry 1990; Bös/ Saam 1997; Johnson 1996; Milne 1994).

Beim Gehen, Laufen und Springen werden in etwa die gleichen Arbeitsmuskeln benötigt. Die Unterschiede liegen primär im unterschiedlich akzentuierten Einsatz der verschiedenen Muskelgruppen. Beim Walking wird durch schwingvollen Armeinsatz und gezielte Beintechnik (d. h. Verlängerung von Schrittlänge und -frequenz) gegenüber dem normalen Gehen eine größere Muskelmasse eingesetzt und damit auch eine höhere Bewegungsgeschwindigkeit erreicht (Abb. 3).



Abbildung 3: Bewegungsablauf beim Walking (vollständiger Schrittzzyklus)

Demgegenüber liegt die erreichbare Geschwindigkeit beim Walking aufgrund der unterschiedlichen Bewegungsausführung deutlich niedriger als beim Sportgehen. Bei der olympischen Disziplin werden Spitzengeschwindigkeiten von bis zu $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ erreicht. Die anaerobe Schwelle bzw. Ausdauerleistungsgrenze liegt bei Gehern der Weltspitze zwischen $3,5\text{-}3,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bzw. $12,6\text{-}14,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Gohlitz et al. 1996). Dieser Geschwindigkeitsbereich ist mit der Walking-Technik selbst maximal nicht erreichbar. Das Einstiegstempo beim Walking liegt bei ca. $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, beim schnellen Walking können Geschwindigkeiten bis $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ erreicht werden (Ljunggren/ Hassmen 1991; Bös/ Schott 1997).

Im Hinblick auf die Intensität und Zielsetzung existieren unterschiedliche Ausführungsvarianten beim Walking. In Tabelle 2 sind verschiedene Gehformen mit entsprechender Geschwindigkeitsangabe aufgeführt.

Tabelle 2: Verschiedene Gangarten und Varianten des Walking mit Geschwindigkeit (V) und prozentualer maximaler Sauerstoffaufnahme (% $\dot{V}O_{2max}$) (modifiziert nach Berry 1990 bzw. *Morris/ Hardman 1997 und ** Bös/ Saam 1997)

Gangart	Ausführung	V (km·h ⁻¹)	$\dot{V}O_{2max}$ (%)
Spaziergehen/ Bummeln	Sehr langsames Gehen	~ 3	< 30
Slow bzw. Stroll Walking*	Langsames Gehen	< 4,8	30-45
Fitness bzw. Normal Walking	Zügiges Gehen	4,5-6,5	45-70
Wogging**	Zügiges Gehen mit kleinen Hanteln oder Ge- gewichtsmanschetten	4,5-6,5	50-75
Brisk Walking*	Flottes Gehen	~ 6,4	~ 70
Aerobic Walking	Gehen mit größerer Schrittlänge und in- tensiven pumpenden Armbewegungen	6-9	70-90
Fast Walking*	Schnelles Gehen	6,4-8,0	70-85
Very fast Walking*	Sehr schnelles Gehen	> 8,0	> 90
Power Walking**	Gehen mit maximaler Geschwindigkeit, ohne in das Wettkampfgehen überzugehen	8-10	> 90
Race Walking	Sportgehen	> 10	> 90
Hill Walking**	Zügiges Bergaufgehen		

2.1.2 Bodenreaktionskräfte beim Gehen und Laufen

Eine Untersuchung von Warren/ Jones (1987) zeigt, dass bis zu 70 Prozent der Jogger, die das Laufen nicht leistungssportlich betreiben, einmal oder mehrfach im Jahr am Haltungs- und Bewegungsapparat verletzt waren. Santiago et al. (1987) und Pollock et al. (1991) berichten bei Walkern (jeweils fünfmonatiges Training, 40-50 Minuten pro Einheit, viermal pro Woche) lediglich von einer Verletzungsrate von sieben bis zwölf Prozent.

Am eindrucksvollsten lassen sich die Unterschiede der Belastungen beim Jogging und Walking durch den Vergleich der vertikalen und horizontalen Bodenreaktionskräfte verdeutlichen. Während beim normalen Gehen (ca. 3-6 km·h⁻¹) vertikale Bodenreaktionskräfte von maximal dem 1,2fachen des Körpergewichts gemessen werden, sind beim Laufen mit ca. 16 km·h⁻¹ vertikale Maximalkräfte des drei bis vierfachen des Körpergewichts pro Schritt wirksam (Brüggemann 1993, s. Abb. 4).

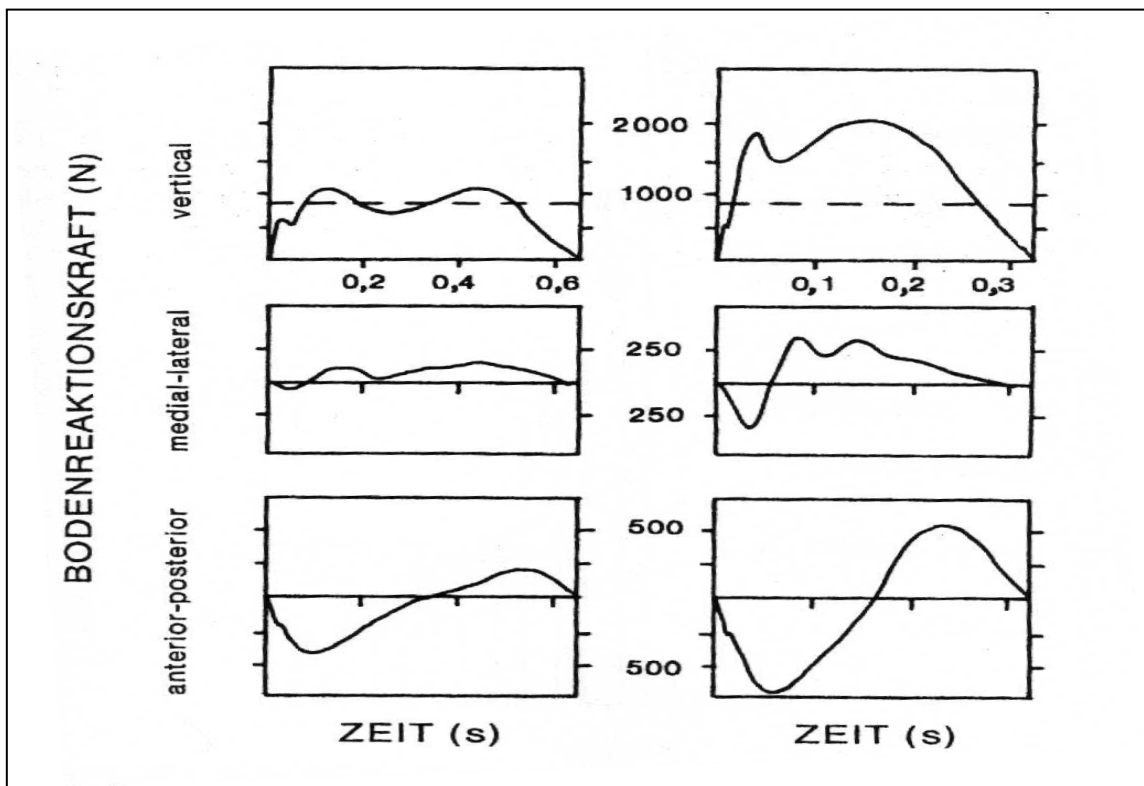


Abbildung 4: Vertikale und horizontale Bodenreaktionskräfte beim Gehen [links] und beim Laufen [rechts] (Brüggemann 1993, 5)

Bei einem Vergleich der bei verschiedenen Sportarten auftretenden Stoßbelastungen wird deutlich, dass insbesondere bei Absprüngen und Landungen mit hohen horizontalen Geschwindigkeiten hohe Kräfte auftreten. Bei den leichtathletischen Sprungdisziplinen treten dementsprechend die höchsten, beim Laufen mittlere und beim Gehen die niedrigsten vertikalen Bodenreaktionskräfte auf (Abb. 5). Die fehlende Flugphase beim Walking hat zur Folge, dass pro Schritt weniger Kraft in Form von Bewegungsenergie abgefangen werden muss, da ein Fuß immer den Bodenkontakt behält (Dargatz 1998).

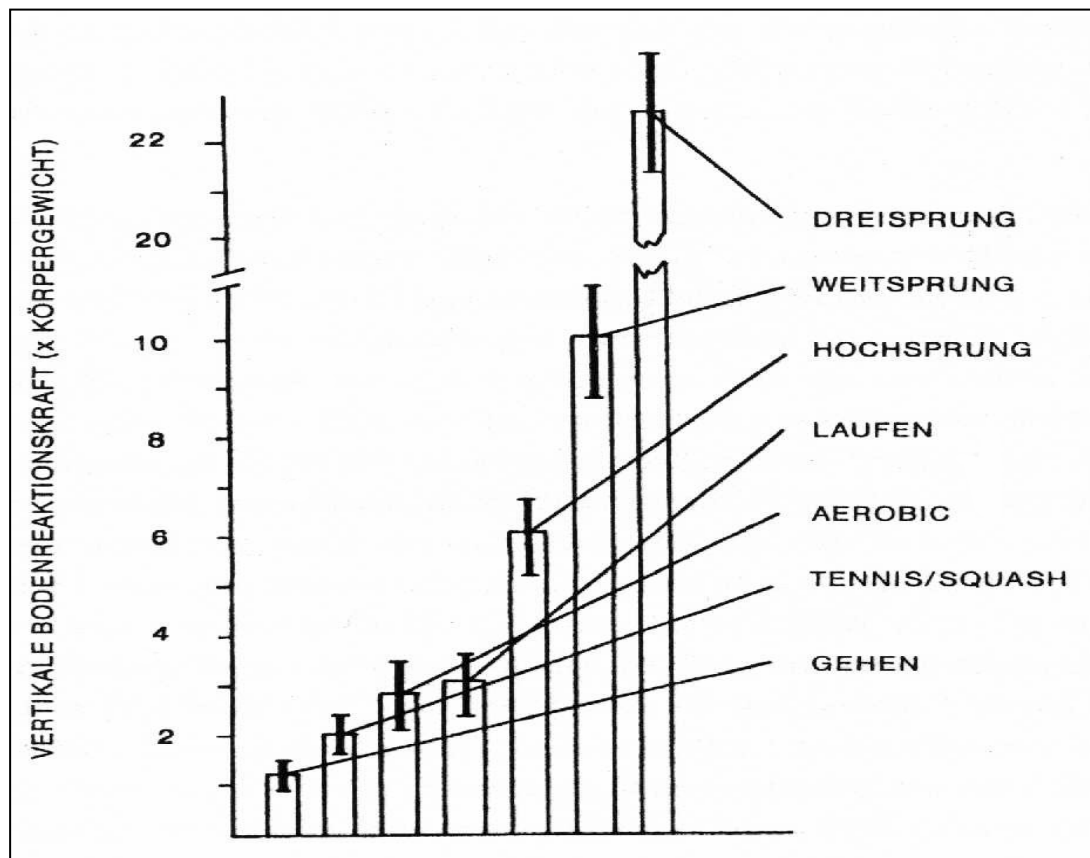


Abbildung 5: Maximale vertikale Bodenreaktionskräfte (im Vielfachen des Körpergewichts) bei verschiedenen Sportaktivitäten (Brüggemann 1993, 7)

2.1.3 Muskuläre Überlastungsreaktionen beim Walking

Die Häufigkeit orthopädischer Beschwerden ist beim Walking zwar im Vergleich zum Jogging geringer (Carroll et al. 1992; Pollock et al. 1991; Santiago et al. 1987), dennoch können vor allem bei höheren Gehgeschwindigkeiten Überlastungsreaktionen, primär in der prätibialen Muskulatur, auftreten (Bäumer 1988; Carroll et al. 1992; Jerosch et al. 1989; Schwarz et al. 1999; Suter et al. 1994), wie sie auch schon bei Sportgehern beschrieben sind (Lennart et al. 1986). Um die Ursache der Beschwerden zu erklären, soll hier etwas näher auf die Anatomie der Unterschenkelmuskulatur eingegangen werden.

Die Unterschenkelmuskeln lassen sich in vier Gruppen untergliedern, die jeweils von nicht dehnbaren, bindegewebigen Hüllen (Logen) umgeben sind. Dazu gehören die vordere (Extensorenloge), die seitliche (Fibularisloge), die hintere oberflächliche und tiefe Muskelloge (Flexorenloge) (Netter 1992; Abb. 6).

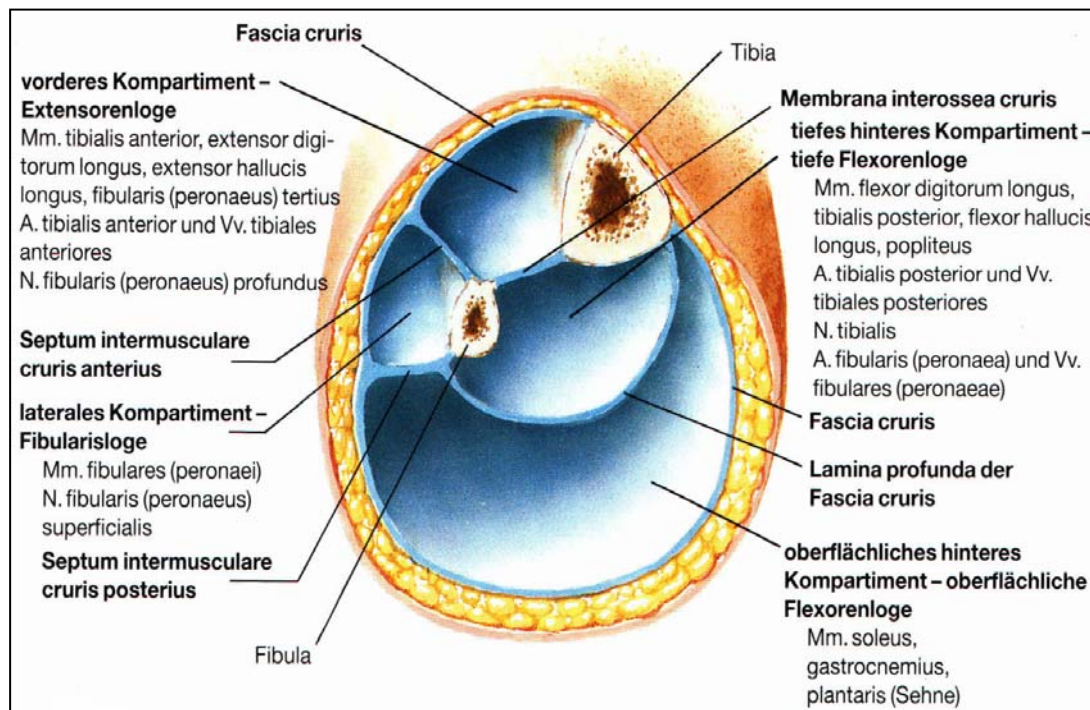


Abbildung 6: Faszienlogen des Unterschenkels (Netter 1992, 98)

Alle am Unterschenkel angeordneten Muskeln setzen mit langen Sehnen am Skelett des Fußes an.

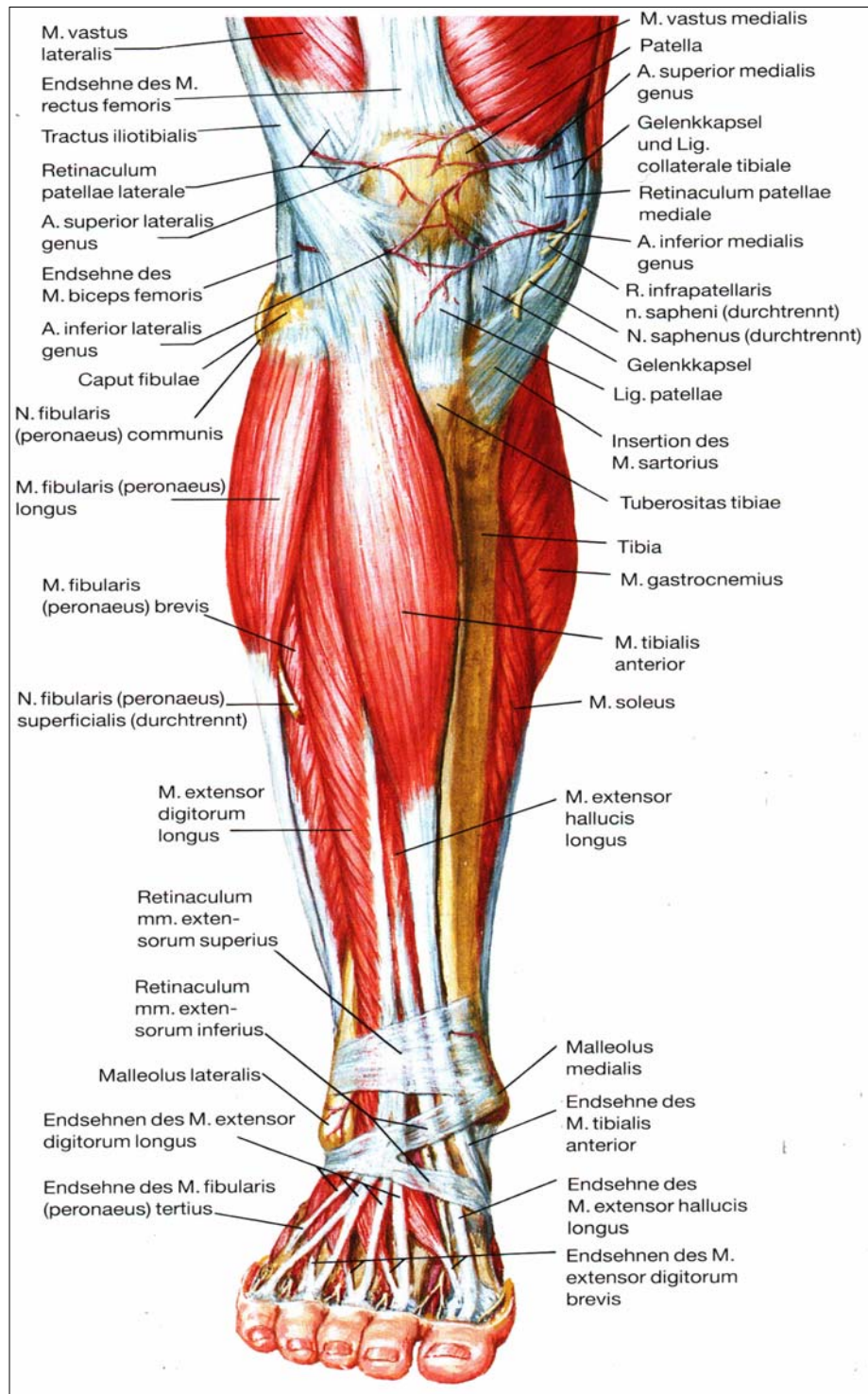
Zu der hinteren oberflächlichen Muskelloge gehören der Zwillingswadenmuskel (M. gastrocnemius), der Schollenmuskel (M. soleus) und der Sohlenspanner (M. plantaris). In der hinteren tiefen Schicht verlaufen der hintere Schienbeinmuskel (M. tibialis posterior), der lange Zehenbeuger (M. flexor digitorum longus) und der lange Großzehenbeuger (M. flexor hallucis longus). Die hinteren oberflächlichen und tiefen Muskeln (Fußsenker) leisten für den aufrechten Stand und Gang im Vergleich zu den vorderen Muskeln (Fußhebern) eine um ein Vielfaches größere Arbeit.

Die drei oberflächlich gelegenen Muskeln der hinteren Loge verrichten eine kräftige Plantarflexion (Beugung des Fußes zur Fußsohle hin) und Supination (Einwärtsdrehung des Fußes). Sie pressen die Fußsohle an den Boden und ermöglichen das Abheben der Füße zum Zehenstand, sowie das Abrollen des Fußes vom Erdboden beim Gehen, Laufen und Springen. Der Zwillingswadenmuskel und der Schollenmuskel sind Gegenspieler des vorderen Schienbeinmuskels und werden in der Literatur auch als dreiköpfiger Wadenmuskel (M. triceps surae) bezeichnet (Tittel 1994).

Die tiefere Gruppe der hinteren Schienbeinmuskeln liegt unter dem dreiköpfigen Unterschenkelmuskel. Die Funktion besteht hauptsächlich in einer starken Supi-

nation und Adduktion (Heranziehen - von der Seite zum Körper) des Fußes (Abb. 7).

Abbildung 7: Vordere Unterschenkelmuskeln (Netter 1992, 99)



In die Kategorie der vorderen Muskelloge gehören der vordere Schienbeinmuskel (M. tibialis anterior), der lange Großzehenstrecker (M. extensor hallucis longus) und der lange Zehenstrecker (M. extensor digitorum longus) (Abb.7).

Der vordere Schienbeinmuskel zieht den Fuß nach oben (Dorsalflexion) und dreht ihn einwärts (Supination). Er leistet vor allem beim schnellen Gehen und Bergaufgehen eine wichtige Arbeit (Herzog 1981). Bei Ermüdung dieses Muskels kann der Geher die Fußspitze nicht mehr ausreichend heben und beginnt zu stolpern (Tittel 1994).

Der lange Großzehenstrecker (M. extensor hallucis longus) ist in seiner Funktion mit dem vorderen Schienbeinmuskel z. T. identisch, d. h. er zieht den Fuß im oberen Sprunggelenk nach oben und streckt zusätzlich noch die große Zehe. Der lange Zehenstrecker (M. extensor digitorum longus), der an der Außenseite neben dem vorderen Schienbeinmuskel liegt, hebt die zweite bis fünfte Zehe.

Der anliegende Verlauf und die Zugrichtung der drei zuletzt beschriebenen Muskeln wird durch sehnige Bänder gesichert: im Bereich der Fessel über der Fußwurzel durch das Querband des Fußes (Lig. transversum cruris) und über dem Fußrücken durch das Kreuzband des Fußes (Lig. cruciatum cruris), auch Halteband für die Strecksehnen (Retinaculum mm. extensorum) genannt (Herzog 1981).

Zu der seitlichen Muskelloge gehört der lange Wadenbeinmuskel (M. peroneus longus) und der kurze Wadenbeinmuskel (M. peroneus brevis). Beide Muskeln heben den äußeren Fußrand und bewirken somit die als Pronation (Auswärtsdrehung des Fußes) bezeichnete Bewegung des Fußes (Herzog 1981). Darüber hinaus unterstützen sie die Plantarflexion des Fußes.

Schlussfolgernd kann man festhalten, dass beim Gehen die Wadenmuskulatur am stärksten beansprucht wird, wobei mit zunehmender Geschwindigkeit vermehrt die Schienbeinmuskulatur miteinbezogen wird.

Durch die beschriebene anatomische Fächerung des Unterschenkels in einzelne Muskellogen (vgl. Abb. 6) kommt es bei zunehmender Gehgeschwindigkeit zu einem starken Druckanstieg in der besonders beanspruchten Muskulatur. Eine akute oder chronische Druckerhöhung in einem umschriebenen, mit starkem Bindegewebe umgebenen Muskelkompartiment begünstigt das sogenannte Kompartmentsyndrom (Bäumer 1988; Jerosch et al. 1989).

Die Ursache für ein Kompartmentsyndrom ist in einem Missverhältnis zwischen Raum und Rauminhalt anzunehmen. Während eines Gangzyklus wird die Unterschenkelfaszie bei Beugung im Kniegelenk und Streckung im Sprunggelenk maximal angespannt und führt so zu einer externen Kompression der vorderen Muskelloge. Zusätzlich kann das Muskelvolumen durch intensive Beanspruchung um mehr als 20 Prozent ansteigen (Jerosch et al. 1989). Als Folge der

komprimierenden Wirkung der Faszie und der vermehrten Muskelarbeit resultiert, abhängig von der Belastungsintensität, ein erheblicher Druckanstieg. Dadurch kommt es innerhalb dieser Muskellogge zu muskulären Mikrozirkulationsstörungen mit zunehmender FunktionseinbuÙe (Jäger/ Wirth 1992).

Am häufigsten hiervon ist die vordere Muskelloge betroffen. Eine Druckerhöhung führt hier zu Schmerzen im Bereich des vorderen Unterschenkels und der Fußheber. Man spricht auch vom Tibialis-anterior-Syndrom. Für die Diagnose typisch ist auch die kontinuierliche Zunahme der Beschwerden unter Belastung bis zum Belastungsabbruch, wobei das Training nach einem Tag Pause in der Regel wieder aufgenommen werden kann, da die Beschwerden meist durch Schonung zurückgehen (Schultz 1988). Allerdings werden in der Literatur auch irreversible Schäden wie Muskelnekrosen und neurologische Störungen beschrieben, die durch Belastungen über die Schmerzgrenze hinaus verursacht werden (Bäumer 1988; Jerosch et al. 1989).

In einer Untersuchung von Jerosch et al. (1989) wurde der intrakompartmentale Druck in der Tibialis-anterior-Logge während des Gangzyklus analysiert. Die Probanden mussten jeweils bei Geschwindigkeiten von 3, 6 und 8 km·h⁻¹ über einen Zeitraum von fünf Minuten auf einem Laufband gehen. Die intrakompartmentale Druckmessung gilt als zuverlässigste Methode zur Dokumentation eines Kompartmentsyndrom. Als Druckaufnehmer diente deshalb ein Schlitzkatheter, der mit einem Kompartimentmonitor-System verbunden war und mit Hilfe einer Spaltnadel 2-3 cm in das vordere Kompartiment plaziert wurde. Bei einer Gehgeschwindigkeit von 3 km·h⁻¹ betrug das mittlere Druckmaximum 40,4 mmHg, bei 6 km·h⁻¹ 46,4 mmHg und bei 8 km·h⁻¹ kam es mit 79,0 mmHg zu einem deutlichen Druckanstieg im Vergleich zu den langsameren Geschwindigkeiten. Das Druckminimum lag beim Gehen kurz vor dem initialen Fersenkontakt, während des Bodenkontaktes (Mittelstand) blieb der Druck nahezu konstant und mit dem Terminalstand und Vorschwung kam es zu einer Druckspitze (Abb. 8).

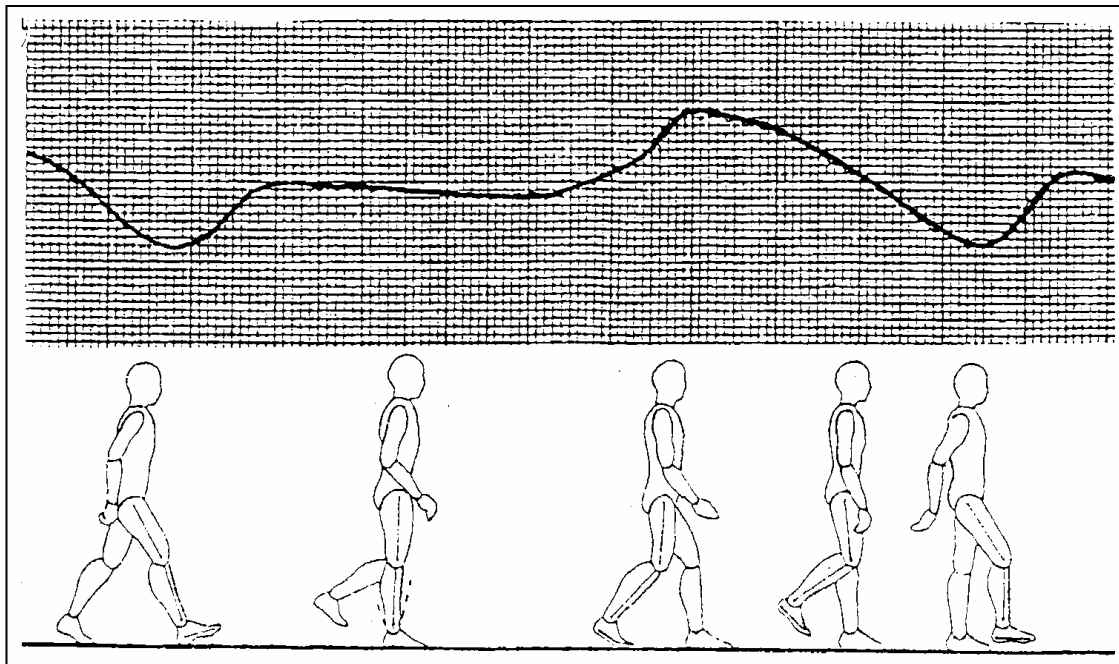


Abbildung 8: Beziehung zwischen dem intrakompartmentalen Druck und Gangzyklus bei einer Gehgeschwindigkeit von $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Jerosch et al. 1989, 174)

Lennart et al. (1986) untersuchten bei 14 Sportgehern (Race-Walkern) den intramuskulären Druck in der Tibialis-anterior-Muskulatur ebenfalls mittels intrakompartmentalem Messverfahren, allerdings mit der Wick-Katheter-Technik (Logan et al. 1983), einem ähnlich reliablen Verfahren wie der Schlitzkatheder (Jerosch et al. 1989).

Die Probanden gingen 15 Minuten auf dem Laufband mit jeweils einer Geschwindigkeit von 5, 8, 10 und $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Der Druck lag in Ruhe zwischen 10-15 mmHg und stieg bis zur maximalen Geschwindigkeit um den Faktor 10 an.

Vier Geher klagten über Schmerzen in der Tibialis-anterior-Muskulatur und zeigten einen um 35-50 Prozent höheren Druckanstieg im Vergleich zu den Teilnehmern ohne Beschwerden. Die Schmerzen traten erst ab einem Druck von 120 mmHg auf, der ab ca. $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ bei diesen vier Probanden erreicht wurde (Abb. 9).

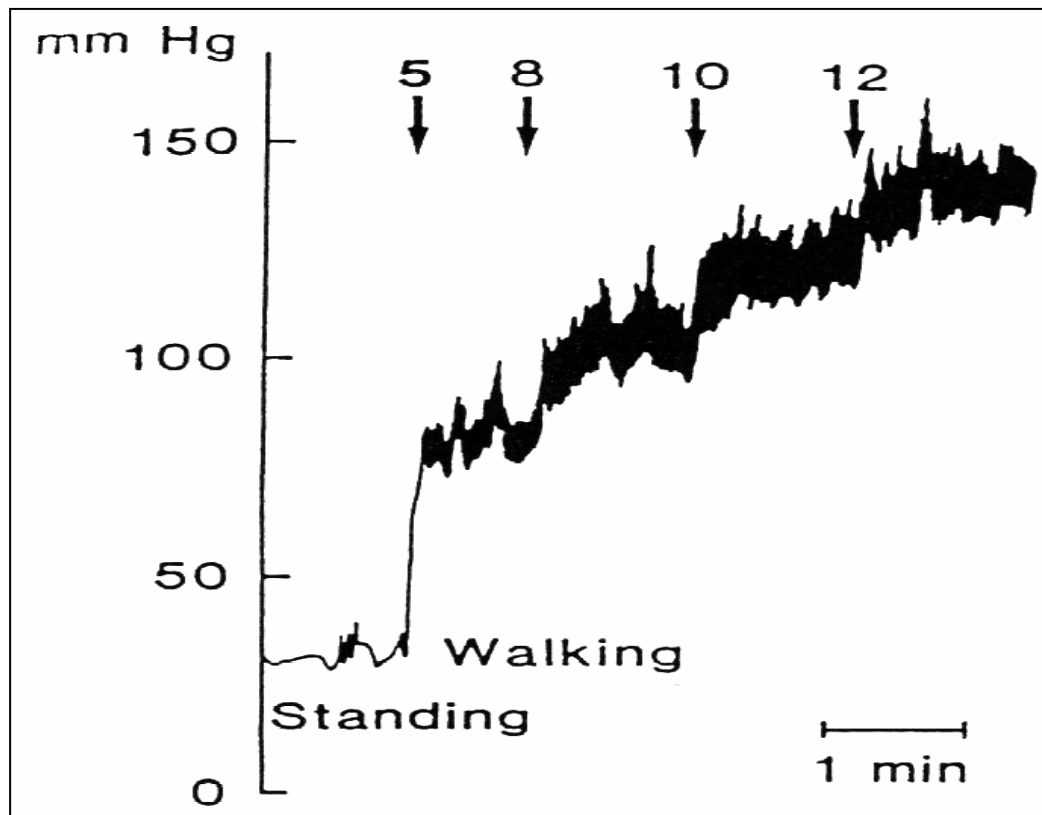


Abbildung 9: Der intrakompartmentale Druck in der vorderen Muskelloge bei unterschiedlicher Geschwindigkeit (Lennart et al. 1986, 137)

Schlussfolgernd kann man festhalten, dass es beim Walking mit zunehmender Geschwindigkeit zu einer Druckerhöhung in der vorderen Muskelloge kommt, was zu einer mangelnden Durchblutung und ungenügenden Sauerstoffversorgung in diesem Bereich führt. Ursache dafür ist, dass die stark beanspruchte Muskulatur keine Möglichkeit zur weiteren Ausdehnung hat, als es die Unterschenkelfaszie zulässt. Folglich kann dies zu Schmerzempfindungen führen, die sogar denen einer Knochenhautentzündung ähneln können (Wirhed 1988).

2.2 Physiologische Aspekte des Walking

Ausdauer ist charakterisiert durch die Fähigkeit, eine gegebene Leistung über einen möglichst langen Zeitraum durchhalten zu können und ist somit identisch mit der Ermüdungs-Widerstandsfähigkeit (Hollmann/ Hettinger 1990).

Um einen adäquaten Belastungsreiz für die allgemeine Ausdauer zu setzen, ist eine dynamische Beanspruchung großer Muskelgruppen (mehr als $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$ der Gesamtmuskelmasse) mit einer Belastungsdauer von zehn Minuten täglich bzw. 30-40 Minuten dreimal wöchentlich und einer Belastungsintensität von 50-70 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme erforderlich, die zu einem wöchentlichen zusätzlichen Energieverbrauch von 1200-2000 kcal führt (American College of Sportsmedicine (ACSM) 1995; Hollmann et al. 1981; Hollmann 1991; Kindermann 1991; Paffenbarger et al. 1986; Paffenbarger 1991).

Neben den klassischen Ausdauerdisziplinen, wie Laufen, Fahrradfahren oder Schwimmen, stellt Walking als sportliche Variante des Gehens ebenfalls eine dynamisch-rhythmische Bewegungsform dar. Der Unterschied zum normalen Gehen liegt vor allem in der höheren Geschwindigkeit, bedingt durch eine intensivere muskuläre Beanspruchung und den aktiven Armeinsatz. Durch Hinzunahme der Arme gegenüber reiner Beinarbeit steigt die Sauerstoffaufnahme aufgrund der größeren insgesamt eingesetzten Muskelmasse (Casaburi et al. 1992; Hoffman et al. 1996). Nach Morris und Hardman (1997) sind bei einem 75 kg schweren Mann beim Walking 12-15 kg Muskelmasse aktiv. Dies entspricht mehr als der Hälfte der Gesamtmuskelmasse.

Physiologische Reaktionen beim Walking werden durch die relative Intensität bezogen auf die individuelle maximale kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit, gemessen als maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2max}$), bestimmt. Bei einer Walking-Geschwindigkeit von $4,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ in der Ebene beträgt die Sauerstoffaufnahme für alle Erwachsenen, unabhängig von Alter, Geschlecht und Leistungsfähigkeit, $13 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ Körpergewicht (ACSM 1998; Morris/ Hardman 1997). Bei einem jungen Menschen unter 30 Jahren entspricht dies knapp 30 Prozent, beim älteren Menschen (75 Jahre) bedingt durch den altersabhängigen Rückgang ca. 60 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme. Dies bedeutet, dass ältere Menschen ab 65-70 Jahre durch „Slow Walking“ (ca. $4,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) bereits die Untergrenze des trainingswirksamen Bereichs (50 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme) überschreiten (ACSM 1998).

Im Gegensatz zu den meisten amerikanischen Autoren, die sich auf die maximale Sauerstoffaufnahme als objektiven Parameter zur Beurteilung der individuellen physiologischen Beanspruchung und Steigerung der aeroben Leistungsfähigkeit beziehen (Duncan et al. 1991; Hardman et al. 1992; Jetté et al. 1988; Pollock et al. 1975; Santiago et al. 1987; Shephard 1993; Suter et al. 1994;

Wenger/ Bell 1986; Woolf-May et al. 1997), wird in der europäischen Sportmedizin häufig auch das Verhalten der Laktat-Leistungskurve als Bezugspunkt gewählt (Kindermann 1987; Niesten-Dietrich et al. 1994; Stensel et al. 1994; Hardman et al. 1992; Urhausen 1993). Nach einem neunwöchigen Walking-Training (dreimal pro Woche je 60-90 Minuten) im Geschwindigkeitsbereich von 6-7 km·h⁻¹ wiesen Niesten-Dietrich et al. (1994) eine Rechtsverschiebung der Laktat-Leistungskurve und somit eine Steigerung der aeroben Leistungsfähigkeit nach. Ebenso belegen die Ergebnisse von Stensel et al. (1994) eine deutliche Senkung der Laktatkonzentrationen sowie der Herzfrequenzen auf gleicher submaximaler Belastungsstufe nach einem dreiwöchigen „Brisk Walkingtraining“. Hardman et al. (1992) fanden nach einem einjährigen, nicht überwachten Walkingtraining ebenfalls eine Verbesserung der kardialen Leistungsfähigkeit.

2.2.1 Sauerstoffaufnahme und Energieverbrauch

Als Einheit des Energieumsatzes wird in Europa in der Regel Kilojoule (kJ) bzw. Kilokalorien (kcal) pro Zeiteinheit, in den USA meist MET (metabolische Einheit) angegeben (1 MET = 3,5 ml·kg⁻¹·min⁻¹ Sauerstoffaufnahme). Zur Messung des Energieumsatzes stehen vorrangig zwei verschiedene Methoden zur Verfügung: die direkte und die indirekte Kalorimetrie (Stegemann 1991).

Bei der *direkten Kalorimetrie* wird mit Hilfe einer isolierten, luftdichten Kammer, in der sich ein Proband befindet, der Sauerstoffverbrauch, die Kohlendioxidproduktion und die Wärmeabgabe (in kJ bzw. kcal) bestimmt. Da diese Methode mit hohem apparativem und damit kostenintensiven Aufwand verbunden ist, hat sich in der Praxis die einfachere Methode der *indirekten Kalorimetrie* durchgesetzt.

Diese Methode beruht auf einer stöchiometrischen Beziehung zwischen der Menge der jeweils oxidierten Nährstoffe, dem dazu benötigten Volumen an Sauerstoff, der Menge anfallenden Kohlendioxids und der frei werdenden Energie. Kennt man die Nährstoffe, die zur Energiebereitstellung im Körper herangezogen werden, dann lässt sich über die Messung der vom Organismus aufgenommenen Sauerstoffmenge der Energieumsatz berechnen. Über den respiratorischen Quotienten (RQ) kann man feststellen, welche Nährstoffe zur Energiebereitstellung im Körper herangezogen werden. Bei einem RQ von 1,0 werden nur Kohlenhydrate und bei 0,7 primär Fette verbrannt. Daraus ergibt sich für jeden dieser RQ-Werte ein bestimmtes kalorisches Äquivalent (Energienmenge in kJ, die bei der Oxidation des betreffenden Nährstoffes mit einem Liter Sauerstoff freigesetzt wird):

RQ	Kalorisches Äquivalent
0,70	19,586 kJ
0,71	19,636 kJ
0,72	19,686 kJ
.	.
1,00	21,131 kJ

Verbrennt der Organismus also vorwiegend Kohlenhydrate, so werden pro Liter Sauerstoff ca. 21,131 kJ (~ 5,0 kcal), bei den Fetten ca. 19,686 kJ (~ 4,7 kcal) freigesetzt. Da der Arbeitsstoffwechsel normalerweise durch Kohlehydrate und Fettsäuren gedeckt wird, kann man den Eiweißanteil in der sportphysiologischen Praxis vernachlässigen (Stegemann 1991).

Die Sauerstoffaufnahme bzw. der Energieverbrauch ist beim Gehen und Laufen abhängig vom Körpergewicht, von der Gehgeschwindigkeit, von der Wegoberfläche, von Umgebungsfaktoren (Wind, Temperatur usw.) und der Bewegungskoordination. Für eine bestimmte Geschwindigkeit verhält sich der Energieverbrauch proportional zum Körpergewicht (s. Abb. 10). Eine Gehgeschwindigkeit von $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ entspricht bei einem 70 kg schweren Mann einer Sauerstoffaufnahme von ca. $900 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, d. h. etwa das Dreifache des Ruheumsatzes (Hollmann/ Hettinger 1990). Bei einer Geschwindigkeit von $6,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ beträgt der Energieverbrauch in Abhängigkeit vom Körpergewicht $20\text{-}30 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ und liegt beispielsweise bei einer 80 kg schweren Person um ca. 50 Prozent höher als bei einer Person mit einem Körpergewicht von nur 50 kg (Morris/ Hardman 1997).

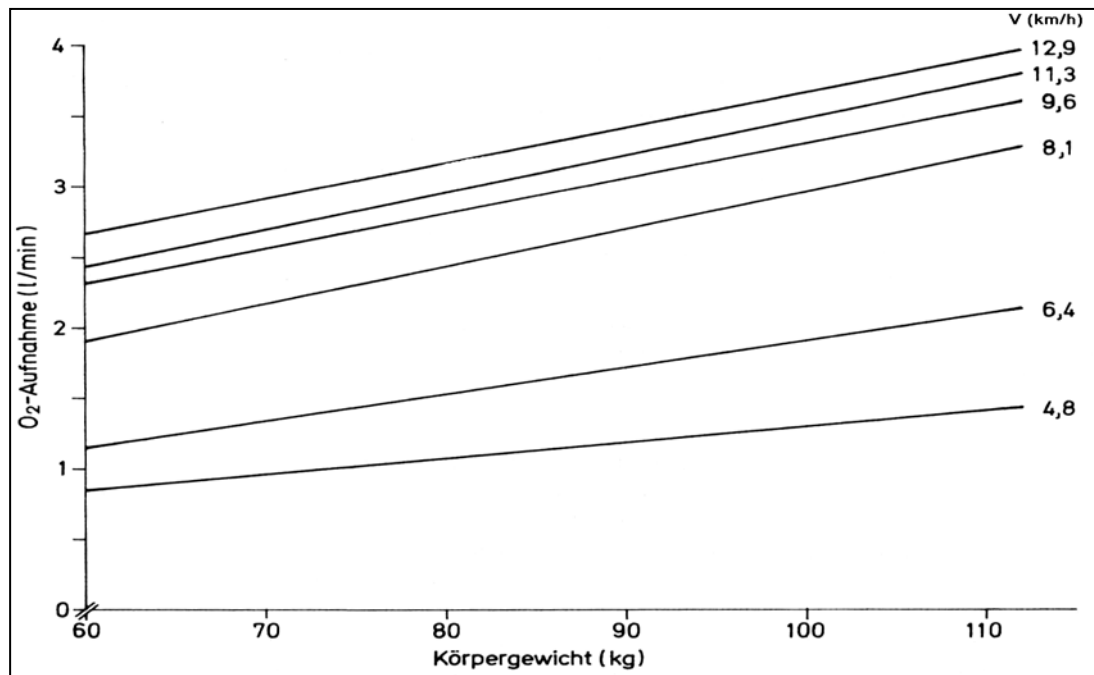


Abbildung 10: Beziehung zwischen der Sauerstoffaufnahme bei verschiedenen Geh- und Laufgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Körpergewicht (Hollmann/Hettinger 1990, 390)

Der mechanische Wirkungsgrad des Gehens bei zehn Prozent Steigung liegt bei etwa 20 Prozent. Er ändert sich als Funktion des Anstiegswinkels und erreicht ca. 25 Prozent bei einer Steigung von 20 Prozent. Ein noch steilerer Anstieg lässt den Wirkungsgrad wieder abfallen, weil dann zuviel Energie zum Anheben des Körpers gegen die Schwerkraft benötigt wird (Hollmann/ Hettinger 1990). Bei einer Steigung von fünf Prozent verdoppelt sich der Energieverbrauch beim Walking im Vergleich zur entsprechenden Geschwindigkeit auf ebener Strecke (Morris/ Hardman 1997). Bergabgehen bei einem zehnprozentigen Gefälle bedeutet eine Energieeinsparung von bis zu 25 Prozent bei allen Geschwindigkeitsbereichen gegenüber dem Gehen in der Ebene. Sehr steile Gefälle hingegen lassen den Energieverbrauch insbesondere bei geringer Geschwindigkeit beträchtlich über den Normwert in der Ebene ansteigen.

Auch der Untergrund ist für den Energiebedarf von Bedeutung. So beträgt der Energieverbrauch auf steinigem Felsboden für einen 70 kg schweren Mann bei einer Gehgeschwindigkeit von $5,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ $31,4 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ ($7,5 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$) gegenüber $23 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ ($5,5 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$) auf Asphalt (Hollmann/ Hettinger 1990).

Mit zunehmender Geschwindigkeit steigt beim Laufen und Gehen der Energiebedarf deutlich an. Beim Laufen steht der individuelle Sauerstoffbedarf in linearer Beziehung zur Geschwindigkeit und zur Steigung. Beim Gehen dagegen steigt oberhalb einer Geschwindigkeit von $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ der Sauerstoffbedarf überproportional steil an (Abb. 11). Bei ca. $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ entsprechen sich der Energie-

verbrauch beim Gehen und Laufen. Unterhalb dieser Geschwindigkeit ist der Energiebedarf beim Gehen niedriger, oberhalb höher als beim Laufen (Berry et al. 1988; Di Prampero 1986; Fellingham et al. 1978; Hagberg/ Coyle 1984; Hollmann/ Hettinger 1990; Ljunggren/ Hassmen 1991; McMurray/ Ahlhorn 1982).

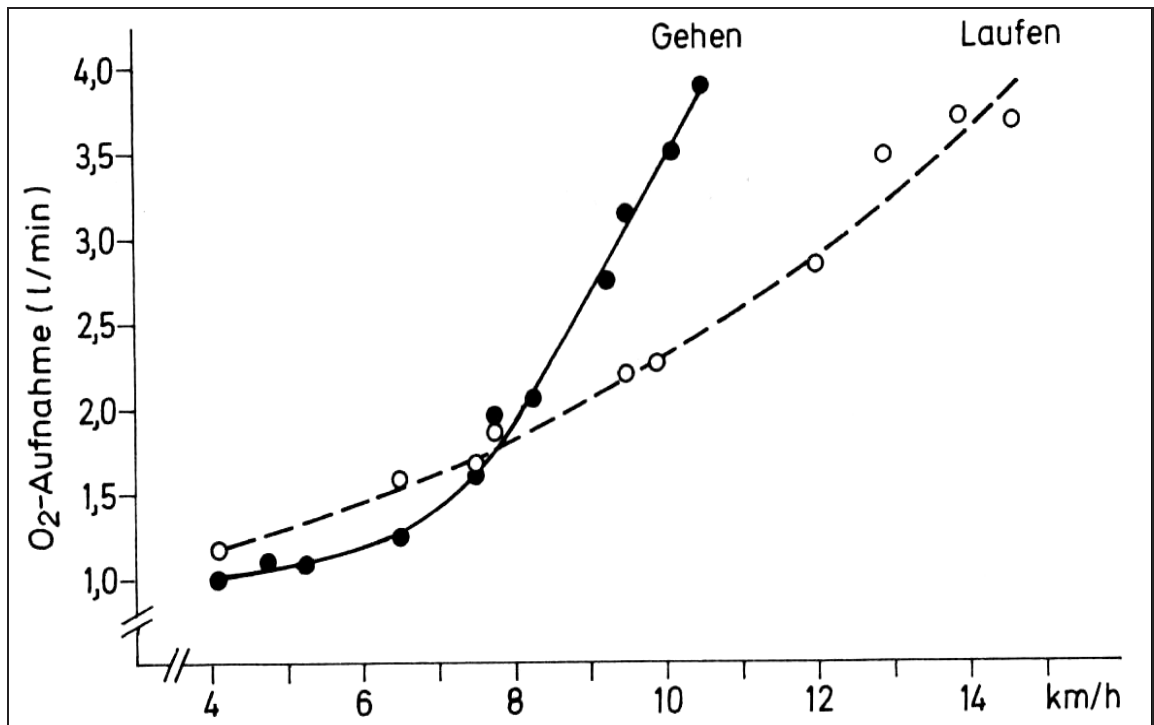


Abbildung 11: Der Energiebedarf beim Gehen und Laufen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (Hollmann/ Hettinger 1990, 648)

Brisswalter und Mottet (1996) geben dementsprechend bei einer mittleren Geschwindigkeit von $7,7 \pm 0,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ den natürlichen und freiwilligen Übergang vom Gehen zum Jogging an.

Unabhängig von der Geschwindigkeit kann der Energieverbrauch auch über Schrittlänge und -frequenz beeinflusst werden (Martin/ Morgan 1991). Die selbstgewählte Schrittlänge ist in der Regel auch die ökonomischste. Eine willkürliche Verlängerung lässt den Energiebedarf sofort ansteigen (Hollmann/ Hettinger 1990). Dieses Prinzip gilt für die Schrittfrequenz ebenso. Der Läufer bzw. Geher sucht sich im Allgemeinen die ökonomischste Schrittfrequenz aus. Gibt man eine Frequenz von außen vor, steigt ebenfalls der Energieverbrauch (Zarugh/ Radcliffe 1978).

In der folgenden Tabelle 3 geben Morris und Hardman (1997), orientiert an Porcari et al. (1987), Himann et al. (1988) und Duncan et al. (1991), physiologische Reaktionen beim Walking bei bestimmten Geschwindigkeitsbereichen bei Frauen mittleren Alters an. Auffallend ist, dass die Probandinnen schon ab einer Geschwindigkeit von $4,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ im Bereich von *Normal* bis *Brisk Walking* die „minimalen Intensitätsschwellen“ des ACSM (1998) überschreiten.

Tabelle 3: Prozentuales Verhalten der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2\max}$), Herzfrequenz (HF) und der maximalen Herzfrequenz (HF_{\max}) bei verschiedenen Walking-Geschwindigkeiten bei Frauen im mittleren Alter (modifiziert nach Morris/ Hardman 1997)

Gangart	Geschwindigkeit [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	$\dot{V}O_{2\max}$ [%]	HF [min^{-1}]	HF_{\max} [%]
Slow/ Stroll	< 4,8	30-45	95-105	55-60
Normal/ Brisk	4,8-6,4	45-70	105-135	60-80
Fast	6,4-8,0	70-90	135-160	80-95
Very Fast	> 8,0	> 90	> 160	> 95

Für Männer im mittleren Alter wird beim *Slow/ Stroll Walking* die erreichbare Sauerstoffaufnahme fünf bis zehn Prozent, beim *Very Fast Walking* 15-20 Prozent niedriger angegeben. Die Herzfrequenz liegt ebenfalls um $10\text{-}20 \text{ min}^{-1}$ niedriger.

Der aktive Armeinsatz und/ oder die Hinzunahme von Gewichten erhöht durch die zusätzliche und intensivere muskuläre Beanspruchung ebenfalls den Energieumsatz (Abadie 1990; Graves 1987; Kang et al. 1997; Michaud 1994; Rippe et al. 1988). Michaud (1994) fand bei gleicher Geschwindigkeit (ca. $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) einen um 17 Prozent höheren Energieverbrauch beim Walking mit forciertem Armeinsatz im Vergleich zum Walking mit normaler Armarbeit. Er zeigte weiterhin, dass durch den zusätzlichen Einsatz von kleinen Gewichten eine weitere Intensitätssteigerung um 13 Prozent bei konstanter Geschwindigkeit möglich ist. Dieser deutliche Effekt wird in der Literatur auch damit erklärt, dass für die gleiche objektiv messbare Leistung die physiologische Beanspruchung bei Oberkörperarbeit im Vergleich zur Beinarbeit höher ist (Michaud 1994; Pendergast 1989). Dies wird durch den größeren Anteil an weißen Muskelfasern, die eine geringere Kapillarisation und somit eine niedrigere Sauerstoffausschöpfung aufweisen (Pendergast 1989), in der kleineren einsetzbaren Muskelmasse und dem höheren Anteil an isometrischer Kontraktion bei Oberkörperarbeit begründet (Michaud 1994; Toner et al. 1983). Casaburi et al. (1992) relativieren allerdings die teilweise sehr hoch angegebenen physiologischen Differenzen zwischen Arm- und Beinarbeit und zeigen, dass bei niedrigen Laktatkonzentrationen

nen, wie sie normalerweise beim Walking zu finden sind, keine nennenswerten Unterschiede auftreten.

2.2.2 Trainingseffekte und gesundheitliche Auswirkungen

Dem Training der allgemeinen aerob-dynamischen Ausdauer wird in der Prävention und Rehabilitation von Herz-Kreislaufkrankungen ein hoher Stellenwert eingeräumt. Es kommt zu bedeutsamen peripheren und zentralen Adaptationen im hämodynamischen und metabolischen Bereich, die durch zahlreiche Untersuchungen dokumentiert sind (ACSM 1998; Berg et al. 1980; Berg et al. 1991; Blair 1985; Hamdorf et al. 1992; Hollmann et al. 1981; Kindermann/ Heiss 1979; Kindermann 1983a; Kindermann 1983b; Kindermann 1987a; Kindermann 1991; Kujala et al. 1998; Leon et al. 1987; Manninen et al. 1988; Mathes/ Mahler 1995; Schwarz et al. 1993; Schwarz et al. 1999; Weicker 1996).

Eine Vielzahl von Untersuchungen zeigen, dass Walking als moderate Ausdauertrainingsform viele positive Trainings- und/ oder Gesundheits-effekte mit sich bringt (Cook et al. 1986; Duncan et al. 1991; Hakim 1998; Hamdorf/ Penhall 1999; Harris 1989; Hinkleman/ Nieman 1993; Jetté et al. 1988; Leon et al. 1979; Leon et al. 1996; Luria/ Koepke 1975; Pollock et al. 1971; Pollock et al. 1975; Pollock et al. 1984; Rowland et al. 1991; Santiago et al. 1987; Suter et al. 1994; Tucker 1990; Woolf-May et al. 1998). Selbst bei Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz sind positive Erfahrungen mit moderatem Ausdauertraining beschrieben, das in erster Linie über eine gesteigerte lokale Ausdauer, vergrößerte Kapillardichte, Anstieg der aeroben Enzymtätigkeit, einen erniedrigten Gefäßwiderstand in der Arbeitsmuskulatur und über eine verbesserte Bewegungsökonomie zu einer gesteigerten Belastungsverträglichkeit und Lebensqualität beitragen kann (Meyer et al. 1997; Meyer 2000).

In Tabelle 4 sind einige wichtige Walking-Trainingsstudien mit Angaben zur Zielsetzung, zum Probandengut, zum Training und den Auswirkungen auf die Ausdauerleistungsfähigkeit, Blutfette, Körperzusammensetzung und den Blutdruck zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 4: Effekte von Walking auf Ausdauerleistungsfähigkeit, Blutfette (HDL-Cholesterin), Körperzusammensetzung und Blutdruck [Abkürzungen: $\dot{V}O_{2max}$ = maximale Sauerstoffaufnahme, HF_{max} = maximale Herzfrequenz, HF_{submax} = submaximale Herzfrequenz, HF_R = Herzfrequenzreserve]

Quelle	Duncan (1991)	Hinkleman (1993)	Jetté (1988)	Leon (1979)	Leon (1996)
Zielsetzung	Effekte von Walking (mit verschiedenen Intensitäten und Geschwindigkeiten) auf Fitness und Gesundheit	Effekte von Walking auf Körperzusammensetzung und Blutfette	Effekte von Walking auf maximale und submaximale Ausdauerleistungsfähigkeit	Effekte von Walking auf Körperfett und Fettstoffwechsel bei einem Energieverbrauch von 5500 kcal/ Woche	Effekte von Walking und Treppensteigen auf Fitness und Gesundheit bei einem Energieverbrauch von ca. 2000 kcal/ Woche
Probanden	59 Frauen, 20-40 Jahre, inaktiv; 3 Treatmentgruppen mit unterschiedlicher Intensität (n = 46), 1 Kontrollgruppe (n = 13)	36 übergewichtige Frauen, 25-45 Jahre, inaktiv; 18 Versuchspersonen, 18 Kontrollpersonen	26 Personen, 35-53 Jahre, inaktiv; 13 Versuchspersonen, 13 Kontrollpersonen	6 übergewichtige Männer, 19-31 Jahre, inaktiv	22 übergewichtige Männer, 22-44 Jahre, inaktiv; 11 Versuchspersonen, 11 Kontrollpersonen
Umfang	5 x 4,8 km/ Woche	5 x 45 min/ Woche	3 x 30 min/ Woche	5 x 90 min/ Woche	<i>Walking:</i> 5 x 45 min/ Woche <i>Treppensteigen:</i> 50 Stufen/ Woche
Dauer	24 Wochen	15 Wochen	12 Wochen	16 Wochen	12 Wochen
Intensität	3 Gruppen (G): G1: 86 % HF_{max} (8,0 km·h ⁻¹); G2: 67 % HF_{max} (6,4 km·h ⁻¹) G3: 56 % HF_{max} (4,8 km·h ⁻¹)	62 % $\dot{V}O_{2max}$ bzw. 60 % HF_R	60 % $\dot{V}O_{2max}$ bzw. 75 % HF_{max}	5 km·h ⁻¹ mit 10 % Steigung	40 % $\dot{V}O_{2max}$ bzw. 55 % HF_{max} (5 km·h ⁻¹ , 2 % Steigung)
Ausdauerleistungsfähigkeit	$\dot{V}O_{2max}$ G1: 16 %; G2: 9 %; G3: 4 % gestiegen	HF_{max} 10 % gesunken	$\dot{V}O_{2max}$ 12,5 % gestiegen HF_{submax} 10,9 % gesunken	$\dot{V}O_{2max}$ 18 % gestiegen HF_{submax} 11,3 % gesunken	Keine signifikanten Veränderungen
Blutdruck	Keine signifikanten Veränderungen	Nicht gemessen	Nicht gemessen	Diastolischer Blutdruck 6 % gesunken	Diastolischer Blutdruck 8 % gestiegen
Blutfette	HDL-Cholesterin Gruppe 1 und 3: 6 % gestiegen; Gruppe 2: keine signifikanten Veränderungen	Keine signifikanten Veränderungen	Nicht gemessen	HDL-Cholesterin 15,6 % gestiegen	HDL-Cholesterin 28 % gestiegen Triglyceride 16 % gesunken
Körperzusammensetzung	Keine signifikanten Veränderungen	Keine signifikanten Veränderungen	Nicht gemessen	Körpergewicht 5,8 %, -fett 5,9 % gesunken	Keine signifikanten Veränderungen
Schlussfolgerungen	Walking mit 56 % HF_{max} bewirkt ähnlich signifikante Anstiege des HDL-Cholesterins wie Walking mit 86 % HF_{max} .	Walking mit 62 % $\dot{V}O_{2max}$ reicht nicht aus, um Blutfette und Körperzusammensetzung positiv zu verändern.	Walking mit 60 % $\dot{V}O_{2max}$ ist effektiv genug, um die Ausdauerleistungsfähigkeit zu verbessern.	5 x 90 min Walking/ Woche senkt das Körpergewicht und -fett und beeinflusst das HDL-Cholesterin günstig.	Walking mit 40 % $\dot{V}O_{2max}$ reicht nicht aus, um die Ausdauerleistungsfähigkeit, aber um die Blutfette günstig zu beeinflussen.

Quelle	Pollock (1971)	Pollock (1975)	Santiago (1987)	Suter (1994)	Woolf-May (1998)
Zielsetzung	Wirkung eines Walkingtrainings auf die Fitness und Körperzusammensetzung	Abhängigkeit der Trainingseffekte von der Bewegungsform bei gleicher Dauer, Intensität und Umfang des Trainings	Vergleich Walking und Jogging bei unterschiedlichem Umfang und Intensität, aber gleichem wöchentlichem Energieverbrauch	Vergleich Walking und Jogging bei unterschiedlichem Umfang und Intensität	Effekte von zwei verschiedenen Walkingprogrammen auf die Ausdauerleistungsfähigkeit und die Blutfette
Probanden	24 Männer, 40 - 56 Jahre, inaktiv; 16 Versuchspersonen, 8 Kontrollpersonen	32 Männer, 30 - 47 Jahre, inaktiv; 9 Walker, 8 Jogger, 8 Fahrradfahrer, 7 Kontrollpersonen	25 Frauen, 20 - 40 Jahre, inaktiv; 8 Walker, 9 Jogger, 8 Kontrollpersonen	75 Männer, 41 Jahre, inaktiv; 28 Walker, 28 Jogger, 19 Kontrollpersonen	49 Personen, 40-71 Jahre, inaktiv; 2 Gruppen mit unterschiedlichem Umfang/ Intensität (n = 33), 1 Kontrollgruppe (n = 16)
Umfang	4 x 40 min/ Woche	3 x 30 min/ Woche	Walking: 4 x 51-55 min/ Woche; Jogging: 4 x 32-36 min/ Woche	Walking: 6 x 30 min/ Woche; Jogging: 4 x 30 min/ Woche	Gruppe 1: 20-40 min/ Tag Gruppe 2: 3 x 10-15 min/ Tag; insgesamt 60-200 min/ Woche
Dauer	20 Wochen	20 Wochen	20 Wochen	26 Wochen	18 Wochen
Intensität	63-76 % HF _{max}	85-90 % HF _{max}	Walking: 52 % $\dot{V}O_{2max}$, 74 % HF _{max} (5,3 km·h ⁻¹ , 6 % Steigung) Jogging: 79 % $\dot{V}O_{2max}$, 84 % HF _{max} (8 km·h ⁻¹ , ohne Steigung)	Walking: 50 % $\dot{V}O_{2max}$ Jogging: 75 % $\dot{V}O_{2max}$	Gruppe 1: 73 % HF _{max} = 68 % $\dot{V}O_{2max}$ Gruppe 2: 71 % HF _{max} = 65 % $\dot{V}O_{2max}$
Ausdauerleistungsfähigkeit	$\dot{V}O_{2max}$ 28 % gestiegen	Bei den 3 Belastungsformen: $\dot{V}O_{2max}$ 12 % gestiegen; HF _{Ruhe} 12 % gesunken	$\dot{V}O_{2max}$ 21 % gestiegen	$\dot{V}O_{2max}$ 7 % gestiegen	HF _{max} Gruppe 1: 4,3 % gesunken; Gruppe 2: 4,9 % gesunken
Blutfette	Nicht gemessen	Nicht gemessen	Keine signifikanten Veränderungen zur Kontrollgruppe	Keine signifikanten Veränderungen	Keine signifikanten Veränderungen
Körperzusammensetzung	Körpergewicht 1,7 % gesunken Körperfett 1,1 % gesunken	Körperfett 3 % gesunken	Keine signifikanten Veränderungen zur Kontrollgruppe	Keine signifikanten Veränderungen	Nicht gemessen
Blutdruck	Diastolischer Blutdruck 3,4 % gesunken	Keine signifikanten Veränderungen	Keine signifikanten Veränderungen	Nicht gemessen	Nicht gemessen
Schlussfolgerungen	Walking mit 63-76 % HF _{max} ist effektiv genug, um die Ausdauerleistungsfähigkeit und Körperzusammensetzung positiv zu verändern.	Der Trainingseffekt ist unabhängig von der Bewegungsform, wenn Umfang, Dauer und Intensität des Trainings vergleichbar sind.	Walking und Jogging mit unterschiedlichem Umfang und Intensität zeigen ähnlich signifikante Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit.	Walking und Jogging mit unterschiedlichem Umfang und Intensität zeigen ähnlich signifikante Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit.	Eine Trainingseinheit Walking mit 20-40 min ist ebenso effektiv, wie mehrere kürzere Einheiten (3 x 10-15 min) pro Tag.

Die meisten Studien zeigen, dass ein moderates regelmäßiges Walkingtraining bei älteren bzw. untrainierten Personen zu einem Anstieg der maximalen Sauerstoffaufnahme und/ oder Senkung der submaximalen Herzfrequenz und Ruheherzfrequenz bei gleicher Belastungsintensität führt (vgl. Tab. 4).

In der Untersuchung von Pollock et al. (1971) stieg beim Walking mit 63-76 Prozent der maximalen Herzfrequenz innerhalb von 20 Wochen die maximale Sauerstoffaufnahme um 28 Prozent an, wobei dieser hohe Zuwachs vermutlich auch auf die relativ niedrigen Ausgangswerte (im Mittel $29,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) der untrainierten 40-56jährigen Probanden zurückzuführen ist. In einer weiteren Studie fanden Pollock et al. (1975) einen ähnlichen Anstieg der maximalen Sauerstoffaufnahme beim Vergleich Fahrradfahren, Laufen und Walking mit vergleichbarer Dauer, Intensität und entsprechendem Umfang. Dementsprechend werden die Effekte auf das Herz-Kreislaufsystem durch ein Walkingtraining als in etwa identisch mit denen anderer Ausdauersportarten beschrieben.

Die Abhängigkeit der Trainingswirkungen von der gewählten Intensität wird unterschiedlich beschrieben. So kam es bei Duncan et al. (1991) nach einem sechsmonatigen Walkingtraining mit hoher Intensität (86 % HF_{max}) zu einem viermal größeren Anstieg der maximalen Sauerstoffaufnahme als mit einer Intensität von 56 Prozent der maximalen Herzfrequenz. Santiago et al. (1987) und Suter et al. (1994) dagegen fanden nach einem 20- bzw. 26wöchigen Walking- und Joggingtraining mit unterschiedlichem Umfang und Intensität ähnlich signifikante Anstiege der Ausdauerleistungsfähigkeit. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass der Trainingsumfang pro Woche beim Jogging jeweils um etwa ein Drittel niedriger lag als beim Walking. Dies steht im Widerspruch zu der Aussage von Pollock et al. 1975, die bei gleichem Trainingsumfang bei verschiedenen Ausdauersportarten ähnliche Trainingseffekte gefunden haben.

Woolf-May et al. (1998) zeigten zumindest bei inaktiven 40-71jährigen Personen, dass für die Effektivität eines Walkingtrainings der Gesamttrainingsumfang von Bedeutung ist, unabhängig davon, ob drei 10-15minütige oder eine 40minütige Trainingseinheit am Tag absolviert wird.

Die Untersuchung von Leon et al. (1996) zeigt, dass trotz eines Trainingsumfanges von fünfmal 45 Minuten pro Woche eine Intensität von 55 Prozent der maximalen Herzfrequenz bzw. 40 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme beim Walking nicht ausreichend ist, um die Ausdauerleistungsfähigkeit zu steigern. Dies bestätigt die Empfehlungen des American College of Sports Medicine (ACSM 1998), das für ein effektives Herz-Kreislauftraining eine Intensität von mindestens 50 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme fordert.

Körpergewicht und Fettanteil

Regelmäßiges Walking-Training senkt sowohl das Körpergewicht, als auch den Körperfettanteil unabhängig vom Geschlecht (Leon et al. 1979; Ohta et al. 1990; Pollock et al. 1971; Pollock et al. 1975; White et al. 1984). Optimal für eine Körperfett- und Gewichtsreduktion wird bei Ohta et al. (1990) "Brisk" Walking beschrieben, kombiniert mit einer Diät. Eine Begrenzung der Kalorienzufuhr alleine führt zwar auch zu einem Gewichtsverlust, allerdings wird mehr Muskelmasse anstelle von Fettsubstanz abgebaut (Pollock 1984). In der Studie von Leon et al. (1979) ging der Gewichtsverlust beim Walking hauptsächlich mit einem vermehrten Fettabbau einher, während die Muskulatur erhalten blieb oder sogar aufgebaut wurde.

Kardiovaskuläre Risikofaktoren

Walking spielt auch bei der Beeinflussung bestimmter Risikofaktoren und Erkrankungen eine bedeutsame Rolle (Davison/ Grant 1993; Morris/ Hardman 1997; Rippe et al. 1988). In verschiedenen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass moderates regelmäßiges Walkingtraining das Risiko der koronaren Herzkrankheit (KHK) vermindert (Blair 1985; La Porte et al. 1985; Leon et al. 1997). Powell et al. (1987) betonen, dass körperlich aktive Personen ein nur etwa halb so hohes Risiko haben an KHK zu erkranken, als inaktive Personen. Hakim et al. (1999) konnten bei einer entsprechenden Gehstrecke pro Tag, bei älteren Männern ein signifikant vermindertes KHK-Risiko nachweisen.

Eine Untersuchung von Manson et al. (1999) mit 40-65jährigen Frauen zeigte, dass ein ca. dreistündiges Walkingtraining [$4,8-6,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ entsprechend 2,5-4,5 MET] pro Woche eine ähnliche Reduktion des KHK-Risikos bewirkt wie ein 90minütiges intensives körperliches Training [$> 6 \text{ MET}$] pro Woche.

Morris und Hardman (1997) zeigten, dass es bei Bluthochdruckpatienten durch ein regelmäßiges Walkingtraining zu einer Blutdrucksenkung kommt. Bei 60-69jährigen Hypertonikern ($> 150/ 85 \text{ mmHg}$), die dreimal eine Stunde pro Woche mit 50 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme über einen Zeitraum von neun Monaten walkten, wurde eine Blutdrucksenkung von 20 mmHg systolisch bzw. 12 mmHg diastolisch, unabhängig von Veränderungen des Körpergewichtes, nachgewiesen. In Studien von Leon et al. (1979) und Pollock et al. (1971) konnte ebenfalls eine günstige Beeinflussung des Blutdruckverhaltens nachgewiesen werden (s. Tab. 4).

Stoffwechsel

Die Auswirkungen des Walking auf den Stoffwechsel werden ähnlich günstig beschrieben wie die auf das Herz-Kreislaufsystem (Morris/ Hardman 1997; Por-

cari et al. 1989; Rippe et al. 1988). Insbesondere ist eine günstige Beeinflussung des Fett- und Cholesterinstoffwechsels durch Walking möglich (Cook et al. 1986; Manninen et al. 1988; Gaesser/ Rich 1984). In der Studie von Duncan et al. (1991) zeigte sich, dass ein Walkingtraining bei untrainierten 20-40jährigen Frauen mit niedriger Intensität ($4,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), allerdings mit relativ hohem Umfang (fünfmal 60 Minuten pro Woche) und über einen längeren Zeitraum (sechs Monate), zu einer Verbesserung des Lipidstoffwechsels (Anstieg von HDL- bzw. Abnahme von LDL-Cholesterin) führt (s. Tab. 4). Durch ein Walkingtraining mit höherer Intensität bei gleichem Umfang und Häufigkeit konnte zwar eine deutliche Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme, aber kein weiterer Anstieg des HDL-Cholesterins erreicht werden.

Um den Fett- und Cholesterinstoffwechsel günstig zu beeinflussen sind, aufgrund der „langen Anlaufzeit“ (mindestens 15-20 Minuten) zur Mobilisierung und energetischen Nutzung von freien Fettsäuren aus den Fettdepots, gerade Belastungen mit längerer Dauer und entsprechend niedriger Intensität besonders geeignet (Niesten-Dietrich et al. 1994).

Leon (1979) fand auch schon nach einem 16wöchigen Brisk Walkingtraining (fünfmal pro Woche jeweils 90 Minuten) auf dem Laufband (zehn Prozent Steigung) mit inaktiven bzw. übergewichtigen Probanden ebenfalls einen deutlichen Anstieg des HDL-Cholesterins.

Nach einem 20wöchigen Walkingtraining mit einer Intensität von etwa 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz konnten Santiago et al. (1987) zwar signifikante Veränderungen hinsichtlich des Gesamtcholesterins, der HDL- und LDL-Cholesterinkonzentration sowie der Triglyzeride nachweisen, allerdings zeigte sich kein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe.

Niesten-Dietrich et al. (1994) konnte nach einem neunwöchigen dreimal 60-90 Minuten pro Woche durchgeführten Walkingtraining mit $6-7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ zwar eine Reduktion des Gesamtcholesterins und der LDL-Cholesterinkonzentration aber keine Veränderungen beim HDL-Cholesterin finden. In diesem Zusammenhang fordern deshalb Wood et al. (1988) und Whitehurst/ Martinez (1991) eine Mindestdauer von etwa drei Monaten für niedrig dosierte Ausdauerprogramme, um das HDL-Cholesterin günstig zu beeinflussen.

Auch Suter et al. (1994) konnten bei einer HDL-Cholesterinkonzentration von im Mittel $48,7 \pm 1,2 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ nach einem 26wöchigen Walking- und Joggingtraining keinen signifikanten Anstieg feststellen. Andere Studien zeigten ebenfalls keine signifikanten Veränderungen des HDL-Cholesterins durch ein Walkingtraining (Hinkleman/ Nieman 1993; Niesten-Dietrich et al. 1994), was wahrscheinlich auf das relativ hohe Ausgangsniveau zurückzuführen ist.

In einer Studie von Woolf-May et al. (1998) kam es trotz eines bis zu 200minütigen Walkingtrainings pro Woche mit ca. 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz zu keinen signifikanten Veränderungen der Blutfete, vermutlich ebenfalls aufgrund der relativ günstigen Ausgangswerte.

Studien von Duncan et al. (1991), Hamdorf et al. (1992), Leon et al. (1979) und Leon et al. (1996) konnten einen Anstieg der HDL-Cholesterinkonzentration durch ein Walkingtraining nachweisen. Leon et al. (1996) und Duncan et al. (1991) haben dabei gezeigt, dass bereits durch eine niedrige Trainingsintensität, die zu keiner Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit führt, die Blutfete positiv beeinflusst werden können.

In der Studie von Santiago et al. (1987) stieg zwar das HDL-Cholesterin (11,6 Prozent), aber auch das Gesamt- und LDL-Cholesterin (8 bzw. 6,5 Prozent) sowie die Triglyzeride (13,5 Prozent). Darüber hinaus zeigte sich aber kein signifikanter Unterschied im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Insgesamt sind die Aussagen bezüglich der Beeinflussung des Fettstoffwechsels durch ein Walkingtraining offensichtlich uneinheitlich, wobei das unterschiedliche Probandengut bzw. die Trainingsprogramme wohl von Bedeutung sind. Hier sind sicher weitere Untersuchungen sinnvoll.

2.2.3 Trainingsintensität und Testverfahren

In der Literatur existieren bisher kaum wissenschaftlich fundierte Intensitätsvorgaben, die sich speziell auf das Walkingtraining beziehen. Die Angaben sind uneinheitlich und beschränken sich hauptsächlich auf den allgemein wirksamen Bereich für ein Ausdauertraining. Viele Autoren geben eine Trainingsherzfrequenz an, die meist prozentual von der maximalen Herzfrequenz abgeleitet ist. Schmidt (1994) verweist mit 180 min^{-1} minus Lebensalter auf eine „sichere Faustregel für eine individuell richtige Belastung“. Dagegen bestehen Bös/Saam (1997) auf die Faustformel 200 minus Lebensalter, die auch für ein extensives Lauftraining gilt (Coen et al. 1993). Ebenso wird auf Bös/Schott (1997) verwiesen, die einen Bereich von 60-80 Prozent der maximalen Herzfrequenz als trainingswirksam ansehen. Andere Autoren beziehen sich bei Intensitätsvorgaben auf die maximale Sauerstoffaufnahme. Zum Beispiel fordern Jetté et al. (1988) und Pollock et al. (1975) einen Intensitätsbereich von 60 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme (s. Tab. 3).

Beim Walking wird meist für die Angabe eines trainingswirksamen Bereichs auf die Empfehlungen des American College of Sports Medicine (ACSM) Bezug genommen. Dabei gibt das ACSM (1998) einen Intensitätsbereich von 55/ 65-90 Prozent der maximalen Herzfrequenz bzw. 40/ 50-85 Prozent der sogenannten Herzfrequenzreserve und wenigstens 50 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme oder 40/ 50-85 Prozent der sogenannten Sauerstoffreserve in Abhängig-

keit von der Leistungsfähigkeit für ein effektives Herz-Kreislauftraining vor. Der Begriff „Reserve“ bedeutet hier jeweils die Miteinbeziehung der Ruhewerte und wird nach den Vorgaben des ACSM wie folgt berechnet: Die Herzfrequenz in Ruhe wird von der maximalen Herzfrequenz subtrahiert, von dieser Differenz werden 85 (obere Grenze) bzw. 50 Prozent (untere Grenze) berechnet und zur Ruhe-Herzfrequenz wieder hinzu addiert. Gleichermaßen wird der Bereich der Sauerstoffreserve ermittelt.

Neben den unterschiedlichen Angaben bezüglich der Trainingsintensität existieren zusätzlich uneinheitliche Kriterien zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. der maximalen Herzfrequenz. Es handelt sich teilweise um berechnete (z. B. maximale Herzfrequenz = 220 minus Lebensalter) oder auf dem Fahrrad- bzw. Laufbandergometer oder in Feldtestform individuell gemessene Werte, die wiederum durch unterschiedliche Verfahren bestimmt worden sind.

In der folgenden Tabelle 5 werden beispielhaft einige Studien bezüglich der Testverfahren zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. maximalen Herzfrequenz und die entsprechend abgeleiteten Vorgaben zur Trainingsintensität vergleichend dargestellt.

Tabelle 5: Übersicht zu den Testverfahren unterschiedlicher Autoren zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2max}$) bzw. maximalen Herzfrequenz (HF_{max}) und entsprechend abgeleiteten Intensitätsangaben für das Walkingtraining

Quelle	Testverfahren	Bestimmung der $\dot{V}O_{2max}$ bzw. HF_{max}	Abgeleitete Intensitätsbereiche
Bös/ Schott (1997)	Feldtest (2 km Walking-Test)	HF_{max} berechnet (220 minus Lebensalter)	60-75 % HF_{max}
Duncan et al. (1991)	LB (modif. Balke-Protocol bis zur subjektiven Erschöpfung)	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen	56-86 % HF_{max}
Graves et al. (1987)	LB (Bruce-Protocol)	HF_{max} , HF_R gemessen	75 % HF_R
Hinkleman (1993)	LB (Bruce-Protocol; 45 min Walking-Dauertest)	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen	60 % HF_R
Jetté et al. (1988)	LB (Walking-Stufentest n. Jetté => modif. Bruce-Protocol)	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen	60 % $\dot{V}O_{2max}$
Knowlton et al. (1992)	LB (Bruce-Protocol)	$\dot{V}O_2$ gemessen	50 % $\dot{V}O_{2max}$
Leon et al. (1996)	LB (Bruce-Protocol)	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen	40 % $\dot{V}O_{2max}$; 55 % HF_{max}
Mercier et al. (1994)	LB (gemischter Walking- und Jogging-Stufentest beginnend mit $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, jede min $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ Steigerung bis zur subjektiven Erschöpfung, LB-Steigung 3%)	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen	65 % $\dot{V}O_{2max}$
Morales et al. (1999)	FE (Stufentest); Feldtest („Shuttle-Walk-Test“ nach Singh 1992; 6 Minuten Walk-Test nach Lipkin 1986)	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen [FE]	89 bzw. 97 % HF_{max}
Murphy et al. (1998)	LB (modif. Balke-Protocol)	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen	70-80 % HF_{max}
Pollock et al. (1971)	LB (modif. Balke-Protocol; Feldtest („One Mile Walking Test“))	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen [LB]	63-76 % HF_{max}
Pollock et al. (1975)	FE (Stufentest); LB (modif. Balke-Protocol)	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen [LB]	85-90 % HF_{max}
Pollock et al. (1987)	LB (Bruce-Protocol)	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen	60 % (-85 %) HF_R
Pollock et al. (1991)	LB (Walking Test nach Hagberg 1989)	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen	40-50 %; 60-70 %; 75-85 % HF_R
Porcari et al. (1987)	LB (modif. Balke-Protocol); Feldtest (One Mile Walking Test)	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen [LB]	70 % HF_{max}

Revill et al. (1999)	Feldtest (20 min Shuttle-Walk-Test nach Singh 1992) LB (20 min Walking-Dauertest bei 75 %, 85 % und 95 % $\dot{V}O_{2peak}$)	$\dot{V}O_{2peak}$ und HF_{max} gemessen [Feldtest]	73 % HF_R ; 55 % $\dot{V}O_{2peak}$
Santiago et al. (1987)	LB (Bruce-Protocol)	$\dot{V}O_2$ und HF_{max} gemessen	71-85 % HF_{max}
Stensel et al. (1994)	LB (16 min Walking-Stufentest, Steigung alle 4 min um 3 %; Feldtest (4 x 400m mit Brisk-Walking-Geschwindigkeit)	$\dot{V}O_{2max}$ und HF_{max} gemessen [LB];	68 % HF_{max}

Der am häufigsten international angewandte Stufentest auf dem Laufband zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme ist das sogenannte Bruce-Protocol (Bruce et al. 1973). Die Belastungssteigerung erfolgt über die Geschwindigkeit und die Steigung des Laufbandes bis zur subjektiven Erschöpfung (Tab. 6).

Tabelle 6: Bruce-Protocol (Bruce et al. 1973)

Stufe	Dauer [min]	Geschwindigkeit [mph / $m \cdot s^{-1}$]	Steigung [%]
1	3	1,7 / 0,8	10
2	3	2,5 / 1,1	12
3	3	3,4 / 1,5	14
4	3	4,2 / 1,9	16
5	3	5,0 / 2,2	18
6	3	5,5 / 2,4	20
7	3	6,0 / 2,7	22

Daneben ist das Balke-Protocol charakterisiert durch eine konstante Gehgeschwindigkeit, die beim Originaltest bei 3,3 mph ($5,3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) liegt. Die Steigung wird um ein Prozent pro Minute erhöht, und bei einer Herzfrequenz von 180 min^{-1} wird der Test beendet (Balke/ Ware 1959). Das Balke Protocol wurde vielfach modifiziert [z. B. 2, 2,5 oder 5 Prozent Steigung alle 2 oder 3 Minuten bzw. Ausbelastung bis zur subjektiven Erschöpfung ohne Testabbruch bei 180 min^{-1}] (Peter/ Foster 1995).

Innerhalb der Feldtests ist der One-Mile-Test das international gebräuchlichste Untersuchungsverfahren (Kline et al. 1987). In Europa wird meist der in Finnland entwickelte 2 km-Walk-Test verwendet (Oja 1991). Dabei soll eine zwei Kilometer lange flache Strecke in möglichst kurzer Zeit mit korrekter Walkingtechnik zurückgelegt werden. Anhand der benötigten Zeit, der Herzfrequenz am Ende der Teststrecke, dem Körpergewicht und dem Lebensalter wird ein Index zur Einstufung der körperlichen Ausdauerleistungsfähigkeit ermittelt. Vom Testergebnis

abgeleitete Trainingsempfehlungen sind primär aber nicht vorgesehen. Im Rahmen der Rehabilitation von Herz-Kreislauf- und orthopädischen Erkrankungen bzw. bei Personen mit geringer Leistungsfähigkeit werden häufig 5, 6, oder 8minütige Dauertests (Graves et al. 1987; Meyer et al. 1997; Peloquin et al. 1998; Spelman et al. 1993) oder sog. „Shuttle-Walk-Tests“ in Dauer- oder Stufenform durchgeführt (Morales et al. 1999; Revill et al. 1999; s. Tab. 2).

In den folgenden Untersuchungen wurde im Feld und Labor ein Walking-Stufentest, beginnend bei $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ bzw. $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bei untrainierten Gesundheitssportlern und $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bei leistungsfähigeren Freizeitsportlern durchgeführt. Nach jeweils drei Minuten erfolgte eine Steigerung um $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ bzw. $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bis zur subjektiven Erschöpfung bzw. bis die korrekte Bewegungstechnik nicht mehr eingehalten werden konnte (Tab. 7).

Tabelle 7: Walking-Stufentest mit 0 % Steigung für Gesundheits- (GS) und Freizeitsportler (FZ) (Schwarz et al. 1999)

Stufe	Dauer [min]	Geschwindigkeit [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ / $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	
		(GS)	(FZ)
1	3	1,2 / 4,3	1,6 / 4,8
2	3	1,4 / 5,0	1,8 / 6,5
3	3	1,6 / 5,8	2,0 / 7,2
4	3	1,8 / 6,5	2,2 / 7,9
5	3	2,0 / 7,2	2,4 / 8,6
6	3	2,2 / 7,9	2,6 / 9,4
7	3	2,4 / 8,6	2,8 / 10,1

Im Gegensatz zum Bruce-Protocol wurde der Anstiegswinkel während des Tests nicht verändert (null Prozent), um den Einfluss einer zunehmenden Steigung (beim Bruce-Protocol bis zu 22 Prozent, s. Tab. 5) auf die Bewegungstechnik und die beanspruchte Muskulatur zu eliminieren. Außerdem sind dadurch Geschwindigkeitsvorgaben für ein Trainingsprogramm genauer ableitbar (Kindermann 1987b).

Zusammenfassend eignet sich Walking anhand der aufgeführten Literaturbefunde besonders für ein Ausdauertraining im Rahmen eines gesundheitsorientierten Bewegungsprogramms. Die Bedeutung des Walking beruht auf der einfachen Durchführbarkeit, auf der gegenüber dem Laufen geringeren Stoßbelastung, dem niedrigen Verletzungsrisiko und der geringen Gefahr der Überforderung. Die adäquate Dosierung einer Belastung ist nicht nur aus trainingsphysiologischer sondern auch aus sportpädagogischer Sicht von großer Bedeutung. Eine als mittlere Anstrengung empfundene Belastungsintensität gilt als optimal, um

positive Wohlbefindenseffekte (Rejeski 1985) und um eine möglichst dauerhafte Bindung an ein Sportprogramm zu erzielen (Pahmeier 1994). Neben zu hohen Anforderungen können aber auch zu niedrige Trainingsreize die Aussteigerquote beim Sport erhöhen (Pahmeier 1994).

Deshalb wurde in der folgenden Untersuchungsreihe zunächst das Beanspruchungsprofil von Walking im Vergleich zum Jogging bei gesunden unterschiedlich leistungsfähigen Personengruppen überprüft. Eine wesentliche Fragestellung war dabei, inwiefern durch Walking beschwerdefrei, auch für leistungsfähigere Freizeitsportler, eine ausreichende Trainingsintensität nach den Vorgaben des ACSM (1998) erzielbar ist.

Da in der ärztlichen Praxis meist keine Tests auf dem Laufband durchgeführt werden, sollte außerdem überprüft werden, ob auch Intensitätsvorgaben anhand der Fahrradergometrie möglich sind.

Als eine weitere offene Frage sollte die Eignung von Walking in der kardialen Rehabilitation überprüft werden. Erreichen Herzpatienten eine ausreichende Trainingsintensität bei gleichzeitig geringer Überforderungsgefahr?

Die in der Literatur aufgeführten Testverfahren ermöglichen zum Teil nur ungenaue bzw. keine Trainingsvorgaben (s. S. 33). Deshalb sollte weiterhin untersucht werden, ob sich für Gesundheitssportler abgeleitet von der maximalen in einem Walking-Stufentest erreichten Geschwindigkeit Trainingsempfehlungen für die Praxis ermitteln lassen und ob auch anhand einer Herzfrequenz-Faustformel adäquate Intensitätsvorgaben möglich sind.

Die selbstgewählte Intensität bzw. die Verwendung des subjektiven Anstrengungsgrades zur Dosierung eines Ausdauertrainings ist in der Literatur umstritten (Coen 1993; Miller et al. 1985; Spelman 1993; Völker 1985; Wydra 1996). Daher sollte für das Walking neben Geschwindigkeits- und Herzfrequenzvorgaben die Eignung des Belastungsempfindens als trainingssteuernder Parameter überprüft werden.

3 Untersuchungen

3.1 Allgemeine Fragestellungen

Im experimentellen Teil werden, abgeleitet von den theoretischen Grundlagen und den bisherigen Forschungsergebnissen, die folgenden Untersuchungsschwerpunkte bzw. Fragestellungen überprüft:

- Wie verhält sich Walking kardiozirkulatorisch und metabolisch im Vergleich zum Jogging und zur Fahrradergometrie bei Gesundheits- und Freizeitsportlern?
- Eignet sich Walking alternativ zum Jogging als Ausdauertrainingsform in der ambulanten Bewegungstherapie mit Herzpatienten?
- Lassen sich für Gesundheitssportler anhand eines Walking-Stufentests Trainingsempfehlungen auch ohne Laktatdiagnostik für die Praxis ableiten? Gibt es dabei geschlechtsspezifische Unterschiede?
- Ist der subjektive Anstrengungsgrad zur Trainingssteuerung beim Walking ein geeigneter Parameter bzw. sind Trainingsempfehlungen anhand einer Herzfrequenz-Faustformel möglich?
- Inwiefern eignet sich Walking auch für jüngere leistungsfähigere Freizeitsportler?
- Sind anhand der Fahrradergometrie, wie sie im Rahmen einer Gesundheitsbeurteilung üblich ist, Trainingsempfehlungen in Form von Herzfrequenzvorgaben für das Walking möglich?

3.2. Allgemeine Methodik

Anhand dieser Fragestellungen wurden vier Studien mit den folgenden Titeln konzipiert:

1. Vergleich des Beanspruchungsprofils beim Walking, Jogging und Radfahren während stufenweise ansteigenden Testverfahren bei Freizeit- und Gesundheitssportlern (Studie I)
2. Kardiovaskuläre Beanspruchung beim Walking und Jogging in der ambulanten Bewegungstherapie mit Herzpatienten (Studie II)
3. Trainingsempfehlungen für das Walking mit Gesundheitssportlern (Studie III)
4. Eignung des Walking für leistungsfähigere Freizeitsportler (Studie IV)

3.2.1 Probanden und Testverfahren

An den vier Studien nahmen insgesamt 69 Freizeit- (n = 29) und Gesundheitssportler (n = 27) bzw. Patienten (n = 13) teil. Folgende Testverfahren kamen zur Anwendung:

Labor-Tests

Fahrradergometrie

Die stufenweise ansteigende Belastung erfolgte in sitzender Position auf einem drehzahlunabhängigen, elektrisch gebremsten Fahrradergometer („Conditronic 33“ der Firma Keiper-Dynavit[®], Kaiserslautern bzw. „Excalibur Super Sport“ der Firma Lode[®], Holland). Die Eingangsstufe lag je nach zu erwartender Leistungsfähigkeit der Probanden bei 50 oder 100 Watt, nach jeweils drei Minuten wurde die Belastung um 25 bzw. 50 Watt bis zur subjektiven Erschöpfung oder Auftreten eines Abbruchkriteriums gesteigert (Kindermann 1987). Das Herzfrequenzverhalten wurde bei den Herzpatienten und Gesundheitssportlern vor der Belastung mit einem Zwölf-Kanal EKG-Schreiber im Liegen und während Belastung über jede Minute mittels einer zehnkündigen Aufzeichnung eines Sechs-Kanal EKG-Schreibers bis zur fünften Minute in der Nachbelastungsphase registriert. Eventuell auftretende Besonderheiten im Belastungs-EKG wurden kontrolliert und protokolliert. Bei den Freizeitsportlern erfolgte die Herzfrequenzmessung mittels Pulsuhr („Accurex-Plus“ der Firma Polar Electro[®], Finnland). Die Messung der Gasstoffwechselfparameter in Ruhe und während der Belastung wurde kontinuierlich (Messzeitpunkte alle zehn Sekunden) durchgeführt („Meta-Max“ der Firma Cortex[®], Leipzig). Der Blutdruck wurde nach Riva-Rocci in Ruhe, am Ende der zweiten Minute jeder Belastungsstufe und sechs Minuten nach Ende der Belastung gemessen. Zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit wurde vor, am Ende jeder Belastungsstufe, sowie in der ersten, dritten, fünften und zehnten Minute der Erholungsphase aus dem (mit Finalgon forte[®] Salbe) hyperämisierten Ohrläppchen 20 µl arterialisiertes Kapillarblut zur enzymatischen Laktatbestimmung im Vollblut entnommen (Hohorst 1962). Der subjektive Anstrengungsgrad wurde mittels Borg-Skala [Skalierung 6-20] am Ende jeder Belastungsstufe ermittelt (Borg 1982).

Laufbandergometrie

Kombinierter Stufentest Gehen/Laufen

Um in der zweiten Studie für die Herzpatienten die individuelle Trainingsherzfrequenz bestimmen zu können, wurde zusätzlich zur Fahrradergometrie eine stufenweise ansteigende Laufbandbelastung durchgeführt. Die Belastung erfolgte auf einem Laufband der Firma Woodway[®], Modell EL 2. Begonnen wurde mit einer Belastungsstufe von 4 km·h⁻¹ bei einem Neigungswinkel von null Prozent.

Nach jeweils drei Minuten erfolgte eine Steigerung der Geschwindigkeit um $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Bei einer Geschwindigkeit von 4, 5 und $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ wurde gegangen, ab $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ gelaufen. Vor Belastung, am Ende jeder Belastungsstufe (20 Sekunden Pause) und in der ersten, dritten, fünften und zehnten Minute nach Belastung erfolgte eine Blutentnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen zur Laktatbestimmung. Anhand der Laktatkinetik während und nach Belastung wurde die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) nach Stegmann/Kindermann (1981) bestimmt, die unter Berücksichtigung der beschwerdefreien Leistungsfähigkeit zur Festlegung der Trainingsherzfrequenz diente. Der Blutdruck wurde in Ruhe, am Ende jeder Belastungsstufe sowie sechs Minuten nach Belastung gemessen. Vor Belastung, jede Minute während Belastung bis sechs Minuten nach Belastungsende erfolgte eine zehnssekündige EKG Registrierung.

Walking-Stufentest

In der dritten und vierten Studie absolvierten die Gesundheits- und Freizeitsportler zur Bestimmung der maximalen Geschwindigkeit (V_{\max}) und der Ausdauerleistungsgrenze (ALG) nach Hagberg/Coyle (1993) einen Walking-Stufentest auf dem Laufband (Neigungswinkel null Grad). Begonnen wurde bei den Gesundheitssportlern mit einer Geschwindigkeit von $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bei den Freizeitsportlern mit $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Alle drei Minuten erfolgte, nach einer 30sekündigen Pause zur Kapillarblutentnahme, eine Steigerung der Geschwindigkeit um $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bis zur Ausbelastung. Die Belastung wurde entweder bei subjektiver Erschöpfung oder bei koordinativen Problemen bzw. unsauberer Technik abgebrochen. Es wurde $20 \mu\text{l}$ arterialisiertes Kapillarblut zur enzymatischen Laktatmessung in Ruhe, nach jeder Belastungsstufe (ca. 20sekündige Pause) und in der ersten, dritten, fünften und zehnten Minute nach Belastungsende aus dem linken hyperämisierten Ohrläppchen entnommen. Anhand der Laktatkinetik wurde die Ausdauerleistungsgrenze bestimmt (Hagberg/Coyle 1983). Zur radioenzymatischen Katecholaminbestimmung (Da Prada/Zürcher 1976) vor und unmittelbar nach der Belastung wurde aus dem rechten hyperämisierten Ohrläppchen $300 \mu\text{l}$ arterialisiertes Kapillarblut entnommen. Darüber hinaus wurden die Gasstoffwechselfparameter in Ruhe und über die gesamte Belastungsdauer mit Hilfe des Spirometrieapparates „Meta Max“ der Firma Cortex® erfasst. Ebenso erfolgte eine kontinuierliche Kontrolle der Herzfrequenz mittels Pulsuhr („Accurex-Plus“ der Firma Polar®, Finnland). Der subjektive Anstrengungsgrad nach jeder Belastungsstufe wurde mit Hilfe der Borg-Skala [Skalierung 6-20] (Borg 1982) erfasst.

Walking-Dauertests

Die 30minütigen Dauertests wurden in randomisierter Reihenfolge bei den Gesundheitssportlern mit jeweils 70, 80 und 90 Prozent der maximal im Walking-Stufentest erreichten Geschwindigkeit durchgeführt. Bei den Freizeitsportlern erfolgte statt der Belastung mit 70prozentiger Geschwindigkeit ein Dauertest mit selbstgewählter Intensität. Vor Beginn der Tests walkten die Teilnehmer zum Aufwärmen jeweils drei Minuten mit 70 Prozent der maximal erreichten Geschwindigkeit. Vor, während und bis drei Minuten nach Belastung wurde das Verhalten der Herzfrequenz (mittels Pulsuhr „Accurex-Plus“ der Firma Polar[®], Finnland) und der Sauerstoffaufnahme (mit dem Spirometriegerät „Meta Max“ der Firma Cortex[®]) kontinuierlich, Atemfrequenz, Schrittfrequenz und subjektiver Anstrengungsgrad nach jeweils zehn Minuten der Dauerbelastung gemessen. Die Kapillarblutentnahmen aus dem hyperämisierten Ohrläppchen zur Laktat- und Katecholaminbestimmung erfolgten nach jeweils zehn Minuten Belastung während einer 30sekündigen Pause. Darüber hinaus wurden technische Besonderheiten und auftretende subjektive Beschwerden erfasst.

Feld-Tests

Stufentests

Die Freizeit- und Gesundheitssportler absolvierten in der ersten Untersuchung einen Walking- und Jogging-Stufentest auf einer 400m Aschenbahn. Die Geschwindigkeitsvorgaben erfolgten über Signaltongebener am Handgelenk alle 25 bzw. 50 Meter. Die Herzfrequenz wurde kontinuierlich mittels Pulsuhr („Accurex Plus“ der Firma Polar[®], Finnland) registriert. Die Kapillarblutentnahmen aus dem Ohrläppchen zur Laktatbestimmung erfolgten in Ruhe, direkt nach jeder Belastungsstufe und in der ersten, dritten, fünften und zehnten Minute nach Belastungsabbruch. Am Ende jeder Belastungsstufe wurde der subjektive Anstrengungsgrad mittels Borg-Skala (Skalierung 6-20) ermittelt.

Stufentest Walking

Alle Probanden begannen mit einer Geschwindigkeit von $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, die nach jeweils drei Minuten um $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ bis zur subjektiven Erschöpfung bzw. bis die korrekte Walking-Technik nicht mehr eingehalten werden konnte, gesteigert wurde. Am Ende jeder Belastungsstufe erfolgte eine kurze Pause (ca. 20 Sekunden) zur Kapillarblutentnahme, Herzfrequenzmessung, Wechsel der Signaltongebener sowie Ermittlung des subjektiven Anstrengungsgrades.

Stufentest Jogging

Die Gesundheitssportler begannen mit $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, die Freizeitsportler mit $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Nach jeweils drei Minuten wurde auch hier die Geschwindigkeit um $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ bis zur subjektiven Erschöpfung erhöht. Die Bestimmung der einzelnen Parameter erfolgte analog dem Walking Stufentest.

Dauertests

In der zweiten Studie absolvierten die Herzpatienten einen Walking- und Jogging-Dauertest auf einer 162,5 m langen Tartan-Rundbahn in einer Leichtathletikhalle. Die Patienten walkten und joggten jeweils 20 Minuten (zweimal zehn Minuten mit drei Minuten Pause) paarweise, jedoch mit der individuellen Geschwindigkeit, die sich bei beiden Bewegungsformen an der auf dem Laufband ermittelten Trainingsherzfrequenz (THF) orientierte. Die THF wurde jedem Teilnehmer vor Belastungsbeginn nochmals mitgeteilt und konnte selbständig mittels einer Pulsuhr („Accurex Plus“ der Firma Polar) kontrolliert werden. Vor, nach zehn Minuten und unmittelbar am Ende der Belastung wurden Herzfrequenz und Blutdruck gemessen. Zu den gleichen Zeitpunkten wurden 20 μl Kapillarblut aus dem zur enzymatischen Laktatbestimmung und 300 μl Kapillarblut zur radioenzymatischen Messung der freien Plasmakatecholamine (Da Prada/Zürcher 1976) aus dem linken und rechten hyperämisierten Ohrläppchen entnommen. Des Weiteren wurden die Patienten nach dem subjektiven Anstrengungsgrad nach Borg (1982) [Skalierung 6-20], sowie nach muskulären oder sonstigen Beschwerden befragt. In der zweiten Minute nach Belastungsende erfolgte eine weitere Blutentnahme zur Laktatbestimmung und nach 5 Minuten nochmals eine Registrierung der Herzfrequenz und des Blutdrucks. Zusätzlich wurden nach jeder Runde die Herzfrequenz, motorische Besonderheiten und Gehpausen notiert und bei beiden Belastungsformen Hinweise auf die Einhaltung der Trainingsherzfrequenz gegeben. Die Schrittfrequenz beim Walking wurde bei den einzelnen Geschwindigkeitsstufen optisch bestimmt. Nach der Belastung erfolgte eine Befragung der Patienten, welche Belastungsform während der Tests sie bevorzugten.

3.2.2 Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit

Im Institut für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes orientiert sich die Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit und die Vorgabe von Trainingsintensitäten zur Belastungsdosierung an der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) nach Stegmann et al. (1981). Zur Bestimmung der IAS ist jedoch eine hinreichende Ausbelastung notwendig (Coen 1997), die beim Walking aufgrund technischer Probleme und/oder orthopädischer Beschwerden nicht immer gewährleistet war.

Um die Vergleichbarkeit zwischen den drei Belastungsformen zu gewährleisten wurde deshalb bei allen Belastungstests das Modell nach Hagberg/Coyle (1983) angewandt [Laufen: Basislaktat plus $1,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$; Fahrradfahren und Walking: plus $1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$], das auch von anderen europäischen Autoren verwendet wird (Dickhuth et al. 1988; Röcker et al. 1997; Simon 1986; Simon et al. 1992). Die somit ermittelte anaerobe Schwelle wird im folgenden als Ausdauerleistungsgrenze (ALG) bezeichnet.

3.2.3 Statistik

Die Auswertung der Daten erfolgte entsprechend den Vorgaben nach Bortz (1999) mit dem Programm STATISTICA für Windows (Stat soft, Tulsa, OK, U.S.A., Version 5.0). Hinsichtlich der deskriptiven Verfahren wurden Häufigkeitsverteilungen sowie Mittelwerte und Standardabweichungen ($\bar{x} \pm s$) berechnet. Die Normalverteilung der Daten wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test mit Lilliefors-Schranke (Voraussetzung: $p > 0,2$), die Homogenität der Varianzen wurde mit dem Levene-Test geprüft. Bei normalverteilten Daten wurde zur Prüfung der Ergebnisse auf signifikante Unterschiede die einfaktorielle (Studie I) und zweifaktorielle (Studie II-IV) Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Trat bei der Voraussetzungsprüfung auf Varianz-/Kovarianzhomogenität eine Verletzung auf, erfolgte die Korrektur mit dem Huynh-Feldt-Test. Bei einem signifikanten Ergebnis der Varianzanalyse erfolgte post hoc der Scheffé-Test. Der Vergleich nicht normalverteilter abhängiger Stichproben erfolgte mit dem nonparametrischen Wilcoxon-Test für Paardifferenzen. Bei unabhängigen Variablen wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Zusammenhänge zwischen den einzelnen Messdaten wurden mittels linearer Korrelationsanalyse nach Pearson bzw. nichtlinearer Regressionsanalyse [$y = b_0 + b_1 \cdot \log_{10}(x)$] bei linearem und exponentiellem Verlauf einzelner Parameter (Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenzverhalten beim Walking) geprüft. Bei nicht normalverteilten bzw. ordinalskalierten Werten (Borg-Skala) erfolgte die Berechnung mittels nichtparametrischer Verfahren (Rangkorrelation nach Spearman). Zur Objektivierung der einzelnen Abweichungen wurde zusätzlich die absolute mittlere Differenz (ungeachtet der Vorzeichen) nach Jones/Kane (1979) berechnet (Studie III und IV).

Es wurden folgende Signifikanzstufen gewählt:

$p > 0,05$	nicht signifikant	(n. s.)
$p < 0,05$	schwach signifikant	(*)
$p < 0,01$	signifikant	(**)
$p < 0,001$	hoch signifikant	(***)

3.3 Studie I: Vergleich des Beanspruchungsprofils beim Walking, Jogging und Radfahren während stufenweise ansteigenden Testverfahren bei Freizeit- und Gesundheitssportlern

3.3.1 Fragestellungen und Hypothesen

Das Beanspruchungsprofil von normalem Gehen, Sportgehen, Laufen und Fahrradfahren wurde in früheren Studien mehrfach untersucht (Di Prampero 1986). Dabei wurde dem nahezu linearen Anstieg einzelner Parameter (z. B. Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz) beim Laufen oder Radfahren das exponentielle Verhalten dieser Parameter beim (Sport-) Gehen gegenübergestellt.

In der vorliegenden Studie wird zunächst das Beanspruchungsprofil von Walking im Vergleich zum Jogging und Radfahren bei gesunden unterschiedlich leistungsfähigen Personengruppen anhand von Stufenbelastungen untersucht. Dabei wird insbesondere überprüft, ob beide Probandengruppen durch Walking nach den Vorgaben des ACSM (1998) eine ausreichende Intensität für ein Ausdauertraining erreichen.

Da in der ärztlichen Praxis zumindest in Europa meist keine Tests auf dem Laufband durchgeführt werden, sollte außerdem untersucht werden, ob Intensitätsvorgaben in Form von Herzfrequenzangaben aus der Fahrradergometrie, wie sie im Rahmen einer Gesundheitsbeurteilung üblich ist, mit den Ergebnissen des Walking-Stufentests vereinbar sind. Als Probanden wurden dazu Sportstudenten, im Folgenden *Freizeitsportler (FZ)* genannt und Teilnehmer einer Präventivsportgruppe, im Folgenden als *Gesundheitssportler (GS)* bezeichnet, ausgewählt.

Von den Fragestellungen abgeleitet lassen sich folgende Hypothesen (H) formulieren:

- H₁: Walking ist bei Freizeit- und Gesundheitssportlern kardial und metabolisch weniger beanspruchend als Jogging und Radfahren.
- H₂: Gesundheitssportler erreichen beschwerdefrei eine ausreichende Belastungsintensität für ein Herz-Kreislauftraining entsprechend den Vorgaben des ACSM.
- H₃: Leistungsfähigere Freizeitsportler erreichen nach den Vorgaben des ACSM beschwerdefrei eine ausreichende Trainingsintensität für ein Herz-Kreislauftraining.
- H₄: Anhand der Fahrradergometrie lassen sich bei Freizeit- und Gesundheitssportlern adäquate Trainingsempfehlungen in Form von Herzfrequenzvorgaben für ein Walking-Training ableiten.

3.3.2 Methodik

3.3.2.1 Probanden

An der Studie nahmen 13 Freizeitsportler (FZ) und elf Gesundheitssportler (GS) teil. Die Gesundheitssportler unterzogen sich zunächst einer klinischen und laborchemischen Untersuchung. Die anthropometrischen Daten sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Alle Probanden hatten Vorkenntnisse im Walking und waren mit der Technik vertraut.

Tabelle 8: Anthropometrische Daten der Freizeit- und Gesundheitssportler [$\bar{x} \pm s$]

Gruppe	Geschlecht	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)
Freizeitsportler (n=13)	♂ = 9 ♀ = 4	26 ± 3	175 ± 8	70 ± 11
Gesundheitssportler (n=11)	♂ = 4 ♀ = 7	51 ± 11	174 ± 10	74 ± 15
Gesamt (n=24)	♂ = 13 ♀ = 11	37 ± 15	174 ± 9	72 ± 13

3.3.2.2 Untersuchungsdesign

Die Probanden absolvierten zunächst eine stufenweise ansteigende Fahrradergometrie. Danach folgte in randomisierter Reihenfolge jeweils ein Walking- und Jogging-Feldstufentest (Abb. 12). Nach den beiden Feldtests erfolgte jeweils eine Befragung über eventuell aufgetretene Beschwerden.

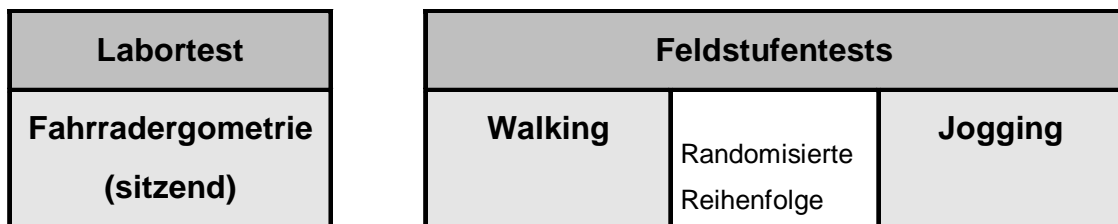


Abbildung 12: Untersuchungsdesign

Der Testzeitraum betrug insgesamt zwei bis vier Wochen. Am Vortag eines jeden Tests waren keine intensiven oder länger dauernden körperlichen Belastungen erlaubt, und während der gesamten Zeitspanne durften keine ungewohnten Trainingsbelastungen absolviert werden.

3.3.3 Ergebnisse

3.3.3.1 Herzfrequenz

Fahrradergometrie

In Tabelle 9 sind die Leistungsdaten der Fahrradergometrie aufgeführt.

Tabelle 9: Leistungsphysiologische Daten der Freizeit- (n = 13) und Gesundheitssportler (n = 11) im Maximalbereich (max) und an der Ausdauerleistungsgrenze (ALG) bei stufenweise ansteigender Fahrradergometrie (FE) [$\bar{x} \pm s$]

	FE_{max}			FE_{ALG}		
	Watt	Watt·kg ⁻¹	HF min ⁻¹	Watt	Watt·kg ⁻¹	HF min ⁻¹
Freizeitsportler	319 ± 82	4,5 ± 0,6	188 ± 10	201 ± 60	2,9 ± 0,6	152 ± 14
Gesundheitssportler	205 ± 65	2,7 ± 0,6	170 ± 18	126 ± 32	1,7 ± 0,3	132 ± 17

Die Leistungsfähigkeit der Freizeitsportler ($\text{♂} = 4,8 \pm 0,6$, $\text{♀} = 3,9 \pm 0,2$ W·kg⁻¹) lag im Mittel im oberen Bereich, der im Rahmen eines breiten-sportlichen Trainings erwartet werden kann. Die Gesundheitssportler ($\text{♂} = 3,3 \pm 0,4$, $\text{♀} = 2,4 \pm 0,5$ W·kg⁻¹) waren im Mittel ca. zehn Prozent leistungsfähiger als untrainierte Normalpersonen mit diesem Altersdurchschnitt (Kindermann 1987b).

Feldstufentests

Abbildung 13 zeigt das Herzfrequenzverhalten der Freizeit- und Gesundheitssportler bei den beiden Feldstufentests. Die maximale Herzfrequenz beim Walking (FZ: 172 ± 16 , GS: 162 ± 15 min⁻¹) lag bei den Freizeitsportlern im Mittel zehn Prozent ($p < 0,001$), bei den Gesundheitssportlern sieben Prozent ($p < 0,05$) niedriger als beim Jogging (FZ: 192 ± 8 , GS: 175 ± 18 min⁻¹). An der Ausdauerleistungsgrenze lag die Herzfrequenz in beiden Gruppen beim Walking (FZ: 146 ± 16 , GS: 134 ± 13 min⁻¹) 19 bzw. 17 Prozent ($p < 0,01$) niedriger als beim Jogging (FZ: 180 ± 10 , GS: 162 ± 17 min⁻¹). Bei 3 mmol l^{-1} lag die Herzfrequenz bei den Freizeitsportlern im Mittel ^{beim} Walking zehn Prozent ($p < 0,01$) und bei den Gesundheitssportlern um fünf Prozent niedriger als beim Jogging.

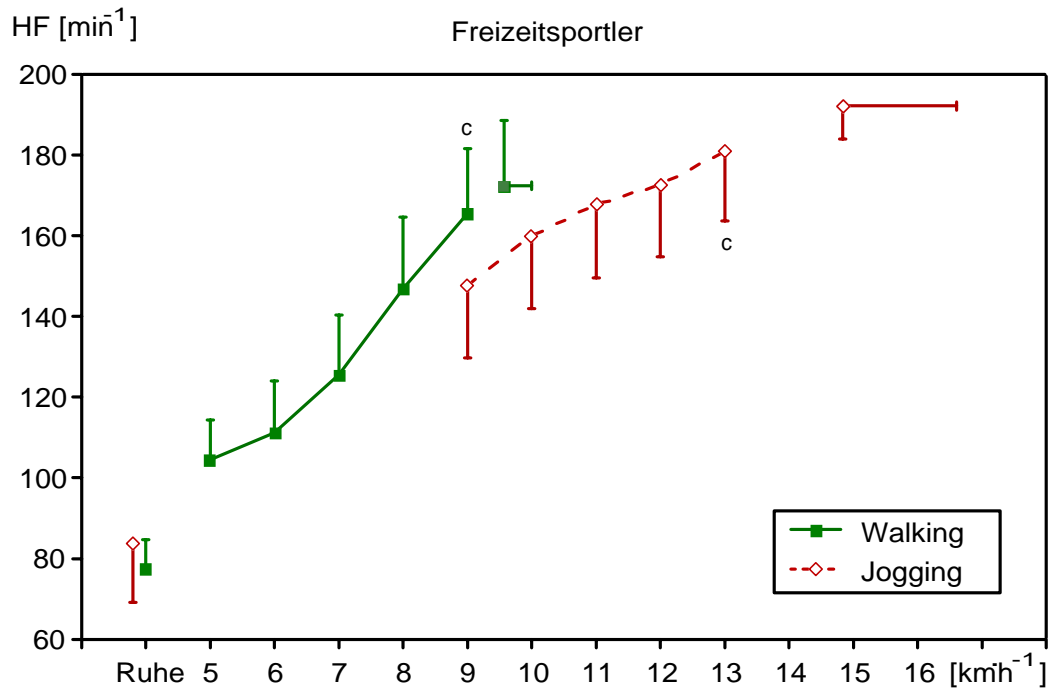
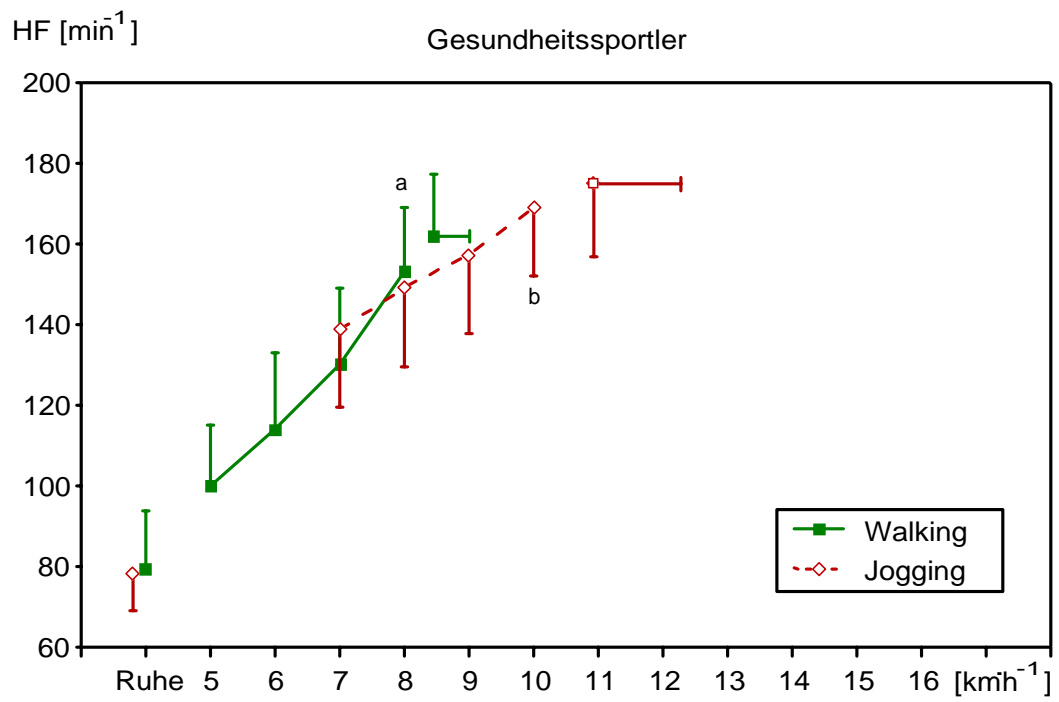


Abbildung 13: Herzfrequenzverhalten der 11 Gesundheits- (oben) und 13 Freizeitsportler (unten) bei den Feldstufentests Walking und Jogging (a: $n = 7$, b: $n = 10$, c: $n = 12$) [$\bar{x} \pm s$]

Abbildung 14 zeigt in Bezug auf die durchschnittliche maximale Herzfrequenz im Jogging-Stufentest den prozentualen Herzfrequenzanstieg bei einer Walking-Geschwindigkeit von 7 und 8 km·h⁻¹ sowie an der Ausdauerleistungsgrenze (FZ: 8,2 ± 0,9 km·h⁻¹, GS: 7,1 ± 0,5 km·h⁻¹) bei beiden Probandengruppen.

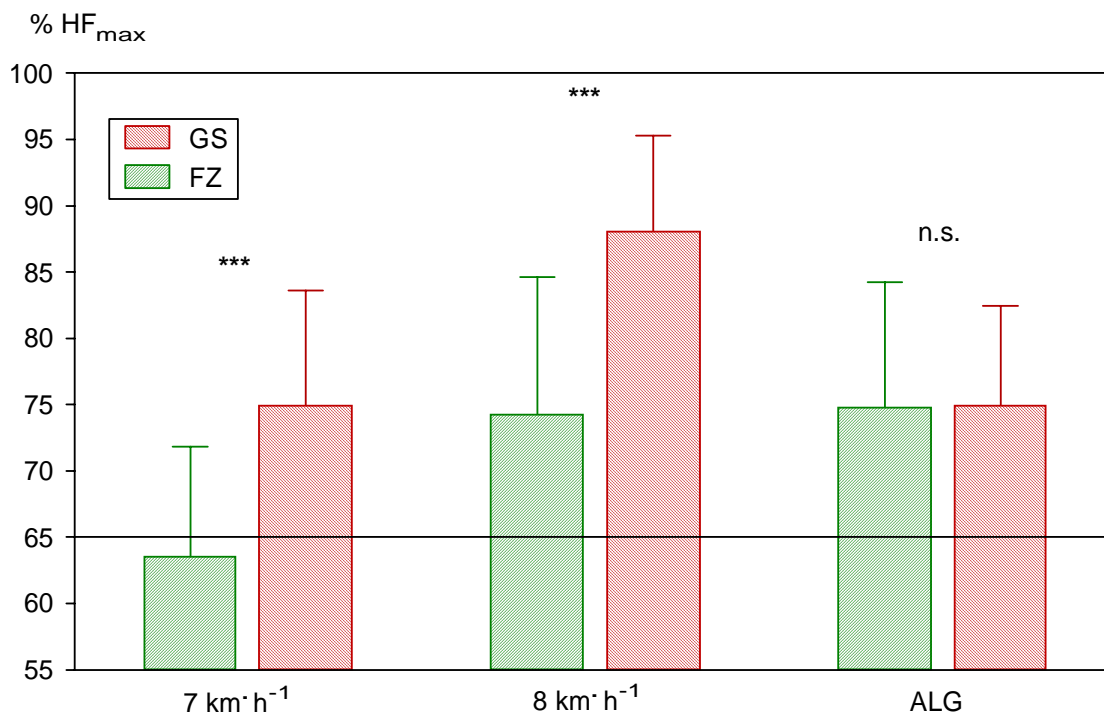


Abbildung 14: Herzfrequenzverhalten der Gesundheits- (GS) und Freizeitsportler (FZ) in Relation zur maximalen Herzfrequenz (% HF_{max}) gemessen beim Jogging-Stufentest bei einer Walking-Geschwindigkeit von 7 und 8 km·h⁻¹ sowie an der Ausdauerleistungsgrenze (ALG) [$\bar{x} \pm s$, *** = p<0,001]

Sieben Gesundheitssportler erreichten bereits beim Walking mit 7 km·h⁻¹, die restlichen Probanden bei 8 km·h⁻¹ 65 Prozent der maximalen (im Lauftest ermittelten) individuellen Herzfrequenz. Zehn Freizeitsportler lagen bei 8 km·h⁻¹, ab 9 km·h⁻¹ auch die übrigen, im entsprechenden Intensitätsbereich. An der Ausdauerleistungsgrenze beim Walking lagen alle Gesundheitssportler und 11 Freizeitsportler oberhalb von 65 Prozent der maximalen Herzfrequenz. Die Herzfrequenz lag an der Ausdauerleistungsgrenze für beide Probandengruppen beim Walking (140 ± 16 min⁻¹) und bei der Fahrradergometrie (142 ± 18 min⁻¹) im Mittel ähnlich. Die nichtlineare Regressionsanalyse zeigte einen signifikanten Zusammenhang (r = 0,83, p < 0,001) mit einer absoluten mittleren Differenz von 9 und einer maximalen Abweichung von 17 min⁻¹ (Abb. 15).

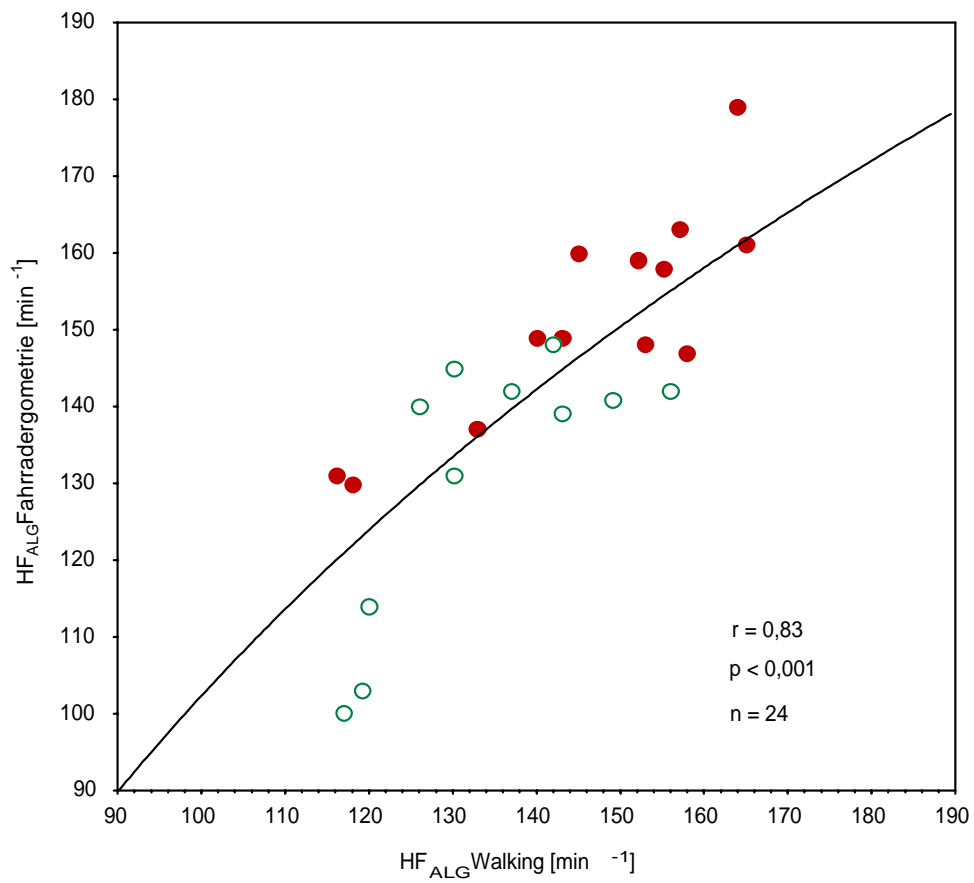


Abbildung 15: Nichtlineare Regressionsanalyse zwischen der Herzfrequenz an der Ausdauerleistungsgrenze beim Walking (HF_{ALG} Walking) und bei der Fahrradergometrie (HF_{ALG} Fahrradergometrie) bei den Freizeit- (●) und Gesundheitssportlern (○)

3.3.3.2 Laktat

Fahrradergometrie

Bei der Fahrradergometrie waren die Freizeitsportler mit einer mittleren maximalen Laktatkonzentration von $11,5 \pm 2,0 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ und die Gesundheitssportler mit $10,2 \pm 2,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ausbelastet.

Feldstufentests

Die mittlere maximale Laktatkonzentration lag beim Walking bei den Freizeitsportlern 43 Prozent (Walking: $5,0 \pm 2,0$, Jogging $8,8 \pm 2,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$; $p < 0,001$) und bei Gesundheitssportlern 32 Prozent (Walking: $5,2 \pm 1,3$, Jogging: $7,6 \pm 1,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$; $p < 0,05$) hochsignifikant niedriger als beim Jogging. An der Ausdauerleistungsgrenze betrug die Laktatkonzentration der Freizeitsportler beim Walking $2,5 \pm 0,3$ und beim Jogging $4,6 \pm 1,1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ($p < 0,001$), die der Gesundheitssportler beim Walking $2,7 \pm 0,6$ und beim Jogging $4,3 \pm 0,7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ($p < 0,001$) (Abb. 16).

Bei der interpolierten fixen Laktatkonzentration von $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ Laktat liegen zehn Freizeitsportler und neun Gesundheitssportler beim Walking oberhalb von 65 Prozent der maximalen Herzfrequenz. Tabelle 10 zeigt die Geschwindigkeit, die Herzfrequenz und den subjektiven Anstrengungsgrad bei $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ Laktat beim Walking bei den Freizeit- und Gesundheitssportlern.

Tabelle 10: Geschwindigkeit (V), Herzfrequenz (HF) und subjektiver Anstrengungsgrad (Borg) beim Walking bei $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ Laktat bei den Freizeit- ($n = 13$) und Gesundheitssportlern ($n = 11$); ($\bar{x} \pm s$)

	V ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	HF (min^{-1})	Subj. Anstrengungsgrad (Borg)
Freizeitsportler	$7,6 \pm 0,8$ (79 % V_{max})	136 ± 15 (71 % HF_{max})	$11,7 \pm 1,7$
Gesundheitssportler	$6,9 \pm 0,9$ (81 % V_{max})	124 ± 14 (71 % HF_{max})	$10,7 \pm 2,0$

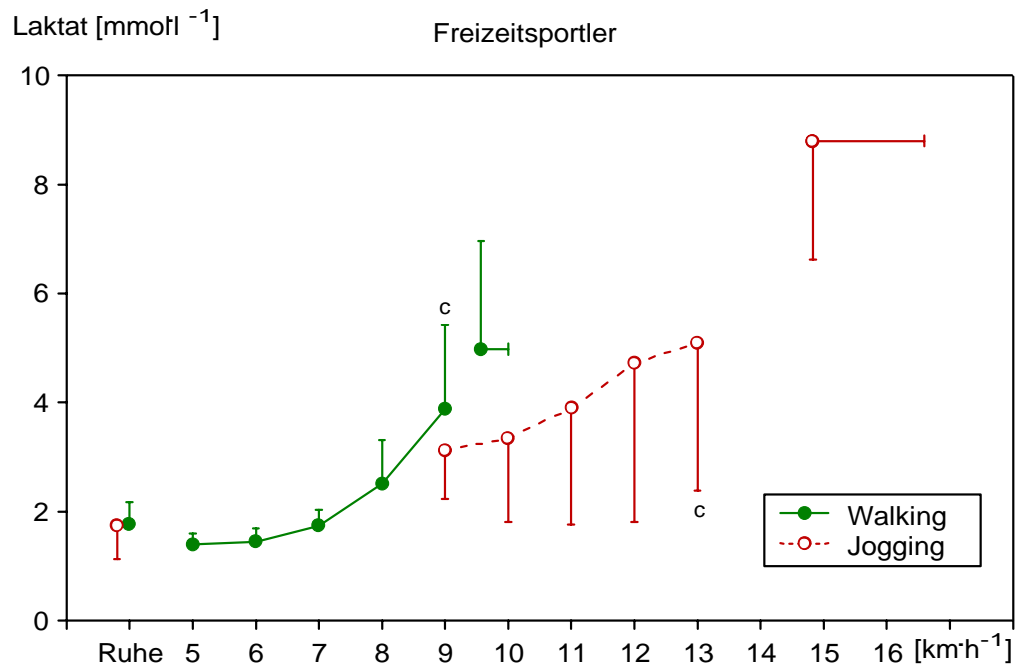
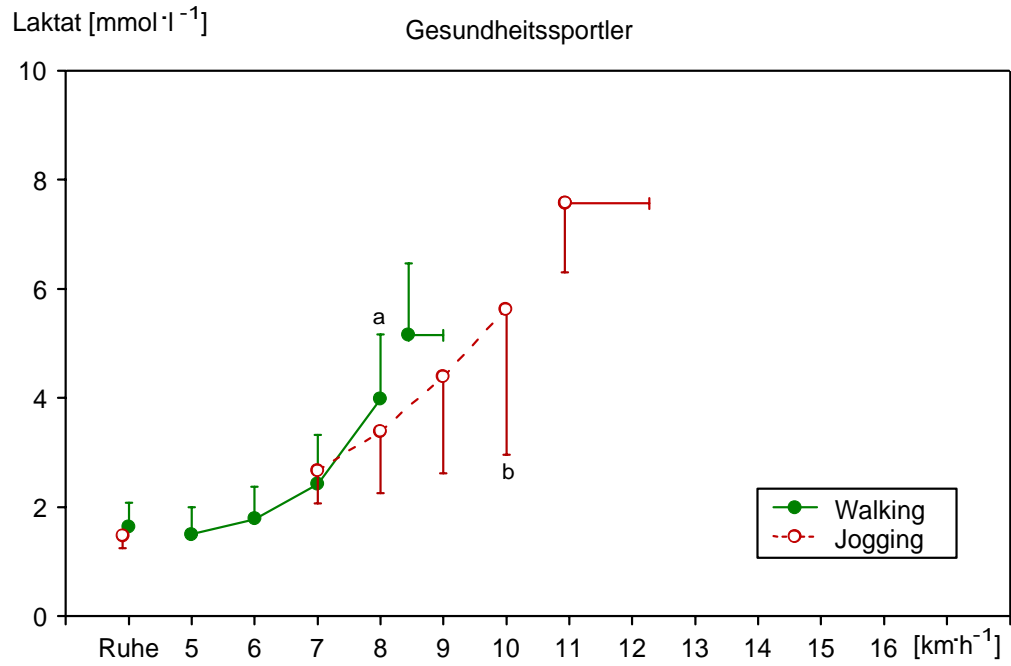


Abbildung 16: Laktat-Leistungskurve der 11 Gesundheits- (oben) und 13 Freizeitsportler (unten) bei den Feldstufentests Walking und Jogging (a: $n=7$, b: $n=10$, c: $n=12$) [$\bar{x} \pm s$]

3.3.3.3 Subjektiver Anstrengungsgrad

Fahrradergometrie

Der subjektive Anstrengungsgrad nach Borg wurde am Ende der höchsten Belastungsstufe von den Freizeitsportlern mit durchschnittlich "sehr sehr schwer" ($19,5 \pm 0,8$) signifikant höher ($p < 0,01$) als bei den Gesundheitssportlern mit "sehr schwer" ($17,9 \pm 2,0$) angegeben. An der Ausdauerleistungsgrenze lagen die Angaben mit $12,9 \pm 1,9$ („etwas schwer“) bei den Freizeit- und mit $12,0 \pm 1,6$ bei den Gesundheitssportlern ähnlich.

Feldstufentests

Der subjektive Anstrengungsgrad wurde in beiden Gruppen sowohl maximal [FZ: Walking: $16,2 \pm 1,6$; Jogging: $19,3 \pm 1,0$ ($p < 0,01$); GS: Walking: $16,4 \pm 2,0$; Jogging: $17,5 \pm 2,0$ („schwer“ bis „sehr sehr schwer“)] als auch an der Ausdauerleistungsgrenze [FZ: Walking: $12,1 \pm 2,1$; Jogging: $14,4 \pm 1,4$ ($p < 0,01$); GS: Walking: $11,6 \pm 1,8$; Jogging: $13,8 \pm 1,4$ ($p < 0,01$) („recht leicht“ bis „etwas schwer“)] beim Walking niedriger als beim Jogging angegeben.

3.3.3.4 Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit lag im Mittel beim Walking und beim Jogging maximal und an der Ausdauerleistungsgrenze (ALG) bei FZ signifikant ($p < 0,001$) höher als bei GS (s. Tab. 12).

Die Männer ($n = 13$, 180 ± 7 cm, $4,3 \pm 0,9$ Watt \cdot kg $^{-1}$) erreichten beim Walking und Jogging maximal (V_{\max} Walking: ♂ $9,4 \pm 0,5$ km \cdot h $^{-1}$; ♀: $8,6 \pm 0,8$ km \cdot h $^{-1}$; V_{\max} Jogging: ♂: $14,7 \pm 1,9$ km \cdot h $^{-1}$; ♀: $11,1 \pm 1,6$ km \cdot h $^{-1}$) und an der ALG (V_{ALG} Walking: ♂: $8,2 \pm 0,9$ km \cdot h $^{-1}$; ♀: $7,1 \pm 0,4$ km \cdot h $^{-1}$; V_{ALG} Jogging: ♂: $12,6 \pm 1,8$ km \cdot h $^{-1}$; ♀: $9,4 \pm 1,5$ km \cdot h $^{-1}$) eine signifikant ($p < 0,001$) höhere Geschwindigkeit als die weiblichen Teilnehmer ($n = 11$, 167 ± 6 cm, $2,8 \pm 0,6$ Watt \cdot kg $^{-1}$).

Die Tabelle 11 zeigt die anthropometrischen Daten, maximale Leistungsfähigkeit und Geschwindigkeit beim Walking der FZ und GS aufgeschlüsselt nach dem Geschlecht.

Tabelle 11: Anthropometrische Daten, maximale Leistungsfähigkeit (Leistung) und Walking-Geschwindigkeiten [maximal (Walking $_{\max}$) und an der Ausdauerleistungsgrenze (Walking $_{\text{ALG}}$)] der Freizeit- (FZ) und Gesundheitssportler (GS) bei den Männern (♂) und Frauen (♀) ($\bar{x} \pm s$)

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Leistung (W \cdot kg $^{-1}$)	Walking $_{\max}$ (km \cdot h $^{-1}$)	Walking $_{\text{ALG}}$ (km \cdot h $^{-1}$)
FZ						
♂ (n = 9)	26 \pm 3	178 \pm 6	75 \pm 8	4,8 \pm 0,6	9,6 \pm 0,5	8,5 \pm 0,9
♀ (n = 4)	25 \pm 3	166 \pm 5	59 \pm 6	3,9 \pm 0,2	9,5 \pm 0,6	7,4 \pm 0,2
GS						
♂ (n = 4)	52 \pm 13	182 \pm 8	83 \pm 7	3,3 \pm 0,4	9,1 \pm 0,3	7,5 \pm 0,4
♀ (n = 7)	50 \pm 12	169 \pm 6	70 \pm 7	2,4 \pm 0,5	8,1 \pm 0,4	6,8 \pm 0,3

Die übrigen Parameter zeigten geschlechtsspezifisch keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 12 zeigt eine Übersicht der Ergebnisse der einzelnen Stufenbelastungen (maximal und an der Ausdauerleistungsgrenze) bei den einzelnen Belastungsformen.

Tabelle 12: Zusammenfassende Darstellung der metabolischen und kardiozirkulatorischen Beanspruchung anhand der Parameter Herzfrequenz, Laktat, subjektives Anstrengungsempfinden (Borg) und Geschwindigkeit (V) im maximalen Bereich ($_{max}$) und an der Ausdauerleistungsgrenze ($_{ALG}$) bei den unterschiedlichen Belastungsformen bei den Freizeit- (FZ, n = 13) und Gesundheitssportlern (GS, n = 11); ($\bar{x} \pm s$; *** p < 0,001, ** p < 0,01, * p < 0,05)

Parameter	Gruppe	Walking	Jogging	Fahrradergometrie
Herzfrequenz$_{max}$ [min $^{-1}$]	FZ	172 ± 16	192 ± 8 *	188 ± 10 **
	GS	162 ± 15	175 ± 18	170 ± 18
Herzfrequenz$_{ALG}$ [min $^{-1}$]	FZ	146 ± 16	180 ± 10 **	152 ± 14 **
	GS	134 ± 13	162 ± 17	132 ± 17
Laktat$_{max}$ [mmol·l $^{-1}$]	FZ	5,0 ± 2,0	8,8 ± 2,2	11,5 ± 2,0
	GS	5,2 ± 1,3	7,6 ± 1,3	10,2 ± 2,2
Laktat$_{ALG}$ [mmol·l $^{-1}$]	FZ	2,5 ± 0,3	4,6 ± 1,1	3,2 ± 0,7
	GS	2,7 ± 0,6	4,3 ± 0,9	3,4 ± 0,8
Borg$_{max}$	FZ	16,2 ± 1,6	19,3 ± 1,0 *	19,5 ± 0,8 **
	GS	16,4 ± 2,0	17,5 ± 2,0	17,9 ± 2,0
Borg$_{ALG}$	FZ	12,2 ± 2,0	14,3 ± 1,3	12,9 ± 1,9
	GS	11,6 ± 1,8	13,8 ± 1,4	12,0 ± 1,6
V$_{max}$ [km·h$^{-1}$] bzw. Leistung$_{max}$ [Watt·kg$^{-1}$]	FZ	9,6 ± 0,5 ***	14,8 ± 1,8 ***	4,5 ± 0,6 **
	GS	8,5 ± 0,6	10,9 ± 1,3	2,7 ± 0,6
V$_{ALG}$ [km·h$^{-1}$] bzw. Leistung$_{ALG}$ [Watt·kg$^{-1}$]	FZ	8,2 ± 0,9 ***	12,7 ± 1,8 ***	2,9 ± 0,7 **
	GS	7,1 ± 0,5	9,3 ± 1,2	1,6 ± 0,4

3.3.3.5 Beschwerden

Die Freizeitsportler ($n = 12$) klagten beim Walking ab 8 bzw. 9 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ und die Gesundheitssportler ($n = 6$) ab 7 bzw. 8 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ über Muskelschmerzen primär im Unterschenkelbereich. Aufgrund technischer Probleme und/oder starker lokaler muskulärer Beschwerden mussten sieben Freizeit- und drei Gesundheitssportler die Belastung vor Erreichen einer allgemeinen subjektiven Erschöpfung abbrechen. Vereinzelt wurden auch Schmerzen in der Oberschenkel- und Wadenmuskulatur angegeben. Unter "sonstige Beschwerden" fielen Schmerzen der Fußsohle bzw. des Fußrückens (Tab. 13).

Die männlichen Teilnehmer ($n = 10$; 8 FZ, 2 GS) klagten ab 8 bzw. 9 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ und die weiblichen Probanden ($n = 8$; 3 FZ, 5 GS) ab 7 bzw. 8 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ über muskuläre Schmerzen. Bei sechs Teilnehmern traten keine orthopädischen Beschwerden während Belastung auf.

Im Gegensatz zu den lokalen Beschwerden beim Walking wurde beim Jogging lediglich eine allgemeine Muskelermüdung auf der letzten Belastungsstufe angegeben.

Tabelle 13: Orthopädische Beschwerden beim Walking bei den Freizeit- ($n = 13$) und Gesundheitssportlern ($n = 11$)

Muskelbereiche	Freizeitsportler	Gesundheitssportler
Schienbein	12	2
Wade	2	1
Oberschenkel	2	1
Sonstige Beschwerden	1	3

3.4 Studie II: Kardiovaskuläre Beanspruchung beim Walking und Jogging in der ambulanten Bewegungstherapie mit Herzpatienten

3.4.1 Fragestellungen und Hypothesen

In der Sport- und Bewegungstherapie mit Herzpatienten ist das Ausdauertraining wesentlicher Bestandteil. Dabei wird das Laufen bzw. Jogging aufgrund der hohen kardiozirkulatorischen und metabolischen Wirkung bei gleichzeitig geringer Druckbelastung des Herzens als die günstigste Belastungsform für den Herzsport propagiert (Hollmann et al. 1981; Kindermann 1983b; Kindermann 1984; Lagerstroem/Stemper 1989). Beim Gehen kommt es zwar zu einer vergleichsweise geringeren Druckbelastung des Herzens, aufgrund der niedrigen Belastungsintensität ist der kardiovaskuläre Trainingseffekt aber sehr gering (Rost/Brusis 1995). Walking stellt eine Gehvariante dar, bei der durch einen aktiven Armeinsatz zusätzliche Muskelgruppen beansprucht und in Verbindung mit einer gesteigerten Schrittfrequenz höhere Geschwindigkeiten erzielt werden. Dadurch kommt es gegenüber dem normalen Gehen zu einer intensiveren Beanspruchung des Herz-Kreislaufsystems (Michaud 1994; Rippe et al. 1988; Schwarz et al. 1998).

In dieser zweiten Studie der Untersuchungsreihe sollte überprüft werden, ob sich bei Herzpatienten Walking alternativ zum Jogging als Ausdauertrainingsform eignet und inwiefern diese Bewegungsform für Herzpatienten besser dosierbar ist als Jogging. Außerdem sollte die Eignung des subjektiven Anstrengungsgrades als möglicher trainingssteuernder Parameter für ein Ausdauertraining mit Herzpatienten überprüft werden.

Anhand dieser Fragestellung wurden folgende Hypothesen abgeleitet:

H₅: Herzpatienten erreichen beim Walking eine ausreichende Trainingsintensität für ein Herz-Kreislauftraining.

H₆: Intensitätsvorgaben sind für Herzpatienten beim Walking besser umsetzbar als beim Jogging.

H₇: Der subjektive Anstrengungsgrad ist zur Intensitätssteuerung für das Ausdauertraining mit Herzpatienten ungeeignet.

3.4.2 Methodik

3.4.2.1 Probanden

An der Studie nahmen 13 männliche Patienten der ambulanten Herzgruppe des Instituts für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes teil (Tab. 14 a-c). Als Auswahlkriterien galten:

- beschwerdefreie ergometrische Leistungsfähigkeit von mindestens 1 $\text{Watt}\cdot\text{kg}^{-1}$
- mindestens ein Jahr zurückliegendes Infarktereignis
- ausreichend eingestellter Blutdruck
- seit mindestens drei Monaten Teilnahme an der ambulanten Herzgruppe, mit sechswöchiger Einführung in die Walking-Technik
- keine gravierenden orthopädischen Probleme

Tabelle 14 a: Anthropometrische Daten, Dauer der Zugehörigkeit zur ambulanten Herzgruppe (AHG) und maximale beschwerdefreie Leistungsfähigkeit der untersuchten Patienten

n = 13	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Größe (cm)	AHG seit (Monate)	Maximale beschwerdefreie Leistungsfähigkeit ($\text{Watt}\cdot\text{kg}^{-1}$)
$\bar{x} \pm s$	56 ± 9	79 ± 10	175 ± 7	50 ± 49	$1,9 \pm 0,3$

Tabelle 14 b: Maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2\text{max}}$) und Trainingsherzfrequenz (THF)

n = 13	$\dot{V}O_{2\text{max}}$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	$\dot{V}O_{2\text{max}}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$)	THF (min^{-1})
$\bar{x} \pm s$	2069 ± 349	$26 \pm 3,2$	122 ± 12

Tabelle 14 c: Krankheitsbilder der 13 Patienten

<i>Krankheitsbild</i>	<i>Patienten (n)</i>
Bypass	4
Vorderwandinfarkt	5
Hinterwandinfarkt	6
Herztransplantiert	1

betrug. Während den ersten zehn Minuten Belastung lag die mittlere Herzfrequenz beim Walking noch knapp unterhalb, während der zweiten zehn Minuten innerhalb dieses Bereiches (Abb. 18).

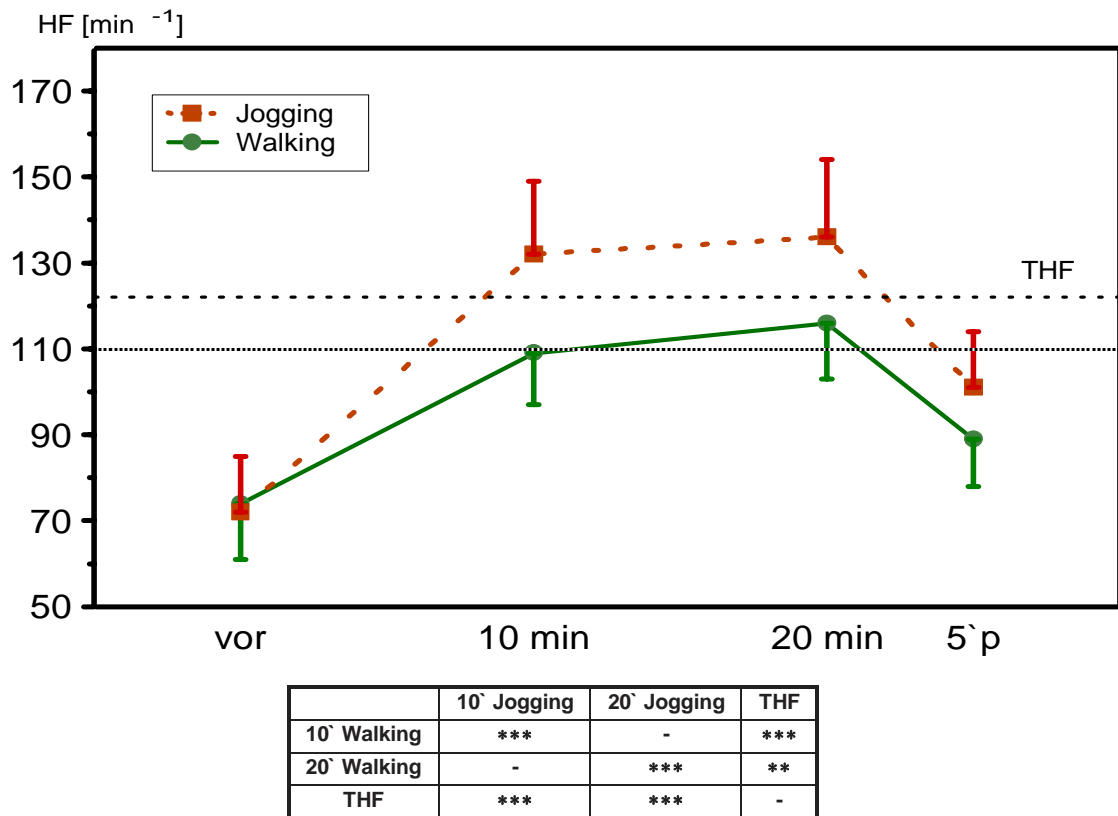


Abbildung 18: Herzfrequenzverhalten beim Walking und Jogging im Vergleich zur Trainingsherzfrequenz (THF) [- - -] und 90% der THF [.....] (n = 13; $\bar{x} \pm s$; ** = p < 0,01; *** = p < 0,001)

Betrachtet man das Herzfrequenzverhalten beim Walking im Einzelnen, so lagen in der ersten Belastungshälfte noch sieben Probanden unterhalb und fünf im günstigen Trainingsbereich. In der zweiten Hälfte des Tests hingegen erreichten zehn Patienten eine günstige Trainingsintensität (Tab. 15).

Tabelle 15: Vergleich der über die jeweilige Belastungsphase gemittelten Herzfrequenz für jeden Patienten mit seiner individuellen Trainingsherzfrequenz (THF) während des Walkings (n=13)

Walking	< 90% THF	90-100% THF	> THF
Nach 10 Minuten	7	5	1
Nach 20 Minuten	1	10	2

Die höchste Einzelüberschreitung lag beim Walking bei 17 min⁻¹ (HF: 137 min⁻¹, THF: 120 min⁻¹), der höchste Einzelwert bei 139 min⁻¹ (THF: 130 min⁻¹).

Die mittlere Herzfrequenz beim Jogging betrug während der ersten Hälfte der Belastung $132 \pm 17 \text{ min}^{-1}$, während der zweiten $136 \pm 18 \text{ min}^{-1}$ und lag bei beiden Belastungsphasen hochsignifikant oberhalb der THF und der Herzfrequenz beim Walking. Beim Vergleich der Einzelwerte mit der jeweiligen THF befanden sich während des Tests elf Probanden oberhalb ihrer THF (Tab. 16).

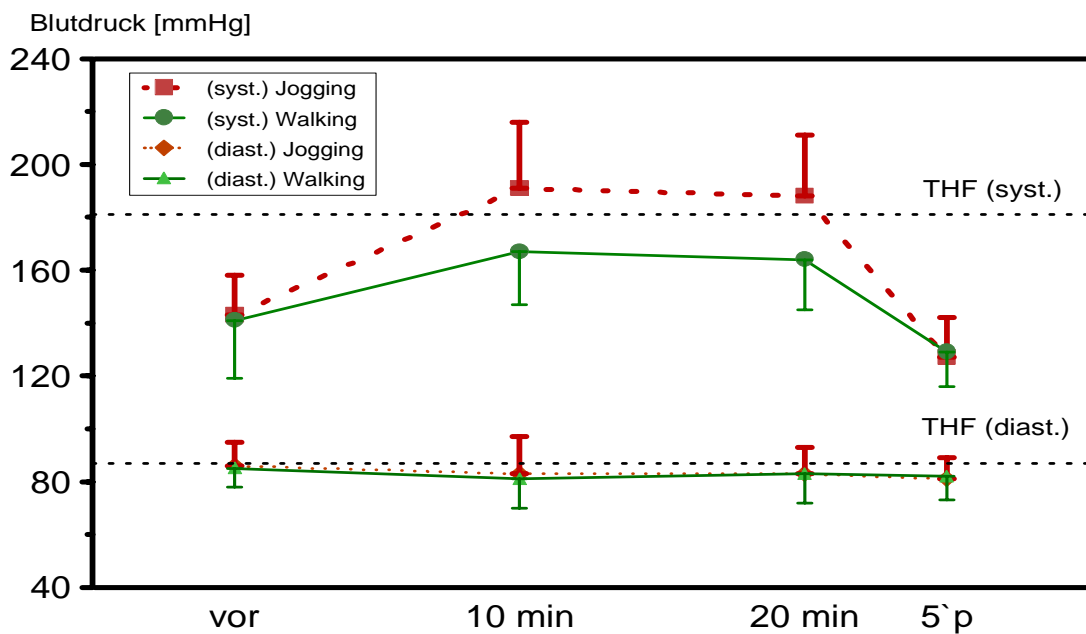
Tabelle 16: Vergleich der über die jeweilige Belastungsphase gemittelten Herzfrequenz für jeden Patienten mit seiner individuellen Trainingsherzfrequenz (THF) während des Joggings (n=13)

Jogging	< 90% THF	90-100% THF	> THF
Nach 10 Minuten	0	2	11
Nach 20 Minuten	0	2	11

Die höchste Einzelüberschreitung der THF beim Jogging betrug 48 min^{-1} (HF: 163 min^{-1} , THF: 115 min^{-1}). Der höchste Einzelwert lag bei 175 min^{-1} (THF: 130 min^{-1}).

3.4.3.2 Blutdruck

Der systolische Blutdruck betrug beim Walking nach zehn Minuten Belastung im Mittel $167 \pm 20 \text{ mmHg}$, nach 20 Minuten $164 \pm 19 \text{ mmHg}$ und lag jeweils signifikant ($p < 0,05$) unter dem mittleren interpolierten Wert an der THF ($181 \pm 29 \text{ mmHg}$). Der diastolische Blutdruck lag bei $81 \pm 11 \text{ mmHg}$ bzw. $83 \pm 11 \text{ mmHg}$ und zeigte nach zehn Minuten ebenfalls einen signifikanten ($p < 0,01$) und nach 20 Minuten lediglich einen tendenziellen Unterschied zum Wert an der THF. Ausgehend vom Ruhewert ($141 \pm 22 / 85 \pm 7 \text{ mmHg}$) ergab sich, über beide Belastungsphasen gemittelt, ein signifikanter Anstieg von systolisch 25 mmHg . Der diastolische Blutdruck fiel tendenziell um 3 mmHg ab (Abb. 19). Der höchste Einzelwert beim Walking betrug $200/100 \text{ mmHg}$. Der systolische Blutdruck lag beim Walking im Mittel um 10 mmHg ($r = 0,58$, $p < 0,05$), der diastolische Blutdruck 7 mmHg ($r = 0,66$, $p < 0,05$) niedriger als interpoliert an der ALG bei der Fahrradergometrie.



Syst. RR	10` Jogging	20` Jogging	Ruhe
10` Walking	**	-	***
20` Walking	-	**	***
Ruhe	***	***	-

Abbildung 19: Systolisches und diastolisches Blutdruckverhalten beim Walking und Jogging im Vergleich zu dem interpolierten Wert an der Trainingsherzfrequenz (THF) [---] ($n = 13$; $\bar{x} \pm s$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$)

Beim Jogging wurde nach zehn Minuten Belastung ein mittlerer systolischer Blutdruck von 191 ± 25 mmHg, nach 20 Minuten von 188 ± 23 mmHg gemessen. Der diastolische Blutdruck betrug 83 ± 14 mmHg bzw. 84 ± 10 mmHg. Beim Vergleich mit dem Ruhewert ($143 \pm 15/86 \pm 9$ mmHg) ergab sich für den systolischen Blutdruck ein signifikanter Anstieg von 47 mmHg, für den diastolischen Blutdruck ein tendenzieller Abfall von 3 bzw. 2 mmHg. Der höchste Einzelwert beim Jogging lag bei 220/90 mmHg. Der systolische Blutdruck war beim Walking gegenüber dem Jogging signifikant ($p < 0,01$) erniedrigt (13 Prozent), für den diastolischen Blutdruck ergab sich kein signifikanter Unterschied. Der systolische Blutdruck lag beim Jogging im Mittel um 14 mmHg höher als an der ALG bei der Fahrradergometrie ($r = 0,57$, $p < 0,05$), der diastolische Blutdruck im Mittel um 5 mmHg niedriger ($r = 0,76$, $p < 0,01$).

3.4.3.3 Laktat

Die mittlere Laktatkonzentration stieg beim Walking nach zehn Minuten Belastung auf $2,5 \pm 0,8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ und lag auch nach 20 Minuten auf gleichem Niveau. Zu beiden Messzeitpunkten ergab sich kein signifikanter Unterschied zur mittleren Laktatkonzentration an der THF ($2,7 \pm 0,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) (Abb. 20). Der höchste Einzelwert beim Walking betrug $4,1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$.

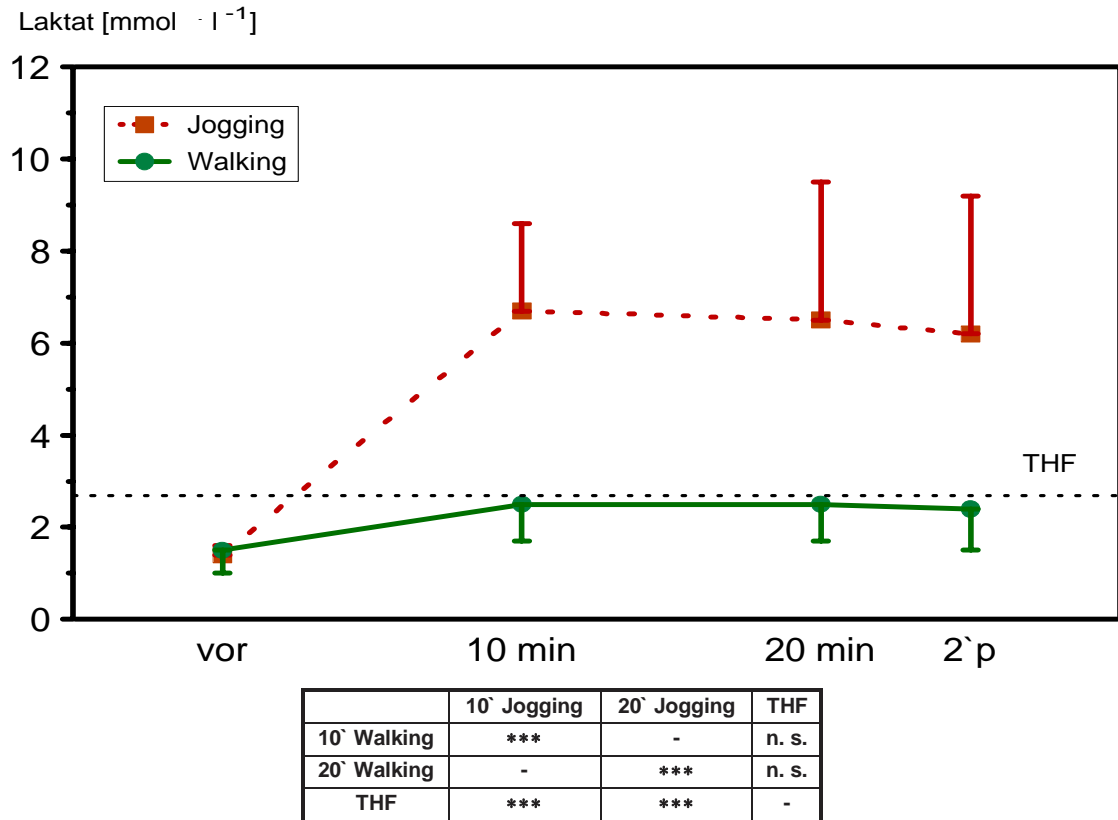


Abbildung 20: Laktatkonzentrationen beim Walking und Jogging im Vergleich mit dem interpolierten Wert an der Trainingsherzfrequenz (THF) [- - -] ($n = 13$, $\bar{x} \pm s$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant)

Beim Jogging stieg die Laktatkonzentration nach zehn Minuten Belastung im Mittel auf $6,7 \pm 1,9$, nach 20 Minuten lag sie bei $6,5 \pm 2,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ und damit hochsignifikant oberhalb des Wertes an der THF und ebenfalls hochsignifikant höher als beim Walking. Der höchste Einzelwert beim Jogging betrug $12,7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$.

3.4.3.4 Katecholamine

Das freie Noradrenalin lag nach zehn Minuten Walking im Mittel bei $5,60 \pm 3,38$, nach 20 Minuten bei $6,78 \pm 2,41 \text{ nmol l}^{-1}$, das Adrenalin lag im Mittel bei $0,94 \pm 0,41$ nach zehn bzw. bei $1,01 \pm 0,31 \text{ nmol l}^{-1}$ nach 20 Minuten. Der Anstieg des Noradrenalins von der ersten zur zweiten Belastungsphase war signifikant. Der höchste Einzelwert für Noradenalin betrug $14,97 \text{ nmol l}^{-1}$, für Adrenalin $1,69 \text{ nmol l}^{-1}$ (Abb. 21).

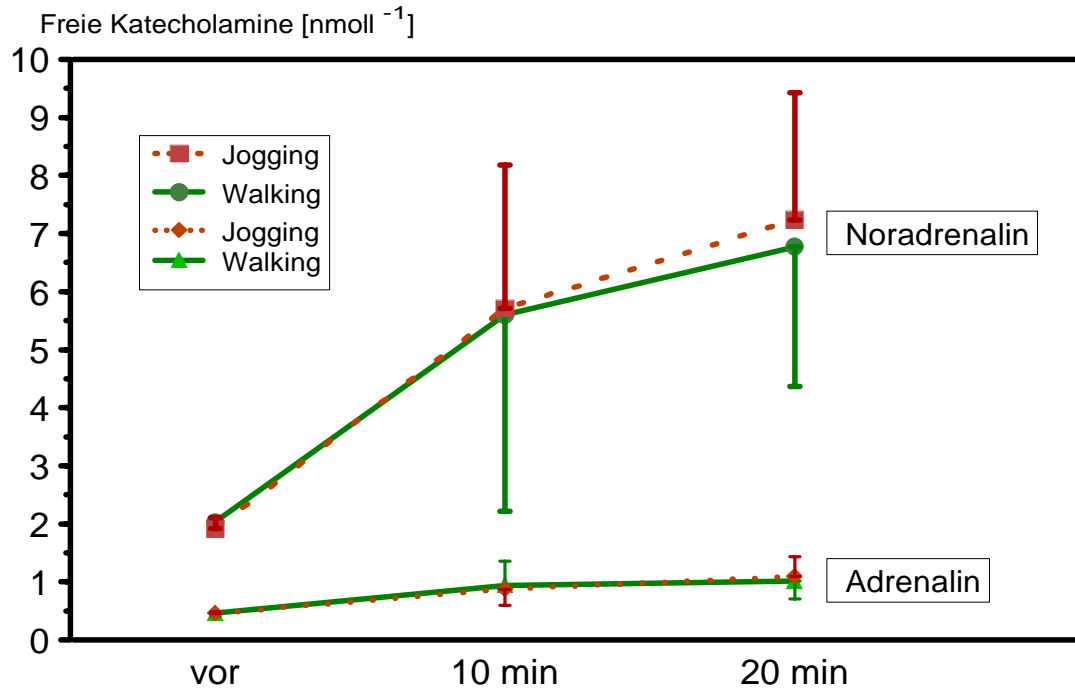


Abbildung 21: Verhalten der freien Plasmakatecholamine (Adrenalin und Noradrenalin) beim Walking und Jogging ($n = 13$, $\bar{x} \pm s$)

Beim Jogging konnte nach zehn Minuten eine mittlere NoradrenalinKonzentration von $5,71 \pm 2,47 \text{ nmol l}^{-1}$, nach 20 Minuten von $7,24 \pm 2,19 \text{ nmol l}^{-1}$ gemessen werden. Das Adrenalin lag bei $0,87 \pm 0,28$ nach zehn Minuten bzw. bei $1,09 \pm 0,35 \text{ nmol l}^{-1}$ nach 20 Minuten. Auch hier ergab sich ein signifikanter Anstieg des Noradrenalins von der ersten zur zweiten Hälfte der Belastung. Der höchste Noradrenalinanstieg beim Jogging betrug $13,39 \text{ nmol l}^{-1}$, der höchste Adrenalinanstieg $2,07 \text{ nmol l}^{-1}$.

Beim Vergleich der Katecholaminwerte zwischen Walking und Jogging konnte weder für Noradrenalin noch für Adrenalin ein signifikanter Unterschied gefunden werden.

3.4.3.5 Subjektiver Anstrengungsgrad

Beim subjektiven Belastungsempfinden gaben die Probanden nach zehn Minuten Walking 11 ± 2 („recht leicht“) und nach 20 Minuten 12 ± 2 („recht leicht bis etwas schwer“) an, beim Jogging im Mittel 13 ± 1 („etwas schwer“) bzw. 14 ± 2 („etwas schwer bis schwer“) (Abb. 22).

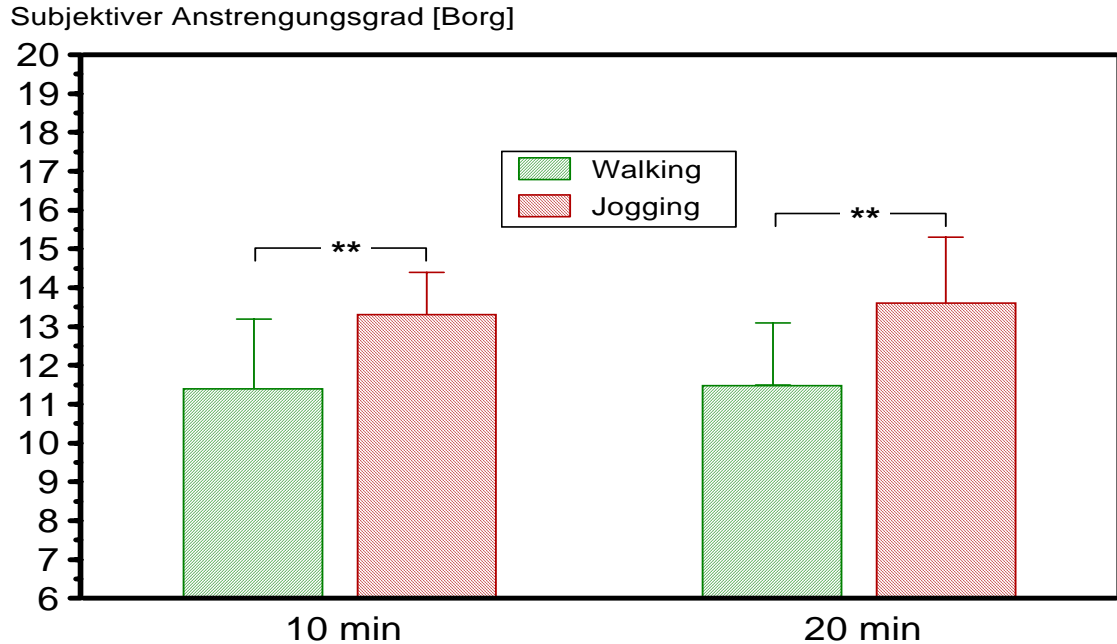


Abbildung 22: Subjektiver Anstrengungsgrad der 13 Herzpatienten mittels Borg-Skala (6-20) beim Walking und Jogging ($n = 13$; $\bar{x} \pm s$; $** = p < 0,01$)

Das subjektive Belastungsempfinden lag beim Walking zu beiden Messzeitpunkten gegenüber dem Jogging signifikant niedriger.

Es konnte kein Zusammenhang zwischen dem subjektiven Anstrengungsgrad und dem Laktat- bzw. Herzfrequenzverhalten gefunden werden.

3.4.3.6 Beschwerden

Die Fahrrad- und Laufbandergometrie wurde von jeweils sieben Patienten wegen muskulärer Ermüdung abgebrochen. Des Weiteren wurde die Fahrradergometrie bei drei Patienten aufgrund eines erhöhten Blutdruckanstieges und bei drei Patienten wegen Dyspnoe abgebrochen. Bei der Laufbandergometrie gaben zwei Patienten Dyspnoe als Abbruchkriterium an, ein Patient allgemeine Erschöpfung und einer verspürte einen leichten retrosternalen Schmerz, der nach Belastung sofort wieder verschwand.

Beim Walking berichtete kein Patient über kardiale Beschwerden oder Dyspnoe, bei fünf Patienten kam es zu muskulären Beschwerden im Unterschenkelbereich (insbesondere der prätibialen Muskulatur).

Beim Jogging hingegen beklagte ein Patient ein leichtes Ziehen im Brustbereich, das nach Belastung schnell wieder verschwand. Vier Patienten gaben während Belastung Luftnot an und fünf berichteten über muskuläre Beschwerden (Tab. 17).

Tabelle 17: Beschwerden beim Walking und Jogging (n = 13)

	Walking	Jogging
Kardiale Beschwerden	-	1 (leichtes Ziehen im Brustbereich)
Dyspnoe	-	4
Muskuläre Beschwerden		
- Unterschenkel	5	3
- Knie	-	1
- Rücken	-	1

Bei der Befragung der Patienten nach Belastung, welche Belastungsform sie bevorzugen, empfanden zehn Patienten Walking, drei Jogging als angenehmer.

3.4.3.7 EKG

Die Langzeit-EKG Aufzeichnung bei den vier Patienten zeigte insgesamt keine wesentlichen Unterschiede im EKG-Verhalten beim Walking und Jogging (Tab. 18).

Tabelle 18: EKG-Auffälligkeiten bei vier Patienten beim Walking und Jogging

Patienten	Walking	Jogging
W. E.	-	-
H. H.	4 ventrikuläre Extrasystolen	kurze AV-Knoten Tachykardie (zwei Stunden nach Belastung)
H. T.	1 Couplet	Vereinzelte ventrikuläre Extrasystolen
D. W.	4 ventrikuläre Extrasystolen	1 Couplet

3.4.3.8 Gesamtstrecke

Beim Walking wurden innerhalb der 20 Minuten Belastung im Mittel insgesamt 2222 ± 103 m zurückgelegt, was einer Durchschnittsgeschwindigkeit von $6,7 \pm 0,3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ entspricht. Beim Jogging wurden 2516 ± 349 m, entsprechend einer mittleren Geschwindigkeit von $7,6 \pm 1,1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, zurückgelegt. Der Unterschied zwischen beiden Belastungsformen war hochsignifikant (Abb. 23).

62 Prozent der Probanden legten beim Jogging Gehpausen ein. Der Anteil der Gehstrecke an der Gesamtstrecke bei diesen Patienten betrug im Mittel 30 Prozent. Beim Walking wurden keine Gehpausen eingelegt.

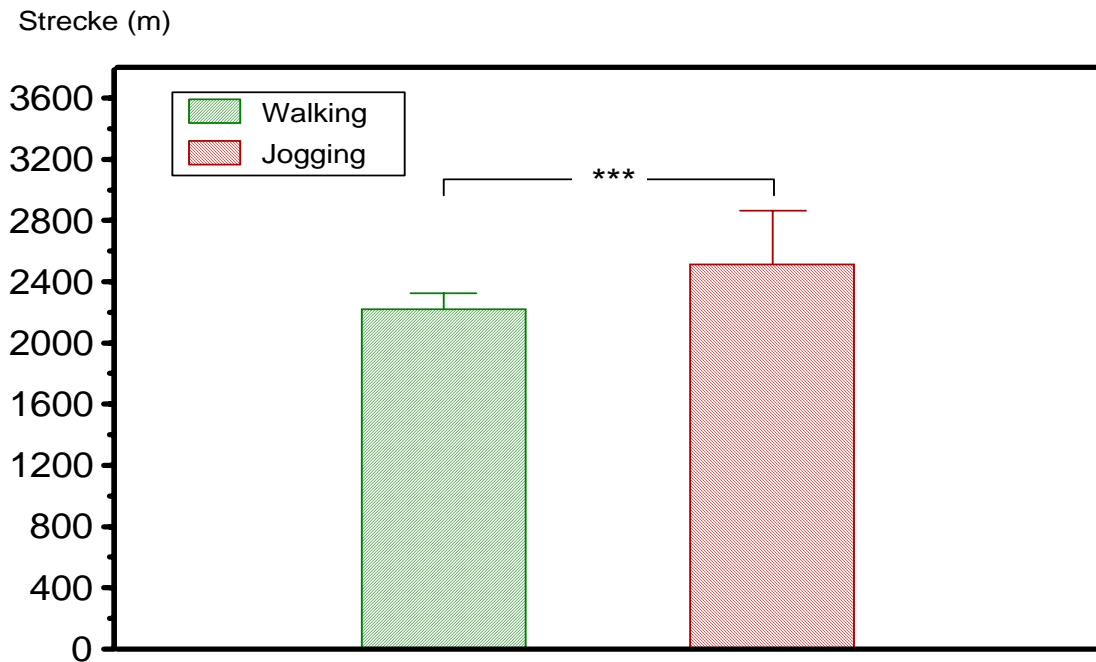


Abbildung 23: Gesamtstrecke beim Walking und Jogging ($n = 13$; $\bar{x} \pm s$; *** = $p < 0,001$)

3.5 Studie III: Trainingsempfehlungen für das Walking mit Gesundheitssportlern

3.5.1 Fragestellungen und Hypothesen

In der ersten Studie dieser Untersuchungsreihe zeigte sich anhand von stufenförmig ansteigenden Belastungen, dass insbesondere Gesundheitssportler im mittleren bis höheren Lebensalter durch Walking meist beschwerdefrei einen ausreichenden Intensitätsbereich erreichen.

Um zu überprüfen, welche Intensität Gesundheitssportler, die mit der Walking-Technik vertraut sind, nach eigener Einschätzung für das Training wählen und welche Geschwindigkeit geübte Walker über einen längeren Zeitraum bewältigen können, wurden zunächst zwei *Voruntersuchungen* durchgeführt.

Zu diesen Fragestellungen werden folgende Hypothesen formuliert:

H_{8a}: Gesundheitssportler wählen beim Walking ohne Intensitätsvorgabe eine adäquate Geschwindigkeit für ein Herz-Kreislauftraining.

H_{8b}: Trainierte Walker im mittleren Lebensalter können Geschwindigkeitsbereiche oberhalb von 7 km·h⁻¹ über einen Zeitraum von über drei Stunden aufrechterhalten.

In der darauf folgenden Hauptuntersuchung sollte anhand von Walking-Dauerbelastungen mit unterschiedlicher Intensität überprüft werden, ob auch ohne Laktatdiagnostik, abgeleitet von der maximalen Geschwindigkeit im Walking-Stufentest, exakte Trainingsvorgaben für Gesundheitssportler möglich sind. Außerdem sollte untersucht werden, ob Intensitätsvorgaben anhand einer interpolierten fixen Laktatkonzentration (2 mmol·l⁻¹) möglich sind. Weiterhin sollte auch hier untersucht werden, ob anhand der Fahrradergometrie, wie sie im Rahmen einer Gesundheitsbeurteilung üblich ist, Trainingsempfehlungen für das Walking möglich sind.

Anhand dieser Fragestellungen wurden folgende Hypothesen formuliert:

H₉: Gesundheitssportler erreichen während einer 30minütigen Walking-Belastung mit 80 % der vom Walking-Stufentest abgeleiteten maximalen Geschwindigkeit beschwerdefrei eine adäquate Intensität.

H₁₀: Die Orientierung an der Ausdauerleistungsgrenze oder an einer fixen Laktatkonzentration (2 mmol·l⁻¹) ermöglicht adäquate Intensitätsvorgaben für ein Walking-Training mit Gesundheitssportlern.

H₁₁: Bei Gesundheitssportlern besteht zwischen der Herzfrequenz an der Ausdauerleistungsgrenze bei der Fahrradergometrie und beim Walking ein Zusammenhang.

3.5.2 Voruntersuchungen

3.5.2.1 Walking ohne Intensitätsvorgabe

Zur Überprüfung von Hypothese 7a walkten 28 männliche und weibliche Teilnehmer der Präventivsportgruppe des Instituts für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes (Alter: 55 ± 8 Jahre; ♂: 57 ± 8 , ♀: 54 ± 7 Jahre) ohne Intensitätsvorgabe zwei Runden auf einer 2060 m langen leicht profilierten Strecke. Es wurde kontinuierlich mittels Pulsuhr („Accurex-Plus“ der Firma Polar Electro®, Finnland) die Herzfrequenz gemessen und nach jeder Runde aus dem hyperämisierten Ohrläppchen 20 µl arterielles Kapillarblut zur enzymatischen Laktatbestimmung entnommen. Zusätzlich wurde mittels der Borg-Skala (Skalierung 6-20) der subjektive Anstrengungsgrad erfasst (Borg 1982). Tabelle 19 zeigt eine Übersicht der Ergebnisse.

Tabelle 19: Herzfrequenz, Laktat, Geschwindigkeit (V) und subjektiver Anstrengungsgrad der männlichen (♂) und weiblichen (♀) Probanden beim Walking-Vortest ($\bar{x} \pm s$; *** = $p < 0,001$)

n = 28	Herzfrequenz [min ⁻¹]	Laktat [mmol·l ⁻¹]	V [km·h ⁻¹]	Subj. Anstrengungsgrad [Borg]
♂ (n = 10)	125 ± 15	2,3 ± 1,3	7,1 ± 0,4 ***	11,2 ± 1,5
♀ (n = 18)	129 ± 12	1,9 ± 0,8	6,4 ± 0,4	11,7 ± 1,6
Gesamt	128 ± 14	2,1 ± 1,1	6,8 ± 0,4	11,5 ± 1,5

Die Teilnehmer wählten Geschwindigkeiten zwischen 5,8 und 7,9 km·h⁻¹, die Herzfrequenz lag zwischen 100 und 156 min⁻¹, die Laktatkonzentration zwischen 0,9 und 5,9 mmol·l⁻¹. Die Herzfrequenz entsprach zwar im Mittel etwa der Faustformel *180 minus Lebensalter* (125 ± 12 min⁻¹), es bestand allerdings kein signifikanter Zusammenhang. Der subjektive Anstrengungsgrad wurde zwischen 9 („sehr leicht“) bis 14 („etwas schwer bis schwer“) angegeben und lag im Mittel bei $11,5 \pm 1,0$ („etwas schwer“).

Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede bestanden lediglich bei der Walking-Geschwindigkeit ($V_{\text{Runde 1}}$: ♂: $7,0 \pm 0,4$ km·h⁻¹, ♀: $6,5 \pm 0,4$ km·h⁻¹; $p < 0,01$; $V_{\text{Runde 2}}$: ♂: $7,2 \pm 0,4$ km·h⁻¹, ♀: $6,3 \pm 0,4$ km·h⁻¹; $p < 0,001$). Die übrigen Parameter (Alter, Herzfrequenz, Laktat, subjektiver Anstrengungsgrad) zeigten beim Vergleich der beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Die Laktatkonzentration lag bei den Frauen am Ende der zweiten Runde tendenziell niedriger als bei den Männern (♂: $2,3 \pm 0,9$ mmol·l⁻¹, ♀: $1,8 \pm 0,6$ mmol·l⁻¹).

Innerhalb der Gruppe der weiblichen Teilnehmer wurde das Laktat am Ende der zweiten Runde signifikant niedriger gemessen (Laktat_{Runde 1}: $2,0 \pm 0,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, Laktat_{Runde 2}: $1,8 \pm 0,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$; $p < 0,05$) als nach der ersten Runde, analog der niedrigeren Geschwindigkeit. Dennoch wurde der subjektive Anstrengungsgrad bei den weiblichen Teilnehmern am Ende der zweiten Runde im Vergleich zur ersten Runde signifikant ($p < 0,05$) höher angegeben (Borg_{Runde 1}: $11,4 \pm 1,5$; Borg_{Runde 2}: $12,0 \pm 1,6$). Zwischen dem subjektiven Anstrengungsgrad und der Laktatkonzentration bestand weder bei den Männern noch bei den Frauen ein signifikanter Zusammenhang.

3.5.2.2 Walking-Geschwindigkeit bei mehrstündiger Belastung

Eine weitere Voruntersuchung sollte zeigen, welche Intensität bzw. Geschwindigkeit trainierte Walker im mittleren Lebensalter über eine längere Distanz bewältigen können.

Dazu wurde im Rahmen des 3. Saarländisches Läuferwochenendes am 16./17. 5. 1998 bei fünf männlichen Teilnehmern auf der 27 km langen leicht profilierten Strecke kontinuierlich mittels Pulsuhr („Accurex-Plus“ der Firma Polar Electro[®], Finnland) die Herzfrequenz registriert und die Zeit gemessen. Die Probanden absolvierten seit ca. drei Jahren ein regelmäßiges Walkingtraining (Tab 20).

Tabelle 20: Altersbereich und Trainingsdaten der Probanden (n = 5)

Alter (Jahre)	Trainingsumfang (h)	Trainingshäufigkeit (pro Woche)	Trainingsherzfrequenz (min^{-1})
49-51	1-2	1-4	120-140

Die fünf Walker benötigten für die Strecke zwischen 3:25 und 3:40 Stunden, was einem Geschwindigkeitsbereich von $7,4\text{-}7,9 \text{ km h}^{-1}$ entspricht und nach Morris/Hardmann (1997) als *Fast Walking* ($6,4\text{-}8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) definiert wird (s. S. 23). Die Autoren geben für diesen Geschwindigkeitsbereich bei Männern eine Intensität von ca. 60-80 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme an. Die Herzfrequenz lag zwischen 75-85 Prozent ($127\text{-}144 \text{ min}^{-1}$) der berechneten maximalen Herzfrequenz ($220 \text{ minus Lebensalter}$) und somit laut ACSM (1998) in einem effektiven Intensitätsbereich. Die Teilnehmer klagten über keinerlei Beschwerden.

In der vorliegenden Hauptuntersuchung soll nun überprüft werden, ob sich basierend auf der maximal erreichten Geschwindigkeit im Walking-Stufentest auch ohne Laktatdiagnostik Trainingsempfehlungen für das Walking ableiten lassen. Weiterhin soll auch hier überprüft werden, ob anhand der Fahrradergometrie Trainingsempfehlungen in Form von Herzfrequenzvorgaben für das Walking möglich sind.

3.5.3 Methodik

3.5.3.1 Probanden

An der Studie nahmen 16 männliche und weibliche Probanden teil, die alle Mitglieder der Präventivsportgruppe des Instituts für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes waren. Die Gesundheitssportler trainierten im Durchschnitt seit 34 Monaten in der Gruppe und waren mit der Walking-Technik vertraut. Die folgende Tabelle 21 zeigt die anthropometrischen und leistungsphysiologischen Daten der untersuchten Probanden.

Tabelle 21: Anthropometrische Daten, Dauer der Gruppenzugehörigkeit (Gruppe), maximale Leistungsfähigkeit (LF_{\max}) und maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2\text{peak}}$) bei der Fahrradergometrie ($\bar{x} \pm s$)

	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	Gruppe [Monate]	LF_{\max} [W·kg ⁻¹]	$\dot{V}O_{2\text{peak}}$ [ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]
♂ (n = 6)	55 ± 8	175 ± 7	76 ± 7	33 ± 27	2,9 ± 0,7	40,2 ± 7,6
♀ (n = 10)	52 ± 9	166 ± 8	62 ± 11	35 ± 26	2,3 ± 0,3	33,2 ± 4,1
Gesamt (n = 16)	53 ± 9	169 ± 8	67 ± 11	34 ± 25	2,6 ± 0,6	35,8 ± 5,9

Die maximale Leistungsfähigkeit der Gesundheitssportler lag im Mittel ca. zehn Prozent oberhalb des Altersdurchschnitts untrainierter Normalpersonen (Kindermann 1987).

3.5.3.2 Untersuchungsdesign

Zunächst wurden alle Probanden einer klinischen und laborchemischen Routineuntersuchung unterzogen und absolvierten eine stufenweise ansteigende Fahrradergometrie zur Gesundheitsbeurteilung und zur Bestimmung der maximalen Leistungsfähigkeit sowie der Ausdauerleistungsgrenze (ALG). Anschließend an die Fahrradergometrie wurde zur Gewöhnung der Walking-Stufentest auf dem Laufband durchgeführt. Da alle Teilnehmer mit der Walkingtechnik vertraut waren, wurden keine zusätzlichen Übungs- und Trainingsphasen für notwendig erachtet. In einem zeitlichen Abstand von mindestens zwei Tagen und höchstens einer Woche erfolgte der zweite Walking-Stufentest auf dem Laufband. Anhand der maximal erreichten Geschwindigkeit wurden die einzelnen Intensitäten für die drei folgenden Dauerbelastungen (70, 80 und 90 Prozent der maximal im Walking-Stufentest erreichten Geschwindigkeit) festgelegt. Der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Dauerbelastungen betrug mindes-

tens zwei Tage und höchstens eine Woche (Abb. 24). Der gesamte Untersuchungszeitraum belief sich pro Proband auf zwei bis vier Wochen. Dabei sollten die Teilnehmer weder ihr normales Trainingspensum durch zusätzliche Trainingseinheiten während der Testphase überschreiten, noch am Vortag der Tests intensive oder lange andauernde körperliche Belastungen vornehmen.

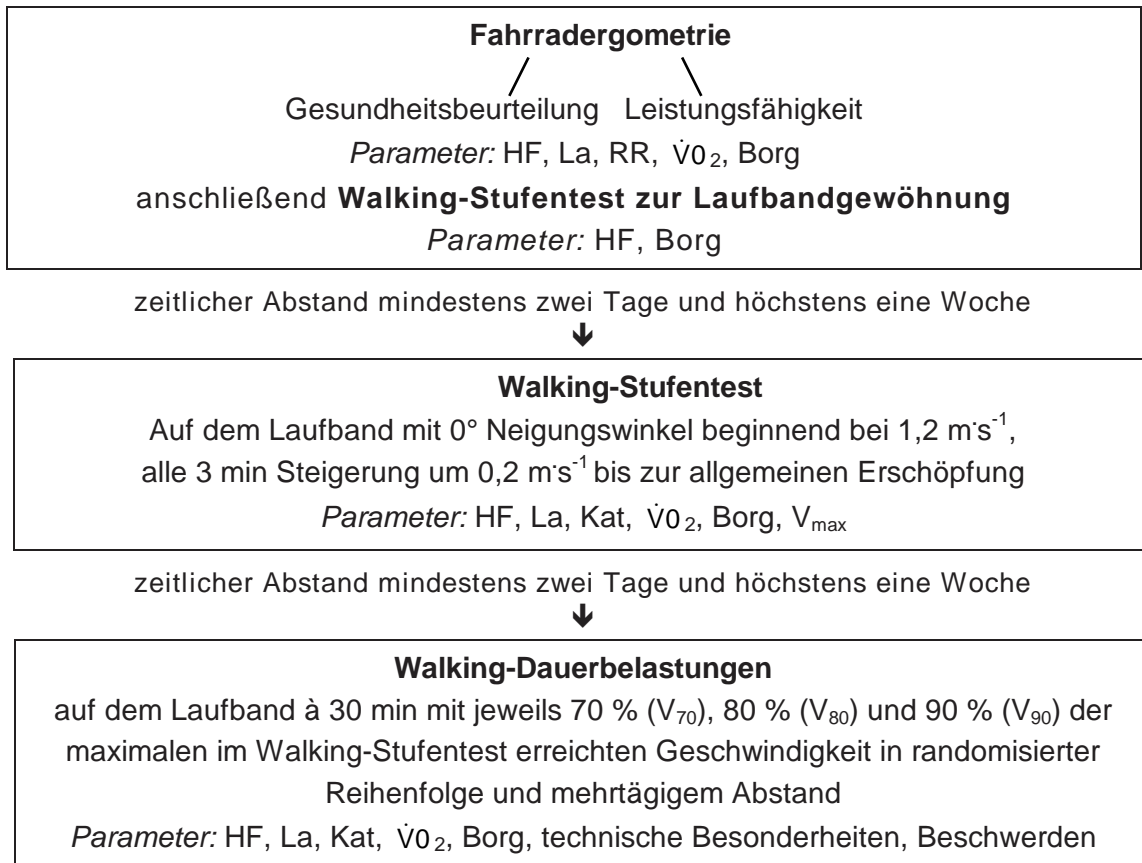


Abbildung 24: Untersuchungsdesign

Die folgende Abbildung 25 zeigt den Ablauf der Dauertests in der Übersicht.

	10 min	10 min	10 min		
Ruhe	10 min	20 min	30min	3'p	
HF	HF	HF	HF	HF	HF
La	La	La	La	La	La
Spiro	Kat	Kat	Kat	Kat	
	Spiro	Spiro	Spiro	Spiro	
	Borg	Borg	Borg	Borg	

Abbildung 25: Ablauf der Dauertests (3 × 10 min, jeweils 30 Sekunden Pause) mit den jeweiligen Messzeitpunkten und den gemessenen Parametern [Herzfrequenz (HF), Laktat (La), Katecholamine (Kat) Spirometrie (Spiro), und subjektiver Anstrengungsgrad (Borg)]

Darüber hinaus wurden technische Besonderheiten und auftretende subjektive Beschwerden erfasst.

3.5.4 Ergebnisse

3.5.4.1 Walking-Dauerbelastungen

3.5.4.1.1 Herzfrequenz

Abbildung 26 zeigt das Herzfrequenzverhalten während der drei Walking-Dauerbelastungen. Bei V_{70} ($5,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) stieg die Herzfrequenz auf $110 \pm 9 \text{ min}^{-1}$, bei V_{80} ($6,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) auf $124 \pm 9 \text{ min}^{-1}$ und bei V_{90} ($7,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) auf $152 \pm 13 \text{ min}^{-1}$ an. Der gekennzeichnete Bereich der Herzfrequenzreserve reicht im Mittel von 118 min^{-1} [50 % HF_R ($\sim 67 \%$ HF_{peak}), untere Grenze] bis zu 158 min^{-1} [85 % HF_R ($\sim 90 \%$ HF_{peak}), obere Grenze]. Mit 80 und 90 Prozent der maximalen Walking-Geschwindigkeit liegen die Probanden im Mittel innerhalb, mit 70prozentiger Intensität unterhalb des als günstig erachteten Trainingsbereiches.

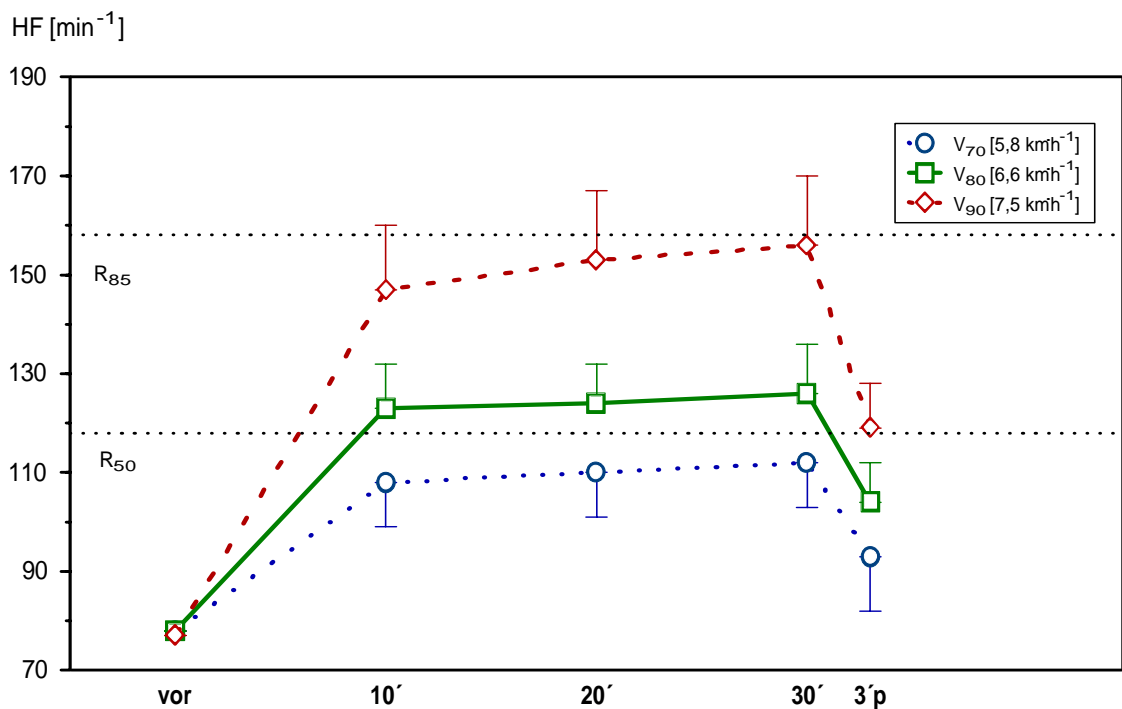


Abbildung 26: Herzfrequenzverhalten ($n = 16$, $\bar{x} \pm s$) bei den Walking-Dauertests mit 70 %, 80 % und 90 % (30. Minute, $n = 15$) der maximalen bei stufenweise ansteigender Laufbandbelastung erreichten Geschwindigkeit. Zusätzlich wurde der mittlere vom ACSM (1998) als trainingswirksam empfohlene Herzfrequenzreservebereich durch eine obere (R_{85}) und untere Grenze (R_{50}) gekennzeichnet.

In Abbildung 27 wird das Herzfrequenzverhalten der einzelnen (männlichen und weiblichen) Probanden bei V_{80} prozentual zur maximal bei der Fahrradergometrie gemessenen Herzfrequenz ($\% \text{HF}_{\text{peak}}$) dargestellt. Alle Probanden lagen oberhalb von 65% HF_{peak} .

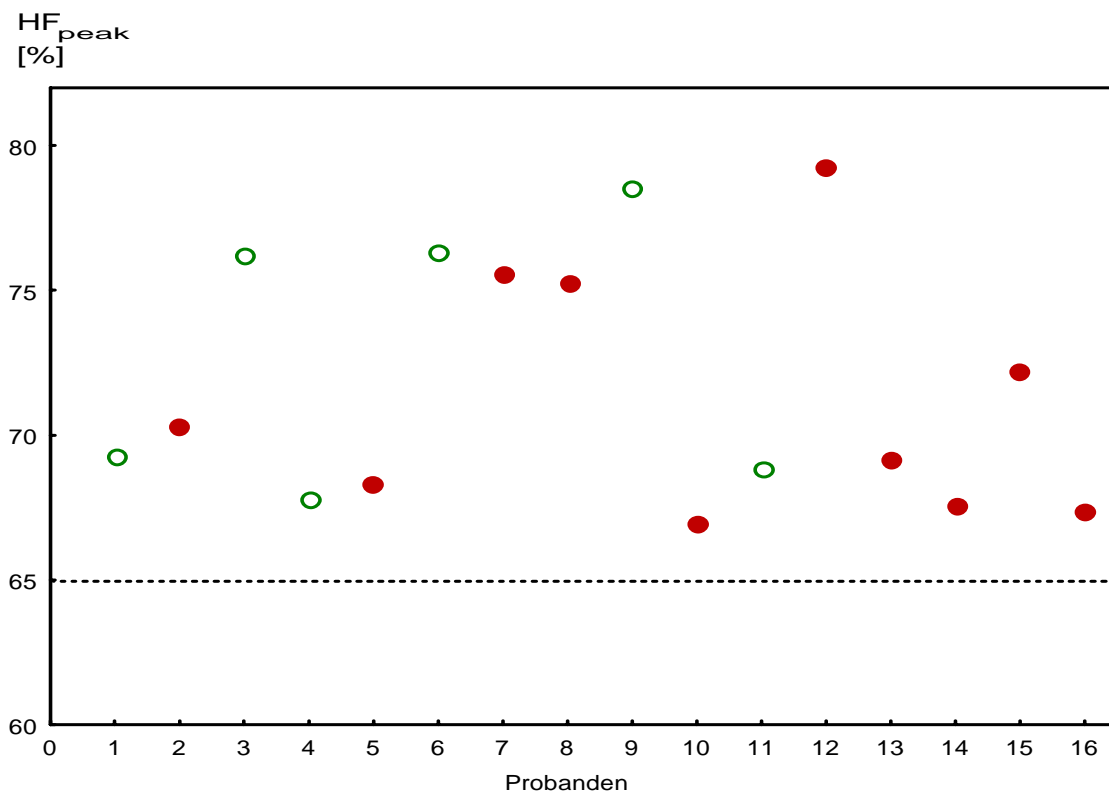


Abbildung 27: Herzfrequenzverhalten bei V_{80} prozentual zu HF_{peak} der einzelnen Probanden [♂ : $n = 6$ (\circ); ♀ : $n = 10$ (\bullet)]; die gestrichelte Linie bei 65 % HF_{peak} kennzeichnet die Mindestintensität für ein Ausdauertraining (ACSM 1998)

Abbildung 28 zeigt das Herzfrequenzverhalten bei der Fahrradergometrie und bei den Walking-Stufen- und -Dauertests auf dem Laufband. Die maximale Herzfrequenz bei der Fahrradergometrie betrug im Mittel $173 \pm 16 \text{ min}^{-1}$ bei einer durchschnittlichen Leistung von $172 \pm 53 \text{ Watt}$ ($2,6 \pm 0,6 \text{ Watt}\cdot\text{kg}^{-1}$). Das Herzfrequenzverhalten an der Ausdauerleistungsgrenze bei der Fahrradergometrie ($135 \pm 14 \text{ min}^{-1}$, $107 \pm 28 \text{ Watt}$, $1,6 \pm 0,3 \text{ Watt}\cdot\text{kg}^{-1}$) und beim Walking auf dem Laufband ($131 \pm 14 \text{ min}^{-1}$, $6,9 \pm 0,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) war im Mittel ähnlich.

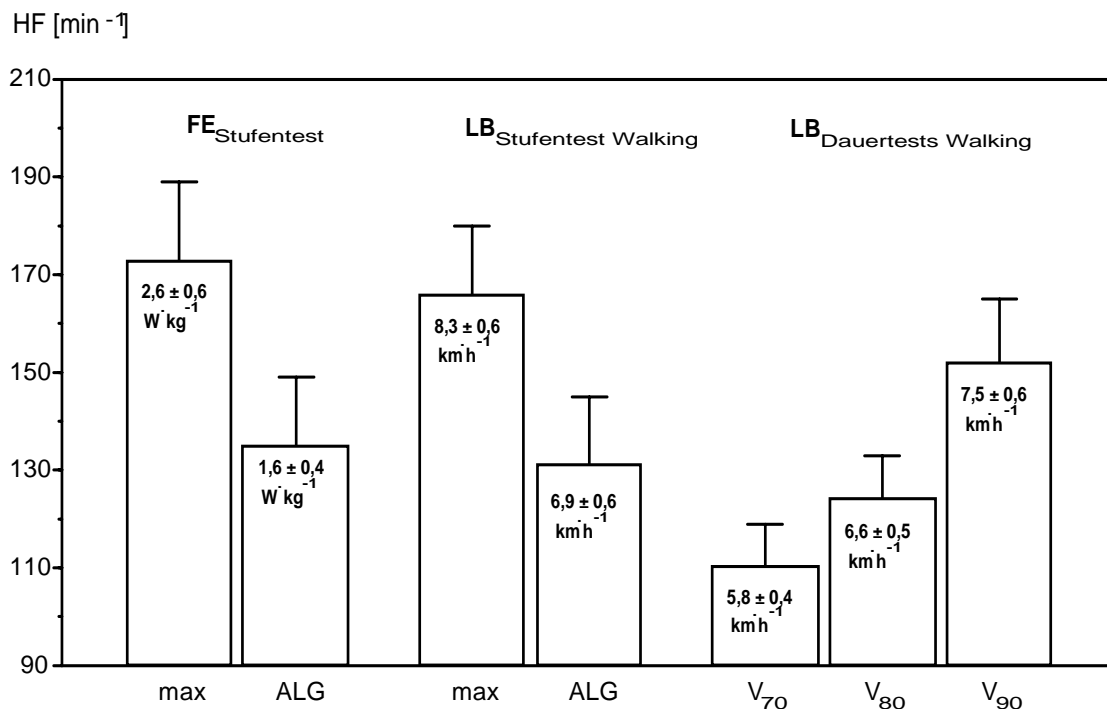


Abbildung 28: Herzfrequenz ($n = 16$, $\bar{x} \pm s$) bei stufenweise ansteigender Fahrrad- (FE) und Laufbandbelastung (LB) im Maximalbereich (max) und an der Ausdauerleistungsgrenze (ALG) sowie bei den Walking-Dauertests mit 70, 80 und 90 % der maximalen im LB_{Stufentest Walking} erreichten Geschwindigkeit (V_{70} , V_{80} , V_{90})

Die maximale Herzfrequenz beim Walking-Stufentest auf dem Laufband ($166 \pm 14 \text{ min}^{-1}$) lag im Mittel bei 96 Prozent der maximalen Herzfrequenz bei der Fahrradergometrie. Der höchste Einzelwert beim Walking-Stufentest betrug 202 min^{-1} und der höchste gemessene Wert bei einer Walking-Dauerbelastung (nach 30 min bei V_{90}) 185 min^{-1} .

Bei V_{80} zeigten sich beim Herzfrequenzverhalten keine geschlechtsspezifischen Unterschiede [♂ : 124 ± 9 ($\sim 73 \% \text{ HF}_{\text{peak}}$, $\sim 62 \% \dot{V}O_{2\text{peak}}$); ♀ : $125 \pm 9 \text{ min}^{-1}$ ($\sim 72 \% \text{ HF}_{\text{peak}}$, $\sim 64 \% \dot{V}O_{2\text{peak}}$)]. Die Herzfrequenz an der ALG lag bei den Frauen signifikant höher als bei den Männern [HF_{ALG} : ♂ : 122 ± 9 ($71 \% \text{ HF}_{\text{peak}}$, $\sim 61 \% \dot{V}O_{2\text{peak}}$), ♀ : $138 \pm 11 \text{ min}^{-1}$ ($80 \% \text{ HF}_{\text{peak}}$, $\sim 70 \% \dot{V}O_{2\text{peak}}$); $p < 0,05$]. Bei einer fixen Laktatkonzentration von $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ zeigte die Herzfrequenz im Mittel lediglich einen tendenziellen Unterschied zwischen beiden Geschlechtern ($\text{HF}_{2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}}$: ♂ : 125 ± 8 , ♀ : $133 \pm 10 \text{ min}^{-1}$).

Die Herzfrequenz bei der 80prozentigen Dauerbelastung ($124 \pm 9 \text{ min}^{-1}$, $\sim 72 \% \text{ HF}_{\text{peak}}$) lag im Mittel signifikant ($p < 0,05$) niedriger als an der ALG ($131 \pm 14 \text{ min}^{-1}$, $\sim 76 \% \text{ HF}_{\text{peak}}$).

Bei der linearen Regressionsanalyse zeigte sich ein mäßiger Zusammenhang ($r = 0,66$, $p < 0,05$). Die absolute mittlere Differenz lag bei 10 min^{-1} und die maximale Abweichung bei 29 min^{-1} (Abb. 29).

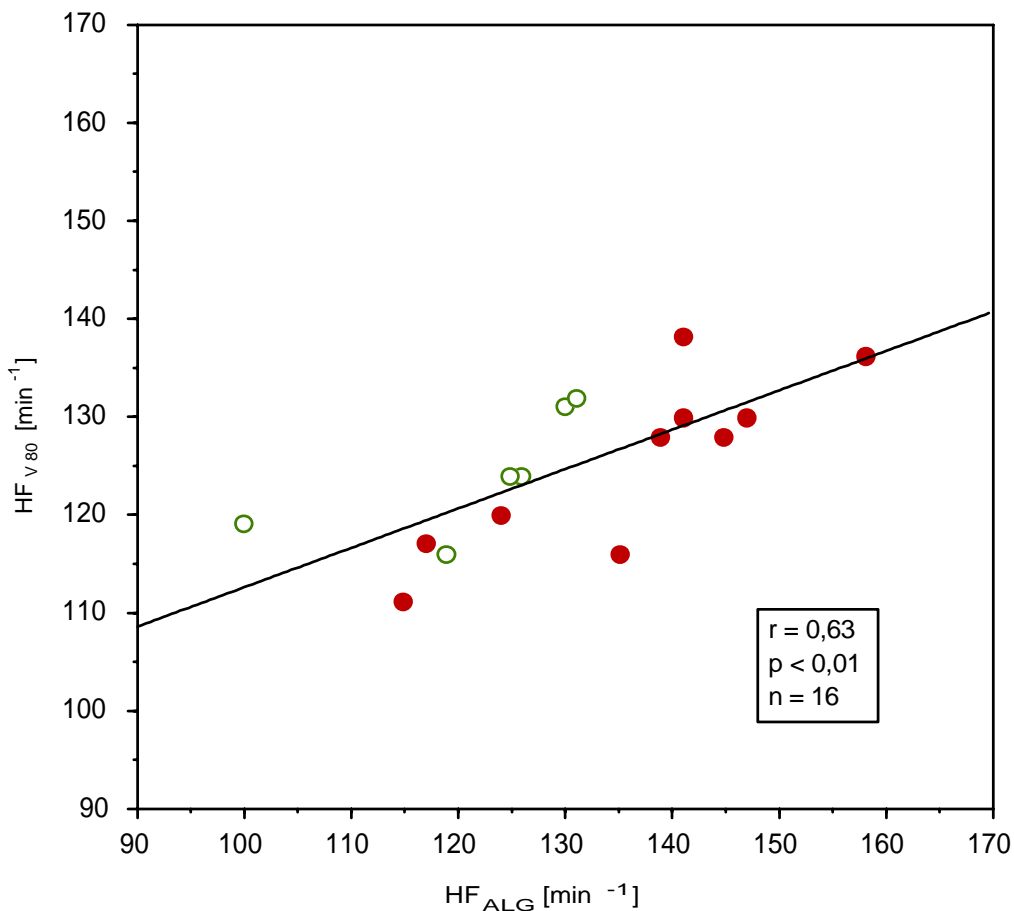


Abbildung 29: Lineare Regressionsanalyse zwischen dem Herzfrequenzverhalten bei der Walking-Dauerbelastung mit 80 % der maximalen Geschwindigkeit (HF_{V80}) und der Herzfrequenz an der ALG (HF_{ALG}) [♂: $n = 6$ (○); ♀: $n = 10$ (●)]

Ein weiterer signifikanter Zusammenhang bestand zwischen der Herzfrequenz an der ALG und bei 2 mmol l^{-1} Laktat ($r = 0,83$, $p < 0,01$).

Die Herzfrequenz bei V_{80} ($124 \pm 9 \text{ min}^{-1}$) und V_{ALG} ($131 \pm 14 \text{ min}^{-1}$) entsprach im Mittel in etwa der Faustformel *180 minus Lebensalter* ($127 \pm 10 \text{ min}^{-1}$). Allerdings bestand zwischen dem Herzfrequenzverhalten bei den jeweiligen Geschwindigkeiten und der Faustformel kein signifikanter Zusammenhang. Im Einzelfall betrug die Abweichungen bis zu 19 min^{-1} (V_{80}) bzw. 41 min^{-1} (V_{ALG}) (Abb. 30).

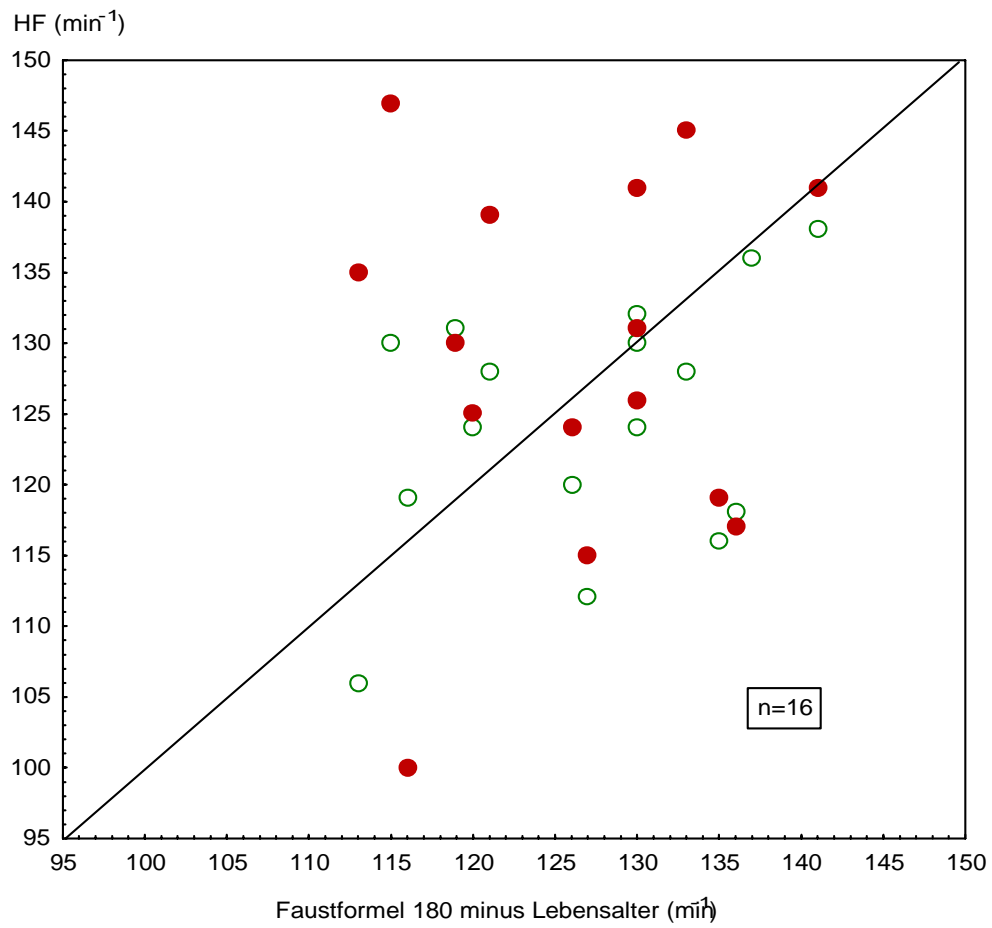


Abbildung 30: Beziehung zwischen der Herzfrequenz bei V_{80} (○) bzw. an der ALG (●) und an der Faustformel 180 minus Lebensalter ($n = 16$)

3.5.4.1.2 Laktat

Die Laktatkonzentration betrug im Mittel beim Walking-Dauertest bei V_{70} $1,1 \pm 0,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, V_{80} $1,8 \pm 0,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ und V_{90} $3,9 \pm 2,0 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, wobei bei der zuletzt genannten Walking-Belastung die höchsten individuellen Unterschiede zu beobachten waren (Abb. 31).

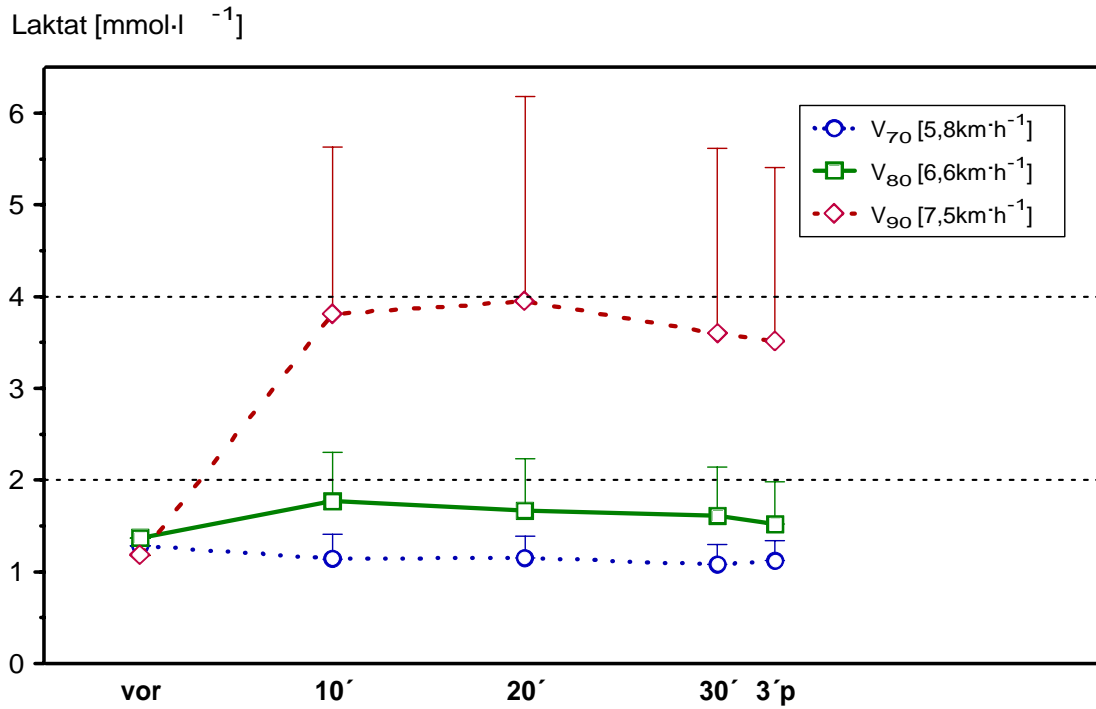


Abbildung 31: Laktatverhalten ($n = 16$, $\bar{x} \pm s$) beim Walking-Dauertest auf dem Laufband mit 70, 80 und 90 % (30. Minute, $n = 15$) der maximalen bei stufenweise ansteigender Laufbandbelastung erreichten Geschwindigkeit (V_{70} , V_{80} , V_{90})

Die mittlere maximale Laktatkonzentration bei der Fahrradergometrie betrug $10,1 \pm 3,1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, beim Walking-Stufentest $6,1 \pm 1,8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Der höchste Einzelwert lag bei $9,7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ bei V_{90} und bei $9,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ beim Walking Stufentest des gleichen Probanden. Die mittlere Laktatkonzentration an der Ausdauerleistungsgrenze ($2,0 \pm 0,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) lag ähnlich wie bei V_{80} ($1,8 \pm 0,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) (Abb. 32).

Bei V_{80} und V_{ALG} zeigten sich beim Laktat lediglich tendenzielle geschlechtsspezifische Unterschiede (V_{80} : ♂: $2,1 \pm 0,3$, ♀: $1,8 \pm 0,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$; V_{ALG} : ♂: $1,9 \pm 0,2$, ♀: $2,1 \pm 0,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$).

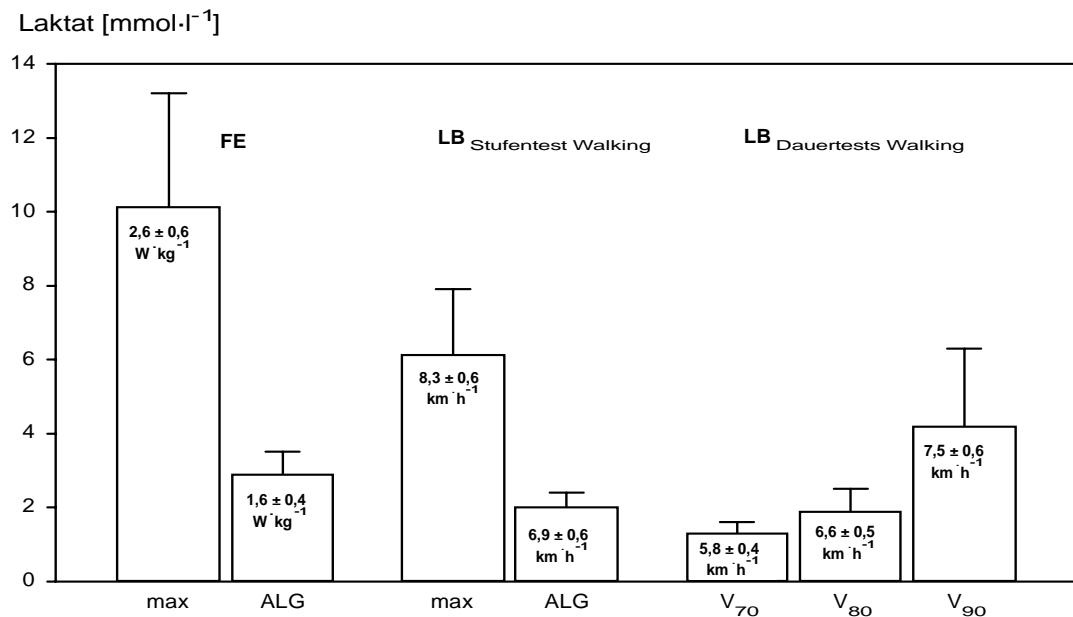


Abbildung 32: Laktatkonzentration ($n = 16$, $\bar{x} \pm s$) bei stufenweise ansteigender Fahrrad- (FE) und Laufbandbelastung (LB), an der Ausdauerleistungsgrenze (ALG) sowie bei den Walking-Dauertests mit 70, 80 und 90 % der maximalen im LB_{Stufentest Walking} erreichten Geschwindigkeit (V_{70} , V_{80} , V_{90})

Die Sauerstoffaufnahme lag interpoliert bei 2 mmol·l⁻¹ Laktat bei allen Probanden oberhalb von 50 und bei 13 Probanden oberhalb von 60 % $\dot{V}O_{2peak}$ (Abb. 33).

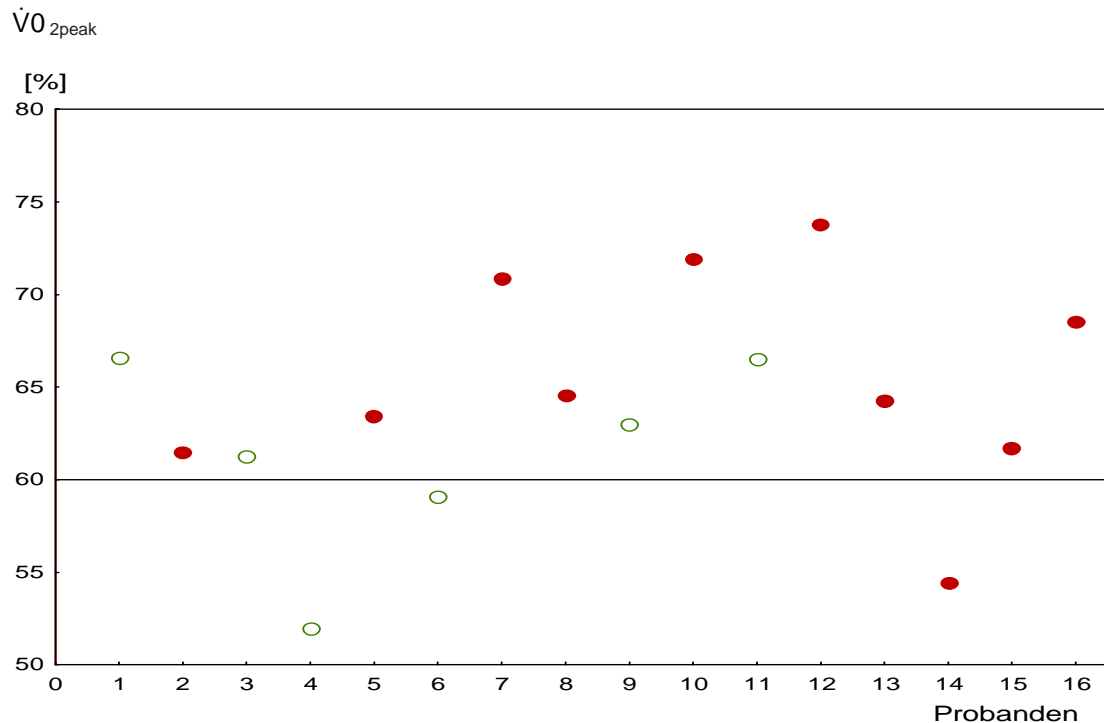


Abbildung 33: Sauerstoffaufnahme prozentual zu $\dot{V}O_{2peak}$ interpoliert bei 2 mmol·l⁻¹ Laktat ($n = 16$); die gestrichelte Linie bei 60 % $\dot{V}O_{2peak}$ entspricht der Mindestintensität für ein Ausdauertraining (ACSM 1998) [♂: $n = 6$ (○); ♀: $n = 10$ (●)]

3.5.4.1.3 Katecholamine

Die maximalen freien Noradrenalinwerte stiegen bei den Walking-Dauerbelastungen im Mittel auf $6,48 \pm 2,17 \text{ nmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (V_{70}), $5,47 \pm 1,34 \text{ nmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (V_{80}) und $6,26 \pm 1,76 \text{ nmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (V_{90}). Die maximalen Adrenalinwerte betragen nach 30 min bei V_{70} $1,17 \pm 0,28 \text{ nmol}\cdot\text{l}^{-1}$, bei V_{80} $1,00 \pm 0,27 \text{ nmol}\cdot\text{l}^{-1}$ und bei V_{90} $1,10 \pm 0,31 \text{ nmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (s. Abb. 34).

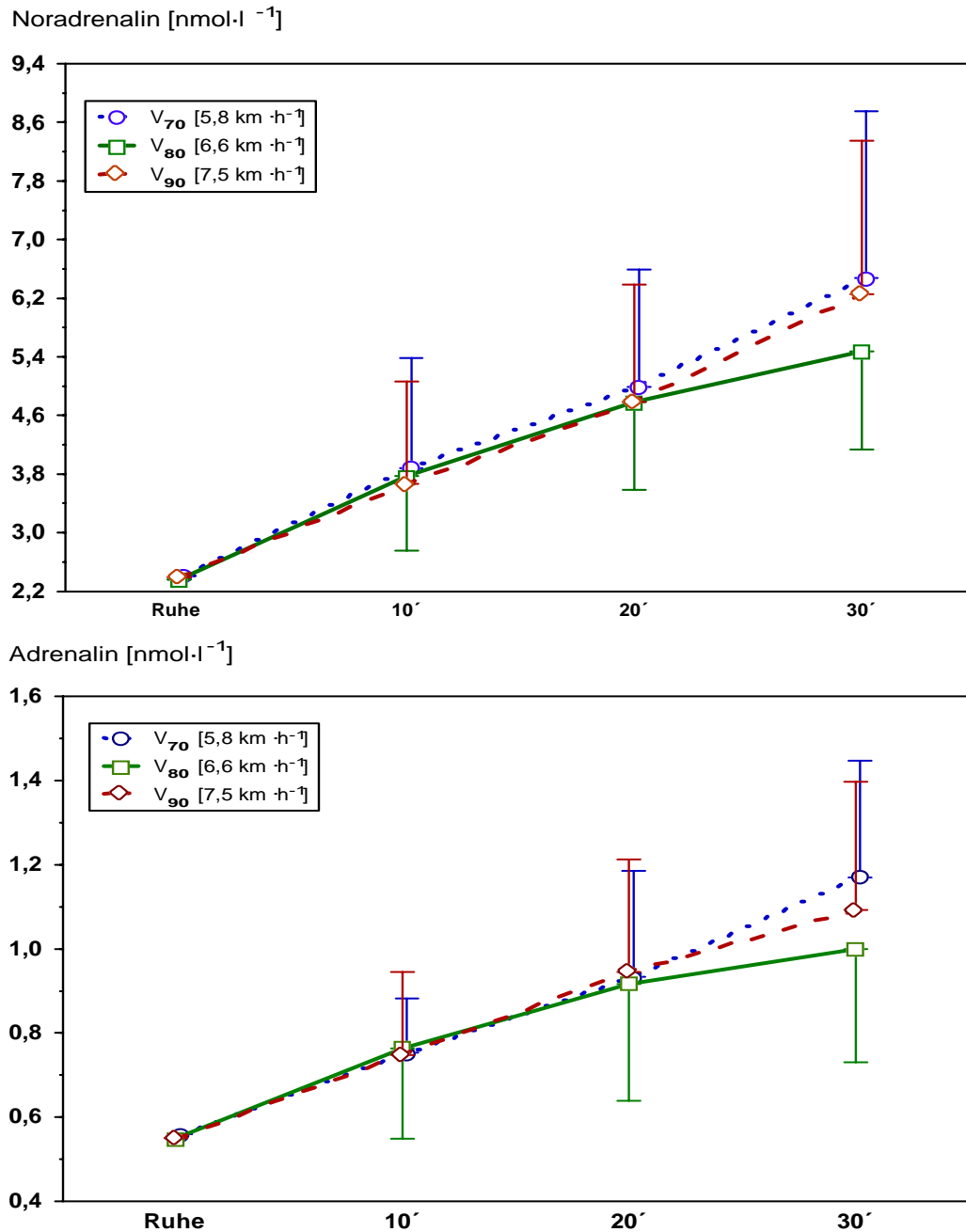


Abbildung 34: Noradrenalin- (oben) und Adrenalinverhalten (unten) bei den Walking-Dauertests mit 70, 80 und 90 % der maximalen im Walking-Stufentest erreichten Geschwindigkeit (V_{70} , V_{80} , V_{90}) ($n = 16$, $\bar{x} \pm s$)

Der höchste Einzelwert für Noradrenalin ($11,13 \text{ nmol l}^{-1}$) und Adrenalin ($1,94 \text{ nmol l}^{-1}$) wurde jeweils bei V_{70} erreicht. In Abbildung 35 werden die maximalen Noradrenalin- und Adrenalinwerte bei den drei Walking-Dauerbelastungen dargestellt. Auch hier wird deutlich, dass die Probanden bei V_{70} und V_{90} der maximalen Walking-Geschwindigkeit höhere, aber nicht signifikant unterschiedliche Katecholaminanstiege erreichten, als bei V_{80} .

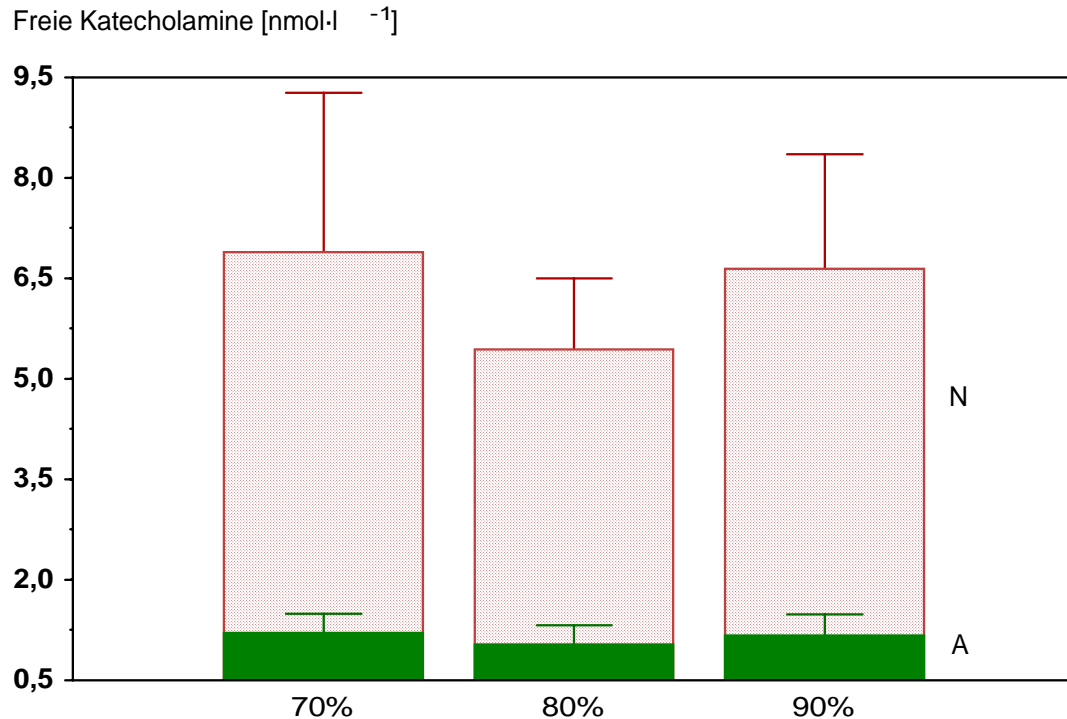


Abbildung 35: Vergleich der maximalen freien Noradrenalin- (N) und Adrenalin-konzentrationen (A) ($n=16$, $\bar{x} \pm s$) bei den Walking-Dauertests mit 70, 80 und 90 % der maximalen im Walking-Stufentest erreichten Geschwindigkeit (V_{70} , V_{80} , V_{90})

Bei den Stresshormonen konnten keine geschlechtsspezifischen Unterschiede gefunden werden.

3.5.4.1.4 Sauerstoffaufnahme

In Abbildung 36 wird der Verlauf der Sauerstoffaufnahme während der drei Dauerbelastungen dargestellt. Die Gesundheitssportler erreichten bei V_{70} eine durchschnittliche Sauerstoffaufnahme von $18,2 \pm 2,3$, bei V_{80} $22,3 \pm 3,1$ und bei V_{90} $29,3 \pm 5,0$ $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Die Sauerstoffaufnahme stieg bei den Walking-Dauerbelastungen mit steigender Intensität signifikant an ($p < 0,001$). Bei V_{70} Intensität liegt die Sauerstoffaufnahme im Mittel unterhalb, bei V_{80} und V_{90} innerhalb des günstigen Trainingsbereiches.

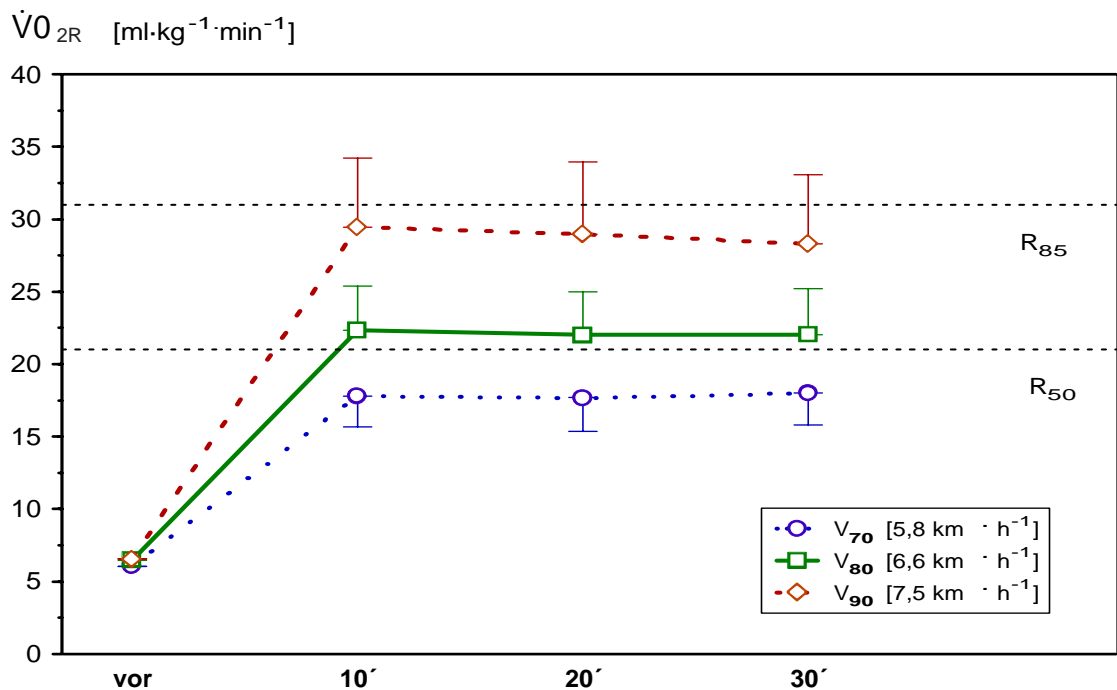


Abbildung 36: Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2\text{peak}}$, $n = 16$, $\bar{x} \pm s$) bei den Walking-Dauertests mit 70, 80 und 90 % der maximalen im Walking-Stufentest erreichten Geschwindigkeit (V_{70} , V_{80} , V_{90}); zusätzlich wurde der mittlere vom ACSM als trainingswirksam empfohlene Sauerstoffreservebereich durch eine obere (R_{85}) und untere Grenze (R_{50}) gekennzeichnet

Dieser gekennzeichnete Bereich der Sauerstoffreserve, der ein zusätzliches Maß neben der Herzfrequenzreserve für die Effektivität eines Herz-Kreislauftrainings darstellt (ACSM 1998), reicht im Mittel von $21,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ [50 % $\dot{V}O_{2R}$ (~ 60 % $\dot{V}O_{2\text{peak}}$), untere Grenze] bis zu $31,0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ [85 % $\dot{V}O_{2R}$ (~ 87 % $\dot{V}O_{2\text{peak}}$), obere Grenze].

In Abbildung 37 wird $\dot{V}O_2$ bei V_{80} (oben) und V_{ALG} (unten) prozentual zu $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ und die maximale Leistungsfähigkeit bei der Fahrradergometrie der einzelnen (männlichen und weiblichen) Probanden dargestellt. Alle Teilnehmer lagen oberhalb von 55 % $\dot{V}O_{2\text{peak}}$, bei V_{80} erreichten 12, bei V_{ALG} (83 % V_{max}) 13 von 16 Probanden mehr als 60 % $\dot{V}O_{2\text{peak}}$.

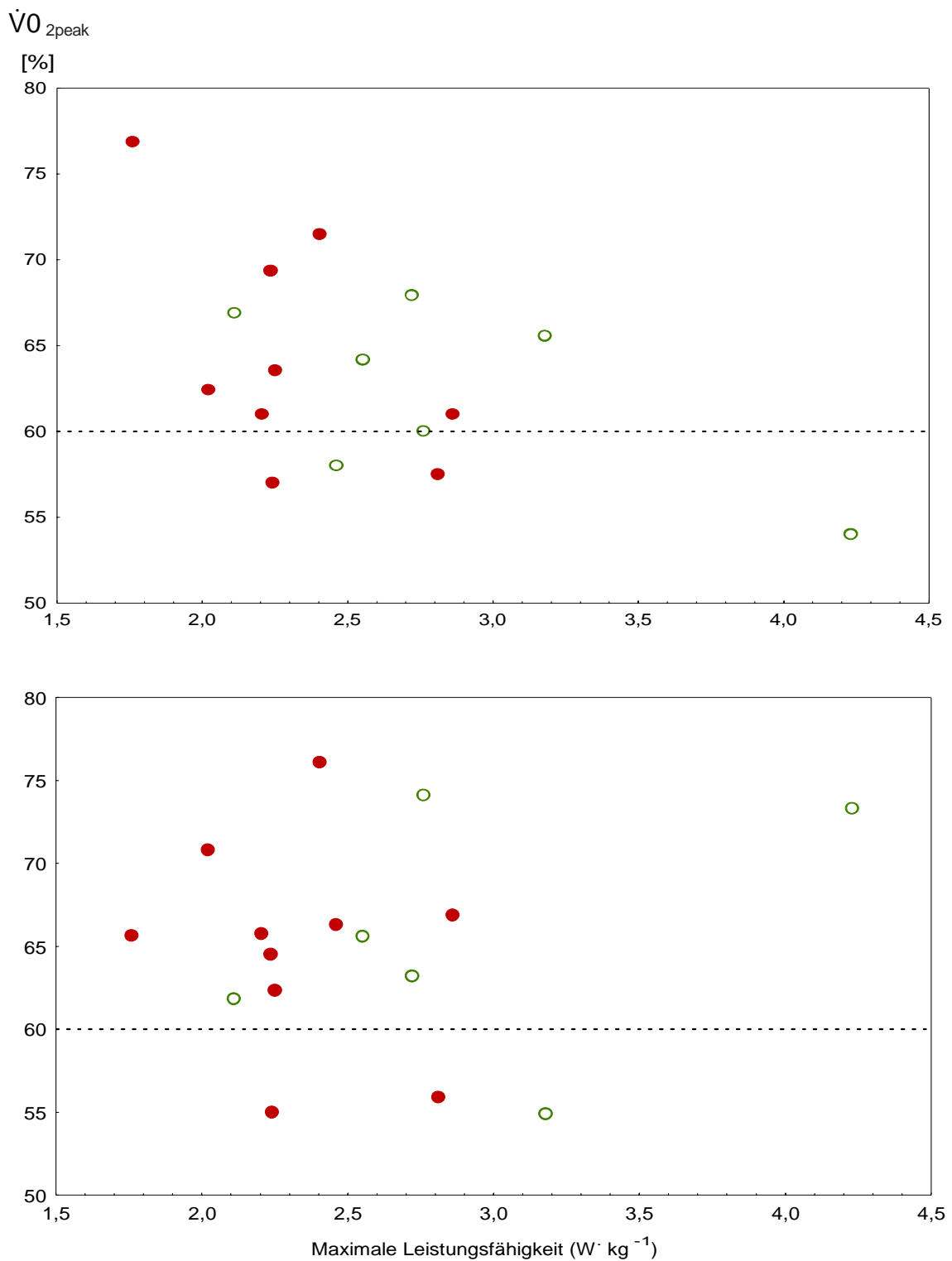


Abbildung 37: Relative Sauerstoffaufnahme ($\% \dot{V}O_{2peak}$) und maximale Leistungsfähigkeit bei der Fahrradergometrie der einzelnen Probanden [♂ : $n = 6$ (○); ♀ : $n = 10$ (●)] bei V_{80} (oben) und V_{ALG} (unten); die gestrichelte Linie kennzeichnet die Mindestintensität für ein Ausdauertraining (ACSM 1998)

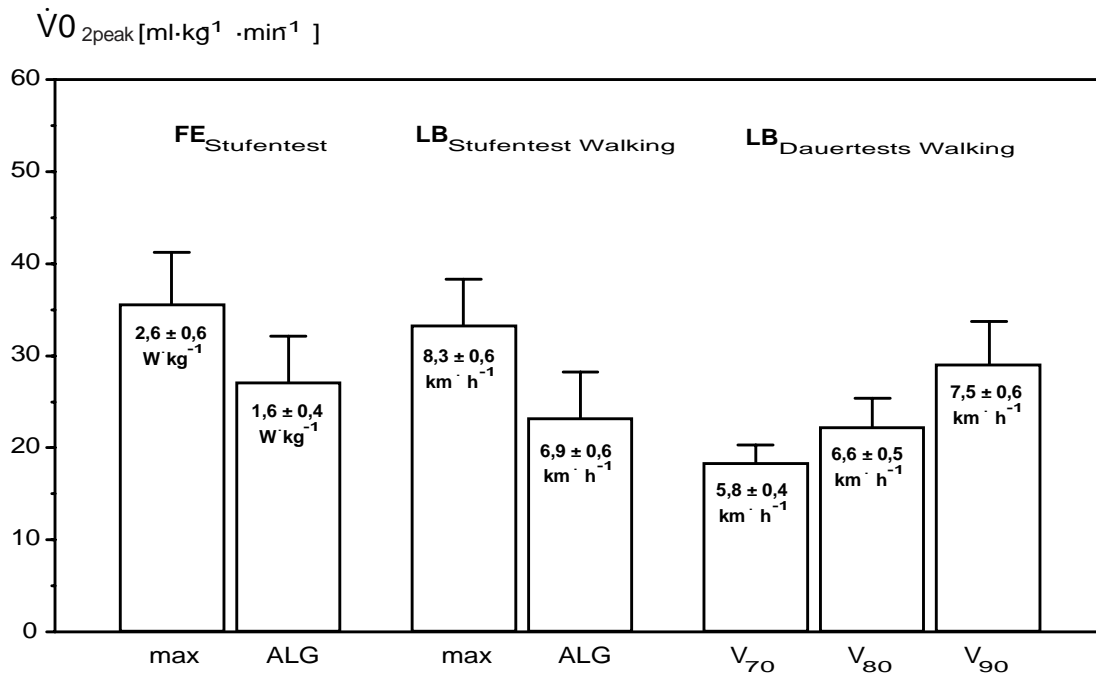


Abbildung 38: Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2peak}$ $n = 16$, $\bar{x} \pm s$) bei stufenweise ansteigender Fahrrad- (FE) und Laufbandbelastung (LB) an der Ausdauerleistungsgrenze (ALG) sowie beim Walking-Dauertest mit 70, 80 und 90 % der maximalen im LB_{Stufentest Walking} erreichten Geschwindigkeit (V_{70} , V_{80} , V_{90})

In Abbildung 38 werden die Mittelwerte der Sauerstoffaufnahme der Fahrradergometrie und des Walking-Stufentests mit den Walking-Dauertests verglichen. Die maximale Sauerstoffaufnahme bei der Fahrradergometrie betrug im Mittel $35,4 \pm 5,8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme von $27,5 \pm 4,8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ interpoliert an der ALG bei der Fahrradergometrie lag etwas höher als beim Walking ($23,2 \pm 5,0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). V_{80} entsprach im Mittel 62 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme bei der Fahrradergometrie ($\dot{V}O_{2peak}$), $\dot{V}O_{2ALG}$ lag bei 66 % $\dot{V}O_{2peak}$.

Bei V_{80} und V_{ALG} (83 % V_{max}) lag die Sauerstoffaufnahme bei den Frauen signifikant niedriger als bei den Männern (V_{80} : ♂: $24,3 \pm 2,3$, ♀: $20,7 \pm 1,9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, V_{ALG} : ♂: $26,5 \pm 6,2$, ♀: $21,2 \pm 3,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $p < 0,01$). In Relation zur $\dot{V}O_{2peak}$ zeigte sich bei beiden Intensitäten kein signifikanter Unterschied (V_{80} : ♂: 62 % $\dot{V}O_{2peak}$ ♀: 64 %; V_{ALG} : ♂: 66 %, ♀: 64 % $\dot{V}O_{2peak}$).

3.5.4.1.5 Energieumsatz

Tabelle 22 zeigt den anhand der Sauerstoffaufnahme mittels indirekter Kalorimetrie berechneten Energieverbrauch bei den einzelnen Testverfahren.

Tabelle 22: Energieverbrauch ($\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$, MET) bei den Stufen- und Dauerbelastungen [Maximal (max), an der Ausdauerleistungsgrenze (ALG) und bei den jeweiligen Walking-Geschwindigkeiten (V_{70} , V_{80} , V_{90})] bei der Fahrradergometrie (FE) und auf dem Laufband (LB)

$(\bar{x} \pm s)$	Stufenbelastungen				Dauerbelastungen		
	FE_{max}	FE_{ALG}	LB_{max}	LB_{ALG}	V_{70}	V_{80}	V_{90}
$n = 16$							
$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$	$49,8 \pm 8,2$	$38,4 \pm 6,6$	$46,7 \pm 7,1$	$32,9 \pm 6,8$	$24,8 \pm 3,1$	$31,0 \pm 4,3$	$40,8 \pm 6,9$
MET	$10,1 \pm 1,7$	$7,8 \pm 1,3$	$9,5 \pm 1,5$	$6,7 \pm 1,4$	$5,2 \pm 0,7$	$6,3 \pm 2,5$	$8,4 \pm 1,4$

Der Gesamtenergieverbrauch über 30 Minuten betrug dementsprechend bei V_{70} 744 ± 93 kJ (177 ± 22 kcal), bei V_{80} 930 ± 129 kJ (221 ± 31 kcal) und bei V_{90} 1224 ± 207 kJ (291 ± 49 kcal).

Bei den einzelnen Geschwindigkeitsstufen lag der Energieumsatz jeweils im Mittel bei den Männern um 25 (V_{70}), 27 (V_{80}) und 26 Prozent (V_{90}) signifikant höher als bei den Frauen ($p < 0,05$).

3.5.4.1.6 Subjektiver Anstrengungsgrad

Der subjektive Anstrengungsgrad wurde je nach Geschwindigkeit bei den Dauerbelastungen auf der Borg-Skala (Skalierung 6-20) zwischen 7 („sehr sehr leicht“) und 19 („sehr sehr schwer“) angegeben. Im Mittel wurde bei V_{70} 10 ± 2 („sehr leicht“ bis „recht leicht“), bei V_{80} 12 ± 2 („recht leicht“ bis „etwas schwer“) und bei V_{90} 15 ± 2 („schwer“), im Einzelfall sogar 19 („sehr sehr schwer“) angegeben (s. Abb. 39).

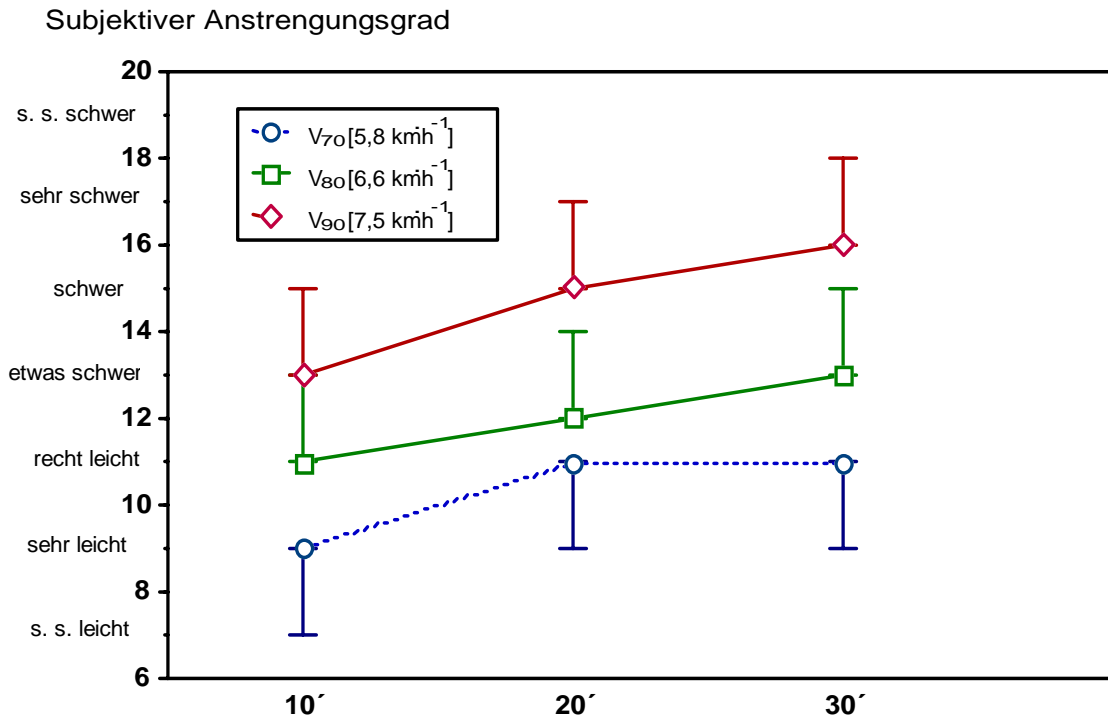


Abbildung 39: Subjektiver Anstrengungsgrad mittels Borg-Skala ($n = 16$; $\bar{x} \pm s$) beim Walking-Dauertest mit 70, 80 und 90 % der maximalen im Walking-Stufentest erreichten Geschwindigkeit (V_{70} , V_{80} , V_{90})

Der subjektive Anstrengungsgrad wurde maximal im Mittel bei der Fahrradergonomie und beim Walking-Stufentest jeweils mit 18 ± 2 gleich angegeben (s. Abb. 40). Ein signifikanter Zusammenhang bestand lediglich zwischen dem subjektiven Anstrengungsgrad und der Herzfrequenz bei V_{90} ($r = 0,61$, $p < 0,05$). Weitere Zusammenhänge mit anderen Parametern ($\dot{V}O_2$, Laktat) wurden nicht gefunden (s. Abb. 41, 42).

Bei V_{80} bestand bezüglich des subjektiven Anstrengungsgrades zwischen den männlichen und weiblichen Teilnehmern kein signifikanter Unterschied (♂ : $12,1 \pm 1,9$, ♀ : $11,7 \pm 1,8$).

Subjektiver Anstrengungsgrad

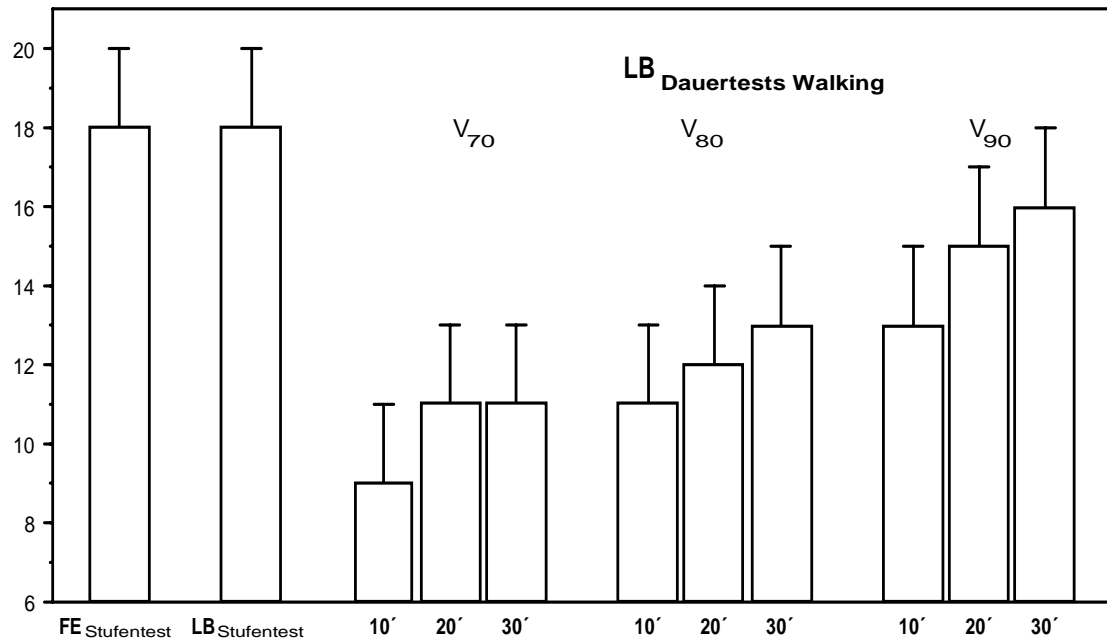


Abbildung 40: Subjektiver Anstrengungsgrad ($n = 16$, $\bar{x} \pm s$) nach Borg bei stufenweise ansteigender Fahrrad- (FE) und Laufbandbelastung (LB) sowie beim Walking-Dauertest mit 70, 80 und 90 % der maximalen im LB_{Stufentest Walking} erreichten Geschwindigkeit (V_{70} , V_{80} , V_{90})

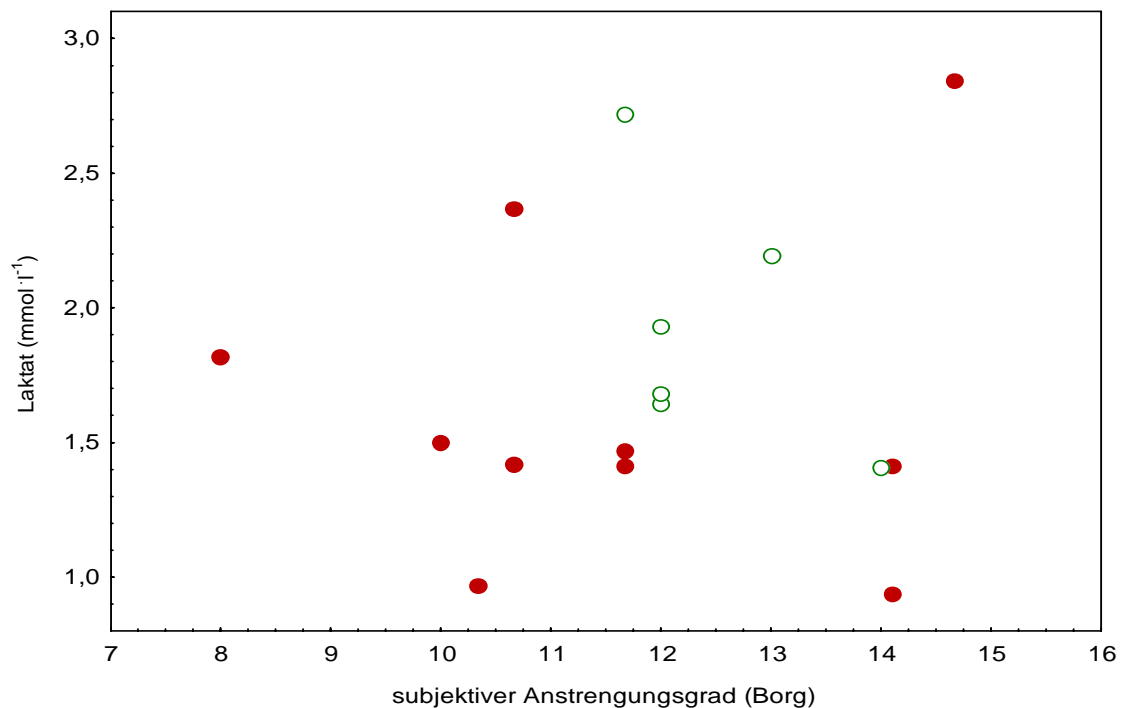


Abbildung 41: Laktatkonzentration und subjektiver Anstrengungsgrad der einzelnen Probanden [σ : $n = 6$ (o); ♀ : $n = 10$ (•)] bei V_{80} (Werte über 30 min⁻¹ gemittelt)

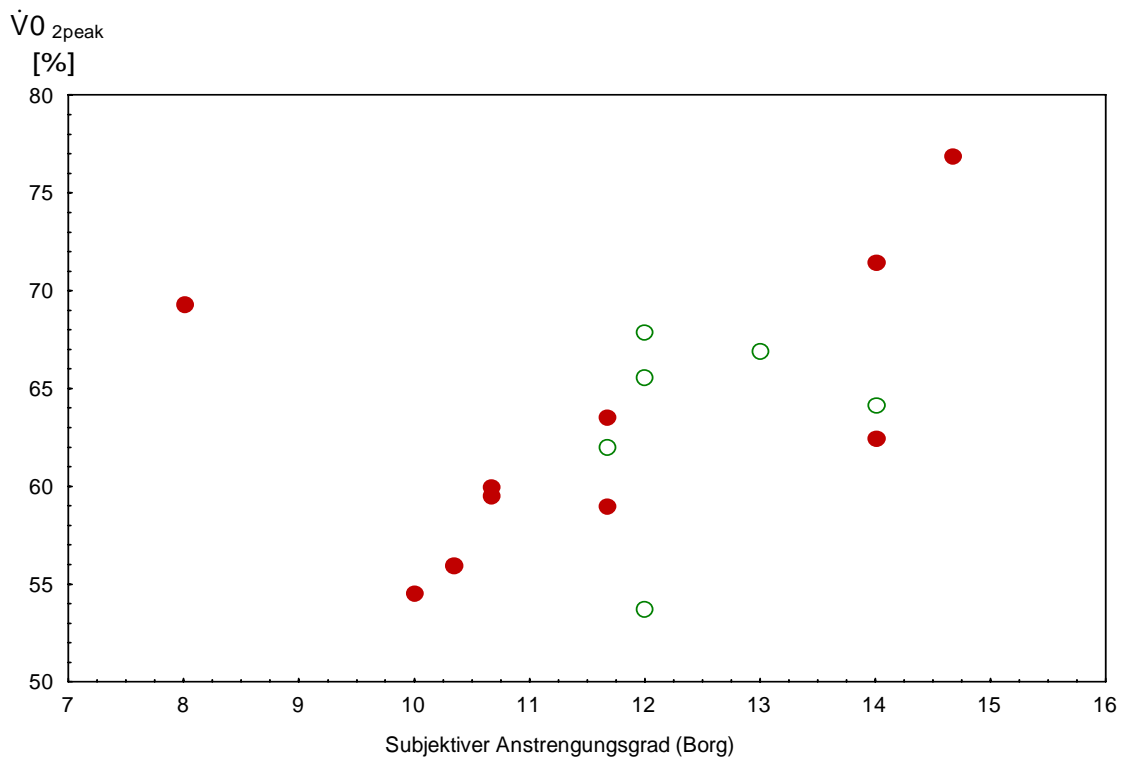


Abbildung 42: Sauerstoffaufnahme prozentual zu $\dot{V}O_{2peak}$ und subjektiver Anstrengungsgrad der einzelnen Probanden [♂: n = 6 (○); ♀: n = 10 (●)] bei V_{80} (Werte über 30 min^{-1} gemittelt)

3.5.4.1.7 Beschwerden

Bei V_{90} traten bei 12 (♀: n = 7, ♂: n = 5) der 16 Probanden orthopädische Beschwerden auf, die hauptsächlich den Unterschenkelbereich betrafen (Tab. 23). Ein Proband gab Hüft- und ein weiterer Fußrückenbeschwerden an. Bei V_{70} und V_{80} traten keine Beschwerden auf.

Tabelle 23: Orthopädische Beschwerden beim Walking-Dauertest mit 90 % der maximal im Laufband-Stufentest erreichten Geschwindigkeit

	Orthopädische Beschwerden bei V_{90}
n = 7	Schienbeinmuskulatur
n = 2	Wadenmuskulatur
n = 1	Schienbein- und Wadenmuskulatur
n = 2	Sonstige Beschwerden

Bei der Befragung am Ende der Dauertests empfanden zwölf Probanden Walking bei V_{80} subjektiv als angenehmer als bei V_{70} und V_{90} . V_{70} wurde von allen Probanden als zu geringe Vorgabe eingestuft. Bei V_{80} war für alle Teilnehmer eine noch technisch problemlose Bewegungsausführung möglich und es traten keine orthopädischen Beschwerden auf. Die Teilnehmer gaben an, mit V_{80} durchaus längere Zeit „walken“ zu können.

Tabelle 24 zeigt eine Übersicht der Ergebnisse der einzelnen Stufen- und Dauertests (maximal und an der Ausdauerleistungsgrenze) auf dem Laufband und bei der Fahrradergometrie.

Tabelle 24: Ergebnisse der Stufen- und Dauerbelastungen [Maximal (max), an der Ausdauerleistungsgrenze (ALG) und bei den jeweiligen Walking-Geschwindigkeiten (V_{70} , V_{80} , V_{90})] bei der Fahrradergometrie (FE) und auf dem Laufband (LB) in der Übersicht ($\bar{x} \pm s$); die Prozentangaben beziehen sich jeweils auf die Maximalwerte bei der Fahrradergometrie (HF_{peak} , $\dot{V}O_{2peak}$)

n = 16	Stufenbelastungen				Dauerbelastungen		
	FE _{max}	FE _{ALG}	LB _{max}	LB _{ALG}	V ₇₀	V ₈₀	V ₉₀
Geschwindigkeit [km·h ⁻¹]	-	-	8,3 ± 0,6	6,9 ± 0,6 = 83 % V _{max}	5,8 ± 0,4	6,6 ± 0,5	7,5 ± 0,6
Herzfrequenz [min ⁻¹]	173 ± 16	135 ± 14	166 ± 14	131 ± 14	110 ± 9	124 ± 9	152 ± 13
% HF_{peak}	100	78,0	96,0	75,7	63,6	71,7	87,9
Laktat [mmol·l ⁻¹]	10,1 ± 3,1	3,0 ± 0,6	6,1 ± 1,8	2,0 ± 0,4	1,1 ± 0,2	1,8 ± 0,6	3,9 ± 2,0
Sauerstoffaufnahme [ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]	35,4 ± 5,8	27,3 ± 4,7	33,2 ± 5,1	23,4 ± 4,8	18,2 ± 2,3	22,2 ± 3,1	29,4 ± 5,0
% $\dot{V}O_{2peak}$	100	77,1	93,8	66,1	51,4	62,7	83,1
Energieverbrauch [kJ·min ⁻¹]	49,8 ± 8,2	38,4 ± 6,6	46,7 ± 7,1	32,9 ± 6,8	24,8 ± 3,1	31,0 ± 4,3	40,8 ± 6,9
MET	10,1 ± 1,7	7,8 ± 1,3	9,5 ± 1,5	6,7 ± 1,4	5,2 ± 0,7	6,3 ± 2,5	8,4 ± 1,4
Subjektiver Anstrengungsgrad [Borg]	18 ± 2	-	18 ± 2	-	10 ± 2	12 ± 2	15 ± 2

3.5.4.2 Zusammenhang zwischen der Leistung bei der Fahrradergometrie und beim Walking

Die Herzfrequenz an der Ausdauerleistungsgrenze bei der Fahrradergometrie ($135 \pm 14 \text{ min}^{-1}$) und beim Walking ($131 \pm 14 \text{ min}^{-1}$) ist im Mittel ähnlich und zeigt einen signifikanten Zusammenhang ($r = 0,73$, $p < 0,01$).

Die absolute mittlere Differenz liegt bei 10 min^{-1} und die maximale Abweichung bei 20 min^{-1} (Abb. 43).

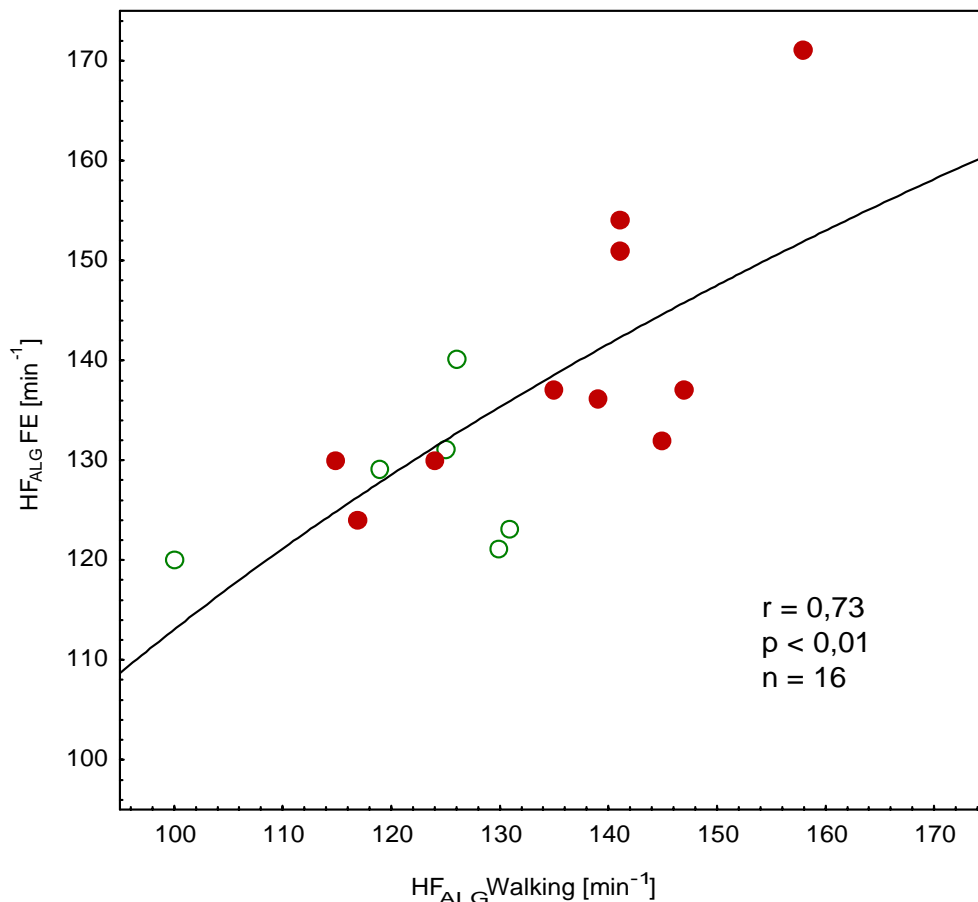


Abbildung 43: Nichtlineare Regressionsanalyse zwischen der Herzfrequenz an der Ausdauerleistungsgrenze bei der Fahrradergometrie ($\text{HF}_{\text{ALG}} \text{ FE}$) und beim Walking-Stufentest ($\text{HF}_{\text{ALG}} \text{ Walking}$) [♂ : $n = 6$ (\circ); ♀ : $n = 10$ (\bullet)]

Die maximale Herzfrequenz lag bei der Fahrradergometrie ($176 \pm 10 \text{ min}^{-1}$) im Mittel um 9 min^{-1} höher als beim Walking-Stufentest ($167 \pm 14 \text{ min}^{-1}$). Zwischen beiden besteht ebenfalls ein signifikanter Zusammenhang ($r = 0,70$, $p < 0,01$). Die absolute Differenz beträgt 10 min^{-1} und die maximale individuelle Abweichung liegt bei 32 min^{-1} .

Die interpolierte Herzfrequenz bei 2 mmol l^{-1} Laktat liegt im Mittel beim Walking (130 ± 11) signifikant ($p < 0,001$) höher als bei der Fahrradergometrie (118 ± 11) und zeigt einen schwach signifikanten Zusammenhang ($r = 0,55$, $p < 0,05$). Die absolute Differenz beträgt 11 und die individuelle maximale Abweichung 37 min^{-1} (Abb. 44).

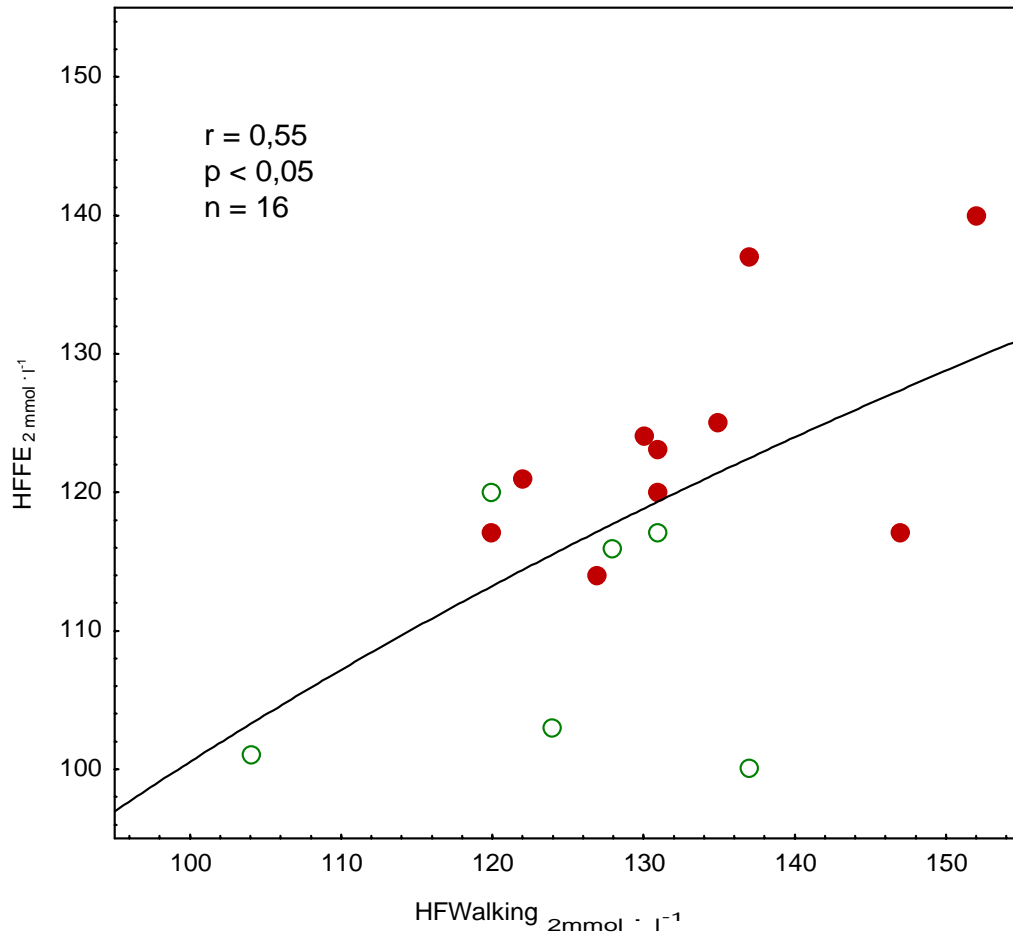


Abbildung 44: Nichtlineare Regressionsanalyse zwischen der Herzfrequenz bei 2 mmol l^{-1} Laktat bei der Fahrradergometrie ($\text{HF FE}_{2 \text{ mmol l}^{-1}}$) und beim Walking-Stufentest ($\text{HF Walking}_{2 \text{ mmol l}^{-1}}$) [♂ : $n = 6$ (○); ♀ : $n = 10$ (●)]

3.6 Studie IV: Eignung des Walking für leistungsfähigere Freizeitsportler

3.6.1 Fragestellungen und Hypothesen

In der Literatur wird Walking meist als moderate Ausdauertrainingsform beschrieben, die sich vor allem für Sport-Neu- bzw. Wiedereinsteiger mit niedrigem Leistungsniveau, Ältere und Personen mit Übergewicht bzw. orthopädischen Beeinträchtigungen eignet (Morris/Hardman 1997; Porcari et al. 1989; Rippe et al. 1988). So zeigte die vorangegangene Untersuchung, dass durch Walking bei den meisten Gesundheitssportlern im mittleren Lebensalter ein ausreichender Intensitätsbereich für ein Herz-Kreislauftraining ohne orthopädische Beschwerden erzielbar ist.

Allerdings empfehlen einige Autoren Walking uneingeschränkt auch für jüngere Adressatengruppen mit entsprechend höherer Leistungsfähigkeit (Berry 1990; Bös 1997; Johnson 1996; Porcari et al. 1989).

Die meisten leistungsfähigeren Freizeitsportler konnten in der ersten Studie dieser Untersuchungsreihe im Stufentest eine adäquate Trainingsintensität durch Walking erreichen, mussten allerdings dazu höhere Geschwindigkeitsbereiche wählen, die häufig zu technischen Problemen bei der Bewegungsausführung und muskulösen Beschwerden führten.

Ziel dieser Studie war es deshalb, anhand von Walking-Dauerbelastungen zu überprüfen, ob auch jüngere leistungsfähigere Personen beim Walking beschwerdefrei eine ausreichende Trainingsintensität erreichen. Darüber hinaus sollte untersucht werden, inwiefern sich auch hier basierend auf einem Walking-Stufentest bzw. anhand der Fahrradergometrie Trainingsempfehlungen für eine Walking-Dauerbelastung ableiten lassen.

Anhand dieser Fragestellungen wurden folgende Hypothesen formuliert:

H₁₂: Freizeitsportler erreichen bei einer vom Walking-Stufentest abgeleiteten Geschwindigkeit beschwerdefrei eine adäquate Intensität für ein Herz-Kreislauftraining während einer 30minütigen Walking-Belastung.

H₁₃: Freizeitsportler wählen beim Walking ohne Geschwindigkeitsvorgabe eine adäquate Intensität für ein Herz-Kreislauftraining.

H₁₄: Anhand der Fahrradergometrie sind bei Freizeitsportlern Trainingsempfehlungen in Form von Herzfrequenzvorgaben für ein Walkingtraining möglich.

3.6.2 Methodik

3.6.2.1 Probanden

An der Studie nahmen 16 männliche und weibliche Sportstudenten des Sportwissenschaftlichen Instituts der Universität des Saarlandes teil. Ihre maximale Leistungsfähigkeit und maximale Sauerstoffaufnahmekapazität entsprachen einem freizeitsportlichen Niveau (s. Tab. 25).

Tabelle 25: Anthropometrische Daten der Probanden ($\bar{x} \pm s$) sowie maximale Leistungsfähigkeit (LF_{\max}) und maximale Sauerstoffaufnahmekapazität bei der Fahrradergometrie ($\dot{V}O_{2\text{peak}}$)

Gruppe (n = 16)	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Größe (cm)	LF_{\max} (Watt·kg ⁻¹)	$\dot{V}O_{2\text{peak}}$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
♂ (n = 8)	25,0 ± 1,9	77 ± 9	182 ± 8	3,9 ± 0,5	51,9 ± 5,2
♀ (n = 8)	23,9 ± 1,6	57 ± 3	170 ± 3	3,8 ± 0,5	45,9 ± 4,1
Gesamt	24,4 ± 1,8	67 ± 12	176 ± 8	3,9 ± 0,5	48,9 ± 5,5

3.6.2.2 Untersuchungsdesign

Zunächst absolvierten alle Probanden eine stufenweise ansteigende Fahrradergometrie zur Bestimmung der Ausdauerleistungsgrenze (ALG) und der maximalen Leistungsfähigkeit. Im Anschluss an die Fahrradergometrie wurde nach einer ca. 30minütigen Pause zur Gewöhnung der Walking-Stufentest auf dem Laufband bis zur subjektiven Erschöpfung bzw. bis technische Probleme oder orthopädische Beschwerden auftraten, durchgeführt. Innerhalb von maximal 14 Tagen absolvierten dann die Probanden unter Anleitung vier Trainingseinheiten Walking à 30 Minuten im Gelände mit selbstgewählter Intensität zur Schulung und Automatisierung der Bewegungstechnik. Danach wurde nochmals der Walking-Stufentest auf dem Laufband durchgeführt. Anhand der maximal erreichten Geschwindigkeit wurden die jeweiligen Intensitäten für die 30minütigen Dauerbelastungen auf dem Laufband abgeleitet, die in randomisierter Reihenfolge durchgeführt wurden. Der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Laufbandbelastungen betrug mindestens zwei Tage und höchstens eine Woche (Abb. 45). Am Vortag eines jeden Tests waren keine intensiven oder längere körperliche Belastungen erlaubt und während der gesamten Testphase durften keine ungewohnten Trainingsbelastungen absolviert werden.

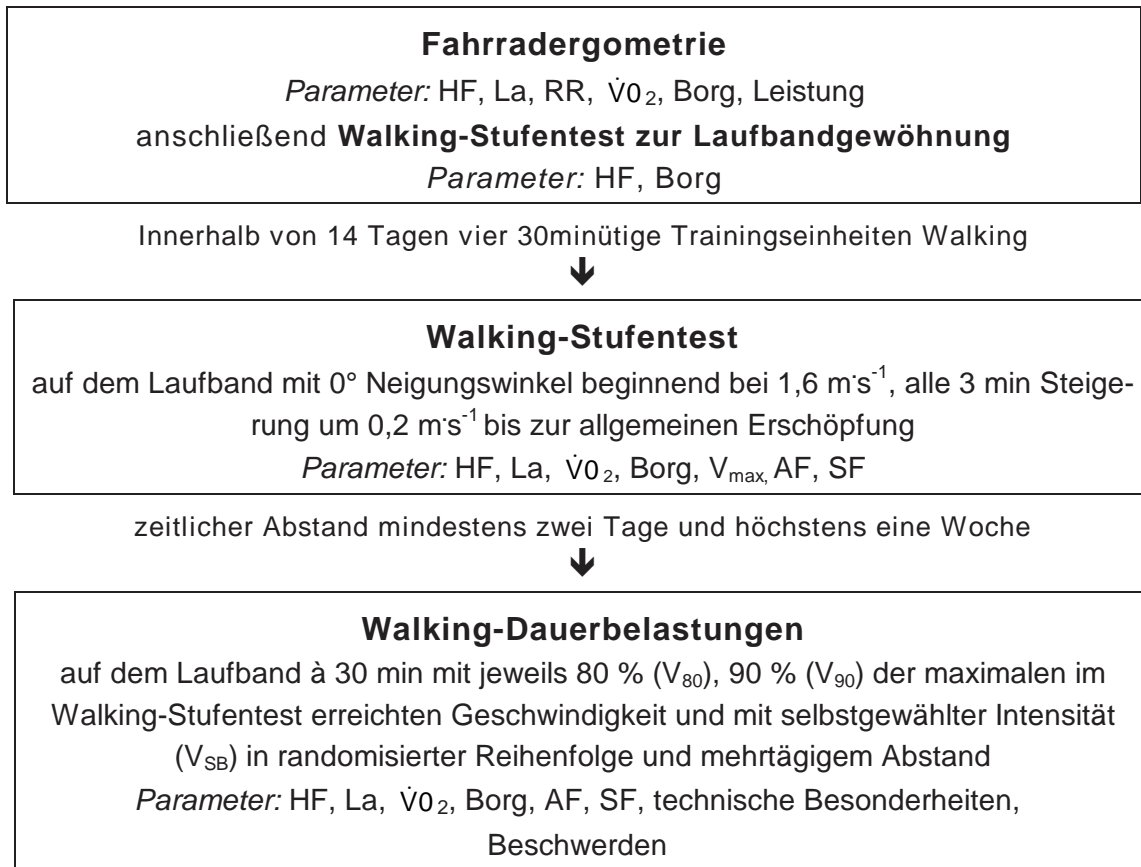


Abbildung 45: Untersuchungsdesign

Die folgende Abbildung 46 zeigt den Ablauf der Dauertests in der Übersicht.

	10 min	10 min	10 min	
<i>Ruhe</i>	<i>10 min</i>	<i>20 min</i>	<i>30min</i>	<i>3'p</i>
HF	HF	HF	HF	HF
La	La	La	La	La
Spiro	Spiro	Spiro	Spiro	
	Borg	Borg	Borg	
	SF	SF	SF	

Abbildung 46: Ablauf der Dauertests (3 × 10 min, jeweils 30 Sekunden Pause) mit den jeweiligen Messzeitpunkten und den gemessenen Parametern [Herzfrequenz (HF), Laktat (La), Spirometrie (Spiro), subjektiver Anstrengungsgrad (Borg) und Schrittfrequenz (SF)]

Darüber hinaus wurden technische Besonderheiten und auftretende subjektive Beschwerden erfasst.

3.6.3 Ergebnisse

3.6.3.1 Walking-Dauerbelastungen

3.6.3.1.1 Herzfrequenz

Abbildung 47 zeigt den Verlauf der Herzfrequenz (HF) bei den drei Walking-Dauerbelastungen. Der durch die beiden gestrichelten Linien eingegrenzte Bereich stellt den trainingseffektiven Bereich in Bezug zur maximalen Herzfrequenzreserve [50-85 % HF_R] nach den aktuellen Empfehlungen des ACSM (1998) dar. Die untere Grenze (R_{50}) liegt im Mittel bei 136 und die obere Grenze (R_{85}) bei $175 \cdot \text{min}^{-1}$. Bei V_{80} ($7,3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) lag die Herzfrequenz im Mittel bei 128 ± 13 , bei V_{SB} ($8,0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) bei 153 ± 14 und bei V_{90} ($8,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) bei $161 \pm 16 \text{ min}^{-1}$. Beim Walking-Stufentest stieg HF im Einzelfall maximal bis 204 und bei V_{90} bis 195 min^{-1} .

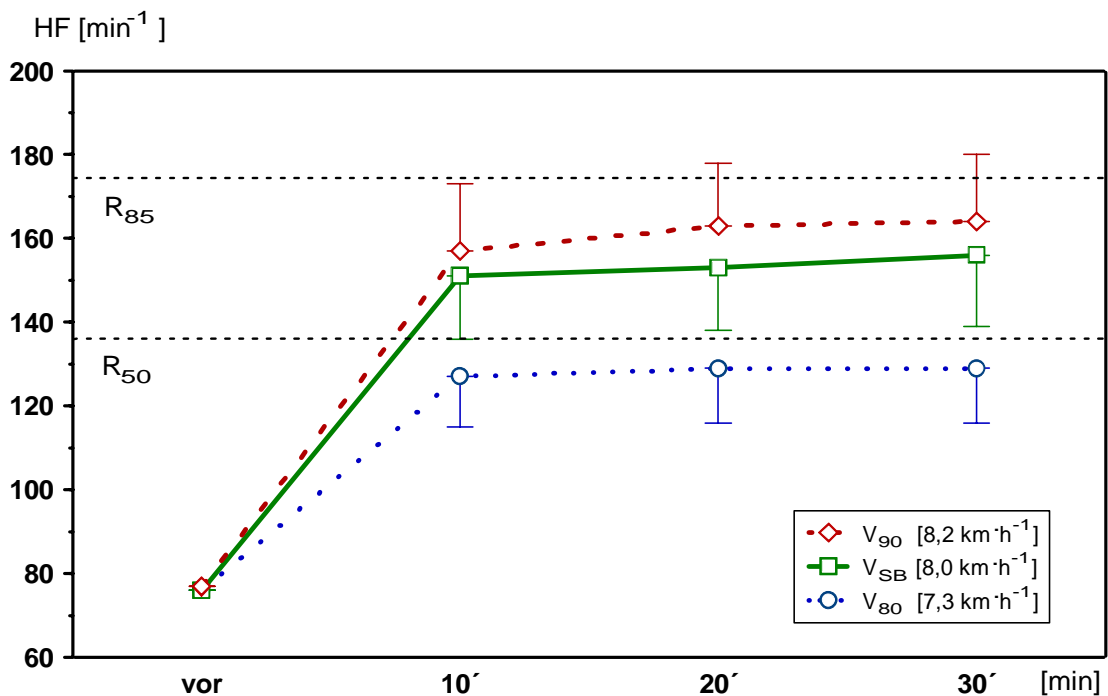


Abbildung 47: Herzfrequenzverhalten ($n = 16$, $\bar{x} \pm s$) beim Walking-Dauertest mit 80 und 90 % der im Walking-Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit (V_{80} , V_{90}) sowie mit selbstgewählter Geschwindigkeit (V_{SB}); zusätzlich wurde der Herzfrequenzreservebereich durch eine obere Grenze (R_{85}) und untere Grenze (R_{50}) gekennzeichnet

Bei V_{80} und V_{SB} zeigten sich keine geschlechtsspezifischen Unterschiede (V_{80} : ♂ und ♀: 67 % HF_{peak} ; V_{SB} ♂: 80 %, ♀: 81 % HF_{peak}). Bei V_{90} lag HF bei den Frauen signifikant höher als bei den Männern (♂: 81 %, ♀: 88 % HF_{peak} ; $p < 0,01$).

3.6.3.1.2 Laktat

Abbildung 48 zeigt den Laktatverlauf während der drei Dauerbelastungen. Bei V_{80} lag die Laktatkonzentration im Mittel bei $1,4 \pm 0,4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, bei V_{SB} bei $2,7 \pm 1,5$ und bei V_{90} bei $3,3 \pm 1,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, wobei zwischen den beiden zuletzt genannten Walking-Dauerbelastungen kein signifikanter Unterschied bestand und hohe individuelle Schwankungen zu beobachten waren. V_{80} und V_{90} bzw. V_{80} und V_{SB} unterschieden sich jeweils hochsignifikant ($p < 0,001$). Die Laktatkonzentration bei V_{SB} lag im Mittel ähnlich wie an der ALG beim Walking ($2,3 \pm 0,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). Der höchste Einzelwert von $8,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ bei V_{90} und $8,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ beim Walking-Stufentest wurde beim gleichen Probanden gemessen.

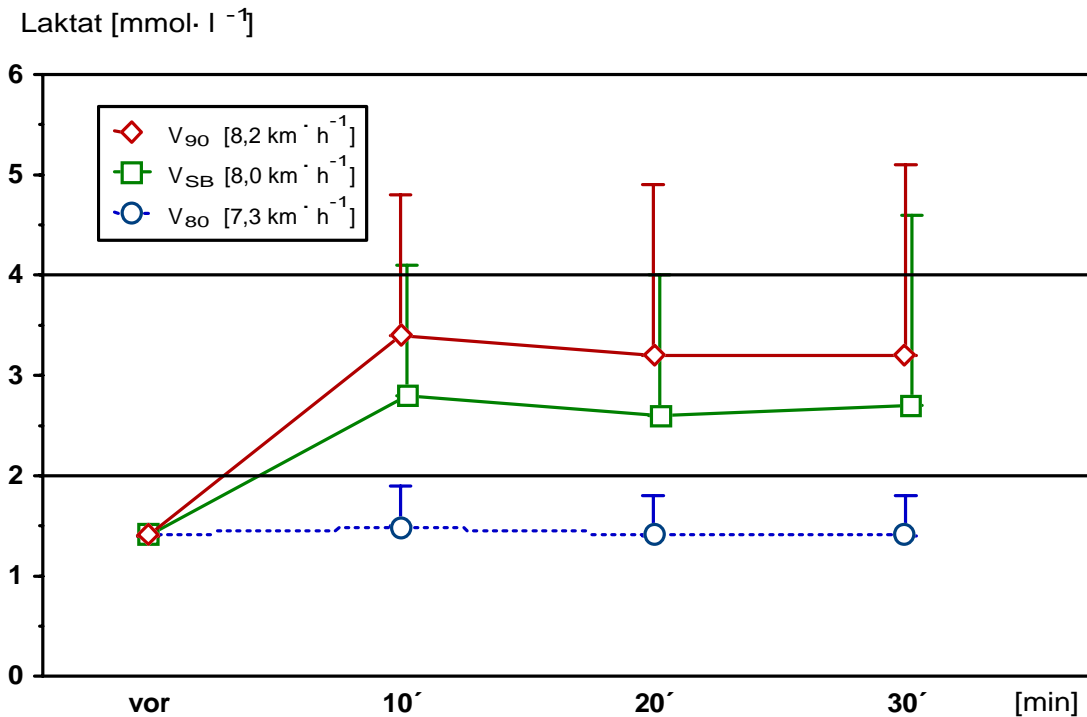


Abbildung 48: Laktatverhalten ($n = 16$, $\bar{x} \pm s$) beim Walking-Dauertest mit 80 und 90 % der im Walking-Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit (V_{80} , V_{90}) sowie selbstgewählter Geschwindigkeit (V_{SB}); die gestrichelten Linien markieren den 2 und 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ Laktatbereich

Beim Laktat konnten keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede gefunden werden.

Bei neun Probanden lag die interpolierte prozentuale Sauerstoffaufnahme bei 2 mmol l⁻¹ Laktat unterhalb, bei sieben oberhalb von 60 % $\dot{V}O_{2peak}$ (Abb. 49).

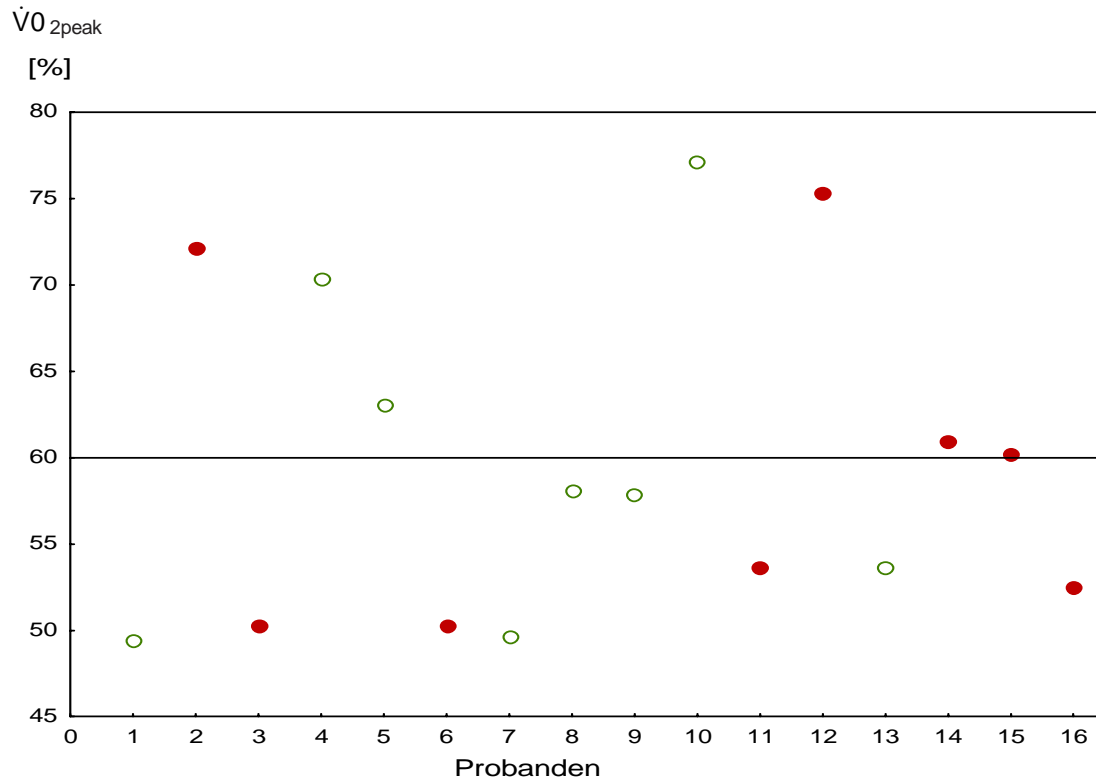


Abbildung 49: Interpolierte prozentuale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) bei 2 mmol l⁻¹ Laktat (n = 16); die gestrichelte Linie (----) kennzeichnet die Mindestintensität für ein Ausdauertraining (ACSM 1998) [♂: n = 8 (○); ♀: n = 8 (●)]

3.6.3.1.3 Sauerstoffaufnahme

Abbildung 50 zeigt den Verlauf der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) während der drei Dauerbelastungen.

Die gestrichelten Linien kennzeichnen den trainingswirksamen Bereich von 50-85 Prozent der maximalen Sauerstoffreserve ($\dot{V}O_{2R}$, ACSM 1998). Dieser reicht von im Mittel $27,9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (R_{50}) bis zu $42,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (R_{85}). Die Probanden erreichten im Mittel bei V_{80} $24,4 \pm 2,9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (44 % $\dot{V}O_{2R}$), bei V_{SB} $31,9 \pm 5,4$ (57 % $\dot{V}O_{2R}$) und bei V_{90} $33,2 \pm 5,1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (60 % $\dot{V}O_{2R}$).

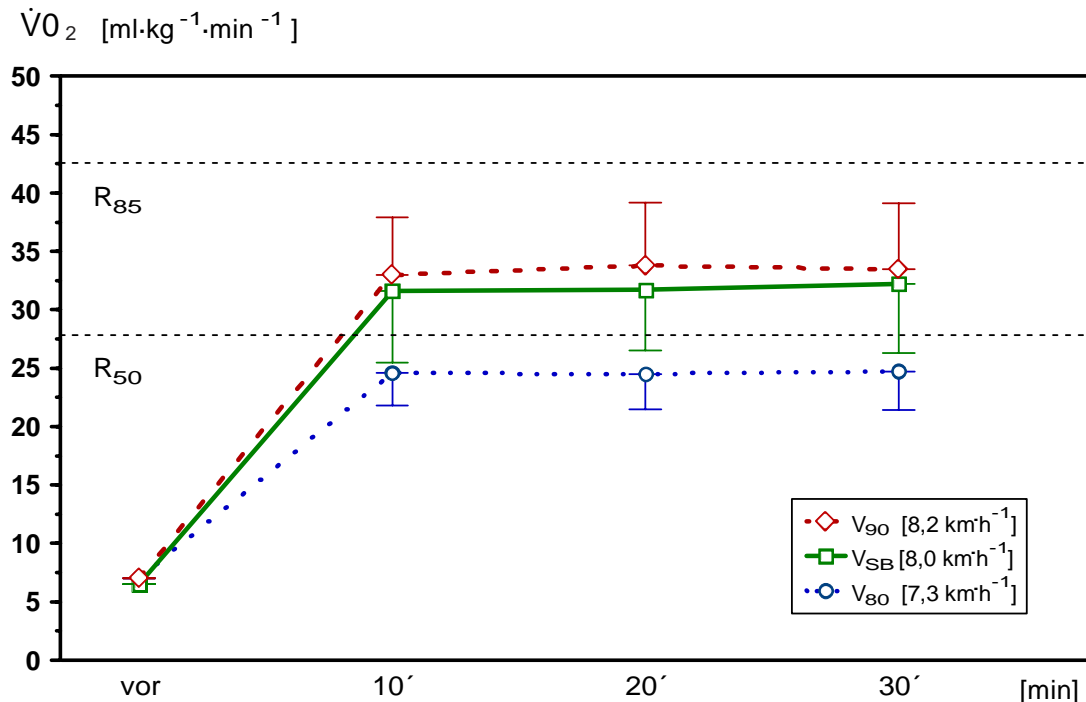


Abbildung 50: Sauerstoffaufnahme ($n = 16$, $\bar{x} \pm s$) beim Walking-Dauertest mit 80 und 90 % der im Walking-Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit (V_{80} , V_{90}) sowie mit selbstgewählter Geschwindigkeit (V_{SB}); zusätzlich wurde der Sauerstoffreservebereich durch eine obere Grenze (R_{85}) und untere Grenze (R_{50}) gekennzeichnet.

$\dot{V}O_2$ bei V_{SB} liegt ähnlich wie bei V_{90} und wie an der ALG beim Walking. Zwischen V_{80} und V_{90} bzw. V_{80} und V_{SB} besteht jeweils ein signifikanter Unterschied ($p < 0,001$).

V_{80} und V_{SB} zeigten keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede (♂ , ♀ : V_{80} 49 bzw. 51 %, V_{SB} 65 % $\dot{V}O_{2\text{peak}}$). Bei V_{90} lag $\dot{V}O_2$ bei den Frauen signifikant höher als bei den Männern (♂ : 64 %, ♀ : 73 % $\dot{V}O_{2\text{peak}}$; $p < 0,05$).

In Abbildung 51 wird $\dot{V}O_2$ prozentual zu $\dot{V}O_{2peak}$ bei V_{80} (oben) und V_{ALG} (unten) und die maximale Leistungsfähigkeit bei der Fahrradergometrie der einzelnen (männlichen und weiblichen) Probanden dargestellt. Bei V_{80} liegen 15 Teilnehmer unterhalb von 60 %, an der ALG erreichen alle Probanden mindestens 55 und neun Teilnehmer mehr als 60 % $\dot{V}O_{2peak}$.

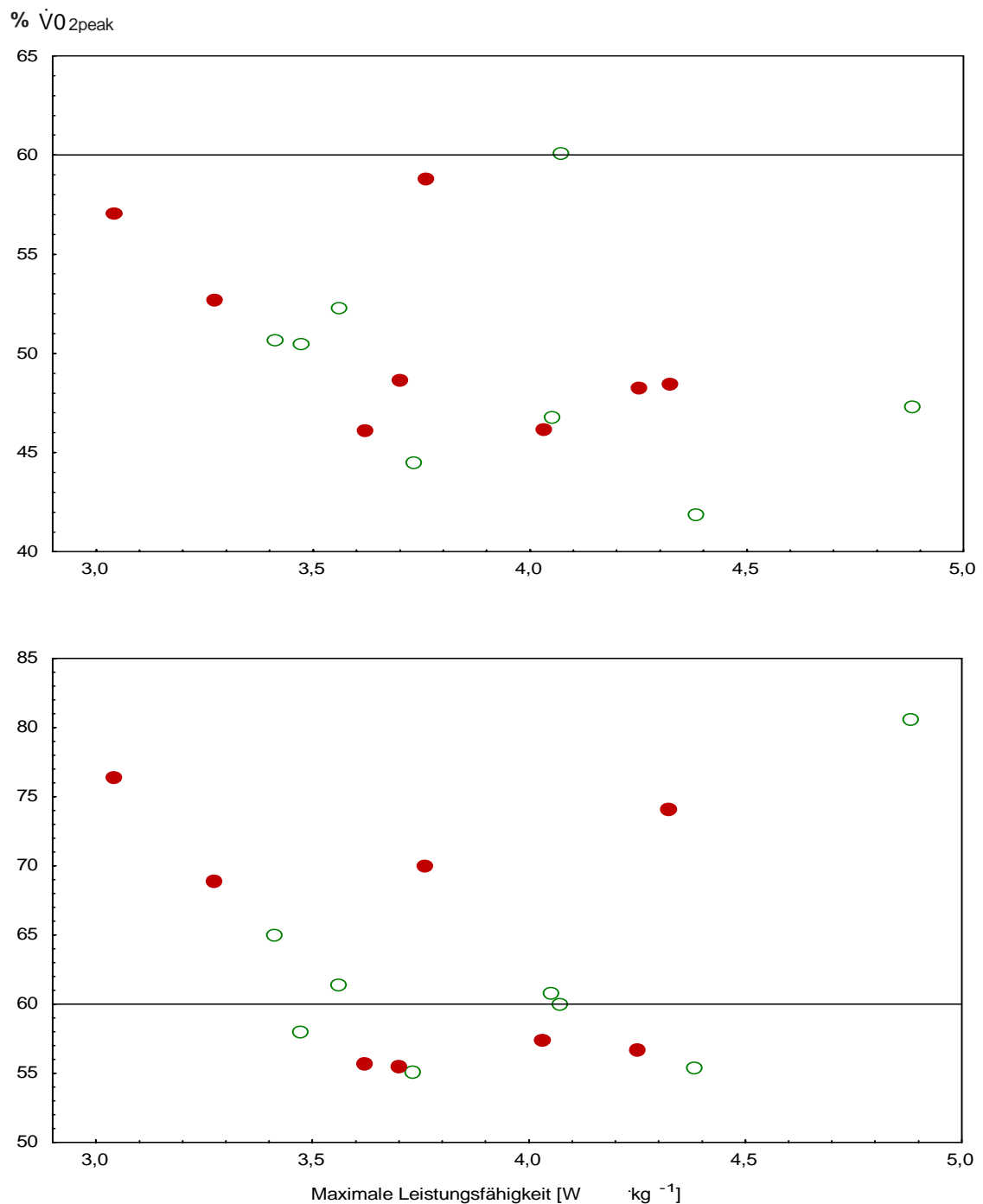


Abbildung 51: Sauerstoffaufnahme prozentual zu $\dot{V}O_{2peak}$ und maximale Leistungsfähigkeit der einzelnen Probanden bei der Fahrradergometrie [♂: n = 8 (●); ♀: n = 8 (○)] bei V_{80} (oben) und an der ALG (unten); die gestrichelte Linie (-----) kennzeichnet die Mindestintensität für ein Ausdauertraining (ACSM 1998)

3.6.3.1.4 Energieumsatz

Abbildung 52 zeigt den Energieverbrauch in $\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ und in $\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ bei den einzelnen Stufen- und Dauerbelastungen.

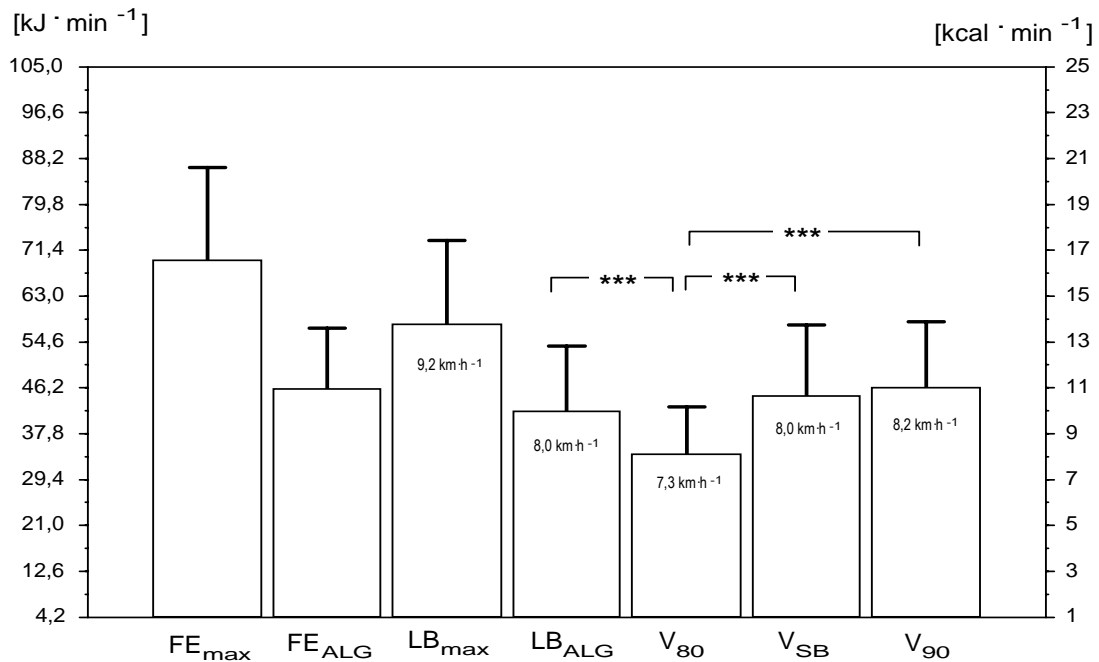


Abbildung 52: Energieverbrauch ($n = 16$, $\bar{x} \pm s$) bei der Fahrradergometrie (FE) und dem Laufband-Stufentest (LB) maximal und bei den Walking-Dauerbelastungen mit 80 % (V_{80}), mit selbstgewählter Geschwindigkeit (V_{SB}) und mit 90 % der im Walking-Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit (V_{90})

Maximal erreichten die Probanden bei der Fahrradergometrie $69,4 \pm 16,7 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ ($16,5 \pm 4,0 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$) und beim Walking-Stufentest $57,8 \pm 15,5 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ ($13,8 \pm 3,7 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$).

Bei V_{80} lagen die Probanden bei $33,8 \pm 8,7 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ ($8,1 \pm 2,1 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$, 7,0 MET), bei V_{SB} bei $44,3 \pm 13,4 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ ($10,6 \pm 3,3 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$, 9,0 MET) und bei V_{90} bei $46,2 \pm 12,2 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ ($11,0 \pm 2,9 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$, 9,5 MET).

Der Gesamtenergieverbrauch über 30 Minuten betrug dementsprechend bei V_{80} $1017 \pm 267 \text{ kJ}$ ($242 \pm 64 \text{ kcal}$), bei V_{SB} $1338 \pm 414 \text{ kJ}$ ($319 \pm 99 \text{ kcal}$) und bei V_{90} $1386 \pm 366 \text{ kJ}$ ($330 \pm 87 \text{ kcal}$).

Bei den einzelnen Geschwindigkeitsstufen lag der Energieumsatz jeweils im Mittel bei den Männern um 32 (V_{80}), 35 (V_{SB}) und 26 Prozent (V_{90}) signifikant höher als bei den Frauen ($p < 0,01$).

3.6.3.1.5 Subjektiver Anstrengungsgrad

Abbildung 53 zeigt den Verlauf des subjektiven Anstrengungsgrades. V_{80} lag im Mittel bei 11 ± 2 , was „recht leicht“, V_{SB} bei 14 ± 1 , was „etwas schwer“ bis „schwer“ und V_{90} bei 16 ± 2 , was „schwer“ bis „sehr schwer“ bedeutet. Der Unterschied zwischen den jeweiligen Geschwindigkeiten ist signifikant [V_{90} und V_{SB} ($p < 0,05$), V_{80} und V_{90} bzw. V_{80} und V_{SB} ($p < 0,001$)].

Bei V_{90} bestand zwischen dem subjektiven Anstrengungsgrad und der Herzfrequenz ($r = 0,63$, $p < 0,01$) bzw. Laktat ($r = 0,59$, $p < 0,05$), bei V_{SB} zwischen dem subjektiven Anstrengungsgrad und Laktat ($r = 0,51$, $p < 0,05$) am Ende der 30minütigen Belastung ein mäßiger bzw. geringer Zusammenhang.

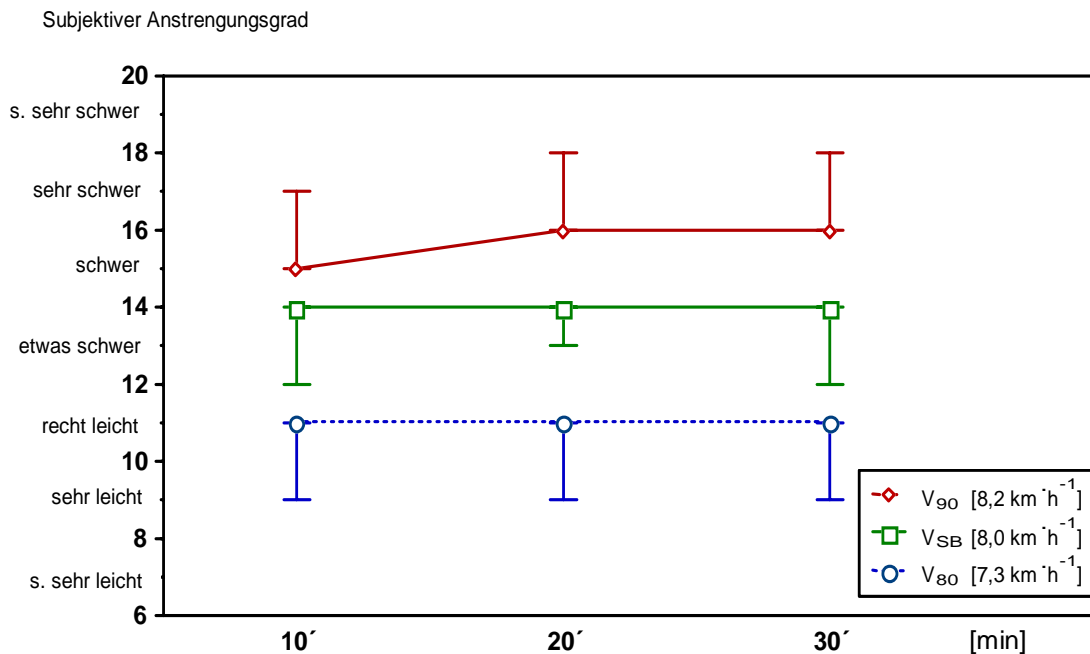


Abbildung 53: Subjektiver Anstrengungsgrad mittels Borg-Skala (Skalierung 6-20) ($n = 16$, $\bar{x} \pm s$) beim Walking-Dauertest mit 80 % (V_{80}), mit selbstgewählter Geschwindigkeit (V_{SB}) und mit 90 % der im Walking-Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit (V_{90})

Beim subjektiven Anstrengungsgrad wurden keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede gefunden.

In Abbildung 54 wird die Beziehung zwischen dem subjektiven Anstrengungsgrad und Laktat anhand der Einzelwerte dargestellt.

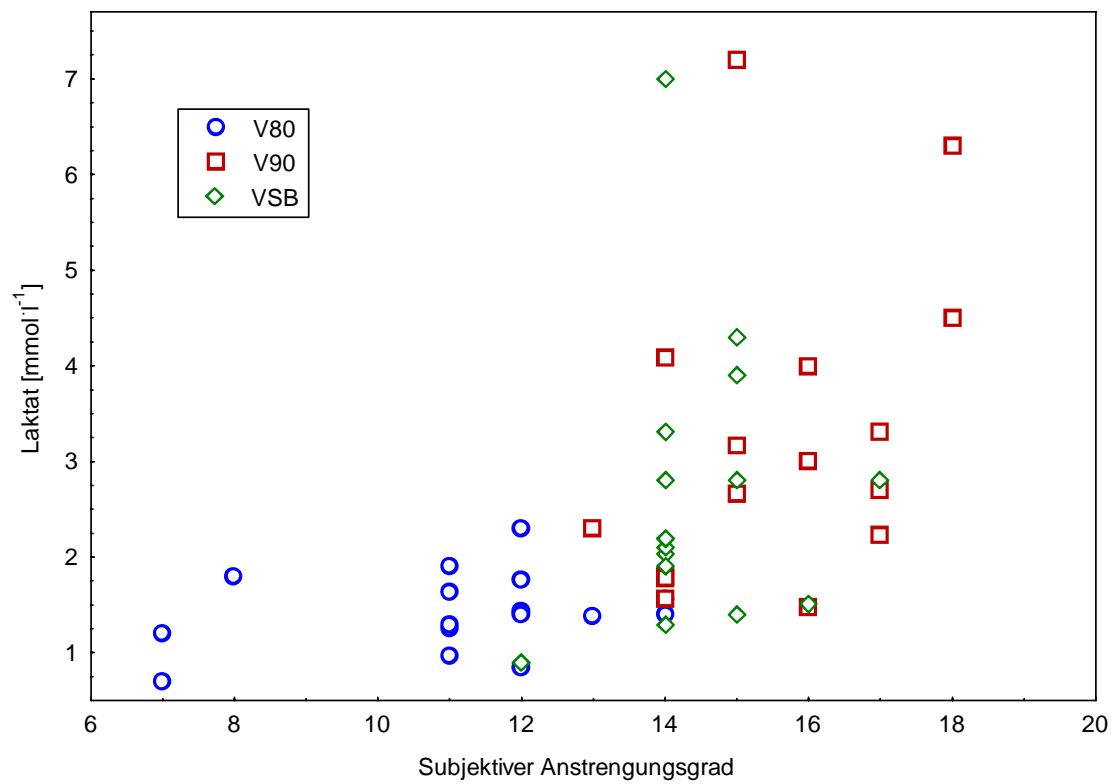


Abbildung 54: Beziehung zwischen Laktat und subjektivem Anstrengungsgrad (Borg-Skala 6-20) bei V_{80} , V_{90} und V_{SB} (Werte über 30 min gemittelt; $n=16$)

3.6.3.1.6 Schrittfrequenz

In Abbildung 55 wird die maximale Schrittfrequenz bei den Walking-Stufentests mit den Werten der Walking-Dauertests verglichen.

Die Probanden erreichten eine maximale Schrittfrequenz von 161 ± 12 bei einer maximalen Geschwindigkeit von im Mittel $9,2 \pm 0,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ beim Walking-Stufentest. Bei V_{90} ($8,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) betrug die mittlere Schrittfrequenz 152 ± 8 , bei selbstgewählter Geschwindigkeit ($8,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) 147 ± 9 und bei V_{80} ($7,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) 135 ± 5 Schritte pro Minute. Der höchste Einzelwert beim Walking-Stufentest betrug 180 und bei V_{90} 168 Schritte pro Minute.

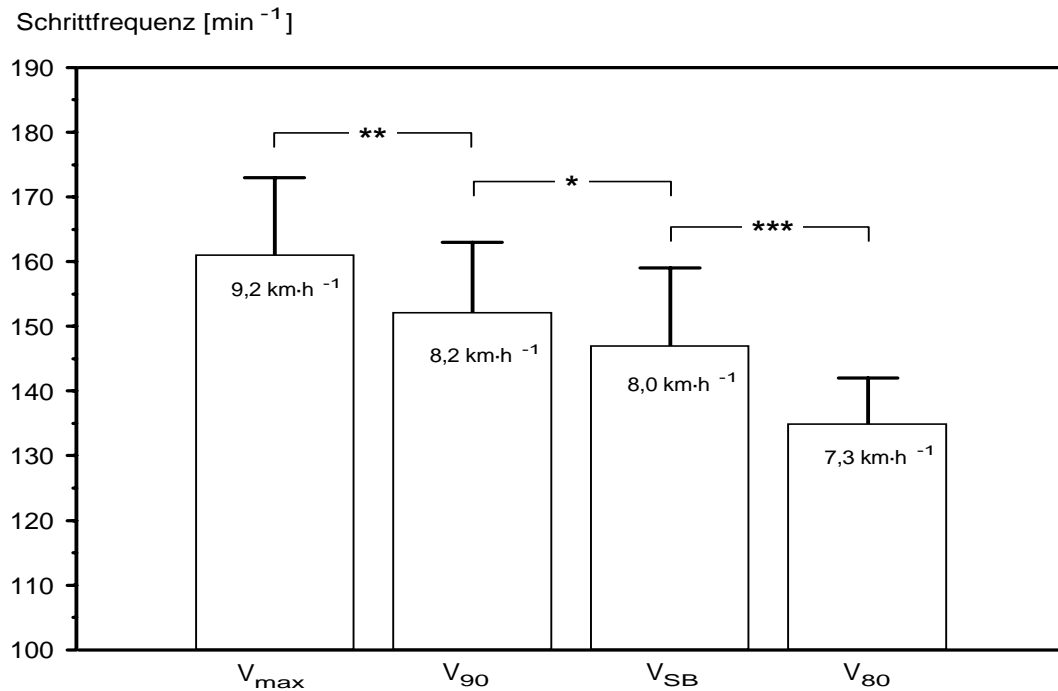


Abbildung 55: Schrittfrequenzen beim Walking-Stufentest (V_{\max}) und bei den Dauerbelastungen mit 80 und 90% der maximalen im Walking-Stufentest erreichten Geschwindigkeit (V_{80}, V_{90}) sowie mit selbstgewählter Geschwindigkeit (V_{SB}) ($n = 16$; $\bar{x} \pm s$; *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$, * = $p < 0,05$)

Bezüglich der Schrittfrequenz wurden keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede gefunden.

3.6.3.1.7 Atemfrequenz

In Abbildung 56 wird die maximale Atemfrequenz im Walking-Stufentest und mit den Walking-Dauertests verglichen.

Die maximale Atemfrequenz (AF_{max}) beim Walking-Stufentest betrug im Mittel $40,3 \pm 6,0 \text{ min}^{-1}$. Bei V_{90} erreichten die Probanden eine Atemfrequenz von $35,9 \pm 7,0$ (89 % AF_{max}), bei selbstgewählter Geschwindigkeit $32,6 \pm 6,0 \text{ min}^{-1}$ (81 % AF_{max}) und bei V_{80} betrug die mittlere Atemfrequenz $28,9 \pm 6,6 \text{ min}^{-1}$ (72 % AF_{max}).

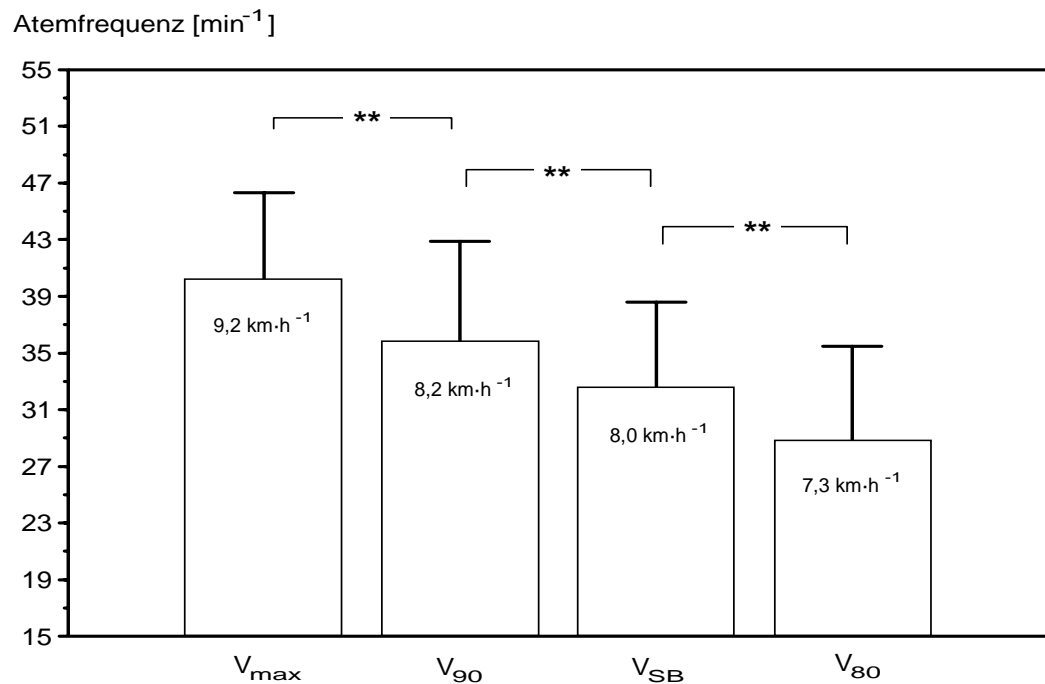


Abbildung 56: Atemfrequenzen ($n = 16$, $\bar{x} \pm s$) beim Walking-Stufentest (V_{max}) und bei den Dauerbelastungen mit 80 und 90% der maximalen im Walking-Stufentest erreichten Geschwindigkeit (V_{80} , V_{90}) sowie mit selbstgewählter Geschwindigkeit (V_{SB}) (** = $p < 0,01$)

Die Atemfrequenz korrelierte mit der Sauerstoffaufnahme bei V_{SB} ($r = 0,86$, $p < 0,01$) und V_{90} ($r = 0,77$, $p < 0,05$). Bei V_{90} bestand zudem zwischen der Schritt- und Atemfrequenz ein signifikanter Zusammenhang ($r = 0,79$, $p < 0,05$). Bezüglich der Atemfrequenz wurden ebenfalls keine geschlechtsspezifischen Unterschiede gefunden.

Die folgende Tabelle 26 zeigt die Ergebnisse der einzelnen Stufen- und Dauerbelastungen in der Übersicht.

Tabelle 26: Ergebnisse der Stufen- und Dauerbelastungen [Maximal (max), an der Ausdauerleistungsgrenze (ALG) und bei den jeweiligen Walking-Geschwindigkeiten (V_{70} , V_{80} , V_{90})] bei der Fahrradergometrie (FE) und auf dem Laufband (LB) in der Übersicht ($\bar{x} \pm s$); die Prozentangaben beziehen sich jeweils auf die Maximalwerte bei der Fahrradergometrie (HF_{peak} , $\dot{V}O_{2peak}$)

n = 16	Stufenbelastungen				Dauerbelastungen		
	FE _{max}	FE _{ALG}	LB _{max}	LB _{ALG}	V ₈₀	V _{SB}	V ₉₀
Geschwindigkeit [km·h ⁻¹]	–	–	9,2 ± 0,6	8,0 ± 0,7 87 % V _{max}	7,3 ± 0,5	8,0 ± 0,6 87 % V _{max}	8,2 ± 0,5
Herzfrequenz [min ⁻¹] % HF _{peak}	191 ± 8 100 %	155 ± 14 83 %	176 ± 12 92 %	144 ± 14 76 %	128 ± 13 67 %	153 ± 14 80 %	161 ± 16 84 %
Laktat [mmol·l ⁻¹]	13,1 ± 1,6	4,0 ± 0,9	5,4 ± 1,8	2,4 ± 0,3	1,4 ± 0,4	2,7 ± 1,5	3,3 ± 1,6
Sauerstoffaufnahme [ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹] % $\dot{V}O_{2peak}$	48,9 ± 5,5 100 %	33,4 ± 4,8 68 %	41,1 ± 6,2 84 %	31,1 ± 5,9 64 %	24,4 ± 2,9 50 %	31,9 ± 5,4 65 %	33,2 ± 5,1 68 %
Energieverbrauch [kJ·min ⁻¹] MET	69 ± 17 14,0 ± 1,6	46 ± 12 9,5 ± 1,4	58 ± 16 11,7 ± 1,8	42 ± 12 8,9 ± 1,7	34 ± 9 7,0 ± 0,8	44 ± 13 9,1 ± 1,5	46 ± 12 9,5 ± 1,5
Subjektiver Anstrengungsgrad [Borg]	19 ± 1	–	18 ± 1	–	11 ± 2	14 ± 1	16 ± 2
Schrittfrequenz [min ⁻¹]	–	–	161 ± 12	–	136 ± 6	150 ± 9	154 ± 9
Atemfrequenz [min ⁻¹]	–	–	40 ± 6	–	31 ± 7	36 ± 7	38 ± 7

Die Geschwindigkeit lag bei den Männern jeweils signifikant ($p < 0,05$) um 0,5 km·h⁻¹ bei V_{80} bzw. V_{90} und 0,7 km·h⁻¹ bei V_{SB} und V_{max} höher als bei den Frauen. Beim Walking-Stufentest erreichten die Probanden 92 Prozent der maximalen Herzfrequenz bei der Fahrradergometrie. An der ALG lag die Herzfrequenz beim Walking 13 min⁻¹ niedriger als bei der Fahrradergometrie. Bei V_{80} entsprach die Herzfrequenz 67 Prozent, bei der selbstgesteuerten Belastung 80 und bei V_{90} 84 Prozent der maximalen Herzfrequenz bei der Fahrradergometrie. Die Herzfrequenz bei V_{SB} und V_{90} entsprach im Mittel in etwa der Faustformel *180 minus*

Lebensalter ($156 \pm 12 \text{ min}^{-1} = 82 \% \text{ HF}_{\text{peak}}$). Allerdings bestand zwischen dem Herzfrequenzverhalten bei den jeweiligen Geschwindigkeiten und der Faustformel statistisch keine Beziehung. Bei der Miteinbeziehung der Gesundheitssportler der vorangegangenen Studie bestand ein geringer Zusammenhang ($n = 32$, $r = 0,46$, $p < 0,01$) mit im Einzelfall Abweichungen von bis zu 34 min^{-1} bei den Sportstudenten bzw. 32 min^{-1} bei den Gesundheitssportlern (Abb. 57).

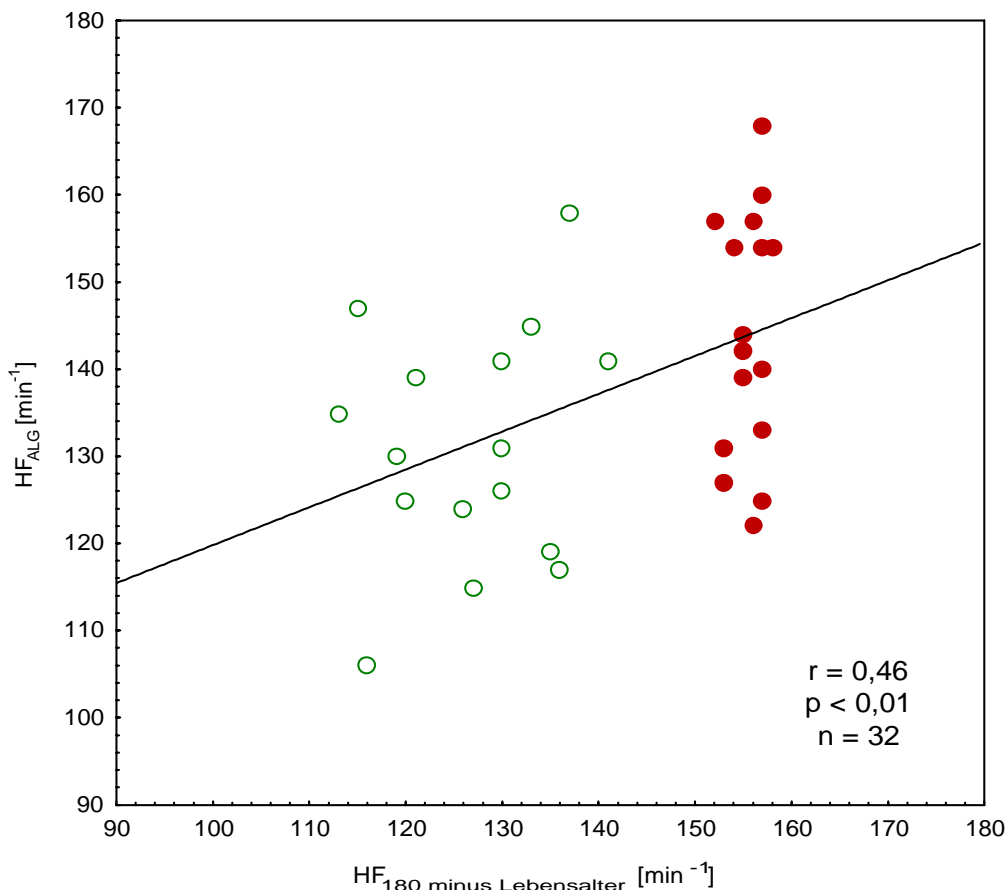


Abbildung 57: Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz an der ALG und an der Faustformel 180 minus Lebensalter bei den Gesundheitssportlern (Studie III) [$n = 16$ (○)] und Sportstudenten (Studie IV) [$n = 16$ (●)]

Die maximale Sauerstoffaufnahme bei der Fahrradergometrie ($\dot{V}O_{2\text{peak}}$) betrug im Mittel $48,9 \pm 5,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Beim Walking-Stufentest entsprach die maximale Sauerstoffaufnahme einer Intensität von $84 \% \dot{V}O_{2\text{peak}}$. Die Sauerstoffaufnahme an der ALG bei der Fahrradergometrie lag mit $33,4 \pm 4,8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($68 \% \dot{V}O_{2\text{peak}}$) etwas höher als die Sauerstoffaufnahme von $31,4 \pm 5,9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ an der ALG beim Walking-Stufentest ($64 \% \dot{V}O_{2\text{peak}}$). Bei V_{80} erreichten die Probanden 50, bei selbstgesteuerter Intensität 65 und bei der 90prozentigen Belastung $68 \% \dot{V}O_{2\text{peak}}$.

3.6.3.1.8 Beschwerden

Bei selbstgesteuerter und 90prozentiger Intensität traten gehäuft orthopädische Beschwerden auf. Tabelle 27 gibt einen Überblick über die Häufigkeit bei den jeweiligen Dauertests.

Tabelle 27: Häufigkeit orthopädischer Beschwerden bei den Walking-Dauertests mit 80 % (V_{80}) und 90 % (V_{90}) der im Walking-Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit und selbstgesteuerter Intensität (V_{SB})

n = 16	10 min	20 min	30 min
V_{80}	-	-	-
V_{SB}	12	12	4
V_{90}	14	12	8

Bei V_{80} traten keine Beschwerden auf. Bei selbstgewählter Geschwindigkeit klagten insgesamt 12 und bei V_{90} 14 Probanden über muskuläre Beschwerden, die sich teilweise gegen Ende der Belastung wieder reduzierten. Die Beschwerden beim selbstgesteuerten Test wurden als etwas weniger intensiv beschrieben. Zusätzlich wurden bei selbstgewählter Intensität und vor allem bei V_{90} vermehrt Schwierigkeiten bei der technischen Ausführung der Bewegungsform beobachtet. Die niedrigste Leistungsfähigkeit der Probanden, die keine ausreichende Trainingsintensität ohne Beschwerden erreichten, lag bei ca. $3,0 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ (♀) bzw. $3,5 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ (♂) bei der Fahrradergometrie.

Tabelle 28 gibt einen Überblick über die Lokalisierung der einzelnen Beschwerden. Es handelte sich überwiegend um prätibiale Beschwerden.

Tabelle 28: Lokalisierung und Häufigkeit der orthopädischen Beschwerden bei den Walking-Dauertests mit selbstgesteuerter Intensität und 90 % der im Walking-Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit

n = 16	V_{SB}			V_{90}		
	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
Schienbein	11	11	2	13	11	7
Fußrücken	1	1	1	1	1	1
Kniekehle	-	-	1	-	-	-
Gesamt	12	12	4	14	12	8

Bei selbstgewählter Geschwindigkeit (87,1 Prozent der maximalen Geschwindigkeit) klagten elf, bei V_{90} 13 Probanden über Schmerzen in der prätibialen Muskulatur. Ein Proband hatte sowohl bei V_{SB} , als auch bei V_{90} der im Walking-Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit kontinuierlich Fußrückenbeschwerden. Ein weiterer Teilnehmer gab beim selbstgesteuerten Test in den letzten zehn Minuten Beschwerden in der Kniekehle an. Darüber hinaus traten beim selbstgesteuerten Test bei einem Probanden zusätzlich zu den Schienbeinbeschwerden Schmerzen in der Wade, und bei V_{90} traten einmalig zusätzlich Beschwerden in der Hüftbeugemuskulatur auf.

3.6.3.2 Herzfrequenz an der Ausdauerleistungsgrenze bei der Fahrradergometrie und beim Walking

Um zu überprüfen, ob ein Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz an der ALG bei der Fahrradergometrie und beim Walking-Stufentest besteht, wurde eine nichtlineare Regressionsanalyse durchgeführt (Abb. 58).

Dabei bestand ein mittelgradiger Zusammenhang ($r = 0,63$, $p < 0,01$) bei einer absoluten Differenz von 13 und einer maximalen Abweichung von 33 min^{-1} .

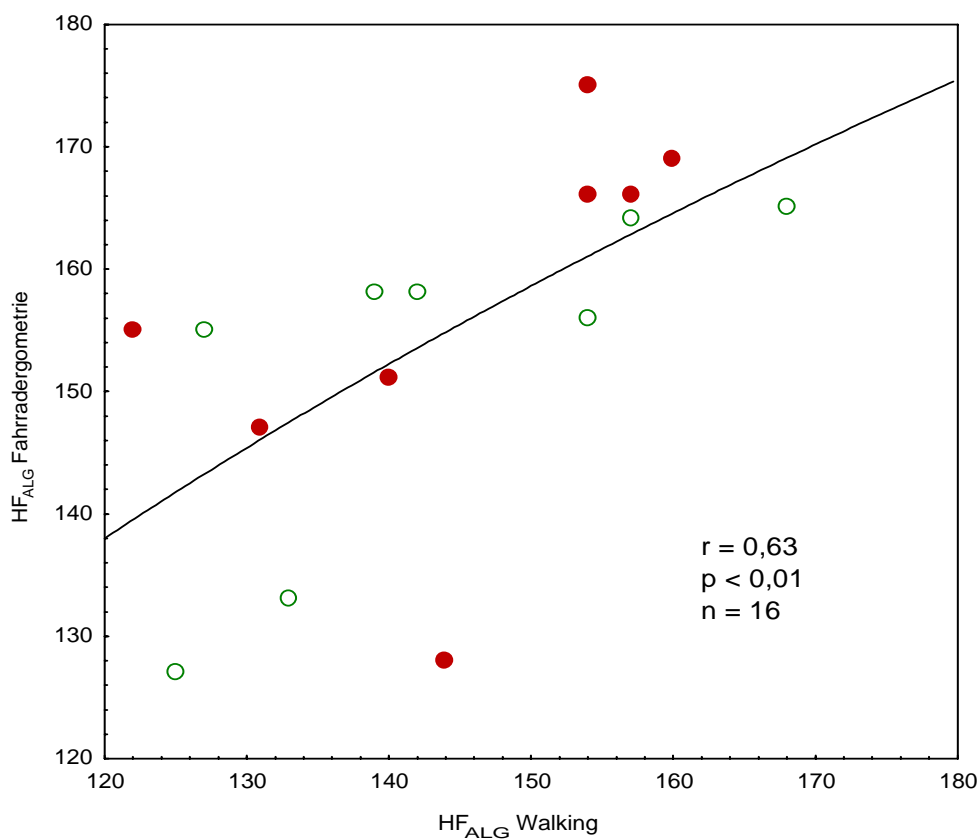


Abbildung 58: Nichtlineare Regressionsanalyse zwischen dem Herzfrequenzverhalten an der Ausdauerleistungsgrenze (HF_{ALG}) bei der Fahrradergometrie und beim Walking [♂ : $n = 8$ (\circ); ♀ : $n = 8$ (\bullet)]

3.6.3.3 Einzelfallbetrachtungen

Im Folgenden werden die individuellen Verläufe der Messparameter von zwei männlichen Probanden dargestellt, die die gleiche maximale und gleichzeitig höchste Geschwindigkeit beim Walking-Stufentest erzielten aber völlig unterschiedlich laufspezifisch trainiert waren.

Proband A (183 cm; 86 kg, 4,1 Watt·kg⁻¹) erreichte beim Walking-Stufentest eine maximale Geschwindigkeit von 10,1 km·h⁻¹. Er walkte regelmäßig seit drei Jahren zweimal eine Stunde pro Woche. Proband B (177 cm; 65 kg, 4,9 Watt·kg⁻¹) erzielte die gleiche maximale Geschwindigkeit, absolvierte allerdings zum Zeitpunkt der Studie ein sechsmal wöchentlich ein- bis dreistündiges Lauftraining und joggte seit neun Jahren mindestens vier Stunden pro Woche. Die Geschwindigkeit an der ALG lag bei Proband A bei 8,7 und bei Proband B bei 9,7 km·h⁻¹.

Betrachtet man den Herzfrequenzverlauf, so erreichte Proband A bei V₈₀ (8,1 km·h⁻¹) 163, bei selbstgesteuerter Geschwindigkeit (8,7 km·h⁻¹) 186 und bei V₉₀ (9,1 km·h⁻¹) eine Frequenz von im Mittel 188 min⁻¹ (Abb. 59 oben). Der trainingswirksame Bereich von 50-85 Prozent der maximalen Herzfrequenzreserve (ACSM 1998) reicht von 141 (untere Grenze, HF_{R50}) bis 179·min⁻¹ (obere Grenze, HF_{R85}). Proband B dagegen erreichte bei V₈₀ eine Herzfrequenz von 123, bei V_{SB} 157 und bei V₉₀ im Mittel 156·min⁻¹ (Abb. 59 unten). Die untere Grenze des günstigen Trainingsbereiches (HF_{R50}) lag bei 138 und die obere Grenze (HF_{R85}) bei 178 min⁻¹.

Hinsichtlich der Sauerstoffaufnahme erreichte Proband A bei V₈₀ 32,3, bei V_{SB} 45,3 und bei V₉₀ im Mittel 46,6 ml·kg⁻¹·min⁻¹ (Abb. 60 oben) [trainingswirksamer Bereich zwischen 30,9 (untere Grenze, $\dot{V}O_{2R50}$) und 46,8 ml·kg⁻¹·min⁻¹ (obere Grenze, $\dot{V}O_{2R85}$)]. Proband B erreichte bei V₈₀ eine Sauerstoffaufnahme von 28,1, bei V_{SB} 39,6 und bei V₉₀ im Mittel 36,6 ml·kg⁻¹·min⁻¹ (Abb. 60 unten) [trainingswirksamer Bereich zwischen 33,3 (untere Grenze, HF_{R50}) und 51,6 ml·kg⁻¹·min⁻¹ (obere Grenze, HF_{R85})].

Betrachtet man den Laktatverlauf, so stieg bei Proband A bei V₈₀ (8,1 km·h⁻¹) die Laktatkonzentration auf 1,9 mmol·l⁻¹, bei selbstgesteuerter Geschwindigkeit (8,7 km·h⁻¹) auf 7,0 und bei V₉₀ (9,1 km·h⁻¹) auf 7,2 mmol·l⁻¹ (Abb. 61 oben). Proband B dagegen erreichte bei V₈₀ eine Laktatkonzentration von 1,3 mmol·l⁻¹, bei selbstgesteuerter Geschwindigkeit und bei V₉₀ lediglich 1,8 bzw. 2,2 mmol·l⁻¹ (Abb. 61 unten).

Beide Probanden klagten beim selbstgesteuerten und 90prozentigen Test über mittlere bis starke Beschwerden in der prätibialen Muskulatur, wobei diese bei Proband A bei V₉₀ am Ende stärker waren als bei Proband B.

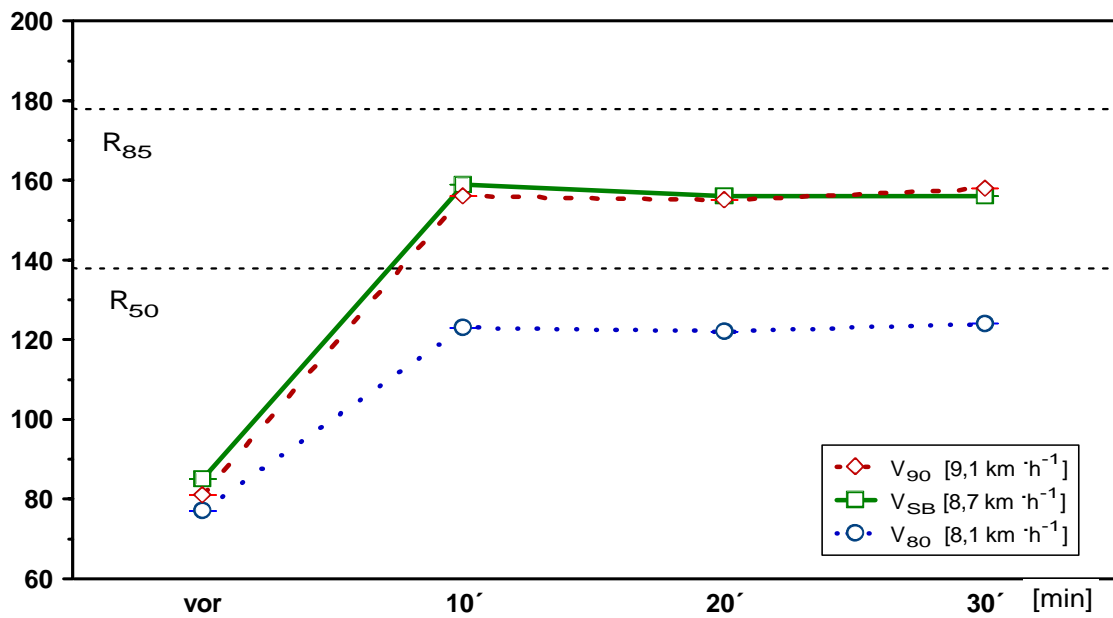
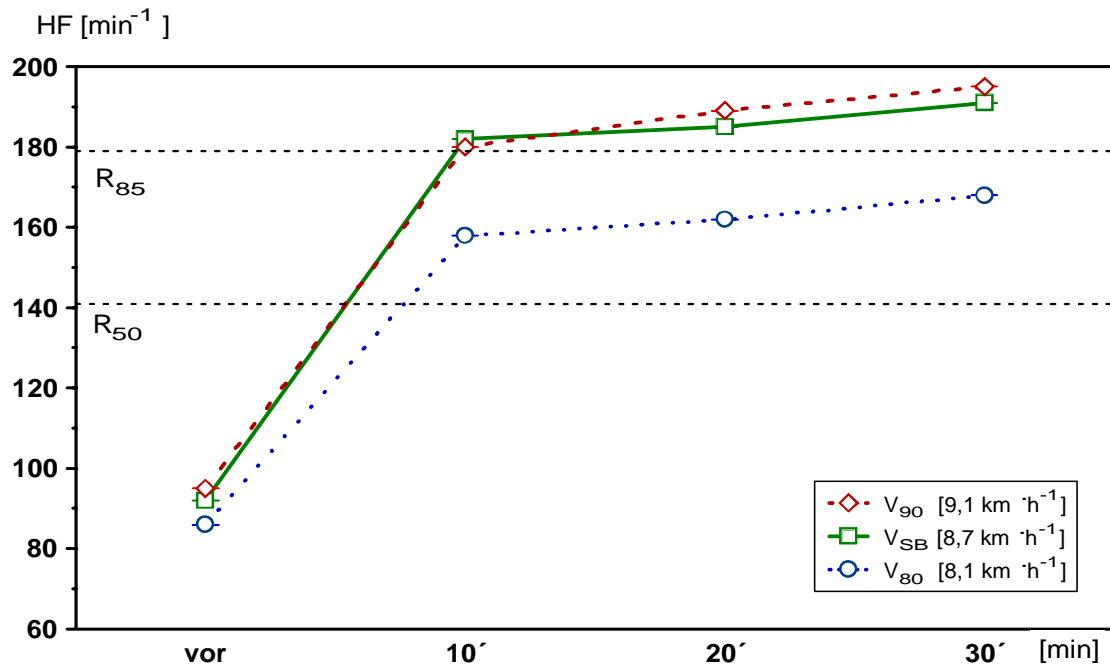


Abbildung 59: Herzfrequenzverlauf bei Proband A (oben) und Proband B (unten) beim Walking-Dauertest mit 80 und 90 % der im Walking-Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit (V_{80} , V_{90}) sowie mit selbstgewählter Geschwindigkeit (V_{SB}); zusätzlich wurde der Herzfrequenzreservebereich durch eine obere Grenze (R_{85}) und untere Grenze (R_{50})

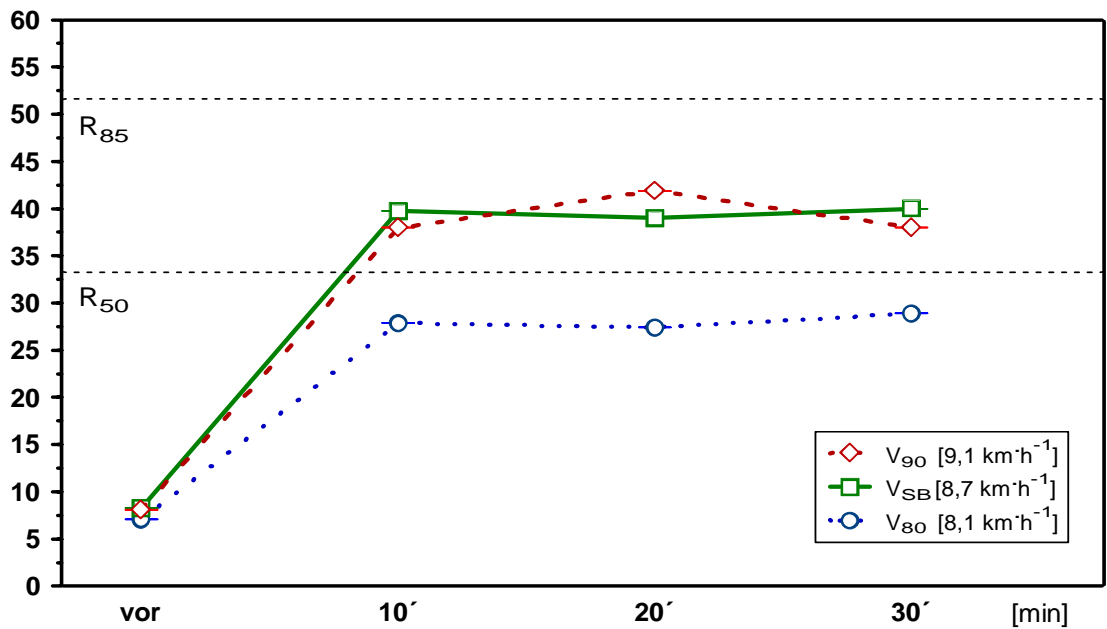
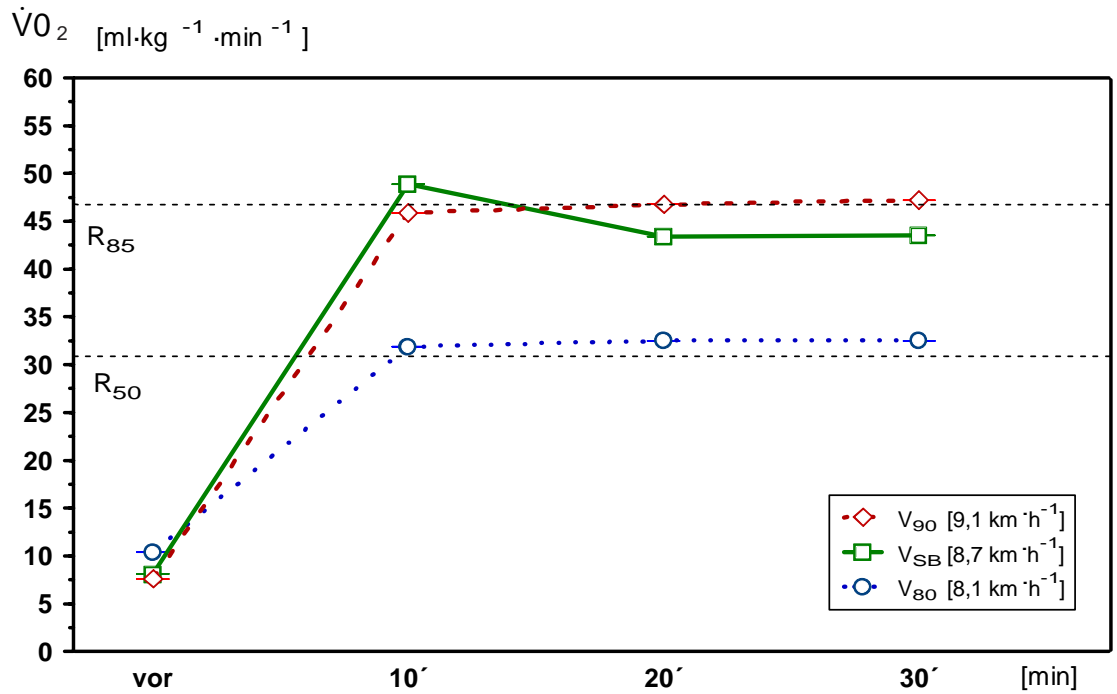


Abbildung 60: Sauerstoffaufnahme bei Proband A (oben) und Proband B (unten) beim Walking-Dauertest mit 80 und 90 % der im Walking-Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit (V_{80} , V_{90}) sowie mit selbstgewählter Geschwindigkeit (V_{SB}); zusätzlich wurde der Sauerstoffreservebereich durch eine obere Grenze (R_{85}) und un-

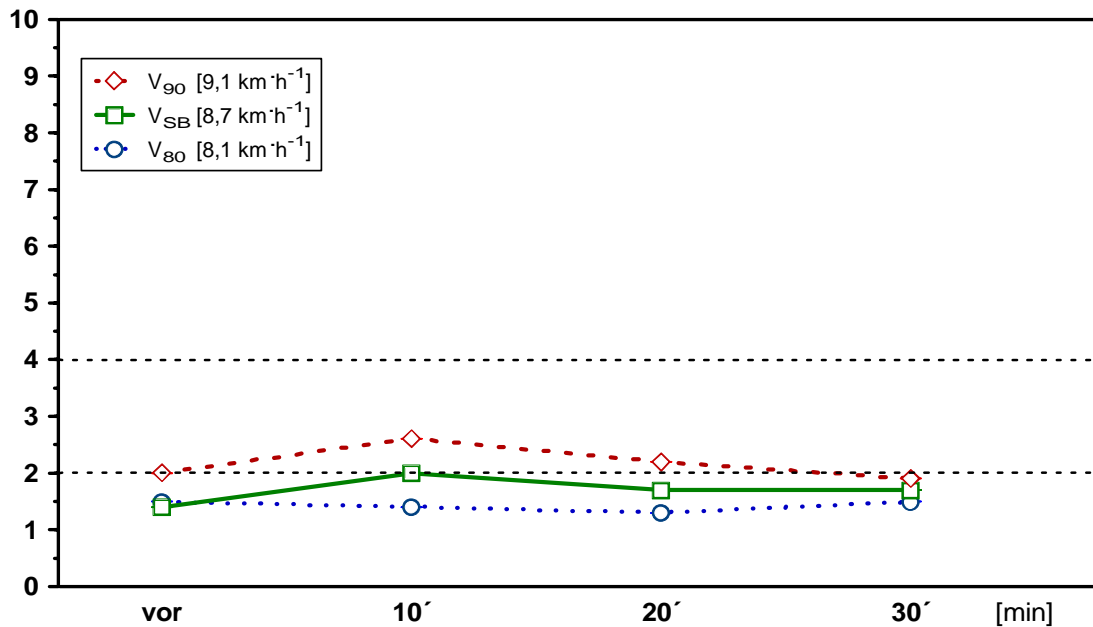
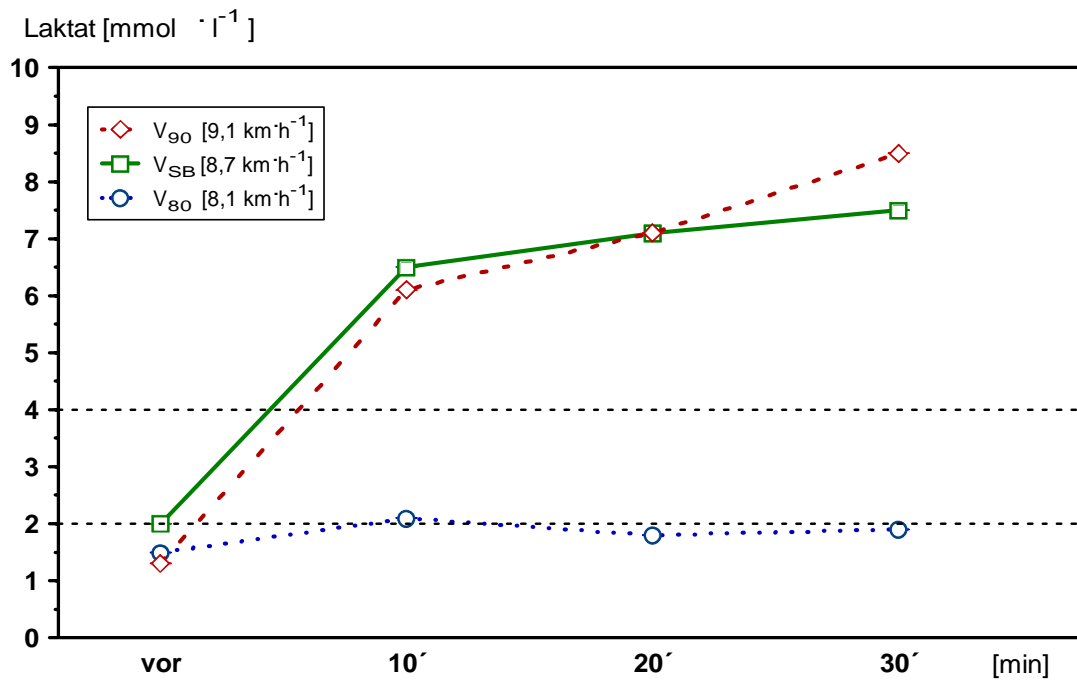


Abbildung 61: Laktatverhalten bei Proband A (oben) und B (unten) beim Walking-Dauertest mit 80 und 90 % der im Walking-Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit (V_{80} , V_{90}) sowie mit selbstgewählter Geschwindigkeit (V_{SB}); die gestrichelten Linien markieren den 2 und 4 mmol·l⁻¹ Laktatbereich

4 Diskussion

4.1 Vorgaben und Verfahren zur Bestimmung der Belastungsintensität

4.1.1 Fixer Prozentsatz der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. der maximalen Herzfrequenz

Bevor die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen diskutiert werden, erfolgen einige Anmerkungen zur Bestimmung der Trainingsintensität von Ausdauerbelastungen.

In der Literatur unterscheiden sich die Angaben für einen trainingswirksamen Bereich beim Ausdauertraining bzw. Walking deutlich. Meistens werden von der maximalen Herzfrequenz abgeleitet prozentuale Vorgaben verwendet (s. Kap. 2.2.3). Die Angaben liegen zwischen 55 (untere Grenze; ACSM 1998), 70 (Murphy et al. 1998; Porcari et al. 1987; Spelman et al. 1993; Santiago et al. 1987) und 90 Prozent (obere Grenze; ACSM 1998) der maximalen Herzfrequenz. Neben den Herzfrequenzvorgaben findet man häufig auch prozentuale Angaben zur maximalen Sauerstoffaufnahme. Die Intensitätsempfehlungen reichen von 40 (Leon et al. 1996), 50 (Knowlton et al. 1992), 60 (Jetté et al. 1988) bis zu 85 Prozent (ACSM 1998) der maximalen Sauerstoffaufnahme. Bei diesen unterschiedlichen Angaben ist zu dem zu berücksichtigen, dass sie zum Teil auf errechneten und nicht auf gemessenen Maximalwerten beruhen bzw. anhand unterschiedlicher Testverfahren festgelegt worden sind (s. S. 30-32.). Dadurch wird die Vergleichbarkeit der einzelnen Studien hinsichtlich der Intensitätsangaben eingeschränkt. Abhängig von der Belastungsform handelt es sich häufig nicht um die tatsächliche maximale Sauerstoffaufnahme, sondern um sogenannte „peak-Werte“ ($\dot{V}O_{2\text{peak}}$) (Meyer/Kindermann 1999). Foster et al. (1983) betonen, dass die maximale Sauerstoffaufnahme während der Fahrradergometrie ca. 80-85 Prozent des Wertes entspricht, der bei Laufbelastungen gemessen wird. Auch Kindermann (1987b) gibt die im Laufbandstufentest gemessene maximale Sauerstoffaufnahme um etwa zehn Prozent höher an als bei der Fahrradergometrie.

Da sich die meisten Studien auf die Angaben des ACSM beziehen, orientiert sich auch in dieser Untersuchungsreihe der als günstig erachtete Intensitätsbereich für ein Ausdauertraining mit Freizeit- und Gesundheitssportlern an den aktuellen Empfehlungen des ACSM (1998). Dabei werden 55/65-90 Prozent der maximalen Herzfrequenz bzw. 40/50-85 Prozent der maximalen Herzfrequenz- oder Sauerstoffreserve angegeben. Diese Reserveangaben beziehen die Ruhe-Werte mit ein und werden von dem ACSM gegenüber den Absolutangaben bevorzugt. Bei den Freizeit- und Gesundheitssportlern wurde die höhere Mindest-

intensität gewählt (50 Prozent der Herzfrequenz- und Sauerstoffreserve), da sich der jeweils niedrigere Bereich (40-49 Prozent) auf völlig untrainierte Personen bezieht. Da in den vorliegenden Studien kein echter Ruhewert, sondern die Herzfrequenz vor Belastung gemessen worden ist, liegen die Intensitätsbereiche vermutlich etwas oberhalb der Vorgaben des ACSM.

4.1.2 Ausdauerleistungsgrenze

Neben der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. Herzfrequenz werden auch submaximale Parameter wie beispielsweise Laktatschwellen zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit herangezogen, da sie u. a. unabhängig von der Messproblematik im Maximalbereich sind (Meyer/Kindermann 1999). Die Bestimmungsmethode der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) nach Stegmann et al. (1981) besitzt eine hohe Reliabilität und ist für die Trainingssteuerung ein probates Hilfsmittel. Zur Bestimmung dieser IAS ist keine volle Ausbelastung erforderlich, allerdings muss die erreichte submaximale Ausbelastung so hoch sein, dass es zu einem weiteren Laktatanstieg (Ausschwemmung der Milchsäure aus der beanspruchten Muskulatur in die Peripherie) innerhalb der Nachbelastungsphase (erste bis fünfte Minute) kommt (Coen 1997; Urhausen 1993). Da beim Walking aufgrund der häufig fehlenden maximalen Ausbelastung nicht immer ein weiterer Laktatanstieg nach Belastungsabbruch gefunden wurde, konnte in diesen Fällen keine IAS bestimmt werden.

Um die Vergleichbarkeit zwischen den drei Belastungsformen zu gewährleisten wurde deshalb bei allen Belastungstests mit Freizeit- und Gesundheitssportlern das Modell nach Hagberg/Coyle (1983) verwendet, das sich auch bei anderen europäischen Autoren etabliert hat (Dickhuth et al. 1988; Röcker et al. 1997; Simon 1986; Simon et al. 1992). Dieses Modell schien besonders geeignet, da es nur die Laktatkinetik während Belastung berücksichtigt und ursprünglich an Gehern entwickelt worden war.

4.1.3 Maximale Walking-Geschwindigkeit

In der dritten und vierten Studie wurden die Intensitätsstufen für die Dauerbelastungen (V_{70} , V_{80} , V_{90}) von der maximalen Geschwindigkeit beim Walking-Stufentest abgeleitet, um eine für die Praxis einfach umsetzbare Trainingsvorgabe zu überprüfen, die unabhängig von der Laktatdiagnostik ist. Andere Autoren verwenden oft maximale Dauertests (z. B. One-Mile-Test, 2 km-Test) zur Leistungsdiagnostik im Walking (s. Kap. 2.2.3), die zwar mit der maximalen Sauerstoffaufnahme in engem Zusammenhang stehen aber meist keine direkten Trainingsempfehlungen ermöglichen (Bös/Schott 1997; Kline et al. 1987; Oja et al. 1991; Porcari et al. 1987; Stensel et al. 1994).

4.2 Walking und Jogging Feld-Stufentests bei unterschiedlich leistungsfähigen Personen

In der ersten Studie der Untersuchungsreihe wurde das metabolische und kardi-ozirkulatorische Beanspruchungsprofil beim Walking und Jogging anhand stufenförmig ansteigender Feldtestverfahren von unterschiedlich leistungsfähigen Personen überprüft. Außerdem wurde untersucht, ob durch Walking bei beiden Personengruppen eine ausreichende Trainingsintensität erreicht wird und inwieweit Intensitätsvorgaben aus der Fahrradergometrie mit der im Walking-Stufentest ermittelten Ausdauerleistungsgrenze übereinstimmen.

Sowohl die Freizeit- (FZ) als auch die Gesundheitssportler (GS) erreichten beim Walking an der Ausdauerleistungsgrenze einen Bereich oberhalb 65 Prozent der maximalen Herzfrequenz. Allerdings mussten die Freizeitsportler dabei mit einer deutlich höheren Geschwindigkeit walken als die Gesundheitssportler (im Mittel bei FZ $8,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; bei GS $7,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Bei den jüngeren leistungsfähigeren Probanden waren teilweise Walking-Geschwindigkeiten oberhalb von 8 bzw. $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ notwendig, um in den entsprechenden Intensitätsbereich zu gelangen. Dabei traten gehäuft technische Probleme und muskuläre Beschwerden auf. Auch nach Porcari et al. (1987) eignet sich Walking deshalb vor allem für ältere Menschen, da junge Menschen mit einer höheren maximalen Sauerstoffaufnahme die geforderte Intensität erst bei hohen Geschwindigkeiten erreichen.

Die männlichen Gesundheitssportler erreichten maximal eine um etwa elf Prozent und an der ALG eine um neun Prozent höhere Geschwindigkeit als die weiblichen Teilnehmer, ohne dass dabei die übrigen Parameter signifikante Unterschiede aufwiesen. Dies entsprach in etwa den Angaben von Morris/Hardman (1997) (s. Tab. 3, S. 22). Die geschlechtsspezifisch differierenden Geschwindigkeitsbereiche waren offensichtlich durch die unterschiedliche Körpergröße und die daraus resultierende Schrittlänge (s. S. 4) bzw. durch die unterschiedliche Leistungsfähigkeit (s. Tab.11, S. 49) bedingt. Orthopädische Beschwerden traten bei 77 Prozent der Männer [ab ca. $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\sim 85 \% V_{\max}$)] und bei 73 Prozent der Frauen [ab ca. $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\sim 82 \% V_{\max}$)] in etwa gleichermaßen verteilt und in einem prozentual betrachtet ähnlichen Geschwindigkeitsbereich auf.

Im Gegensatz zu den lokalen Beschwerden beim Walking wurde beim Jogging lediglich eine allgemeine Muskelermüdung auf der letzten Stufe angegeben. In der Untersuchung von Jetté et al. (1988) berichteten die Probanden über gelegentliche Ermüdungserscheinungen der Beine, gaben aber keine muskulären Beschwerden unmittelbar während des Walking an.

Die beim Walking bei höherer Geschwindigkeit technisch schwierige Realisierbarkeit führte neben den muskulären Beschwerden dazu, dass in dieser Studie die meisten leistungsfähigeren Probanden Walking als unnatürliche Bewegungs-

form bzw. als unangenehm empfanden. Allerdings fanden Santiago et al. (1987) beim Jogging eine wesentlich höhere verletzungs- bzw. überlastungsbedingte Drop-out-Rate von 40 gegenüber sieben Prozent beim Walking.

In beiden Gruppen zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz an der Ausdauerleistungsgrenze beim Walking und bei der Fahrradergometrie. Allerdings kam es im Einzelfall zu Abweichungen von bis zu 17 min^{-1} , so dass Trainingsempfehlungen von der Fahrradergometrie nur bedingt ableitbar sind.

Die metabolische Beanspruchung war beim Walking im Maximalbereich und an der Ausdauerleistungsgrenze bei beiden Gruppen deutlich niedriger als beim Jogging. Bei einer interpolierten Laktatkonzentration von $2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, die in der Literatur beim Walking als Referenzwert verwendet wird (Stensel et al. 1994), erreichten beide Probandengruppen beim Walking im Mittel ca. 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz bei etwa 80 Prozent der maximalen im Stufentest erreichten Geschwindigkeit.

Das ACSM (1998) empfiehlt für ein moderates Ausdauertraining bei überwiegend aerober Stoffwechsellage ein subjektives Anstrengungsempfinden von „recht leicht“ bis „etwas schwer“ (Borg-Skala 12-13). Die Angaben des subjektiven Anstrengungsempfindens entsprachen interpoliert an der Ausdauerleistungsgrenze in beiden Gruppen sowohl beim Walking als auch beim Jogging genau diesem Bereich.

Als wesentliche Schlussfolgerungen dieser Studie sind festzuhalten:

- Die kardiozirkulatorische und metabolische Beanspruchung sowie das subjektive Anstrengungsempfinden sind im Maximalbereich und an der Ausdauerleistungsgrenze beim Walking deutlich geringer im Vergleich zum Jogging. *Hypothese 1* (S. 40) ist somit bestätigt. Dabei besteht kein geschlechtsspezifischer Unterschied.
- Alle Probanden erreichen beim Walking bei höheren Geschwindigkeiten (GS ab 7 , FZ ab $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) dennoch einen trainingseffektiven Bereich, d. h. mindestens 65 Prozent der maximalen Herzfrequenz. Bei den Gesundheitssportlern treten dabei meist keine Beschwerden auf. *Hypothese 2* (S. 40) bestätigt sich also ebenfalls.
- Bei den Freizeitsportlern sind für das Erreichen einer trainingseffektiven Beanspruchung höhere Geschwindigkeitsbereiche notwendig, die allerdings gehäuft zu Beschwerden führen. Also muss *Hypothese 3* (S. 40) abgelehnt werden.
- Das Herzfrequenzverhalten an der Ausdauerleistungsgrenze bei der Fahrradergometrie und beim Walking ist im Mittel ähnlich und korreliert unterein-

ander hochsignifikant. Bei Trainingsherzfrequenzvorgaben ist jedoch zu beachten, dass im Einzelfall deutliche Diskrepanzen möglich sind. *Hypothese 4* (S. 41) kann also nur bedingt angenommen werden.

4.3 Walking mit Herzpatienten

Aufgrund der positiven kardiozirkulatorischen und metabolischen Effekte bei gleichzeitig geringer Druckbelastung des Herzens, wird das Laufen als die günstigste Belastungsform für den Herzsport propagiert und hat sich in der ambulanten Bewegungstherapie mit Herzpatienten etabliert. Beim normalen Gehen kommt es zwar zu einer vergleichsweise noch geringeren Druckbelastung des Herzens, aufgrund der niedrigen Belastungsintensität ist aber auch der kardiovaskuläre Trainingseffekt geringer. Walking stellt eine Gehvariante dar, bei der eine höhere Beanspruchung des Herz-Kreislaufsystems erreicht wird als beim normalen Gehen. Die vorliegende Studie sollte nun Aufschluss geben über die kardiale und metabolische Beanspruchung beim Walking und Jogging mit Herzpatienten und die Eignung von Walking als Alternative zum Jogging.

Beim Walking lag die mittlere Herzfrequenz gegenüber der Trainingsherzfrequenz (THF) während der ersten Belastungsphase bei sieben von 13 Patienten noch unterhalb, während der zweiten Testhälfte bei zehn Teilnehmern innerhalb des günstigen Trainingsbereichs. Da sich die Geschwindigkeit während der beiden Testphasen nicht signifikant unterschied, ist der zögernde Anstieg der Herzfrequenz mit zunehmender Belastungsdauer vermutlich auf die moderate Intensität und die somit verlängerte Anlaufzeit zurückzuführen.

Im Einzelnen betrachtet lag in der ersten Belastungsphase die Herzfrequenz bei sieben Patienten noch unterhalb, bei fünf Patienten innerhalb und bei einem Patienten oberhalb des trainingsgünstigen Bereichs. In der zweiten Hälfte der Belastung erreichten zehn Probanden ihren optimalen Trainingsbereich, während zwei Patienten oberhalb und ein Patient unterhalb des Zielbereiches lagen. Dieser Patient war mit einer THF von 130 min^{-1} recht gut belastbar und absolvierte mehrmals pro Woche ein Lauftraining. Die beiden Patienten, die oberhalb ihrer THF lagen, waren dagegen relativ wenig leistungsfähig.

Der Vergleich von Walking und Jogging bei gleicher Belastungsintensität war nicht möglich, da die Vorgabe, die Geschwindigkeit nach der Trainingsherzfrequenz zu richten und diese nicht zu überschreiten, beim Jogging nicht eingehalten wurde und somit die Belastungsintensität beim Jogging deutlich höher lag als beim Walking. Die Herzfrequenz beim Jogging lag im Mittel zu beiden Messzeitpunkten um 10 bzw. 14 min^{-1} oberhalb der THF und um 23 bzw. 20 min^{-1} höher als beim Walking. Fünf Probanden konnten beim Jogging ihre Herzfrequenz durch die Gehpausen immer wieder normalisieren. Bei den anderen acht Probanden kam es trotz wiederholter Hinweise zu einer kontinuierlichen Überschrei-

tung der THF, obwohl auch hier fünf Teilnehmer immer wieder Gehpausen einlegten, die im Mittel 30 Prozent ihrer Gesamtstrecke ausmachten. Offensichtlich sind noch deutlichere Hinweise und ein noch intensiveres systematisches Üben notwendig, um THF-Überschreitungen beim Jogging zu verhindern.

Es wird deutlich, dass Walking für Herzpatienten regelrecht einen Schutz vor Überforderung darstellt. Die Bewegungstechnik des Walking limitiert den Intensitätsbereich nach oben hin. Dies ist insbesondere für ein Gruppentraining bedeutsam, bei dem nicht jeder Patient durch den Übungsleiter ständig kontrolliert werden kann, aber auch für ein selbständig durchgeführtes Heimtraining mit höherem Umfang.

Hinsichtlich des systolischen Blutdruckes zeigte sich beim Walking gegenüber dem Ruhewert ein zwar signifikanter aber dennoch relativ geringfügiger Anstieg von im Mittel 25 mmHg, der diastolische Blutdruck blieb nahezu unverändert. Im Vergleich zur Ausdauerleistungsgrenze bei der Fahrradergometrie lag der systolische und diastolische Blutdruck beim Walking um 10 bzw. 7 mmHg signifikant niedriger. Somit scheint Walking hinsichtlich der Druckbelastung des Herzens für den Herzsport günstig zu sein. Beim Gehen wurde in anderen Untersuchungen ein ähnlich günstiges Blutdruckverhalten registriert (Hollmann et al. 1990; Hollmann et al. 1981; Rost/Brusis 1995). Der im Vergleich zum Walking signifikant höhere Blutdruckanstieg beim Jogging ist wohl primär auf die höhere Belastungsintensität zurückzuführen.

Die mittlere Laktatkonzentration beim Walking ($2,5 \pm 0,8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) unterstreicht den vorwiegend aeroben Charakter der Belastung und entsprach etwa der durchschnittlichen Konzentration an der THF ($2,7 \pm 0,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$).

Beim Jogging hingegen war die mittlere Laktatkonzentration gegenüber dem Wert an der THF deutlich erhöht. Bei der Betrachtung der Einzelfälle fällt besonders Patient auf, der in der zweiten Belastungsphase einen Laktatanstieg auf über $12 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ aufwies und sich somit im Maximalbereich belastete. Analog kam es zu einer deutlichen Überschreitung der THF (115 min^{-1}) um 33 min^{-1} . Dieser Patient hat früher Wettkampfsport betrieben, nimmt derzeit einmal pro Woche an der ambulanten Herzsportgruppe teil und ist ansonsten sportlich inaktiv. Der Anteil der Gehpausen an der Gesamtstrecke betrug 35 Prozent, wodurch die Herzfrequenz während Belastung zwar wieder abfiel, aber dennoch kontinuierlich oberhalb der THF lag. Beim Walking hingegen lag der Patient mit einer Laktatkonzentration von 3,8 bzw. 4,1 $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ im Bereich seines Wertes an der THF ($4,3 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$). Auch die Herzfrequenz lag mit 106 bzw. 109 min^{-1} zwar knapp unterhalb der THF, aber immer noch im günstigen Intensitätsbereich von 90-100 Prozent der THF. Die Belastungsdosierung fiel diesem Patienten offensichtlich beim Walking wesentlich leichter als beim Jogging.

Bei der Betrachtung der Katecholaminkonzentrationen zeigt sich beim Walking und Jogging während Belastung ein ähnlicher Verlauf. Die Erhöhung der NoradrenalinKonzentration während der beiden Tests konnte auch schon in anderen Studien bei kontinuierlichen Dauerbelastungen gefunden werden (Kindermann 1982, Urhausen et al. 1992, Urhausen et al. 1994). Insgesamt liegt die NoradrenalinKonzentration etwas oberhalb der Werte bei Ausdauerbelastungen mit jüngeren Personen (Urhausen et al. 1994). Nach Lehmann/Keul (1981) steigt bei älteren Personen der Noradrenalin Spiegel bei vergleichbarer submaximaler Intensität höher an als bei jüngeren Menschen. Insbesondere bei Patienten mit Kontraktionsstörungen des Herzens scheint die Katecholaminkonzentration höher zu liegen als bei gesunden Kontrollpersonen (Lehmann et al. 1986). Der Adrenalin Spiegel zeigte in dieser Studie einen nur tendenziellen Anstieg.

Das vergleichbare Verhalten der Stresshormone beim Walking und Jogging ist möglicherweise auf eine erhöhte Konzentration beim Walking aufgrund der noch nicht vollständig automatisierten Bewegungstechnik zurückzuführen. Aufgrund der hohen Belastungsintensität beim Jogging hätte man, insbesondere im Vergleich zum Walking, eine höhere Katecholaminausschüttung erwartet, wie bei Belastungen oberhalb der individuellen anaeroben Schwelle gefunden wurde (Urhausen et al. 1994). Möglicherweise sind die zahlreichen Gehpausen beim Jogging und die daraus resultierende intervallartige Belastungsform bzw. die insgesamt relativ kurze Belastungszeit (20 Minuten) für den vergleichsweise geringen Anstieg verantwortlich.

Auch bei der Einzelbetrachtung fällt auf, dass der gleiche Patient sowohl beim Walking ($15 \text{ nmol} \cdot \text{l}^{-1}$) als auch beim Jogging ($13,4 \text{ nmol} \cdot \text{l}^{-1}$) den höchsten Noradrenalinanstieg aufweist. Dabei ist die Belastungsintensität beim Walking adäquat, beim Jogging jedoch deutlich oberhalb der Vorgabe an der THF. Drei weitere Patienten lagen beim Walking mit der NoradrenalinKonzentration über $8 \text{ nmol} \cdot \text{l}^{-1}$, ohne die THF zu überschreiten. Die Vermutung, dass der vergleichbare Anstieg der Katecholamine beim Walking und Jogging möglicherweise auf eine erhöhte psychische Beanspruchung beim Walking zurückzuführen ist, scheint dies zu bekräftigen.

Analog der kardiozirkulatorischen Beanspruchung und des Laktatverhaltens wurde der subjektive Anstrengungsgrad im Mittel beim Walking signifikant niedriger als beim Jogging angegeben. Beim Walking wurde im Mittel zwischen „recht leicht“ bis „etwas schwer“ (Borg-Skala 11-12) angegeben, was auch etwa den Angaben in der Literatur für ein dosiertes Ausdauertraining mit Gesundheitssportlern entspricht (Buskies et al. 1993; Dishmann 1994; Spelman et al. 1993).

Bei der Einzelbetrachtung zeigen sich allerdings beim Vergleich des subjektiven Belastungsempfindens mit dem Laktatverhalten deutliche Diskrepanzen. Ein Pa-

tient gab beispielsweise beim Walking 15 („schwer“) auf der Borg-Skala an, während die Laktatkonzentration in dieser Belastungsphase bei nur $1,9 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ und damit unterhalb des Wertes an der THF ($2,8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) lag. Allerdings berichtete dieser Patient nach Belastung über muskuläre Beschwerden im Unterschenkel. Der Proband mit der höchsten Laktatkonzentration beim Jogging ($12,7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) hingegen gab lediglich einen subjektiven Anstrengungsgrad von 12 („recht leicht“ bis „etwas schwer“) an.

Bei den bereits erwähnten Untersuchungen an Freizeitsportlern wurde auf die Notwendigkeit der Steuerung der Belastungsintensität über objektive Belastungsparameter geschlossen (Coen et al. 1993; Völker et al. 1985). Dies scheint sich in dieser Studie auch für den Herzsport zu bestätigen.

Schlussfolgernd kann man festhalten:

- Walking stellt eine Alternative zum Jogging im Herzsport dar. Der Blutdruck und die daraus resultierende Druckbelastung des Herzens verhält sich noch günstiger als beim Laufen. Die Patienten erreichen eine ausreichende Belastungsintensität für das Ausdauertraining, womit sich *Hypothese 5* (S. 52) bestätigt.
- Die Steuerung der Belastungsintensität fällt den Patienten beim Walking leichter als beim Jogging. Die Bewegungstechnik des Walking limitiert den Intensitätsbereich nach oben hin, was einen Schutz vor Überlastung darstellt. Somit ist *Hypothese 6* (S. 52) ebenfalls bestätigt.
- Der subjektive Anstrengungsgrad ist zur Intensitätssteuerung beim Ausdauertraining mit Herzpatienten primär ungeeignet und sollte nur in Kombination mit objektiven Belastungsparametern z. B. der Herzfrequenz Anwendung finden. Auch *Hypothese 7* (S. 52) wird deshalb angenommen.

4.4 Walking mit Gesundheitssportlern

Die erste Studie zeigte anhand von Stufenbelastungen, dass Freizeit- und Gesundheitssportler durch Walking meist eine adäquate Trainingsintensität für ein Herz-Kreislauftraining erreichen können. Im Rahmen von zwei Voruntersuchungen sollte nun zunächst überprüft werden, welche Geschwindigkeit Gesundheitssportler ohne Intensitätsvorgabe beim Walking wählen und welcher Geschwindigkeitsbereich bei geübten Walkern über eine längere Distanz möglich ist.

Die erste Voruntersuchung zeigt, dass Gesundheitssportler ohne Vorgabe im Mittel beim Walking einen günstigen Intensitätsbereich wählen. Jetté et al. (1988) und Morris/Hardman (1997) geben für normal leistungsfähige Freizeit- und Gesundheitssportler mittleren Alters für das Walking Geschwindigkeiten zwischen $6\text{-}7,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ an, was in etwa dem Bereich entspricht, den die Teilnehmer der Voruntersuchung gewählt haben. Die Geschwindigkeit lag bei den männlichen und weiblichen Gesundheitssportlern der ersten Studie interpoliert an der ALG in einem ähnlichen Verhältnis und vergleichbarem Bereich (s. Tab 11, S. 51). Die Frauen walkten beim Vortest mit einer um etwa zehn Prozent niedrigeren Geschwindigkeit (♂ : $7,1 \pm 0,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, ♀ : $6,4 \pm 0,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) als die Männer, ohne dass sich die übrigen Parameter signifikant unterschieden. Dies ist wohl, wie schon bei der ersten Studie erwähnt (s. S. 111), primär auf die niedrigere Körpergröße und geringere Leistungsfähigkeit zurückzuführen. Darüber hinaus deutet das Herzfrequenzverhalten [78 Prozent der maximalen Herzfrequenz (220 minus Lebensalter)] und die Laktatkonzentration im Mittel auf einen akzeptablen Bereich für gesundheitsorientiertes Herz-Kreislauftraining hin. Spelman et al. (1993) finden bei einer Untersuchung mit im Mittel 35jährigen Walkern ($n = 28$) bei selbstgewählter Intensität ähnliche Ergebnisse und empfehlen daher, für das Walkingtraining keine speziellen Intensitätsvorgaben zu geben.

Betrachtet man allerdings die Streubreite der einzelnen Parameter, sowohl in dieser Pilotstudie als auch bei Spelman et al. (1993) selbst, so zeigt sich, dass beim Walking mit Gesundheitssportlern sowohl Unter- als auch Überforderungen möglich sind. Dabei sind die Probanden bei der Wahl ihrer Intensität häufiger unter- als überfordert. Daher scheinen auch für ein effektives Walking-Training, entgegen den Empfehlungen von Spelman et al. (1993), individuelle Intensitätsvorgaben sinnvoll zu sein.

Die zweite Voruntersuchung belegt, dass bei etwa 50jährigen Personen mit entsprechendem Trainingszustand durchaus höhere Geschwindigkeitsbereiche [über $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Fast Walking)] mit entsprechend intensivem Trainingsreiz (ca. 75-

85 % HF_{peak}) auch über einen längeren Zeitraum (ca. 3,5 Stunden) beschwerdefrei realisiert werden können.

In der Hauptuntersuchung sollte untersucht werden, inwieweit sich Trainingsempfehlungen für Gesundheitssportler basierend auf einem Walking-Stufentest für eine Walking-Dauerbelastung auch ohne Laktatdiagnostik ableiten lassen und welcher Geschwindigkeitsbereich für das Walking-Training geeignet ist. Da in der ärztlichen Praxis zumindest im europäischen Raum kaum Laufbandbelastungen durchgeführt werden, sollte untersucht werden, ob anhand der Fahrradergometrie abgeleitete Intensitätsvorgaben für ein Walking-Training möglich sind.

Vergleicht man den mittleren Herzfrequenzverlauf der drei Walking-Dauerbelastungen, so liegen die Probanden bei V_{70} unterhalb und bei V_{80} und V_{90} innerhalb des günstigen Herzfrequenzreservebereichs. V_{80} entspricht 72 Prozent der maximalen bei der Fahrradergometrie gemessenen Herzfrequenz (HF_{peak}) und bei V_{90} erreichen die Teilnehmer mit durchschnittlich 88 Prozent HF_{peak} den oberen Grenzbereich. Bei V_{80} liegen alle Probanden oberhalb der Mindestintensität laut ACSM (1998) von 65 Prozent HF_{peak} . Da die tatsächliche maximale Herzfrequenz (HF_{max}) in der Regel aber nur durch Laufbelastungen erreicht werden kann (Kindermann 1987b) und fünf bis zehn Prozent oberhalb der anhand der Fahrradergometrie ermittelten HF_{max} liegt (Hollmann/Hettinger 1990), wird hier die Bezeichnung HF_{peak} gewählt. Danach würden die Gesundheitssportler bei V_{80} gerade noch eine adäquate Trainingsintensität erreichen. Allerdings ist unklar, ob es sich bei der in den ACSM-Empfehlungen aufgeführten Angaben der maximalen Herzfrequenz nicht auch z. T. um peak-Werte handelt, da in den zugrundeliegenden Studien nicht immer Belastungsverfahren gewählt wurden, die eine Messung der tatsächlichen maximalen HF_{max} ermöglichen. Zum Teil wird die maximale Herzfrequenz auch lediglich nach der Faustformel 220 minus Lebensalter berechnet (s. S. 31).

Bei den Männern und Frauen ist die Herzfrequenz im Mittel bei V_{80} ähnlich und kennzeichnet für beide Geschlechter einen vergleichbaren Intensitätsbereich von 62 bzw. 64 Prozent $\dot{V}O_{2peak}$ (s. S. 70).

Als zusätzliche Orientierung wurde die Ausdauerleistungsgrenze (ALG) nach Hagberg/Coyle (1983) bestimmt (s. S. 39). Zwischen der interpolierten Herzfrequenz an der ALG ($131 \pm 14 \text{ min}^{-1}$; 76 % HF_{peak}) und bei V_{80} ($124 \pm 9 \text{ min}^{-1}$; 72 % HF_{peak}) besteht ein mäßiggradiger Zusammenhang ($r = 0,62$, $p < 0,05$).

Bei den Frauen liegt die Herzfrequenz an der ALG deutlich höher als bei den Männern (♂ : 71 %, ♀ : 80 % HF_{peak} ; $p < 0,05$).

Das Herzfrequenzverhalten bei V_{80} und an der ALG entspricht zwar im Mittel etwa der Herzfrequenz an der Faustformel *180 minus Lebensalter*, die in der Lite-

ratur zur Intensitätssteuerung für das Walking empfohlen wird (Schmidt 1994). Der fehlende statistische Zusammenhang und die zum Teil extremen Abweichungen der Einzelwerte verdeutlichen jedoch die eingeschränkte Nutzbarkeit solcher Trainingsempfehlungen (s. Abb. 29, S. 71).

Das mittlere Herzfrequenzverhalten an der ALG bei der Fahrradergometrie und beim Walking zeigt einen annehmbaren Zusammenhang ($r = 0,73$, $p < 0,01$). Bei der Vorgabe von Trainingsherzfrequenzen abgeleitet aus der Fahrradergometrie ist allerdings zu beachten, dass aufgrund der absoluten Differenz von 13 min^{-1} und der im Einzelfall hohen Abweichungen von bis zu 21 min^{-1} deutliche Diskrepanzen möglich sind. Auch die maximale Herzfrequenz ($r = 0,70$, $p < 0,01$) und das Herzfrequenzverhalten bei $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ Laktat ($r = 0,55$, $p < 0,05$) bei der Fahrradergometrie und beim Walking-Stufentest korrelieren signifikant, allerdings weniger eng.

Die Laktatkonzentration bei V_{70} deutet ebenfalls auf eine zu geringe Belastungsintensität hin. Der deutliche Laktatanstieg ($3,9 \pm 2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) bei V_{90} lässt auf eine intensive körperliche Beanspruchung schließen. Die mittlere Laktatkonzentration bei 80prozentiger Geschwindigkeit ($1,8 \pm 0,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) und an der Ausdauerleistungsgrenze beim Walking ($2,0 \pm 0,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) ist im Mittel vergleichbar und liegt etwa im Bereich eines extensiven Ausdauertrainings. Das Laktat bei V_{80} lag im Mittel bei den Männern lediglich tendenziell höher als bei den Frauen. Interpoliert bei $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ Laktat lagen alle Probanden oberhalb von 50 und 13 Probanden oberhalb von 60 Prozent $\dot{V}O_{2\text{peak}}$, so dass die Orientierung an dieser fixen Laktatkonzentration für Intensitätsvorgaben für das Walking mit Gesundheitssportlern geeignet ist.

Die in dieser Studie gemessenen Katecholaminkonzentrationen unterscheiden sich nicht signifikant bei den drei gewählten Intensitätsstufen beim Walking. Vergleicht man die Maximalwerte von Noradrenalin und Adrenalin mit den früher erhobenen Werten bei einem Kraftausdauerzirkel bei Patienten einer ambulanten Herzsportgruppe (Noradrenalin $4,2 \pm 1,5 \text{ nmol}\cdot\text{l}^{-1}$, Adrenalin $0,9 \pm 0,3 \text{ nmol}\cdot\text{l}^{-1}$; Urhausen et al. 2000), so liegen die erreichten Werte bei den Walking-Dauerbelastungen etwas höher, was wahrscheinlich durch die dynamische Beanspruchung größerer Muskelgruppen zu erklären ist. Im Vergleich mit einer Studie mit Herzpatienten beim Badminton (Schwarz et al. 1996) liegen die Adrenalinwerte beim Walking-Dauertest etwa gleich bzw. geringfügig niedriger, die Noradrenalinwerte dagegen etwas höher. Dies ist wohl auf die höhere psychisch-konzentrierte Beanspruchung beim Badminton zurückzuführen. Vergleicht man die Stresshormone bei den drei Dauerbelastungen jeweils untereinander, so zeigt sich, dass sowohl die Noradrenalinwerte, als auch die Adrenalinwerte am Ende der 80prozentigen Dauerbelastung tendenziell niedriger liegen als bei 70 und 90 Prozent. Möglicherweise wurde die 70prozentige Belastung

als zu ungewohnt und unnatürlich empfunden, die 90prozentige Belastung dagegen war zu schnell bzw. zu intensiv. So deutet das Verhalten der Katecholamine ebenfalls daraufhin, dass 80 Prozent der maximalen Intensität den günstigeren Trainingsbereich darstellt. Bei dieser Geschwindigkeit wurden bezüglich der Katecholamine keine geschlechtspezifischen Unterschiede gemessen.

Die Sauerstoffaufnahme liegt bei V_{70} ebenso wie die Herzfrequenz unterhalb der Mindestintensität und bei V_{90} an der oberen Grenze des trainingsgünstigen Bereiches. Die Walking-Dauerbelastung bei V_{80} entspricht im Mittel ca. 63 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme bei der Fahrradergometrie ($\dot{V}O_{2peak}$). Bei der Einzelbetrachtung liegen lediglich neun der 16 Probanden oberhalb von 60 Prozent $\dot{V}O_{2peak}$ bzw. 50 Prozent VO_{2R} . Zudem handelt es sich bei der in der vorliegenden Untersuchung gemessenen maximalen Sauerstoffaufnahme auf dem Fahrradergometer wie schon bei der Herzfrequenz um „peak-Werte“ (Meyer/Kindermann 1999), d. h. die reale maximale Sauerstoffaufnahme, beim Laufen gemessen, liegt um ca. 10-15 Prozent (Foster 1983; Kindermann 1987) höher, so dass die Gesundheitssportler mit 80 Prozent der maximal im Walking-Stufentest erreichten Geschwindigkeit analog der Herzfrequenz im Mittel gerade noch im günstigen Intensitätsbereich liegen würden. Hier gelten die gleichen Unklarheiten, wie schon bei der Betrachtung des Herzfrequenzverhaltens erwähnt (s. S. 117). Bei V_{80} und V_{ALG} (83 % V_{max}) lag die Sauerstoffaufnahme bei den Männern absolut betrachtet signifikant höher als bei den Frauen, prozentual zur $\dot{V}O_{2peak}$ allerdings in einem vergleichbaren Bereich (V_{80} : 62 bzw. 64 %; V_{ALG} : 66 bzw. 64 % $\dot{V}O_{2peak}$).

Der Kalorienverbrauch entspricht nach Morris/Hardmann (1997) bei Personen mit ca. 70 kg Körpergewicht unabhängig von Alter und Geschlecht beim Walking in der Ebene bei einer Geschwindigkeit von $6,4-8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ca. $25-36 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$. Die in dieser Studie gefundenen Ergebnisse [V_{70} ($5,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) = $24,8 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ (ca. 5,2 MET), V_{80} ($6,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) = $31,0 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ (ca. 6,3 MET), V_{90} ($7,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) = $40,8 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ (ca. 9,4 MET)] lagen etwa in diesem Bereich bzw. geringfügig oberhalb. Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, dass die Sauerstoffmessungen in dieser Studie auf dem Laufband erfolgten. Murray et al. (1985) fanden bei einer Walking-Geschwindigkeit von ca. $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ auf dem Laufband eine signifikant höhere Herzfrequenz (im Mittel ca. acht Prozent) als auf der Bahn bzw. im Gelände.

Pollock et al. (1971) haben bei 40-56jährigen Männern für einen Geschwindigkeitsbereich zwischen $6,8-7,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ einen Energieverbrauch von $28,3-36,5 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ gemessen, was in etwa dem Kalorienumsatz dieser Studie entspricht. Das ACSM (1998) gibt bei einer Intensität von 40-84 Prozent der maximalen Sauerstoffreserve für 40-64jährige Personen einen Energieverbrauch von 4,0-8,4 MET, was ebenfalls etwa mit den Ergebnissen dieser Untersuchung überein-

stimmt. Dickhuth/Schlicht (1997) empfehlen lediglich eine Intensität von 4-5 MET um die körperliche Leistungsfähigkeit zu erhöhen, was in etwa den Empfehlungen des ACSM für 40-64jährige Personen (4-5,9 MET) bei nur moderater Intensität entspricht. Der Energieverbrauch lag absolut betrachtet bei den Männern um etwa ein Drittel höher als bei den Frauen, was wohl primär auf das um 19 Prozent höhere Körpergewicht zurückzuführen ist.

Ein weiterer Parameter, der für V_{80} als adäquate Belastungsintensität spricht, ist der subjektive Anstrengungsgrad, der im Mittel auf der Borg-Skala mit 12 ± 2 („recht leicht“ bis „etwas schwer“) angegeben wurde. Dishman (1994) empfiehlt bei 65 ± 10 Prozent $\dot{V}O_{2peak}$ einen subjektiven Anstrengungsgrad von $11,6 \pm 2,2$, was in etwa den Ergebnissen dieser Studie entspricht. Spelman et al. (1991) geben im Mittel einen subjektiven Anstrengungsgrad von „recht leicht“ (Borg-Skala 11) für ein Walking-Training mit 50 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme an. Bös/Schott (1997) empfehlen aus gesundheitsorientierter Sicht einen subjektiven Anstrengungsgrad bis „etwas schwer“ (Borg-Skala 13), um noch vorwiegend im aeroben Intensitätsbereich zu trainieren. Obwohl der subjektive Anstrengungsgrad im Mittel plausibel erscheint, ist er als trainingssteuernder Parameter beim Walking im Einzelfall recht ungenau (Abb. 39, 40, 41, S. 81-82) und kann nur zur groben Orientierung dienen. Die 90prozentige Walking-Dauerbelastung wurde auch subjektiv mit Angaben bis zu „sehr, sehr schwer“ zu intensiv eingeschätzt (Borg-Skala 19).

Zusätzlich traten bei der höchsten Belastungsintensität orthopädische Beschwerden auf, wobei hauptsächlich Schmerzen in der prätibialen Muskulatur zu beobachten waren. Die starke Beanspruchung dieser Muskelgruppe bei hoher Geschwindigkeit führt zu einem Druckanstieg in den entsprechenden Muskellagen. Die daraus resultierenden ischämischen Reaktionen bezeichnet man auch als Tibialis-anterior-Syndrom (s. Kap. 2.1.3). Obwohl die Beschwerden nach Belastungsabbruch meist rasch wieder zurückgehen (Schultz 1988), sollten Beanspruchungen über die Schmerzgrenze hinaus vermieden werden, da in der Literatur auch irreversible Schäden wie neurologische Störungen und Muskelnekrosen beschrieben sind (Bäumer 1988; Jerosch et al. 1989).

Schlussfolgernd lässt sich festhalten:

- Gesundheitssportler wählen beim Walking ohne Geschwindigkeitsvorgabe zwar im Mittel eine adäquate Intensität für ein Herz-Kreislauftraining. Die Streubreite der einzelnen Parameter zeigt jedoch, dass auch Über- und Unterforderungen möglich sind und somit Trainingsempfehlungen sinnvoll sind. *Hypothese 8a* (S. 63) kann also nur eingeschränkt angenommen werden.

- Trainierte Walker können hohe Geschwindigkeitsbereiche von über $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten. Somit ist *Hypothese 8b* (S. 63) angenommen.
- Eine Walking-Dauerbelastung mit 70 Prozent der im Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit führt bei im Mittel 55jährigen Personen zu einer zu niedrigen Beanspruchung.
- Obwohl das Verhalten der Herzfrequenz und der Sauerstoffaufnahme bei einer Walking-Dauerbelastung mit 90 Prozent der maximalen Geschwindigkeit im Mittel noch am oberen Limit des trainingsgünstigen Bereiches liegt, wird von den Gesundheitssportlern diese Intensität subjektiv als zu intensiv eingestuft. Zusätzlich treten gehäuft koordinative Probleme und muskuläre Beschwerden auf.
- Ein Walkingtraining mit 80 Prozent der im Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit stellt, sowohl unter Zugrundelegen der objektiven Beanspruchung als auch der subjektiven Einschätzung, den günstigsten der untersuchten Intensitätsbereiche dar. Die Intensität entsprach im Mittel 63 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme und 73 Prozent der maximalen Herzfrequenz bei der Fahrradergometrie, so dass von einem ausreichenden Trainingsreiz bei den meisten Gesundheitssportlern im mittleren bis höheren Lebensalter ausgegangen werden kann. Die 80prozentige Intensität beim Walking stellt einen adäquaten Kompromiss zwischen der technischen Realisierbarkeit und den aus sportmedizinischer Sicht zu fordernden Kriterien dar. *Hypothese 9* (S. 63) ist somit bestätigt.
- Die Frauen erreichen maximal bzw. bei V_{80} eine um elf und an der ALG eine um acht Prozent niedrigere Geschwindigkeit und jeweils absolut betrachtet eine entsprechend geringere Sauerstoffaufnahme als die Männer. In Relation zur maximal gemessenen Sauerstoffaufnahme besteht allerdings kein Unterschied. Bei V_{80} unterscheiden sich die übrigen Parameter bei beiden Geschlechtern nicht signifikant. An der ALG liegt die Herzfrequenz bei den Frauen deutlich höher als bei den Männern (♂ : 71 % HF_{peak} , ♀ : 80 % HF_{peak} ; $p < 0,05$).
- Darüber hinaus kann als Orientierung für Trainingsempfehlungen die Geschwindigkeit an der Ausdauerleistungsgrenze oder bei einer Laktatkonzentration von $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ beim Walking mit Gesundheitssportlern herangezogen werden. *Hypothese 10* (S. 63) kann also bestätigt werden.
- Die Herzfrequenzfaustformel *180 minus Lebensalter* kann zur Intensitätssteuerung für ein Walking-Training nur als sehr grobe Orientierungsmöglichkeit betrachtet werden und ist im Einzelfall nicht zu verwenden (s. Abb. 29, S. 71).

- Der subjektive Anstrengungsgrad bei V_{80} entspricht im Mittel ebenfalls den Empfehlungen der Literatur für ein entsprechend dosiertes Walkingtraining. Aber auch hier besteht kein Zusammenhang mit anderen Parametern, insbesondere mit dem Laktatverhalten, so dass exakte Trainingsvorgaben alleine mittels subjektivem Anstrengungsgrad im Einzelfall kaum möglich sind.
- Das Herzfrequenzverhalten an der Ausdauerleistungsgrenze bei der Fahrradergometrie und beim Walking ist im Mittel ähnlich und korreliert untereinander signifikant. Bei der Vorgabe von Trainingsherzfrequenzen anhand der Fahrradergometrie ist aber, wie schon in der vorangegangenen Untersuchung, zu beachten, dass im Einzelfall deutliche Diskrepanzen möglich sind und nur eine grobe Orientierung möglich ist. *Hypothese 11* (S. 63) kann also nur zum Teil als verifiziert angesehen werden.

4.5 Walking mit leistungsfähigeren Freizeitsportlern

In bisherigen Untersuchungen wurde Walking als Ausdauertrainingsform beschrieben, die sich vor allem für Sport-Neu- bzw. Wiedereinsteiger und Personen mit Übergewicht bzw. orthopädischen Beeinträchtigungen eignet (Morris/Hardmann 1997; Rippe et al. 1988). Auch in dieser Untersuchungsreihe zeigen die Ergebnisse, dass Herzpatienten und Gesundheitssportler durch Walking eine ausreichende Trainingsintensität erreichen. Die meisten leistungsfähigeren Freizeitsportler erzielten beim Walking-Stufentest zwar ebenfalls eine entsprechende Intensität, mussten allerdings dazu höhere Geschwindigkeitsbereiche wählen, die häufig zu technischen Problemen bei der Bewegungsausführung und muskulären Beschwerden führten. Ziel dieser Studie war es deshalb, anhand von Walking-Dauerbelastungen zu überprüfen, ob auch jüngere, leistungsfähigere Personen beim Walking eine ausreichende Trainingsintensität erreichen. Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob sich auch hier, basierend auf einem Walking-Stufentest bzw. anhand der Fahrradergometrie Trainingsempfehlungen für eine Walking-Dauerbelastung ableiten lassen.

Analog der vorangegangenen Studie wurde eine Intensität von 50-85 Prozent der Herzfrequenz- bzw. Sauerstoffreserve oder mindestens 65 Prozent der maximalen Herzfrequenz bzw. 60 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme als Zielbereich für ein wirksames Ausdauertraining festgelegt (ACSM 1998).

Vergleicht man den Herzfrequenzverlauf der drei Walking-Dauerbelastungen, so liegen die Probanden bei V_{80} unterhalb des trainingswirksamen Bereiches. Die Teilnehmer erreichen im Mittel lediglich 47 Prozent der Herzfrequenzreserve. Bei der selbstgesteuerten und bei der 90prozentigen Dauerbelastung liegt die Herzfrequenz im Mittel im trainingswirksamen Bereich (56 bzw. 59 % HF_R). Bei V_{80} und V_{SB} zeigten sich keine geschlechtsspezifischen Unterschiede. Lediglich

bei V_{90} lag die Herzfrequenz bei den Frauen um sieben Prozent signifikant höher als bei den Männern.

Obwohl das Herzfrequenzverhalten an der Ausdauerleistungsgrenze bei der Fahrradergometrie und beim Walking einen signifikanten Zusammenhang zeigt, ist bei der Vorgabe von Trainingsherzfrequenzen aus der Fahrradergometrie zu beachten, dass im Einzelfall deutliche Diskrepanzen möglich sind, die bis zu 33 min^{-1} betragen können. Insofern kann auch hier die Fahrradergometrie nur als grobe Orientierung für Trainingsempfehlungen beim Walking dienen.

Auch hier konnte zwischen dem Herzfrequenzverhalten bei V_{SB} , V_{90} sowie an der ALG und der Herzfrequenz an der Faustformel *180 minus Lebensalter* bei den 16 Probanden keine Beziehung gefunden werden. Der größere Stichprobenumfang durch die Miteinbeziehung der Gesundheitssportler der vorangegangenen Studie führte zu einem signifikanten (geringen) Zusammenhang. Dennoch zeigten auch hier die deutlichen Differenzen der Einzelwerte, dass solche Trainingsempfehlungen nur zur groben Orientierung dienen können (s. Abb. 57, S. 101).

Die mittlere Laktatkonzentration lag bei der selbstgesteuerten Belastung und V_{90} jeweils in einem für ein Ausdauertraining üblichen Intensitätsbereich zwischen 2 und $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Kindermann 1982). Im Einzelfall wurden aber auch Laktatanstiege bis zu $8,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ gemessen, was zeigt, dass auch beim Walking eine hohe metabolische Beanspruchung möglich ist. Die mittlere Laktatkonzentration ($1,4 \pm 0,4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) bei V_{80} deutet auf eine zu geringe Belastungsintensität für ein Ausdauertraining hin. Die interpolierte prozentuale Sauerstoffaufnahme bei $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ Laktat lag im Gegensatz zu den Gesundheitssportlern bei neun Probanden unterhalb von 60 Prozent, so dass bei leistungsfähigeren Personen eher Laktatkonzentrationen von 2,5 bzw. $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ Laktat als Orientierung dienen sollten. Geschlechtsspezifische Unterschiede wurden hier nicht gefunden.

Die Sauerstoffaufnahme bei V_{80} lag ebenfalls unterhalb des günstigen Intensitätsbereiches ($44 \% \dot{V}O_{2R}$). Die selbstgewählte Belastung und V_{90} lagen innerhalb des trainingsgünstigen Bereiches und entsprachen einer maximalen Sauerstoffaufnahme oberhalb von 60 Prozent (65 bzw. $69 \% \dot{V}O_{2peak}$). Allerdings ist zu beachten, dass es sich nicht um die tatsächliche maximale Sauerstoffaufnahme sondern um einen sogenannten „peak“-Wert ($\dot{V}O_{2peak}$) handelt. Aber auch bei Berücksichtigung einer Differenz von ca. zehn Prozent zur $\dot{V}O_{2max}$ wird die untere Grenze ($50 \% \dot{V}O_{2R}$) sowohl beim selbstgesteuerten Dauertest, als auch bei V_{90} nicht unterschritten, so dass hier von einer ausreichenden Intensität ausgegangen werden kann. Auch hier zeigten sich bei V_{80} und V_{SB} unabhängig vom Körpergewicht bei nahezu identischer Leistungsfähigkeit keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Lediglich bei V_{90} lag die Sauerstoffaufnahme bei den Frauen um neun Prozent höher als bei den Männern.

Bei leistungsfähigeren jüngeren Freizeitsportlern entspricht der Kalorienverbrauch nach Morris/Hardmann (1997) beim Walking in der Ebene in einem Geschwindigkeitsbereich von $7,5-9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ca. 30-45 Kilojoule pro Minute. Die in dieser Studie gefundenen Ergebnisse [$7,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} = 33,9 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ (ca. 6,9 MET), $8,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} = 44,6 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ (ca. 9,1 MET) $8,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} = 46,2 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ (ca. 9,4 MET)] liegen auch bei dieser Studie etwa in diesem Bereich bzw. geringfügig oberhalb, was wie schon in der vorangegangenen Studie auf die Laufbandbelastungen zurückzuführen ist. Das ACSM (1998) gibt bei einer Intensität von 55-69 Prozent der maximalen Herzfrequenz für 20-39jährige Personen einen Energieverbrauch von 4,8-7,1 MET und bei höherer Intensität (70-89 % HF_{max}) 7,2-10,1 MET an, was ebenfalls etwa mit den Ergebnissen dieser Untersuchung übereinstimmt. Der Energieverbrauch lag absolut betrachtet bei den Männern um etwa ein Drittel höher als bei den Frauen, was vermutlich auch hier primär auf das um 24 Prozent höhere Körpergewicht zurückzuführen ist.

Bei den Einzelfallbetrachtungen wurden zwei Probanden miteinander verglichen, die beim Walking-Stufentest die gleiche maximale und gleichzeitig höchste Geschwindigkeit von allen Teilnehmern erreichten ($10,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) aber eine deutlich unterschiedlich hohe maximale Laktatkonzentration (Proband A: $8,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$; Proband B: $2,9 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) aufwiesen. Proband B absolvierte ein regelmäßiges Lauftraining und war deshalb wesentlich leistungsfähiger als Proband A. Es war ihm nicht möglich, mit korrekter Walkingtechnik eine entsprechend hohe Ausbelastung zu erreichen. Proband A erreichte bei einer Geschwindigkeit von $9,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ im Dauertest eine Laktatkonzentration von $7,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, während Proband B lediglich bei $2,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ lag. Das vergleichsweise hohe Körpergewicht von Proband A ist hier zusätzlich zu berücksichtigen.

Insgesamt betrachtet konnten sich beide Probanden aufgrund Ihrer guten Technik beim Walking-Stufentest hoch ausbelasten. Bei Proband B lag aufgrund des guten Trainingszustandes die Belastungsintensität bei gleich hoher Geschwindigkeit deutlich niedriger. Dieses Beispiel verdeutlicht den Nachteil, den von Maximaltests abgeleitete prozentuale Empfehlungen gegenüber submaximalen Parametern, wie z. B. Laktatschwellen haben, die weniger von der maximalen Ausbelastung abhängig sind (Meyer/ Kindermann 1999), allerdings als „blutige“ Verfahren wiederum einen höheren Aufwand erfordern.

Bezüglich des subjektiven Anstrengungsgrades wurde die 80prozentige Belastung von den Teilnehmern als „recht leicht“ (Borg-Skala 11) eingestuft. Beim Dauertest mit selbstgesteuerter Geschwindigkeit gaben die Teilnehmer „etwas schwer“ bis „schwer“ an (Borg-Skala 14). Die Probanden wählten dabei freiwillig, trotz muskulärer Beschwerden, einen ausreichend intensiven Trainingsbereich, der im Mittel genau der Geschwindigkeit an der Ausdauerleistungsgrenze entsprach.

Eine Studie von Spelman et al. (1993) mit 35jährigen Walkern zeigte ebenfalls, dass bei selbstbestimmter Geschwindigkeit im Mittel noch eine ausreichende Intensität für ein Ausdauertraining gewählt wird. Allerdings weisen die Streuungen, wie schon bei der Pilotstudie im Rahmen der vorangegangenen Untersuchung mit den Gesundheitssportlern daraufhin, dass auch beim Walking Intensitätsvorgaben sinnvoll sind. Außerdem besteht kein Zusammenhang zwischen den Laktat- und den Borg-Werten (s. Abb. 54, S. 97), was die eingeschränkte Nutzbarkeit des subjektiven Anstrengungsgrades als trainingssteuernder Parameter unterstreicht.

Die „unfreiwillige“ Belastung mit V_{90} wurde als „schwer“ bis „sehr schwer“ (Borg-Skala 16) empfunden. Diese Angaben sind sicherlich durch die zeitweise aufgetretenen intensiven orthopädischen Beschwerden mitbeeinflusst. Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern wurden nicht gefunden.

Schrittlänge und -frequenz beim Gehen werden durch die Geschwindigkeit, durch die Körperhöhe und Beinlänge bzw. durch das Verhältnis zwischen Rumpf- und Beinlänge beeinflusst (Bauer 1992; Schultz 1988). Folglich ist bei der Vorgabe von Schrittfrequenzen für ein Walking-Training zu beachten, dass diese je nach Körpergröße und Beinlänge stark variieren können. Inwiefern eine Steigerung der Schrittfrequenz beim Gehen und Laufen bei gleicher metabolischer Beanspruchung einen Anstieg der ventilatorischen Parameter bewirkt, wird in der Literatur uneinheitlich beschrieben (Berry et al. 1988).

Die Schrittfrequenz bei dem selbstgesteuerten Test (147 min^{-1}) und V_{90} (152 min^{-1}) war in etwa identisch. Die Probanden verkürzten beim Auftreten der prätibialen Schmerzen die Schrittlänge und erhöhten dementsprechend die -frequenz um ca. fünf bis zehn Prozent, um die Schienbeinmuskulatur weniger stark zu beanspruchen und somit die muskulären Beschwerden zu minimieren. Bei hoher Schrittfrequenz traten teilweise technische Problemen bei der Bewegungsausführung (z. B. Stolpern) auf. Hess (1991) betont, dass sich im Zustand der sich entwickelnden bzw. fortschreitenden Ermüdung im Allgemeinen die Bewegungsparameter Schrittlänge und -frequenz ändern. Dabei ist die Verkürzung der Schrittlänge ein deutlicher Hinweis auf den Grad der Ermüdung. Zur Aufrechterhaltung der aktuellen Gehgeschwindigkeit muss die Schrittfrequenz ausgleichend erhöht werden. Bei der „beschwerdefreien“ V_{80} lag die Schrittfrequenz mit 135 min^{-1} deutlich niedriger und blieb während der gesamten Belastungsdauer konstant. Trotz einer bei V_{80} und V_{90} um ca. sieben Prozent höheren Geschwindigkeit bei den Männern, wurden bezüglich der Schrittfrequenz keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede gefunden, was auf die größere Schrittlänge der Männer zurückzuführen ist.

Die Atemfrequenz differierte zwischen den drei Geschwindigkeitsbereichen um acht bzw. neun Prozent deutlich und korrelierte bei V_{SB} und V_{90} mit der Sauer-

stoffaufnahme, so dass die Atemfrequenz ebenfalls als trainingsteuernder Parameter möglich scheint. Freizeitsportler müssten demnach im Mittel mit einer Geschwindigkeit walken, die einer Atemfrequenz von ca. 35 min^{-1} (pro Atemzug ca. vier Schritte) entspricht, um eine effektive Trainingsintensität zu erreichen.

Die erwähnten mit zunehmender Geschwindigkeit gehäuft vorkommenden orthopädischen Beschwerden betrafen wie schon in der vorangegangenen Studie hauptsächlich die Schienbeinmuskulatur, da diese beim schnellen Gehen ungewohnt hoch beansprucht wird. Die Ursache hierfür lässt sich im Aufbau der Muskulatur des Unterschenkels finden, die von einer nicht dehnbaren Faszie umgeben ist, so dass die beanspruchte Muskulatur unter Belastung keine Möglichkeit zur weiteren Ausdehnung hat. Die dadurch entstehende Druckerhöhung in diesem Bereich führt zu einer Mangeldurchblutung und somit zu einer ungenügenden Sauerstoffversorgung, was letztendlich die muskulären Beschwerden verursacht (vgl. Kap. 2.1.3).

Bereits in der vorangegangenen Untersuchung wurden diese Beschwerden bei den Gesundheitssportlern bei der höchsten Belastungsintensität ($7,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) beobachtet. In dieser Studie traten die Beschwerden bei den Freizeitsportlern erstmals bei einer Geschwindigkeit von im Mittel $8,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ auf.

Insgesamt betrachtet scheint Walking bei einer Geschwindigkeit unterhalb von $7,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ für die meisten Freizeit- und Gesundheitssportler beschwerdefrei möglich zu sein. Allerdings erweist sich in dieser Untersuchung eine Intensität von im Mittel $7,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ für besser trainierte Probanden als zu niedrig, um eine entsprechende Trainingsintensität zu erreichen.

Schlussfolgernd lässt sich festhalten:

- Walking mit 80 Prozent der im Stufentest erreichten maximalen Geschwindigkeit führt bei jüngeren, leistungsfähigeren Freizeitsportlern (im Gegensatz zu Gesundheitssportlern im mittleren bzw. höheren Lebensalter) zu einem zu geringen Trainingsreiz für ein effektives Ausdauertraining.
- Bei 90 Prozent der maximalen Geschwindigkeit im Stufentest und beim selbstgesteuerten Test (im Mittel bei 87,1 Prozent der maximalen Geschwindigkeit) erreichen die Probanden eine zwar ausreichende Trainingsintensität, allerdings treten dabei gehäuft Beschwerden auf. Walking ist zumindest in der Ebene somit für leistungsfähigere Personen (♀: ab ca. $3,0 \text{ Watt}\cdot\text{kg}^{-1}$, ♂: ab ca. $3,5 \text{ Watt}\cdot\text{kg}^{-1}$, bei der Fahrradergometrie) keine primär geeignete Ausdauertrainingsform. Somit muss *Hypothese 12* (S. 87) abgelehnt werden.
- Die Probanden wählen bei selbstbestimmter Geschwindigkeit, trotz muskulärer Beschwerden, einen günstigen Intensitätsbereich, der im Mittel genau der Ausdauerleistungsgrenze entspricht. Da die Intensität zwar ausreichend,

aber die Beschwerdefreiheit nicht gegeben ist, muss auch *Hypothese 13* (S. 87) abgelehnt werden. Die Herzfrequenz-Faustformel *180 minus Lebensalter* und der subjektive Anstrengungsgrad können zur Intensitätssteuerung für ein Walkingtraining nur als sehr grobe Orientierungsmöglichkeit betrachtet werden.

- Zwischen der Herzfrequenz an der Ausdauerleistungsgrenze beim Walking und bei der Fahrradergometrie besteht auch bei diesem Probandengut ein signifikanter Zusammenhang. Allerdings ist bei der Vorgabe von Trainingsherzfrequenzen anhand der Fahrradergometrie auch hier zu beachten, dass im Einzelfall deutliche Diskrepanzen auftreten können, so dass nur orientierende Vorgaben möglich sind. Entsprechend den vorangegangenen Untersuchungen ist, trotz des signifikanten Zusammenhanges, aufgrund der hohen Abweichungen *Hypothese 14* (S. 87) nur eingeschränkt gültig.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Zielsetzung dieser Arbeit war es, anhand einer Untersuchungsreihe bestehend aus vier Teilstudien die Eignung von Walking als Ausdauertrainingsform bei unterschiedlich leistungsfähigen Personen zu untersuchen und praxisrelevante Empfehlungen für die Belastungsempfehlungen des Walking zu formulieren.

Studie I: Vergleich des Beanspruchungsprofils beim Walking, Jogging und Radfahren während stufenweise ansteigender Testverfahren bei Freizeit- und Gesundheitssportlern

In der ersten Studie wurde bei gesunden, leistungsfähigeren Freizeit- und Gesundheitssportlern die metabolische und kardiozirkulatorische Beanspruchung beim Walking und Jogging unter Berücksichtigung des individuellen Trainingszustandes verglichen. Darüber hinaus wurde untersucht, inwieweit Intensitätsempfehlungen in Form von Herzfrequenzvorgaben aus der Fahrradergometrie mit den Ergebnissen im Walking-Stufentest übereinstimmen.

Elf Gesundheitssportler (Alter: 51 ± 11 Jahre, maximale Leistungsfähigkeit: $2,7 \pm 0,6$ Watt·kg⁻¹) und 13 Freizeitsportler (Alter: 26 ± 3 Jahre, maximale Leistungsfähigkeit: $4,5 \pm 0,6$ Watt·kg⁻¹) absolvierten jeweils einen Walking- und Jogging-Feldstufentest bis zur subjektiven Erschöpfung.

Die Herzfrequenz und die Laktatkonzentration lagen maximal und an der Ausdauerleistungsgrenze bei den Freizeitsportlern und bei den Gesundheitssportlern beim Walking deutlich niedriger als beim Jogging. Die Parameter zeigten keine geschlechtsspezifischen Unterschiede. Das Herzfrequenzverhalten an der Ausdauerleistungsgrenze beim Walking und bei der Fahrradergometrie zeigte einen hochsignifikanten Zusammenhang, allerdings mit im Einzelfall deutlichen Abweichungen (bis zu 17 min^{-1}).

Walking ist zwar bei maximaler und Ausdauerbelastung kardiozirkulatorisch und metabolisch weniger beanspruchend als Jogging, dennoch erreichen an der Ausdauerleistungsgrenze beim Walking alle Probanden einen trainingseffektiven Bereich oberhalb von 65 Prozent der maximalen Herzfrequenz. Die Freizeitsportler müssen dazu allerdings mit einer deutlich höheren Geschwindigkeit walken als die Gesundheitssportler, was gehäuft zu technischen Schwierigkeiten bzw. zu orthopädischen Beschwerden führt. Die Vorgabe von Trainingsherzfrequenzen anhand der Fahrradergometrie ist nur eingeschränkt möglich, da im Einzelfall deutliche Diskrepanzen gemessen wurden.

Studie II: Kardiovaskuläre Beanspruchung beim Walking und Jogging in der ambulanten Bewegungstherapie mit Herzpatienten

In der zweiten Untersuchung wurde bei Herzpatienten überprüft, ob Walking als Ausdauertrainingsform alternativ zum Jogging geeignet ist.

Dazu absolvierten 13 männliche Herzpatienten (Alter: 56 ± 9 Jahre, beschwerdefreie fahrradergometrische Leistungsfähigkeit: $1,9 \pm 0,3$ Watt \cdot kg $^{-1}$) jeweils eine 20minütige Walking- und Jogging-Dauerbelastung. Beim Walking lagen die Herzfrequenz und die Laktatkonzentration im trainingsgünstigen Bereich. Auch die Adrenalin- und Noradrenalinwerte lagen beim Walking in einem für Dauerbelastungen an der Ausdauerleistungsgrenze üblichen Bereich. Beim Jogging lag die Herzfrequenz, trotz wiederholter verbaler Intervention bei Überschreitungen der individuellen Intensitätsvorgabe und der Möglichkeit der eigenständigen Kontrolle durch ein Pulsmeßgerät signifikant oberhalb der Trainingsherzfrequenz. Auch die Laktatkonzentration lag signifikant über dem Wert an der Trainingsherzfrequenz. Für die Herzfrequenz sowie für die Laktatkonzentration ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen Walking und Jogging. Hinsichtlich der Katecholamine konnte kein signifikanter Unterschied zum Walking ermittelt werden.

Die Patienten erreichen durch Walking eine ausreichende Belastungsintensität für ihr Ausdauertraining und können diese gleichzeitig besser dosieren als beim Jogging. Walking stellt somit für die ambulante Bewegungstherapie mit Herzpatienten, sowohl für das Training in der Herzsportstunde aber auch insbesondere für ein eigenverantwortliches Ausdauertraining, eine geeignete Bewegungsform dar und ist häufig besser geeignet als Jogging.

Studie III: Trainingsempfehlungen für das Walking mit Gesundheitssportlern

In der dritten Studie sollte überprüft werden, ob sich, basierend auf der maximal erreichten Geschwindigkeit im Walking-Stufentest, auch ohne Laktatdiagnostik praxisrelevante Trainingsempfehlungen für das Walking mit Gesundheitssportlern ableiten lassen. Darüber hinaus sollte auch hier untersucht werden, inwieweit anhand der Fahrradergometrie Empfehlungen für ein Walkingtraining möglich sind.

Dazu absolvierten 16 Gesundheitssportler (Alter: 53 ± 9 Jahre, maximale Leistungsfähigkeit: $2,6 \pm 0,6$ Watt \cdot kg $^{-1}$) drei 30minütige Walking-Dauerbelastungen mit unterschiedlicher Intensität (70, 80 und 90 Prozent der maximalen im Walking-Stufentest ermittelten Geschwindigkeit). Bei 70 Prozent der maximalen Geschwindigkeit lagen die Teilnehmer bzgl. der Sauerstoffaufnahme und des Herzfrequenzverhaltens unterhalb der festgelegten Mindestintensität. Die Probanden

erreichten bei 80prozentiger Intensität 65 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2peak}$) bzw. 73 Prozent der maximalen Herzfrequenz (HF_{peak}). Die Frauen walkten maximal bzw. bei V_{80} mit einer um elf Prozent und an der ALG um acht Prozent niedrigeren Geschwindigkeit. Die Sauerstoffaufnahme lag bei den Frauen um 15-20 Prozent niedriger als bei den Männern. Allerdings bestand prozentual in Relation zu $\dot{V}O_{2peak}$ kein Unterschied. Die Laktatkonzentration ($1,8 \pm 0,6$) lag im Mittel ähnlich wie an der Ausdauerleistungsgrenze. ($2,0 \pm 0,4$ $mmol \cdot l^{-1}$) nach Hagberg/Coyle (1983). Bei 90 Prozent der maximalen Geschwindigkeit klagten zwölf Probanden über Schmerzen im Unterschenkelbereich, hauptsächlich der Waden- und Schienbeinmuskulatur. Bei 70 und 80prozentiger Intensität traten keine orthopädischen Beschwerden auf. Das Herzfrequenzverhalten an der Ausdauerleistungsgrenze bei der Fahrradergometrie und beim Walking zeigte auch hier einen signifikanten Zusammenhang mit im Einzelfall deutlichen Abweichungen.

Es lässt sich folgern, dass 70 Prozent der im Walking-Stufentest erreichten maximalen Geschwindigkeit, auch für ein gesundheitssportliches Training, zu einer zu niedrigen Beanspruchung führt. 90 Prozent der maximalen Geschwindigkeit wiederum führt zu muskulären Beschwerden, so dass 80 Prozent sowohl was die objektive Beanspruchung, als auch die subjektive Einschätzung betrifft, die günstigste der untersuchten Intensitätsbereiche darstellt. Es kann angenommen werden, dass die entsprechende Intensität einen ausreichenden Trainingsreiz für Gesundheitssportler im mittleren bis höheren Lebensalter darstellt. Die Vorgabe von Trainingsherzfrequenzen anhand der Fahrradergometrie ist auch hier nur eingeschränkt möglich, da im Einzelfall deutliche Diskrepanzen möglich sind.

Studie IV: Eignung des Walking für leistungsfähigere Freizeitsportler

Nachdem in der vorangegangenen Untersuchung die Eignung von Walking bei Gesundheitssportlern überprüft worden ist, sollte in der vierten Studie untersucht werden, ob sich Walking auch für leistungsfähigere jüngere Personen als mögliche Ausdauertrainingsform eignet.

Dazu absolvierten 16 Freizeitsportler (Alter: $24,4 \pm 1,8$ Jahre, maximale Leistungsfähigkeit: $3,9 \pm 0,5$ $Watt \cdot kg^{-1}$) ebenfalls drei 30minütige Dauerbelastungen mit unterschiedlicher Intensität (80 und 90 Prozent der maximalen im Walking-Stufentest ermittelten Geschwindigkeit sowie mit selbstgewählter Geschwindigkeit). Bei 80prozentiger Geschwindigkeit lagen die Teilnehmer im Mittel unterhalb der festgelegten Mindestintensität. Bei selbstbestimmter Intensität wählten die Probanden im Mittel dieselbe Geschwindigkeit, die für die Ausdauerleistungsgrenze berechnet worden ist. Die Probanden erreichten dabei ebenso wie bei 90 Prozent der maximalen Geschwindigkeit zwar eine noch ausreichende In-

tensität, klagten jedoch vermehrt über vorwiegend muskuläre Schmerzen im Unterschenkelbereich. Das Herzfrequenzverhalten an der Ausdauerleistungsgrenze bei der Fahrradergometrie und beim Walking zeigte auch hier einen signifikanten Zusammenhang mit allerdings ebenfalls starken Abweichungen.

Walking mit 80 Prozent der im Stufentest maximal erreichten Geschwindigkeit führt bei jüngeren, leistungsfähigeren Freizeitsportlern (im Gegensatz zu Gesundheitssportlern im mittleren bzw. höheren Lebensalter) zu einem zu niedrigen Trainingsreiz für ein effektives Ausdauertraining. Die Probanden wählten trotz muskulärer Beschwerden bei selbstgewählter Geschwindigkeit einen günstigen Intensitätsbereich, der im Mittel genau der Ausdauerleistungsgrenze entsprach.

Bei 90 Prozent der maximalen Geschwindigkeit und beim selbstgesteuerten Test (im Mittel 87,1%) erreichten die Probanden eine zwar ausreichende Trainingsintensität, allerdings traten dabei gehäuft Beschwerden auf. Insgesamt betrachtet scheint Walking bei einer Geschwindigkeit unterhalb von $7,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ für die meisten Freizeit- und Gesundheitssportler beschwerdefrei möglich zu sein. Allerdings erwies sich in dieser Untersuchung eine Intensität von im Mittel $7,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ für besser trainierte Personen als zu niedrig, um eine entsprechende Trainingsintensität zu erreichen. Walking ist also für leistungsfähigere Personen (♀: ab ca. $3,0 \text{ Watt}\cdot\text{kg}^{-1}$, ♂: ab ca. $3,5 \text{ Watt}\cdot\text{kg}^{-1}$) keine primär geeignete Ausdauertrainingsform.

Die Herzfrequenz an der Ausdauerleistungsgrenze beim Walking lag im Mittel ca. 10 min^{-1} niedriger als bei der Fahrradergometrie und zeigte einen signifikanten Zusammenhang mit wiederum im Einzelfall deutlichen Abweichungen, so dass auch hier die anhand der Fahrradergometrie abgeleitete Herzfrequenzvorgaben nur zur Orientierung dienen können.

Zusammenfassend lauten die wesentlichen Schlussfolgerungen dieser Untersuchungsreihe wie folgt:

- Die kardiozirkulatorische und metabolische Beanspruchung sowie das subjektive Anstrengungsempfinden sind beim Walking deutlich geringer als beim Jogging (maximal und submaximal). Dabei besteht kein geschlechtsspezifischer Unterschied.
- Gesundheitssportler ohne manifeste Herz-Kreislaufkrankungen können durch Walking überwiegend beschwerdefrei eine adäquate Intensität erreichen.
- Walking führt bei Herzpatienten zu einer ausreichenden Intensität für ein Herz-Kreislauftraining. Aufgrund der Bewegungstechnik ist die Gefahr der Überforderung, im Gegensatz zum Jogging, deutlich geringer. Der subjektive

Anstrengungsgrad ist als trainingssteuernder Parameter für ein Ausdauertraining in der ambulanten Bewegungstherapie mit Herzpatienten ungeeignet.

- Trainingsempfehlungen sind in Form von Geschwindigkeits- oder Herzfrequenzvorgaben orientiert an der Ausdauerleistungsgrenze nach Hagberg/Coyle (1983) oder an einer fixen Schwelle bei 2 mmol l^{-1} Laktat für Gesundheitssportler möglich. Von der Fahrradergometrie abgeleitete Trainingsherzfrequenzvorgaben können nur zur Orientierung dienen.
- Unabhängig von der Laktatdiagnostik sind für die Praxis Trainingsvorgaben abgeleitet von der maximalen Geschwindigkeit zu empfehlen, wobei 80(-85) Prozent der maximal erreichten Geschwindigkeit im Walking-Stufentest den günstigsten Intensitätsbereich für Gesundheitssportler im mittleren bis höheren Lebensalter darstellt. Trainingsempfehlungen abgeleitet von der Faustformel *180 minus Lebensalter* bzw. anhand des subjektiven Anstrengungsgrades [Borg 12 („recht leicht“ bis „etwas schwer“)] sind im Einzelfall zu ungenau.
- Die Frauen walken mit einer (maximal und submaximal) ca. 1 km h^{-1} niedrigeren Geschwindigkeit als die Männer, bei gleicher auf $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ bezogenen prozentualen Sauerstoffaufnahme.
- Im Gegensatz zu einzelnen Angaben in der Literatur erreichen jüngere leistungsfähigere Personen (♀: ab ca. $3,0 \text{ Watt kg}^{-1}$; ♂: ab ca. $3,5 \text{ Watt kg}^{-1}$;) durch Walking nur mit technischen Schwierigkeiten und muskulären Beschwerden verbunden eine adäquate Trainingsintensität, so dass Walking hier keine primär geeignete Bewegungsform darstellt.

Die folgende Abbildung 62 soll den Zusammenhang zwischen der körperlichen Leistungsfähigkeit und der trainingseffektiven Walking-Geschwindigkeit nochmals in Form eines vereinfachten Schemas verdeutlichen.

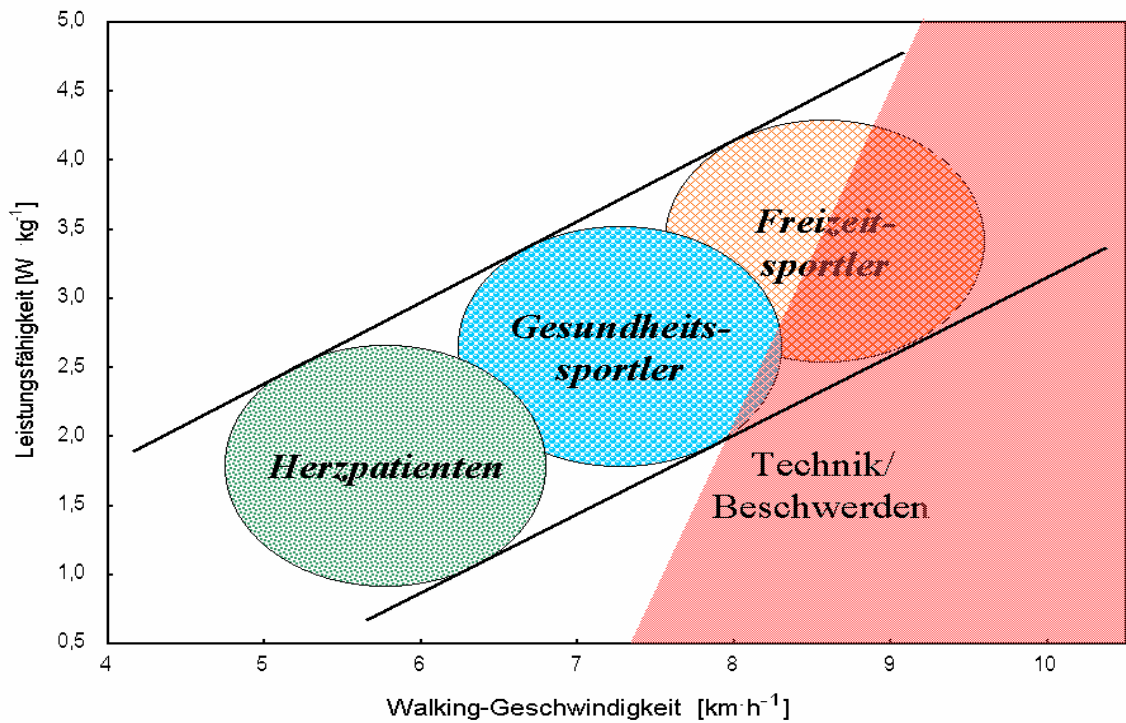


Abbildung 62: Schematischer Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit, trainingseffektiver Walking-Geschwindigkeit und Durchführbarkeit (Auftreten orthopädischer Beschwerden) des Walking

Weitere Untersuchungen könnten zeigen, in welchem Umfang exakt dosierte Trainingsvorgaben nach den hier aufgeführten Empfehlungen im Längsschnitt die körperliche Leistungsfähigkeit beeinflussen bzw. positive Gesundheitseffekte bewirken.

Literaturverzeichnis

- Abadie, B.R.:** Physiological responses to grade walking wrist and hand-held weights. In: Research Quarterly for Exercise and Sport 61 (1990), 93-95.
- American College of Sports Medicine:** ACSM Guidelines for testing and prescription. Williams & Wilkins, Baltimore 1995.
- American College of Sports Medicine:** The recommended quantity and quality for exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 30 (1998), 975-991.
- Bahrke, MS, Morgan, WP:** Anxiety reduction following exercise and meditation. Cognitive Therapy Research 2 (1978), 323-333.
- Balke, B. /Ware, R.:** An experimental study of Air Force personnel. In: U.S. Armed Forces Medical Journal 10 (1959), 675-688.
- Bauer, J.:** Sportliches Gehen. In: Sportpraxis 33 (1992), 11-15.
- Bauersfeld, K.-H./Schröter, G.:** Grundlagen der Leichtathletik. Sportverlag, Berlin 1992.
- Bäumer, F./Weißer, Ch./Henrich, H. A.:** Das Kompartmentsyndrom nach sportlicher Betätigung. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 39 (1988) 406-410.
- Berg, A./Halle, M./Baumstark, M./Frey, I./Keul, J.:** Einfluß und Wirkweise der körperlichen Aktivität auf den Lipid- und Lipoproteinstoffwechsel. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 42 (1991), 224-231.
- Berg, A./Stippig, J./Keul, J./Huber, G.:** Bewegungstherapie und ambulante Koronargruppen (Teil 1+2). In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 31 (1980), 199-211.
- Berry, M.J./Robergs, R.A./Weyrich, A.S./Puntemney, P.J.:** Ventilatory responses of trained and untrained subjects during running and walking. In: International Journal of Sports Medicine 9 (1988), 325-329.
- Berry, P.:** Walking - ein idealer Breitensport. In: Der Läufer 7 (1990), 38-40.
- Blair, S.N.:** Physical activity leads to fitness and pays off. In: Physician and Sportsmedicine 13 (1985), 153-157.

- Borg, G.:** Psychophysical bases of perceived exertion. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 14 (1982), 377-381.
- Bortz, J.:** Statistik für Sozialwissenschaftler. Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1999.
- Bös, K./Saam, J.:** Tipps für Walking. Meyer und Meyer, Aachen 1997.
- Bös, K./Schott, N.:** Belastungsparameter beim Walking. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 48 (1997), 145-154.
- Bös, K./Wydra, G./Karisch, G.:** Gesundheitsförderung durch Bewegung, Spiel und Sport - Ziele und Methoden des Gesundheitssports in der Klinik. *perimed*, Erlangen 1992.
- Brisswalter, J./Mottet, D.:** Energy cost and stride duration variability at preferred transition gait speed between walking and running. In: *Canadian Journal of Applied Physiology* 21 (1996), 471-480.
- Bruce, R.A./Kusumi, F./Hosmer, D.:** Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *American Heart Journal* 85 (1973), 545-562.
- Brüggemann, G.-P.:** Belastung und Beanspruchung der Haltungs- und Bewegungsorgane beim Sport. In: Wirth, C.J.: *Überlastungsschäden im Sport*. Thieme, Stuttgart, New York 1993, 1-11.
- Buskies, W./Liesner, K./Zieschang, K.:** Zur Problematik der Steuerung der Belastungsintensität beim Dauerlauftraining älterer Männer. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 44 (1993), 568-573.
- Carroll, J.F./Pollock, M.L./Graves, J.A./Leggett, S.H./Spitler, D.L./ Lowenthal, D.T.:** Incidence of injury during moderate- and high intensity walking training in the elderly. In: *Medical Sciences* 47 (1992), 61-66.
- Casaburi, R./Barstow, T.J./Robinson, T./Wasserman, K.:** Dynamic and steady-state ventilatory and gas exchange responses to arm exercise. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24 (1992), 1365-1374.
- Coen, B.:** Individuelle anaerobe Schwelle. Sport und Buch Strauß, Köln 1997.
- Coen, B./Zieres, C./Lieblang-Alff, S./Urhausen, A./Kindermann, W.:** Laktat- und Herzfrequenzverhalten bei Dauerläufen von Freizeitsportlern. In: *Tit-*

tel, K./Arndt, K./Hollmann, W. (Hrsg.): Sportmedizin: gestern-heute-morgen. Barth, Leipzig, Berlin, Heidelberg 1993, 290-293.

Cook, T.C./Laporte, R.E./Washburn, R.A./Traven, N.D./Slemenda, C.W./Metz, K.F.: Chronic low-level physical activity as a determinant of high-density lipoprotein cholesterol and subfractions. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 18 (1986), 653-657.

Da Prada, M./Zürcher, G.: Simultaneous radio enzymatic determination of plasma and tissue adrenaline, noradrenalin and dopamine within the femtomole range. In: Life Science 19 (1976), 1161-1174.

Dargatz, T.: Joggen: das ideale Ausdauertraining. Copress, München 1998.

Davison, R./Grant, S.: Is walking sufficient exercise for health? In: Sports Medicine 16 (1993), 369-373.

Di Prampero, P.E.: The energy cost of human locomotion on land and in water. In: International Journal of Sports Medicine 7 (1986), 55-72.

Dickhuth, H.H./Schlicht, H.: Körperliche Aktivität in der Prävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen - eine Standortbestimmung. In: Sportwissenschaft 3 (1997), 9-22.

Dickhuth, H.H./Wohlfahrt, B./Hildebrand, D./Rokitzki, L./Huonker, M./Keul, J.: Jahreszyklische Schwankungen der Ausdauerleistungsfähigkeit von hochtrainierten Mittelstreckenläufern. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 39 (1988), 346-353.

Dishman, R.K.: Prescribing exercise intensity for healthy adults using perceived exertion. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 29 (1994), 1087-1094.

Duncan, J.J./Gordon, N.F./Scott, C.B.: Women walking for health and fitness. How much is enough? In: Journal of the American Medical Association 266 (1991), 3295-3299.

Fellingham, G.W./Roundy, E.S./Fisher, A.G./Bryce, G.R.: Caloric cost of walking and running. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 10 (1978), 132-136.

Folsom, A./Ensrud, K.: Ausdauertraining als therapeutisches Prinzip bei Herz-Kreislauferkrankungen. In: Shephard, R.J./Astrand, P.O. (Hrsg.): Ausdauer im Sport. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1993.

- Foster, C./Pollock, M.L./Rode, J.L./Dymond, D.S./Wible, G.:** Evaluation of functional capacity during exercise radionuclide angiography. In: *Cardiology* 70 (1983), 85-93.
- Gaesser, G.A./Rich, R.G.:** Effects of high- and low-intensity exercise training on aerobic capacity and blood lipids. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 16 (1984), 269-274.
- Gohlitz, D./Maren, W./Pathus, H.J.:** Ansätze zur Weiterentwicklung der komplexen Leistungsdiagnostik im sportlichen Gehen. In: *Leistungssport* 26 (1996), 48-52.
- Graves, J.E./Pollock, M.L./Mountain, S.J./Jackson, A.S./O'Keefe, J.M.:** The effect of hand-held weights on the physiological responses to walking exercise. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 19 (1987), 260-265.
- Hagberg, J.M./Coyle, E.F.:** Physiologic comparison of competitive racewalking and running. In: *International Journal of Sports Medicine* 5 (1984), 74-77.
- Hagberg, J.M./Coyle, E.F.:** Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 15 (1983), 287-289.
- Hakim, A.A./Curb, J.D./Petrovitch, H./Rodriguez, B.L./Yano, K./Ross, G.W./White, L.R./Abott, R.D.:** Effects of walking on coronary heart disease in elderly men: The Honolulu Heart Program. In: *Circulation* 100 (1999), 9-13.
- Hakim, A.A./Petrovitch, H./Burchfiel, C.M./Ross, G.W./Rodriguez, B.L./White, L.R./Yano, K./Curb, J.D./Abott, R.D.:** Effects of walking on mortality among nonsmoking retired men. In: *The New England Journal of Medicine* 338 (1998), 94-99.
- Hamdorf, P.A./Penhall, R.K.:** Walking with its training effects on the fitness and activity patterns of 79-91 year old females. In: *Australian New Zealand Journal of Medicine* 29 (1999), 22-28.
- Hamdorf, P.A./Withers, R.T./Penhall, R.K./Haslam, M.V.:** Physical training effects on the fitness and habitual activity patterns of elderly women. In: *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 73 (1992), 603-608.

- Hardman, A.E./Jones, P.R./Norgan, N.G./Hudson, A.:** Brisk walking improves endurance fitness without changing body fatness in previously sedentary women. In: *European Journal of Applied Physiology* 65 (1992), 354-359.
- Harris S./Caspersen C.J./De Friese G.H./Estes H.:** Physical activity counseling for healthy adults as a primary preventive intervention in the clinical setting. *Journal of American Medical Association* 61 (1989), 3590-3598.
- Hassmen, P./Ruggero, C./Bäckman, L.:** Exercise for older women: A training method and its influences on physical and cognitive performance. In: *European Journal of Applied Physiology* 64 (1992), 460-466.
- Häuser, W./Hasler, H./Kindermann, W.:** Ausdauersport und Wohlbefinden - körperliche, seelische und soziale Gesundheit von Ausdauersporttreibenden und ihren Partnern. In: Böning, D. (Hrsg.): *Sport - Rettung oder Risiko für die Gesundheit ?* Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1989.
- Herzog, K.:** *Körperbau und Bewegung.* Enke, Stuttgart 1981.
- Hess, W.-D.:** *Leichtathletik: Sprint - Lauf - Gehen.* Sportverlag, Berlin 1991.
- Himann, J.E./Cunningham, D.A./Rechnitzer, P.A./Paterson, D.H.:** Age-related changes in speed of walking. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20 (1988), 161-166.
- Hinkleman, L.L./Nieman, D.C.:** The effects of a walking program on body composition and serum lipids and lipoproteins in overweight women. In: *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 33 (1993), 49-58.
- Hoffmann, M.D./Kassay, K.M./Zeni, A.I./Clifford, P.S.:** Does the amount of exercising muscle alter the aerobic demand of dynamic exercise? In: *European Journal of Applied Physiology* 74 (1996), 541-547.
- Hohorst, H.J.:** L-(+)-Laktat, Bestimmung mit Laktatdehydrogenase und DPN. In: Bergmann, H.U. (Hrsg): *Methoden der enzymatischen Analyse.* Chemie, Weinheim 1962.
- Hollmann, W./Hettinger, Th.:** *Sportmedizin: Arbeits- und Trainingsgrundlagen.* Schattauer, Stuttgart, New York 1990.
- Hollmann, W./Liesen, H./Rost, R./Heck, H./Satomi, J.:** Präventive Kardiologie: Bewegungsmangel und körperliches Training aus epidemiologischer und experimenteller Sicht. In: *Zeitschrift für Kardiologie* 74 (1985), 46-54.

- Hollmann, W./Rost, R./Liesen, H./Dufaux, B./Heck, H./Mader, A.:** Assessment of different forms of physical activity with respect to preventive and rehabilitative cardiology. In: International Journal of Sports Medicine 2 (1981), 67-80.
- Hollmann, W.:** Zur gesundheitlichen Bedeutung von Training. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 42 (1991), 457-463.
- Jäger, M./Wirth, C.J.:** Praxis der Orthopädie. Thieme, Stuttgart 1992.
- Jerosch, J./Jantea, C./Sons, H.U./Geske, B.:** Eine Analyse des intrakompartementalen Druckes während des Gangzyklus. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 40 (1989), 169-176.
- Jetté, M./Sidney, K./Campbell, J.:** Effects of a twelve-week walking program on maximal and submaximal work output indices in sedentary middle-aged men and women. In: Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 28 (1988), 59-66.
- Johnson, R.A.:** Walking easy. Humboldt, München 1996.
- Jonath, U./Krempel, R./Haag, E./Müller, H.:** Leichtathletik 1: Laufen. Rowohlt, Reinbeck 1995.
- Jones, N.L./Kane, J.W.:** Quality control of exercise measurements. In: Medicine Science Sports 11 (1979), 368-372.
- Kang, J./Robertson, R.J./Goss, F.L./Dasilva, S.G./Sunrinski, R.R./Utter, A.C./Zoeller, R.F./Metz, K.F.:** Metabolic efficiency during arm and leg exercise at the same relative intensities. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 29 (1997), 377-382.
- Kindermann, W.:** Stellenwert der Bewegungstherapie für die koronare Herzkrankheit. In: Medizinische Welt 34 (1983a), 487-490.
- Kindermann, W.:** Trainingsauswirkungen auf das Herz-Kreislaufsystem und den Stoffwechsel. In: Forgo, J. (Hrsg): Sportmedizin für alle. Hofmann, Schorndorf 1983b.
- Kindermann, W.:** Sport als Therapie für Hochdruckpatienten. In: Holzgreve, H./Rost, R. (Hrsg.): Aktuelles und Kontroverses aus der Hochdruckforschung. MMW Medizin, München 1984.

- Kindermann, W.:** Die Bedeutung des Sports für die Gesundheit aus internistisch-kardiologischer Sicht. In: Öffentliches Gesundheitswesen 49 (1987a), 394-399.
- Kindermann, W.:** Ergometrie-Empfehlungen für die ärztliche Praxis. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 38 (1987b), 244-268.
- Kindermann, W.:** Sport und Gesundheit. Beeinflussung des koronaren Risikos. In: Weiß, M./Rieder, H. (Hrsg.): Sportmedizinische Forschung. Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1991.
- Kindermann, W./Heiss, H.W.:** Anpassungsvorgänge des kardiozirkulatorischen Systems. In: Heiss, H.W. (Hrsg.): Bewegungstherapie bei Herz- und Gefäßkrankheiten. Witzstrock, Baden-Baden, Köln, New York 1979.
- Kindermann, W./Schnabel, A./Schmitt, W.M./Birio, G./Cassens, J./Weber, F.:** Catecholamines, growth hormone, cortisol, insulin and sex hormones in anaerobic and aerobic exercise. European Journal of Applied Physiology 49 (1982), 389-399.
- Kline, G.M./Porcari, J.P./Hintermeister, R./Freedson, P.S./Ward, A./Mc Carron, R.F./Ross, J./Rippe, J.M.:** Estimation of VO_{2max} from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 19 (1987), 253-259.
- Knowlton, R.G./Brown, D.D./Bitter, L.J./Sullivan, J.J.:** Effects of handheld weights on the cardiovascular untrained women during walking. In: Journal of Physical Education and Sport Science 24 (1992), 7-14.
- Kujala, U.M./Kaprio, J./Sarna, S./Koskenvuo, M.:** Relationship of leisure-time physical activity and mortality: the Finnish Twin cohort. In: Journal of the American Medical Association 279 (1998), 440-444.
- Lagerström, D./Stemper, T.:** Laufen für Herzpatienten. Echo, Köln 1989.
- Lehmann, M./Keul, J.:** Alters- und trainingsbedingtes Verhalten der Plasmacatecholamine und Laktatazidose während Körperarbeit. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 32 (1981), 320-328.
- Lennart, S./Forsberg, A./Westlin, N.:** Anterior tibial compartment pressure during race walking. In: American Journal of Sports Medicine 2 (1986), 136-138.

- Leon, A.S./Casal, D./Jacobs, D.:** Effects of 2000 kcal per week of walking and stair climbing on physical fitness and risk factors for coronary heart disease. In: *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation* 16 (1996), 183-192.
- Leon, A.S./Connett, J./Jacobs, D.R.:** Leisure-time physical activity levels and risk of coronary heart disease and death: The multiple risk factor intervention trial. In: *Journal of the American Medical Association* 258 (1987), 2388-2395.
- Leon, A.S./Conrad, J./Hunninghake, D.B./Serfass, R.:** Effects of a vigorous walking program on body composition, and carbohydrate and lipid metabolism of obese young men. In: *American Journal of Clinical Nutrition* 32 (1979), 1776-1787.
- Lippkin, D.P./Scriven, A.J./Crake, T./Poole-Wilson, P.A.:** Six minute walking test for assessing exercise capacity in chronic heart failure. In: *British Medical Journal* 292 (1986), 653-655.
- Ljunggren, G./Hassmén, P.:** Perceived exertion and physiological economy of competition walking, ordinary walking and running. In: *Journal of Sports Sciences* 9 (1991), 273-283.
- Logan, J.G./Rorabaek, Ch./Castle, G.S.:** The measurement of dynamic compartment pressure during exercise. In: *American Journal of Medicine* 11 (1983), 220-223.
- Luria, M./Koepke, K.:** The physical conditioning effects of walking. In: *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 15 (1975), 272-274.
- Manninen, V./Elo, M.O./Frick, M.H.:** Lipid alterations and decline in the incidence of coronary heart disease in the Helsinki Heart Study. In: *Journal of American Medical Association* 260 (1988), 641-651.
- Manson, J.E./Frank, B./Rich-Edwards, J.W./Colditz, G.A./Stampfer, M.J./Willett, W.C./Speizer, F.E./Hennekens, C.H.:** A prospective study of walking as compared with vigorous exercise in the prevention of coronary heart disease in women. In: *New England Journal of Medicine* 341 (1999), 650-658.
- Martin, P.E./Morgan, D.W.:** Biomechanical considerations for economical walking and running. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24 (1992), 467-474.

- Mathes, P./Mahler, H.:** Sekundärprävention nach Herzinfarkt. In: Unverdorben, M./Brusis, O.A./Rost, R. (Hrsg): Kardiologische Prävention und Rehabilitation. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1995.
- Mercier, J./LeGallais, D./Durand, M./Goudal, C./Micallef, J. P./Préfaut, C.:** Energy expenditure and cardiorespiratory responses at the transition between walking and running. In: European Journal of Applied Physiology 69 (1994), 525-529.
- Meyer, T./Kindermann, W.:** Die maximale Sauerstoffaufnahme. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 50 (1999), 285-286.
- Meyer, K./Schwaibold, M./Westbrook, S./Beneke, R./Hajric, R./Lehmann, M./Roskamm, H.:** Effects of exercise training and activity restriction on 6-min walking test performance in patients with chronic heart failure. In: American Heart Journal 133 (1997), 447-453.
- Meyer, K.:** Neue Aspekte zum körperlichen Training bei chronischer Herzinsuffizienz. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 51 (2000), 286-290.
- Michaud, T.J.:** Physiological and perceptual responses to walking while swinging hand-held towels. In: Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 34 (1994), 38-44.
- Miller G./Bell, R./Collis, M./Hoshizaki, T.:** The relationship between perceived exertion and heart rate of post 50 year old volunteers in two different walking activities. In: Journal of Human Movement Studies 11 (1985), 187-195.
- Milne, C.:** Walk for Fun and Fitness. In: Strategies 7 (1994), 5-8.
- Morales, F.J./Martinez, A./Mendez, M./Agarrado, A./Ortega, F./Fernandez-Guerra, J./Montemayor, T./Burgos, J.:** A Shuttle walk test for assessment of functional capacity in chronic heart failure. In: American Heart Journal 138 (1999), 291-298.
- Morris, J.M./Hardman, A.E.:** Walking to health. In: Sports Medicine 23 (1997), 306-332.
- Murphy, M.H./Hardman, A.E.:** Training effects of short and long bouts of brisk walking in sedentary women. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 30 (1998), 152-157.

- Murray, M.P./Spurr, G.B./Sepic, S.B./Gardner, G.M./Mollinger L.A.:** Treadmill vs. floor walking: kinematics, electromyogram, and heart rate. *Journal of Applied Physiology* 59 (1985), 87-91.
- Netter, F.H.:** *Farbatlant der Medizin - Bewegungsapparat I.* Thieme, Stuttgart, New York 1992.
- Niesten-Dietrich, U./Simon, G./Blome, G./Schulte, H./Schmidt, A./Assmann, G.:** Wirkungen eines Geh-, Lauf und Krafttrainings auf Leistungsfähigkeit und Fettstoffwechselfparameter. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 45 (1994), 18-29.
- Ohta, T./Kawamura, T./Hatano, K./Yokoi, M./Uozumi, Z.:** Effects of exercise on coronary risk factors in obese, middle-aged subjects. In: *Japanese Circulation Journal* 54 (1990), 1459-1464.
- Oja, P./Laukkanen, R./Pasanen, M./Tyry, T./Vuori, I.:** A 2-km walking test for assessing cardiorespiratory fitness in healthy adults. In: *International Journal of Sports Medicine* 12 (1991), 356-362.
- Pahmeier, I.:** Drop-out und Bindung im Breiten- und Gesundheitssport. In: *Sportwissenschaft* 24 (1994) 117-150.
- Peloquin, L./Gauthier, P./Bravo, G./Lacombe, G./Billiard, J.-S.:** Reliability and validity of five-minute Walking field test for estimating VO_2 peak in elderly subjects with knee osteoarthritis. In: *Journal of Aging and Physical Activity* 6 (1998), 36-44.
- Pendergast, D.R.:** Cardiovascular, respiratory, and metabolic responses to upper body exercise. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 21, Suppl. (1989), 121-125.
- Peter, J./Foster, C.:** *Physical assessment of human fitness.* Human Kinetics, Champaign 1995.
- Paffenbarger, R.S./Hyde, R.T./Wing, A.L./Hsieh, C.C.:** Physical activity, all-cause mortality and longevity of college alumni. In: *The New England Journal of Medicine* 314 (1986), 605-613.
- Paffenbarger, R.S.:** Körperliche Aktivität, Leistungsfähigkeit, koronare Herzkrankheit und Lebenserwartung. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 42 (1991), 60-66.

- Pollock, M./Caroll, J./Graves, J./Leggett, S./Braith, R./Limacher, M./ Haggberg, J.:** Injuries and adherence to walk/ jog and resistance training programs in the elderly. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23 (1991), 1194-1200.
- Pollock, M./Dimmick, J./Miller, H./Kendrick, Z./Linnerud, A.:** Effects of mode of training on cardiovascular function and body composition of adult men. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 7 (1975), 139-145.
- Pollock, M.L./Lowenthal, D.T./Graves, J.E./Caroll, J.F.:** Ausdauersport im höheren Lebensalter. In: Shephard, R.J./Astrand, P.-O.: *Ausdauer im Sport*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1993, 379-394.
- Pollock, M.L./Miller, H.S./Janeway, R./Linnerud, A.C./Robertson, B.:** Effects of walking on body composition and cardiovascular function of middle-aged men. In: *Journal of Applied Physiology* 30 (1971), 126-130.
- Pollock, M.L./Wilmore, J.H./Fox, S.M.:** *Exercise in health and disease: evaluation and prescription for prevention and rehabilitation*. Saunders Co, Philadelphia 1984.
- Porcari, J.P./Ebbeling, C.B./Ward, A./Freedson, P.S./Rippe, J.M.:** Walking for exercise testing and training. In: *Sports Medicine* 8 (1989), 189-200.
- Porcari, J.P./Hendrickson, T.L./Walter, P.R./Terry, L./Walsko, G.:** The physiological responses to walking with and without power poles on treadmill exercise. In: *Research Quarterly for Exercise and Sport* 2 (1997), 161-166.
- Porcari, J.P./McCarron, R./Kline, G./Freedson, P.S./Ward, A./Ross, J.A./Rippe, J.M.:** Is fast walking an adequate aerobic training stimulus for 30 to 69 year old men and women? In: *The Physician and Sportsmedicine* 15 (1987), 119-129.
- Porcari, J.P./Ward, A./Morgan, W./Mance, M./Ebbeling, C.:** Effect of walking on state anxiety and blood pressure. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20 (1988), 85.
- Powell, K.E./Thompson, P.D./Caspersen, C.J./Kendrick, J.S.:** Physical activity and the incidence of coronary heart disease. In: *Annual Review of Public Health* 8 (1987), 253-287.

- Rejeski, W.J.:** Perceived Exertion: an active or passive process? In: Journal of Sport Psychology 7 (1985), 371-378.
- Revill, S.M./Morgan, M.D./Singh, S.J./Williams, J./Hardman, A.E.:** The endurance shuttle walk: a new field test for the assessment of endurance capacity in chronic obstructive pulmonary disease. In: Thorax 54 (1999), 213-222.
- Rippe, J.M./Ward, A./Freedson, P.S.:** Walking: nothing pedestrian about it. 1988 Medical Health Annual, Encyclopaedia Britannica, Chicago 1987.
- Rippe, J.M./Ward, A./Porcari, D.D./Freedson, P.S.:** Walking for health and fitness. In: Journal of the American Medical Association 259 (1988), 2720-2724.
- Röcker, K./Schotte, O./Niess, A./Heitkamp, H.C./Dickhuth, H.H.:** Laufbandtestdaten und Wettkampfprognosen für den Langstreckenlauf. In Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 48 (1997), 315-323.
- Rost, R./Brusis, O.A.:** Sportmedizinische Grundlagen. In: Unverdorben, M./Brusis, O.A./Rost, R. (Hrsg.): Kardiologische Prävention und Rehabilitation. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1995.
- Rost, R.:** Die Bedeutung körperlicher Aktivität in der Prävention arteriosklerotischer Erkrankungen. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 46 (1995), 58-72.
- Rowland, T.W./Varzeas, M.R./Walsh, C.A.:** Aerobic responses to walking training in sedentary adolescents. In: Journal of Adolescent Health 12 (1991), 30-34.
- Santiago, M./Alexander, J./Stull, G./Serfass, R./Hayday, A./Leon, A.:** Physiological responses of sedentary women to a 20-week conditioning program of walking or jogging. In: Scandinavian Journal of Sports Sciences 9 (1987), 33-39.
- Schlicht, W.:** Sport und Primärprävention. Hogrefe, Göttingen 1994.
- Schmidt, N.:** Walking: ein sanftes Körper- und Bewegungstraining. In: Hauser, W. (Hrsg.): Lehrbogen für Sport und Spiel. Kallmeyer, Seelze-Velber 1994.
- Schultz, W.:** Sport- und Überlastungsschäden beim Lauf. Maurer, Geislingen 1988.

- Schulz, H./Müller, F./Fromme, A./Heck, H.:** Die Belastungsintensität bei Freizeittäufeln. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 48 (1997), 270-273.
- Schwarz, L./Schwarz, M./Schäck, P./Kindermann, W.:** Cardiocirculatory and metabolic effects of a low volume health oriented physical training. In: International Journal of Sports Medicine 20, Suppl. (1999), 62.
- Schwarz, M./Andres, D./Urhausen, A./Schwarz, L./Kindermann, W.:** Training recommendations for walking in health sports. In: International Journal of Sports Medicine 20, Suppl. (1999), 57.
- Schwarz, M./Röger, U./Urhausen, A./Kindermann, W.:** Cardiovascular and metabolic stress of walking versus jogging during the rehabilitation in coronary patients. In: International Journal of Sports Medicine 19, Suppl. (1998), 13.
- Schwarz, M./Schwarz, L./Kindermann, W.:** Auswirkungen eines kontrollierten gesundheitssportlichen Trainingsprogramms auf kardiovaskuläre Risikofaktoren. In: Tittel, K./Arndt, K.-H./Hollmann, W. (Hrsg.): Sportmedizin: gestern-heute-morgen. Johann Ambrosius Barth, Leipzig, Berlin, Heidelberg 1993.
- Schwarz, M./Schwarz, L./Urhausen, A./Ebersohl, A./Kindermann, W.:** Vergleich des Beanspruchungsprofils beim Walking, Jogging und bei der Fahrradergometrie bei unterschiedlich leistungsfähigen Personen. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 52 (2001) 136-141.
- Schwarz, M./Urhausen, A./Leukens, S./Brechtel, L./Gabriel, H./Schwarz, L./Kindermann, W.:** Cardiocirculatory and metabolic strain in patients with coronary heart disease during Badminton as part of their ambulatory kinetotherapy. In: International Journal of Sports Medicine 17, Suppl. 1 (1996), 8.
- Schwarz, M./Urhausen A./Schwarz, L.:** Walking - Eignung als alternative Ausdauertrainingsform im Gesundheits- und Freizeitsport. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 49 (1998), 315-317.
- Shephard, R.J.:** Die maximale Sauerstoffaufnahme. In: Shephard, R.J./Astrand, P.-O.: Ausdauer im Sport. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1993, 191-198.
- Simon, G./Schmidt, A./Lim, W.-K./Kannenberg, B.:** Sportartspezifische Leistungsdiagnostik bei Gehern auf dem Laufbandergometer. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 43 (1992), 428-434.

- Simon, G.:** Trainingssteuerung im Schwimmsport. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 37 (1986), 376-379.
- Spelman, C.C./Russel, R./Pate, C.A./Ward, M./Ward, D.S.:** Self-selected exercise intensity of habitual walkers. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 25, (1993), 1174-1179.
- Stegemann, J.:** Leistungsphysiologie - Physiologische Grundlagen der Arbeit und des Sports. Thieme, Stuttgart, New York 1991.
- Stegmann, H./Kindermann, W./Schnabel A.:** Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. In: International Journal of Sports Medicine 2 (1981), 160-165.
- Stensel, D.J./Brooke-Wavell, K./Hardman, A.E./Jones, P.R./Norgan, N.G.:** The influence of 1-year program of brisk walking on endurance fitness and body composition in previously sedentary men aged 42-59 years. In: European Journal of Applied Physiology 68 (1994), 531-537.
- Suter, E./Marti, B./Gutzwiller, F.:** Jogging or walking - comparison of health effects. In: Annals of Epidemiology 5 (1994), 375-381.
- Tittel, K.:** Beschreibende und funktionelle Anatomie. Fischer, Jena 1994.
- Toner, M.M./Sawka, M.N./Levine, L./Pandolf, K.B.:** Cardiorespiratory responses to exercise distributed between the upper and lower body. In: Journal of Applied Physiology 54 (1983), 1403-1407.
- Tucker, L.A./Friedman, G.A.:** Walking and serum cholesterol in adults. In: American Journal of Public Health 80 (1990), 1111-1113.
- Urhausen, A./Coen, B./Weiler, B./Kindermann, W.:** Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. International Journal of Sports Medicine 14 (1993), 134-139.
- Urhausen, A./Schwarz, M./Stefan, S./Schwarz, L./Gabriel, H./ Kindermann, W.:** Kardiovaskuläre und metabolische Beanspruchung durch einen Kraft-Ausdauer-Zirkel in der ambulanten Herztherapie. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 21 (2000), 130-136.
- Urhausen, A./Weiler, B./Coen, B./Kindermann, W.:** Plasma catecholamines during endurance exercise of different intensities as related to the individual anaerobic threshold. In: European Journal of Physiology 69 (1994), 16-20.

- Urhausen, A./Weiler, B./Kindermann, W.:** Sympathische Aktivität und Herzfrequenzverhalten bei Ausdauerbelastungen unterschiedlicher Intensität. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 43 (1992), 446-448.
- Völker, K./Gracher, M./Wibbels, T./Hollmann, W.:** Über die Notwendigkeit der Steuerung der Belastungsintensität im Breitensport. In: Franz, I.W./Mellerowicz, W./Noack, W. (Hrsg.): Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1985.
- Warren, B.L./Jones, C.J.:** Predicting plantar fasciitis in runners. In: Medicine Science Sports 19 (1987), 71-73.
- Weicker, H.:** Biochemische, metabolische und muskuläre Adaptation durch regelmäßige körperliche Aktivität im höheren Alter. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 47 (1996), 240-248.
- Weineck, J.:** Sportanatomie. perimed, Erlangen 1995.
- Wenger, H.A./Bell, G.J.:** The interactions of intensity, frequency, and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. In: Sports Medicine 3 (1986), 346-356.
- White, K.M./Yeater, R.A./Martin, R.B./Rosenberg, B.S./Sherwood, L.:** Effects of aerobic dancing and walking on cardiovascular function and muscular strength in postmenopausal women. In: Journal of Sports Medicine 12 (1984), 159-166.
- Whitehurst, M./Martinez, E.:** Endurance training in older women: lipid and lipoprotein responses. In: Physician and Sports Medicine 19 (1991), 95-103.
- Wirhed, R.:** Sport-Anatomie und Bewegungslehre. Schattauer, Stuttgart 1988.
- Wood, P.D./Stefanik, M.L./Dreon, D.M.:** Changes in plasma lipids and lipoproteins in overweight men during weight loss dieting compared with exercise. In: The New England Journal of Sports Medicine 319 (1988), 1113-1179.
- Woolf-May, K./Bird, S./Owen, A.:** Effects of an 18 week walking program on cardiac function in previously sedentary or relative inactive adults. In: British Journal of Sports Medicine 31 (1997), 48-53.

Woolf-May, K./Kearney, E.M./Jones, D.W./Davison, R.C.R./Coleman, D./ Bird, S.R.: The effect of two different 18 week walking programmes on fitness, selected blood lipids and factor XIIa. In: Journal of Sports Sciences 16 (1998), 701-710.

Wydra, G.: Gesundheitsförderung durch sportliches Handeln. Hofmann, Schorndorf 1996.

Zarrugh, M.Y./Radcliffe, C.W.: Predicting metabolic cost of level walking. In: European Journal of Applied Physiology 38 (1978), 215-233.

Danksagungen

Zunächst danke ich Herrn Prof. Dr. G. Wydra sowohl für die Bereitschaft dieses Promotionsverfahren zu übernehmen als auch für die Ratschläge bezüglich inhaltlicher und formaler Abfassung.

Herrn Prof. Dr. A. Urhausen bin ich für die wegweisenden wissenschaftlichen Anregungen zu besonderem Dank verpflichtet. Er war zu jeder Zeit Ansprechpartner für die inhaltliche und konzeptionelle Gestaltung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. W. Kindermann danke ich als meinem wissenschaftlichen Lehrer und außerdem auch für die Bereitstellung der Laborräume sowie der umfangreichen Untersuchungsmaterialien.

Des Weiteren bedanke ich mich herzlich bei Dr. Lothar Schwarz für die zahlreichen Korrekturhilfen und konstruktiven Ratschläge zur Gestaltung dieser Dissertation.

Ulrike Röger, Alexandra Birnmeyer, Dirk Andres und Sabine Werding danke ich besonders für die praktische Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen und bei der Datenerhebung.

Mein weiterer Dank gilt Sabine Glück für die vielfältige Unterstützung bei der Literaturrecherche und dem Korrekturlesen.

Benno Weiler danke ich für die Mithilfe bei der graphischen Gestaltung der Arbeit und Kirsten Ohlendorf für die statistische Beratung.

Zuletzt danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes, die mich unterstützt haben, sowie in besonderem Maße den Herzpatienten, Gesundheitssportlern und Sportstudenten, die sich als Probanden zu Verfügung gestellt und somit die Untersuchungen erst ermöglicht haben.