

Schulz Sara

Feldstudie zur Untersuchung von Nordic Walking Strecken hinsichtlich ihrer Kategorisierung unter Berücksichtigung gesundheitlicher Aspekte

Einfluss von Steigung, Streckenlänge und Untergrund auf die relative Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Fortbewegungsgeschwindigkeit beim Nordic Walking

**Schriftenreihe**

**Natursport und Ökologie**

Herausgegeben vom Institut für Natursport und Ökologie  
Deutsche Sporthochschule Köln

Band 33

---

**Impressum**

**Herausgeber**

Prof. Dr. Ralf Roth

Institut für Natursport und Ökologie (INOEK)  
Deutsche Sporthochschule Köln  
Am Sportpark Müngersdorf 6 - 50933 Köln  
[www.dshs-koeln.de/natursport](http://www.dshs-koeln.de/natursport)

**Bildnachweis**

Schulz Sara

ISSN 1612-2437

© 2013 – Alle Rechte vorbehalten

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung des Herausgebers.





Aus dem Institut für Natursport und Ökologie  
der Deutschen Sporthochschule Köln  
Leiter: Univ.-Prof. Dr. Ralf Roth

**Feldstudie zur Untersuchung von Nordic Walking Strecken hinsichtlich  
ihrer Kategorisierung unter Berücksichtigung gesundheitlicher Aspekte**

**– Einfluss von Steigung, Streckenlänge und Untergrund auf die  
relative Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Fortbewegungsgeschwindigkeit beim Nordic Walking –**

von der Deutschen Sporthochschule Köln  
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Sportwissenschaft (Dr. Sportwiss.)  
genehmigte Dissertation

vorgelegt von  
Sara Schulz  
aus  
Barsinghausen

Köln 2013

**Erster Gutachter:**

Univ.-Prof. Dr. Ralf Roth

**Zweiter Gutachter:**

Univ.-Prof. Dr. Heiko K. Strüder

**Vorsitzender des Promotionsausschusses:**

Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Bloch

**Tag der mündlichen Prüfung:**

02. Oktober 2013

## **Dank**

Mein erster Dank geht an Prof. Dr. Ralf Roth für das Vertrauen in mich und meine Arbeit, die gewährten Freiheiten und die Schaffung der optimalen Rahmenbedingungen.

Darüber hinaus möchte ich mich ganz besonders bei Dr. Uwe Hoffmann für die große Unterstützung bei der Planung meiner Feldstudie, der Validierung der portablen Spirometrie-Systems und der Verarbeitung der Untersuchungsdaten bedanken. Mein Dank geht auch an Uwe Drescher, der mich geduldig in die Welt der Interpolation einführte.

Alexander Krämer danke ich für die langjährige freundschaftliche Zusammenarbeit und die Aufbereitung der GPS-Daten.

Allen Untersuchungsteilnehmern möchte ich für ihr großes Engagement bei meinen Felduntersuchungen in der Ortenau danken, insbesondere Herrn Dieter Roth, der mir vor Ort alle Türen und Tore öffnete.

Meine unendliche Dankbarkeit gilt meinen Eltern und ganz besonders meinem Mann, für den kompromisslosen Rückhalt, die Geduld und das grenzenlose Vertrauen - Danke -.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Forschungsstand</b> .....	<b>6</b>
2.1 Physiologische Belastungsparameter beim Nordic Walking .....	7
2.1.1 Herzfrequenz .....	8
2.1.2 Sauerstoffaufnahme .....	13
2.1.3 Geschwindigkeit.....	21
2.2 Nordic Walking und Gesundheit.....	25
2.3 Äußere Einflussfaktoren beim Nordic Walking .....	29
2.3.1 Steigung .....	34
2.3.2 Streckenlänge.....	39
2.3.3 Untergrund.....	41
2.4 Messmethoden beim Nordic Walking.....	45
<b>3 Material und Methode</b> .....	<b>49</b>
3.1 Untersuchungsaufbau .....	49
3.2 Messmethodik.....	52
3.3 Strecken.....	54
3.4 Untersuchungsgut.....	58
3.5 Auswertung .....	62
3.5.1 Auswertungskonzept und -darstellung.....	62
3.5.2 GPS-Daten .....	65
3.5.3 Spirometrische Daten .....	66
3.6 Statistik .....	67
3.6.1 Korrelationsanalysen .....	68
3.6.2 Regressionsanalysen .....	69
<b>4 Ergebnisse</b> .....	<b>71</b>
4.1 Messwerte in körperlicher Ruhe.....	71
4.1.1 Messwerte in körperlicher Ruhe vor der Belastung .....	72
4.1.2 Messwerte in körperlicher Ruhe nach der Belastung.....	74
4.2 Gesamtstrecke.....	76
4.2.1 Subjektives Belastungsempfinden .....	76

4.2.2	Herzfrequenz.....	77
4.2.3	Relative Sauerstoffaufnahme .....	78
4.2.4	Geschwindigkeit .....	79
4.3	Vergleich der Streckencharakteristika im Hinblick auf die individuellen Parameter.....	80
4.3.1	Vergleich der Steigungen im Hinblick auf die individuellen Parameter.....	80
4.3.1.1	Unterschiede zwischen negativer und positiver Steigung im Hinblick auf die individuellen Parameter .....	81
4.3.1.2	Unterschiede zwischen negativer und positiver Steigung im Hinblick auf die individuellen Parameter innerhalb der Teststrecken .....	84
4.3.1.3	Unterschiede zwischen den Steigungsabschnitten im Hinblick auf die individuellen Parameter.....	87
4.3.2	Unterschiede zwischen erster und zweiter Streckenhälfte zur Beurteilung des Einflusses der Streckenlänge auf die individuellen Parameter .....	91
4.3.2.1	Unterschiede zwischen erster und zweiter Streckenhälfte im Hinblick auf die individuellen Parameter.....	92
4.3.2.2	Unterschiede zwischen erster und zweiter Streckenhälfte im Hinblick auf die individuellen Parameter innerhalb der Teststrecken .....	95
4.3.2.3	Unterschiede zwischen erster und zweiter Streckenhälfte im Hinblick auf die individuellen Parameter innerhalb der Steigungsabschnitte der Teststrecken.....	98
4.3.3	Vergleich der Untergründe im Hinblick auf die individuellen Parameter .....	101
4.3.3.1	Vergleich der Untergründe im Hinblick auf die individuellen Parameter innerhalb der Teststrecken.....	105
4.3.3.2	Vergleich der Untergründe im Hinblick auf die individuellen Parameter innerhalb der Steigungsabschnitte der Teststrecken .....	108
4.4	Korrelationsanalysen .....	111
4.4.1	Zusammenhänge zwischen den Parametern Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit .....	111
4.4.2	Zusammenhänge zwischen den individuellen Parametern und den Streckencharakteristika.....	113
4.4.2.1	Steigung .....	114
4.4.2.2	Streckenlänge .....	115

4.4.2.3	Untergrund.....	117
4.5	Regressionsanalysen.....	119
4.5.1	Herzfrequenz.....	119
4.5.2	Relative Sauerstoffaufnahme.....	123
4.5.3	Geschwindigkeit.....	127
4.6	Belastungsintensitäten und Geschwindigkeiten.....	131
4.6.1	Belastungsintensitäten und Geschwindigkeiten der Strecke 1.....	131
4.6.2	Belastungsintensitäten und Geschwindigkeiten der Strecke 2.....	132
4.6.3	Belastungsintensitäten und Geschwindigkeiten der Strecke 3.....	133
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>134</b>
5.1	Diskussion der Methodik.....	134
5.2	Diskussion der Ergebnisse.....	138
5.2.1	Messwerte in körperlicher Ruhe.....	138
5.2.1.1	Messwerte in körperlicher Ruhe vor der Belastung.....	138
5.2.1.2	Messwerte in körperlicher Ruhe nach der Belastung.....	140
5.2.2	Gesamtstrecke.....	141
5.2.3	Einfluss der Strecke auf die Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit.....	143
5.2.3.1	Einfluss der Steigung.....	143
5.2.3.2	Unterschiede zwischen erster und zweiter Streckenlänge zur Beurteilung des Einflusses der Streckenlänge.....	152
5.2.3.3	Einfluss des Untergrundes.....	156
5.2.4	Korrelationsanalysen.....	161
5.2.4.1	Zusammenhänge zwischen den Parametern Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit.....	162
5.2.4.2	Zusammenhänge zwischen den individuellen Parametern und den Streckencharakteristika.....	165
5.2.5	Regressionsanalysen.....	171
5.2.6	Belastungsintensitäten und Geschwindigkeiten im gesundheitlichen Kontext.....	178
5.3	Fazit und Ausblick.....	183
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>188</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>192</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1: Schematische Darstellung des Studienverlaufs .....	50
Abb. 3-2: Klimadaten im Studienverlauf.....	51
Abb. 3-3: Technische Ausstattung zur Vorbereitung und Sicherung der Messungen, Probandin mit portablem Spirometrie-System und Rover sowie Referenzstation des dGPS-Gerätes .....	53
Abb. 3-4: Asphaltierter Weg im Untersuchungsgebiet .....	55
Abb. 3-5: Wassergebundener Wirtschaftsweg im Untersuchungsgebiet .....	55
Abb. 3-6: Singletrail im Untersuchungsgebiet.....	55
Abb. 3-7: Blaue Strecke: Streckenverlauf und Höhenprofil.....	56
Abb. 3-8: Rote Strecke: Streckenverlauf und Höhenprofil .....	57
Abb. 3-9: Schwarze Strecke: Streckenverlauf und Höhenprofil .....	57
Abb. 3-10: Streckenbeschilderung im Untersuchungsgebiet .....	58
Abb. 4-1: Mittelwerte und Standardabweichungen des subjektiven Belastungsempfindens (RPE) der drei Teststrecken.....	76
Abb. 4-2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) der drei Teststrecken .....	77
Abb. 4-3: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) der drei Teststrecken .....	78
Abb. 4-4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten (v) der drei Teststrecken .....	79
Abb. 4-5: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) mit Differenzierung nach positiver und negativer Steigung.....	81
Abb. 4-6: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) mit Differenzierung nach positiver und negativer Steigung .....	82
Abb. 4-7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeit (v) mit Differenzierung nach positiver und negativer Steigung .....	83

Abb. 4-8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) auf den drei Teststrecken mit Differenzierung nach positiver und negativer Steigung.....	84
Abb. 4-9: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) auf den drei Teststrecken mit Differenzierung nach positiver und negativer Steigung.....	85
Abb. 4-10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten (v) auf den drei Teststrecken mit Differenzierung nach positiver und negativer Steigung.....	86
Abb. 4-11: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) auf den drei Teststrecken mit Differenzierung nach Steigungsabschnitten .....	88
Abb. 4-12: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) auf den drei Teststrecken mit Differenzierung nach Steigungsabschnitten.....	89
Abb. 4-13: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten (v) auf den drei Teststrecken mit Differenzierung nach Steigungsabschnitten.....	90
Abb. 4-14: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) auf der 1. und 2. Streckenhälfte.....	92
Abb. 4-15: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) auf der 1. und 2. Streckenhälfte.....	93
Abb. 4-16: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten (v) auf der 1. und 2. Streckenhälfte.....	94
Abb. 4-17: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) auf der 1. und 2. Streckenhälfte der drei Teststrecken .....	95
Abb. 4-18: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) auf der 1. und 2. Streckenhälfte der drei Teststrecken .....	96
Abb. 4-19: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten (v) auf der 1. und 2. Streckenhälfte der drei Teststrecken .....	97

Abb. 4-20: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) innerhalb der Steigungskategorien mit Differenzierung der Teststrecken und zwischen 1. und 2. Streckenhälfte .....	98
Abb. 4-21: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) innerhalb der Steigungskategorien mit Differenzierung der Teststrecken und zwischen 1. und 2. Streckenhälfte.....	99
Abb. 4-22: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten (v) innerhalb der Steigungskategorien mit Differenzierung der Teststrecken und zwischen 1. und 2. Streckenhälfte .....	101
Abb. 4-23: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) innerhalb der Untergrundkategorien.....	102
Abb. 4-24: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) innerhalb der Untergrundkategorien .....	103
Abb. 4-25: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten (v) innerhalb der Untergrundkategorien .....	104
Abb. 4-26: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) innerhalb der Untergrundkategorien mit Differenzierung der Teststrecken .....	105
Abb. 4-27: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) innerhalb der Untergrundkategorien mit Differenzierung der Teststrecken .....	106
Abb. 4-28: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten (v) innerhalb der Untergrundkategorien mit Differenzierung der Teststrecken .....	107
Abb. 4-29: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) aller Steigungskategorien mit mindestens zwei verschiedenen Untergründen zum Vergleich innerhalb der jeweiligen Teststrecke.....	108
Abb. 4-30: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) aller Steigungskategorien mit mindestens zwei verschiedenen Untergründen zum Vergleich innerhalb der jeweiligen Teststrecke .....	109

---

Abb. 4-31: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeit (v) aller Steigungskategorien mit mindestens zwei verschiedenen Untergründen zum Vergleich innerhalb der jeweiligen Teststrecke .....	110
Abb. 4-32: Strecke 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Belastungsintensitäten im Verhältnis zu der maximalen Herzfrequenz (% $Hf_{max}$ ) und der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme (% $VO_{2max}$ ) sowie der Geschwindigkeit (v) innerhalb der definierten Steigungsabschnitte .....	131
Abb. 4-33: Strecke 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Belastungsintensitäten im Verhältnis zu der maximalen Herzfrequenz (% $Hf_{max}$ ) und der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme (% $VO_{2max}$ ) sowie der Geschwindigkeit (v) innerhalb der definierten Steigungsabschnitte .....	132
Abb. 4-34: Strecke 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Belastungsintensitäten im Verhältnis zu der maximalen Herzfrequenz (% $Hf_{max}$ ) und der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme (% $VO_{2max}$ ) sowie der Geschwindigkeit (v) innerhalb der definierten Steigungsabschnitte .....	133
Abb. 5-1: Mittlere Belastungsintensitäten im Verhältnis zu der maximalen Herzfrequenz (% $Hf_{max}$ ) und der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme (% $VO_{2max}$ ) sowie der mittleren Geschwindigkeiten (v) innerhalb der definierten Steigungsabschnitte auf den drei Teststrecken .....	179

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) bei verschiedenen Geschwindigkeiten nach PREUß et al. (2008) und SCHIFFER et al. (2006).....	18
Tab. 2-2: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) der männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden bei verschiedenen Steigungen (%) nach HÖLTKE et al. (2003) .....	18
Tab. 2-3: Mittelwerte der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{VO}_2$ ), Herzfrequenzen (Hf) und des subjektiven Belastungsempfindens bei verschiedenen Steigungen (%) nach SAUNDERS et al. (2008).....	20
Tab. 2-4: Terrainkoeffizienten nach SOULE und GOLDMAN (1972), Erhöhung des Energieverbrauchs in Abhängigkeit zur Untergrundbeschaffenheit.....	42
Tab. 3-1: Schwierigkeitseinteilung von Nordic Walking Strecken nach ROTH et al. (2003).....	54
Tab. 3-2: Anthropometrische Daten der Probanden.....	59
Tab. 3-3: Maximale Herzfrequenz ( $\text{Hf}_{\text{max}}$ ) der Probanden .....	60
Tab. 3-4: Maximale relative Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) der Probanden .....	61
Tab. 3-5: Korrelationskoeffizienten und ihre Interpretation nach BROSIUS (2011) .....	68
Tab. 3-6: Kriteriums- und Prädiktorvariablen innerhalb der Regressionsanalysen.....	69
Tab. 4-1: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der Herzfrequenzen (Hf) einer 2 min Messung in körperlicher Ruhe vor Belastungsbeginn .....	72
Tab. 4-2: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{VO}_2$ ) einer 2 min Messung in körperlicher Ruhe vor Belastungsbeginn .....	73

---

Tab. 4-3: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der Herzfrequenzen (Hf) einer 2 min Messung in körperlicher Ruhe 3 min nach Belastungsende .....	74
Tab. 4-4: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) einer 2 min Messung in körperlicher Ruhe 3 min nach Belastungsende .....	75
Tab. 4-5: Unterschiede der Herzfrequenzen (Hf) und der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{VO}_2$ ) zwischen den Teststrecken in körperlicher Ruhe nach der Belastung.....	75
Tab. 4-6: Zusammenhänge zwischen den Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei negativen Steigungen .....	112
Tab. 4-7: Zusammenhänge zwischen den Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei positiven Steigungen.....	113
Tab. 4-8: Zusammenhänge zwischen der Steigung und den individuellen Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei negativen Steigungen .....	114
Tab. 4-9: Zusammenhänge zwischen der Steigung und den individuellen Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei positiven Steigungen .....	115
Tab. 4-10: Zusammenhänge zwischen der Streckenlänge und den individuellen Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei negativen Steigungen .....	116
Tab. 4-11: Zusammenhänge zwischen der Streckenlänge und den individuellen Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei positiven Steigungen .....	116
Tab. 4-12: Zusammenhänge zwischen dem Untergrund und den individuellen Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei negativen Steigungen .....	117

Tab. 4-13: Zusammenhänge zwischen dem Untergrund und den individuellen Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei positiven Steigungen.....	118
Tab. 4-14: Zusammenhänge zwischen Herzfrequenz und Streckenlänge, Steigung, Untergrund und der Geschwindigkeit (v) bei negativen Steigungen (multiple Regression).....	120
Tab. 4-15: Zusammenhänge zwischen Herzfrequenz und Streckenlänge, Steigung, Untergrund und der Geschwindigkeit (v) bei positiven Steigungen (multiple Regression).....	122
Tab. 4-16: Zusammenhänge zwischen relativer Sauerstoffaufnahme und Streckenlänge, Steigung, Untergrund und der Geschwindigkeit (v) bei negativen Steigungen (multiple Regression).....	124
Tab. 4-17: Zusammenhänge zwischen relativer Sauerstoffaufnahme und Streckenlänge, Steigung, Untergrund und der Geschwindigkeit (v) bei positiven Steigungen (multiple Regression).....	126
Tab. 4-18: Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Streckenlänge, Steigung und Untergrund bei negativen Steigungen (multiple Regression) .....	128
Tab. 4-19: Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Streckenlänge, Steigung und Untergrund bei positiven Steigungen (multiple Regression) .....	130
Tab. 5-1: Übersicht der Einflussstärke der Streckenparameter auf die individuellen Parameter bei negativen Steigungen auf Grundlage der Regressionsanalysen .....	173
Tab. 5-2: Übersicht der Einflussstärke der Streckenparameter auf die individuellen Parameter bei positiven Steigungen auf Grundlage der Regressionsanalysen .....	175

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ACSM	American College of Sports Medicine
AHA	American Heart Association
$\beta$	standardisierter Beta-Koeffizient
BMI	Body Mass Index
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
DSV	Deutscher Skiverband
et al.	et alii (und andere)
etc.	et cetera (und so weiter)
f.	folgende
ff.	fortfolgende
ft	feet (Fuß)
GBE	Gesundheitsberichterstattung des Bundes
GFK	Gesellschaft für Konsumforschung
ggf.	gegebenenfalls
HD	Höhendifferenz
Hf	Herzfrequenz
$Hf_{\max}$	maximale Herzfrequenz
INWA	Internationale Nordic Walking Association
kcal	Kilokalorien
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	Kilometer pro Stunde
LA	Lebensalter
lbs	pounds (Pfund)
m	männlich / Meter
$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	Meter pro Sekunde
min	Minuten
mind.	mindestens
$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	Milliliter pro Kilogramm Körpergewicht pro Minute

---

mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
n	Anzahl (Probanden)
n.s.	nicht signifikant
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
$p_F$	Signifikanz des F-Tests
$p_t$	Signifikanz des t-Tests
r	Korrelationskoeffizient
$r_{HF}$	Korrelationskoeffizient zu Untergrund und Herzfrequenz
$r_{VO_2}$	Korrelationskoeffizient zu Untergrund und relativer Sauerstoffaufnahme
$R^2$	Bestimmtheitsmaß
RPE	ratings of perceived exertion
S.	Seite
Std.	Stunde
s. Abb.	siehe Abbildung
s. o.	siehe oben
s. S.	siehe Seite
s. Tab.	siehe Tabelle
s. u.	siehe unten
$S \cdot m^{-1}$	Schläge pro Minute
SD	Standardabweichung (statistischer Kennwert)
Tab.	Tabelle
Tol.	Toleranz
v	Geschwindigkeit
VIF	Varianzinflationsfaktor
$VO_2$	relative Sauerstoffaufnahme
$VO_{2max}$	maximale relative Sauerstoffaufnahme
w	weiblich
WHO	World Health Organization
$\bar{x}$	Mittelwert (statistischer Kennwert)
z. B.	zum Beispiel



# 1 Einleitung

Nordic Walking hat sich von der einstigen Trendsportart zu einer festen Größe im Bereich des Freizeit- und Gesundheitssportes entwickelt (SCHIFFER et al. 2009, WÖRLE 2008). Die hohe Attraktivität dieser Sportart liegt in der Mischung aus Ausdaueraktivität, Ganzkörpereinsatz und Naturerlebnis, gepaart mit einem hohen gesundheitsfördernden Aspekt (LIEDTKE und LAGERSTRÖM 2004). Knapp 7% der Deutschen gehen laut der GESELLSCHAFT FÜR KONSUMFORSCHUNG (2010) regelmäßig der Sportart Nordic Walking nach, dies entspricht ca. 5,7 Millionen Nordic Walkern<sup>1</sup> in der Bundesrepublik Deutschland.

1997 wurde Nordic Walking als Breitensportkonzept von dem Sportstudenten Marko Kantaneva in Zusammenarbeit mit dem Stockhersteller Exel vorgestellt (KANTANEVA 2005). Auf dieser Basis gewann diese Sportart in Europa immer mehr an Bedeutung. Parallel entwickelte sich Nordic Walking bzw. das artverwandte Pole Walking auch in den USA (FALKNER 2008, PORCARI et al. 1997). Im Jahr 2001 wurde die Internationale Nordic Walking Association (INWA) gegründet, die es sich zum Ziel gesetzt hatte, die Verbreitung des Nordic Walkings und die technische Weiterentwicklung der Sportart voranzutreiben (INWA 2013). In Deutschland etablierten sich zahlreiche Verbände, die sich an unterschiedlichen Technikleitbildern orientieren (BURGER 2007). Diese Fachverbände unterscheiden sich nicht nur in ihren Ausbildungskriterien, sondern auch in Bezug auf die Ausweisung von geeigneten Nordic Walking Strecken. Letztere sind nur selten einem Qualitätsmanagement unterworfen und die Anbieter geben (auch nach mehrfacher schriftlicher Anfrage) keinerlei Auskunft zur Grundlage ihrer Kategorisierung. Einzig der Deutsche Skiverband legt seine Qualitätskriterien und das Streckenkonzept für Nordic Walking Strecken offen (DSV 2012, LUTHE und ROTH 2008, ROTH et al. 2003).

---

<sup>1</sup> Zur Vereinfachung der Lesbarkeit werden in der vorliegenden Arbeit in der Regel die Sammelbezeichnungen Nordic Walker, Sportler und Athleten verwendet. Diese sind als geschlechtsneutral anzusehen.

Auch die Tourismusbranche hat sich der Sportart Nordic Walking gerade aus gesundheitlicher Sicht mit großem Interesse angenommen. Zahlreiche Gemeinden setzen auf spezielle Konzepte mit einem umfangreichen Kursangebot und den angesprochenen speziell ausgewiesenen Nordic Walking Strecken, die den Sportlern die optimalen Voraussetzungen zur Ausübung ihrer Sportart bieten sollen (LUTHE und ROTH 2008, MORGULEC-ADAMOWICZ et al. 2011, ROTH et al. 2003). Die Nordic Walking Strecken zeichnen sich durch eine einheitliche Beschilderung aus und werden je nach Anbieter anhand von Streckenlänge, Steigungen und Untergründen in verschiedene Schwierigkeitsgrade eingeteilt. Allein der Deutsche Skiverband hat seit 2002 bereits 161 DSV nordic aktiv Walking Zentren mit jeweils mindestens drei Nordic Walking Strecken in ganz Deutschland errichtet. Eine Klassifizierung erfolgt dabei in Anlehnung an den nordischen und alpinen Skilauf in drei Schwierigkeitsgrade: blau=leicht, rot=mittelschwierig, schwarz=schwierig (DSV 2012, LUTHE und ROTH 2008, ROTH et al. 2003).

Nordic Walking basiert auf dem Diagonalschritt in Kombination mit einem aktiven Armeinsatz und steht in enger Verbindung zur klassischen Skilanglauftechnik, jedoch ohne Gleitphase. Das Bewegungsmuster mit der diagonalen Koordination von Arm- und Beinschwung entspricht damit eher dem des normalen Gehens und somit bei gesunden Menschen einem automatisierten Bewegungsablauf. Dies führt zum einen zu einem schnellen Erfolg beim Erlernen der Bewegungstechnik und zum anderen zu einer veränderten metabolischen Situation basierend auf dem Einsatz der Stöcke (BURGER 2007, KREUZRIEGLER et al. 2002, LIEDTKE und LAGERSTRÖM 2004, WÖRLE 2008).

Wissenschaftliche Untersuchungen bestätigen den großen energetischen Mehraufwand der Sportart Nordic Walking gegenüber dem Walking ohne Stöcke. Durch die zusätzliche Beanspruchung der oberen Extremität werden bei gleicher Geschwindigkeit höhere Herzfrequenzen und Sauerstoffaufnahmewerte erreicht als beim Walking und insgesamt ein höherer Energieumsatz erzielt (AIGNER et al. 2004, CHURCH et al. 2002, JORDAN et al. 2001, MORSS et al. 2001, PORCARI et al. 1997, PREUß et al. 2008, SCHIFFER et

al. 2006, TSCHENTSCHER et al. 2013). Hingegen wird das subjektive Belastungsempfinden von der Stocknutzung nicht beeinträchtigt, so dass aus den aufgeführten metabolischen Gesichtspunkten der Sportart Nordic Walking ein höherer gesundheitlicher Benefit zugeschrieben wird (PREUß et al. 2008, RODGERS et al. 1995, SCHIEBEL et al. 2003).

Aufgrund der einfacheren Standardisierung und besseren Reproduzierbarkeit werden viele Studien zur metabolischen Beanspruchung beim Walking und Nordic Walking mittels Laufbandergometrie unter Laborbedingungen durchgeführt. Dadurch sollen veränderbare äußere Faktoren wie z. B. Temperatur, Luftwiderstand, Luftdruck und Untergrundbeschaffenheit als Störvariablen auf die körperliche Reaktion hin kontrolliert bzw. ausgeschlossen werden. Eine standardisierte Testsituation in einem Labor schränkt die Möglichkeit sportartspezifische Leistung zu messen jedoch zum Teil sehr stark ein. Viele sportartspezifische Ergometer sind nur bedingt in der Lage die typischen motorischen Belastungen der jeweiligen Sportart adäquat widerzuspiegeln (HOLLMANN und STRÜDER 2009, LARSSON 2003). Gerade im Bereich des Nordic Walkings ist die Nutzung von Laufbandergometern als problematisch anzusehen, da ein technikkonformer Arm- und Stockeinsatz aufgrund der erhöhten koordinativen Anforderung durch das Gehen auf dem Laufband und auch der Beschaffenheit des Laufbandes (wie Breite, Länge, Oberfläche) nicht gewährleistet werden kann (JACOBSON et al. 2000, FIGARD-FABRE et al. 2010, KNIGHT und CALDWELL 2000, PERRY und FABRE 2008, PREUß et al. 2008, SCHIFFER et al. 2006).

Über die erhöhte metabolische Belastung durch den aktiven Stockeinsatz wird die physiologische Beanspruchung beim Nordic Walking – wie auch bei anderen Outdoorsportarten – während des Trainings im Feld zusätzlich durch äußere Faktoren beeinflusst. Neben der variablen Klimasituation nehmen sogenannte Sicherheitsfaktoren und die Oberflächenbeschaffenheit des Weges Einfluss auf Natursportler wie Nordic Walker. Jedoch wird die größte Einflussnahme auf die physiologische Beanspruchung bei Ausdauersportarten neben dem Körpergewicht den Parametern Steigung und Geschwindigkeit zugeschrieben (HENKE und BLUMENBACH 2005, MINETTI et al.

2002, SCHUTZ und CHAMBAZ 1997). Diese bedingen sich im Feld auch gegenseitig und sind damit einem mehr oder minder großen Wechsel unterlegen. In den meisten bis dato durchgeführten Feldtests aus dem Bereich des Nordic Walkings wurde der Einfluss von Steigung, Geschwindigkeit und Untergrund separat voneinander und meist nur im Vergleich zum Walking ohne Stöcke untersucht. Dabei wird nicht berücksichtigt, dass gerade die Geschwindigkeit und die Position der Probanden auf der Strecke bei Ausdauersportarten im Freien eine entscheidende und sich wechselseitig beeinflussende Rolle spielen (CREAGH et al. 1998a, 1998b, BIRD et al. 1993, PECK 1990) und damit auch physiologisch und gesundheitlich relevant sein können.

Vor diesem Hintergrund haben sich die innerhalb der letzten Jahre stark verbesserten satellitengestützten Messverfahren – Global Positioning System (GPS und dGPS) – als praktikable Möglichkeit zur zielgenauen Lagemessung auf der Erde sowie der Erfassung von Bewegungsgeschwindigkeiten erwiesen (HENKE und BLUMENBACH 2005, LARSSON 2003, LARSSON und HENRIKSSON-LARSÉN 2001). In Kombination mit der Erhebung des respiratorischen Gasaustausches bietet die GPS-Technik die Möglichkeit die metabolische Beanspruchung in Abhängigkeit von Lage- und Geschwindigkeitsänderungen unter tatsächlichen Trainings- und Wettkampfbedingungen zu untersuchen (LARSSON und HENRIKSSON-LARSÉN 2005, TOWNSHEND et al. 2008). Darüber hinaus kann damit auch die metabolische Situation des im Feld durchgeführten Gesundheitstrainings näher untersucht werden. Diesbezüglich zeigen Ergebnisse aus bestehenden Studien zum Nordic Walking im Vergleich zum Walking und Jogging die Notwendigkeit neue Diagnostikmethoden und Trainingsempfehlungen für die Sportart Nordic Walking zu entwickeln und weiter intensiv in diesem Bereich zu forschen (SCHIFFER et al. 2006).

Diese Forderung von SCHIFFER et al. (2006) ist zentraler Bestandteil der vorliegenden Arbeit: Das große Potential der Kombination von dGPS-Geräten und portablen Spirometrie-Systemen bildet unter Ergänzung einer Herzfrequenzmessung die methodologische Grundlage dieser Untersuchung. Allgemeines Ziel dieser Arbeit ist es, unter Nutzung dieser technischen Mög-

lichkeiten, erstmalig die aus den äußeren Parametern Steigung, Streckenlänge und Untergrund resultierenden Einflüsse einer Nordic Walking Strecke auf die Fortbewegungsgeschwindigkeit und die physiologischen Faktoren Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme beim Nordic Walking und das Verhalten von Nordic Walkern unter nahezu realen Trainingsbedingungen zu analysieren. Aus den Studienergebnissen sollen anschließend gesundheitsbezogene Trainingsempfehlungen für die Sportart Nordic Walking überprüft und gegebenenfalls neue abgeleitet werden. Als Nebeneffekt sind gesundheitsbezogene Aussagen zu Streckenkategorisierungen möglich, da zum ersten Mal in einer Arbeit zum Nordic Walking diese Kategorisierungsfaktoren in Bezug zu physiologischen Daten untersucht werden.

Im speziellen sollen folgende Fragestellungen im Rahmen der Arbeit gezielt beantwortet werden:

- In welchem Bereich liegen die selbstgewählten Trainingsgeschwindigkeiten?
- Wird die Fortbewegungsgeschwindigkeit als Regulativ zur Steuerung der Belastungsintensität genutzt?
- Steht die Belastungsintensität in Abhängigkeit zum Schwierigkeitsgrad der Strecke?
- Welcher der äußeren Parameter hat den größten Einfluss auf die physiologischen Parameter bzw. die Fortbewegungsgeschwindigkeit?
- Welche Konsequenzen ergeben sich für die gesundheitsorientierte Trainingspraxis?

## 2 Forschungsstand

Nordic Walking hat sich in den letzten Jahren unter den Top 10 der in Deutschland regelmäßig betriebenen Sportarten etabliert. Nach Radfahren, Schwimmen und Joggen ist es die beliebteste Ausdauersportart in der Bundesrepublik (GFK 2010) und ist insbesondere im Bereich des Freizeit- und Gesundheitssportes weit verbreitet. Laut HANSEN und SMITH (2009) bietet Nordic Walking ein großes gesundheitsbezogenes Potential für die breite Öffentlichkeit, um bei regelmäßiger Durchführung, die aus Ausdauersportarten resultierenden Gesundheitsvorteile zu erzielen (ACSM 1998, FIGARD-FARBE et al. 2010, LEE und PAFFENBERGER 1998, PERRIN et al. 2000, RUDACK et al. 2005).

Innerhalb der letzten 15 Jahre wurde Nordic Walking gerade im populärwissenschaftlichen Bereich aufgrund des höheren Kalorienverbrauchs und der vermeintlichen Reduzierung der Gelenkbelastungen stark propagiert (GEYER 2005, PRAMANN und SCHÄUFLE 2009, STENGL und BARTOSCH 2005, STRUNZ 2005). Durch die große Akzeptanz, den großen Zulauf und die vermuteten gesundheitlichen Vorteile wurde Nordic Walking auch zum Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Studien, die sich schwerpunktmäßig auf energetische Aspekte (CHURCH et al. 2002, HÖLTKE et al. 2005, JORDAN et al. 2001, KNOBLOCH 2007, MORSS et al. 2001, PERREY und FABRE 2008, PORCARI et al. 1997, PREUß et al. 2008, RODGERS et al. 1995, RUDACK et al. 2005, SCHIFFER et al. 2006, 2011, WÜPPER et al. 2005) und die biomechanischen Betrachtungen der Gelenkbelastungen beziehen (BOHNE und ABENDROTH-SMITH 2007, BURGER 2005, FRANZ et al. 2006, HAGEN et al. 2011, HANSEN et al. 2008, KLEINDIENST et al. 2007, RIST et al. 2004, SCHWAMEDER und RING 2006, STIEF et al. 2008, WILLSON et al. 2001). Bei den energetischen Untersuchungen stehen besonders Fragen zum gesundheitlichen Benefit und dem Potential des Nordic Walkings als Ausdauertrainingsform im Vordergrund. Bei den biomechanischen Studien liegt meist der Vergleich zwischen Nordic Walking und Walking im Fokus und dort die morphologischen und morphogenetischen Auswirkungen auf muskuloskeletale Strukturen. Des Weiteren existieren zahlreiche Studien

zum Nordic Walking in der Rehabilitation, um dort die therapeutischen Effekte auf unterschiedliche Krankheitsbilder, die von orthopädischen über psychosomatische bis hin zu internistischen Problemfeldern reichen, zu untersuchen (COLLINS et al. 2005, EDEL 2008, KOCUR und WILK 2006, MOMMERT-JAUCH et al. 2007, OAKLEY et al. 2008, STROMBECK et al. 2007, VAN EIJKEREN et al. 2008, WALTER et al. 1996).

## **2.1 Physiologische Belastungsparameter beim Nordic Walking**

Als Standard zur Beurteilung einer körperlichen Ausdauerbelastung haben sich die Parameter Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme bei sportphysiologischen Untersuchungen durchgesetzt (ACSM 2009). Bei den messbaren Veränderungen dieser Parameter in Folge einer muskulären Beanspruchung handelt es sich um physiologische Reaktionen, die nicht direkt willentlich vom Individuum gesteuert werden können. Hingegen ist die Fortbewegungsgeschwindigkeit mit der sich Nordic Walker bewegen ein Parameter, der es erlaubt auf vorgegebenen Strecken die Belastungsintensität beim Nordic Walking zu steuern. Auch PREUß et al. (2008) und SCHIFFER et al. (2006, 2011) beschreiben, dass Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme hilfreiche Parameter zur Aufnahme von physiologischen Antworten beim Nordic Walking sind. Weiterhin hat sich zur Beurteilung der physiologischen Belastung beim Nordic Walking bzw. beim Wandern mit Trekkingstöcken in Kombination mit der Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme auch die Erhebung des subjektiven Belastungsempfindens „ratings of perceived exertion“ (RPE) - nach BORG (1982) etabliert (CHURCH et al. 2002, DUNCAN und LYONS 2008, FIGARD-FABRE et al. 2010, HÖLTKE et al. 2003, 2005, JORDAN et al. 2001, KNIGHT und CALDWELL 2000, MORSS et al. 2001, PERREY und FABRE 2008, PORCARI et al. 1997, PREUß et al. 2008, RODGERS et al. 1995, SAUNDERS et al. 2008,

SCHIEBEL et al. 2003, SCHIFFER et al. 2011, WÜPPER et al. 2005, ZISCHG und SPAZIER 2004).

Weitere Parameter wie die Kohlenstoffdioxidabgabe und der respiratorische Quotient spielen in den Untersuchungen keine oder nur eine untergeordnete Rolle, wobei dafür keine Begründungen angegeben werden. Laktatanalysen zusätzlich zur Spirometrie wurden nur in wenigen Studien durchgeführt (AIGNER et al. 2004, HÖLTKE et al. 2003, 2005, Preuß et al. 2008, RUDACK et al. 2005, SCHIEBEL et al. 2003, SCHIFFER et al. 2006, 2009, 2011). Je nach Untersuchungsdesign und Frage konnten damit zwar zusätzliche Informationen gewonnen werden, die aber letztlich die gemessene Sauerstoffaufnahme, die Herzfrequenz und den RPE nur zusätzlich untermauerten.

### **2.1.1 Herzfrequenz**

Nach AHA (2001) und WILMORE et al. (2008) ist die Herzfrequenz (Hf) einer der am einfachsten zu messenden und informativsten Parameter des kardiovaskulären Systems. Damit ist die Herzfrequenz die am häufigsten angewandte Messgröße in Wissenschaft und Praxis zur Steuerung und Überprüfung der Belastungsintensität bei Ausdauersportarten. Sie wird definiert durch die Anzahl der Herzschläge pro Minute ( $S \cdot \text{min}^{-1}$ ) und ist abhängig von Lebensalter, Geschlecht und Trainingszustand. Körpergewicht, Körpertemperatur, Belastungsintensität, Belastungsart, Umwelteinflüsse und emotionalen Faktoren können die Herzfrequenz zusätzlich beeinflussen (AHA 2001, ÅSTRAND et al. 2003, DE MARÉES 2003, MCARDLE et al. 2010, SCHMIDT und LANG 2007, WILMORE et al. 2008).

In körperlicher Ruhe liegt die Herzfrequenz eines gesunden Erwachsenen zwischen 60 bis 90  $S \cdot \text{min}^{-1}$  (DE MARÉES 2003, DICKHUTH 2000, HOLLMANN et al. 2006), während unter Belastung Spitzenwerte über 200  $S \cdot \text{min}^{-1}$  erreicht werden können. Dies ist insbesondere abhängig von Alter, Trai-

ningszustand und individuellen genetischen Voraussetzungen. Allgemein wird die maximale Herzfrequenz ( $Hf_{\max}$ ) mit  $220 \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  minus Lebensalter bei einer Streubreite von  $\pm 10 \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  angegeben. Häufig wird dieser Wert herangezogen, um über die Angabe seines prozentualen Anteils bei körperlicher Aktivität eine Aussage über die Belastungsintensität zu machen (AHA 2001, ÅSTRAND et al. 2003, DE MARÉES 2003, McARDLE et al. 2010, s. Kap. 2.2, S. 28). Im Geschlechtervergleich weisen Frauen bei submaximalen Belastungen in der Regel höhere Herzfrequenzwerte auf als Männer, wobei die kardiale Leistungsfähigkeit ähnlich hoch liegt (WILMORE et al. 2008). Bei den meisten Arten der körperlichen Aktivität steigt die Herzfrequenz linear mit der Belastung (ÅSTRAND et al. 2003). Damit steigt unter Belastung auch das Herzminutenvolumen an, definiert als linksventrikuläres Schlagvolumen mal Herzfrequenz pro Minute. Somit kann der erhöhte Energie- und Sauerstoffbedarf in der Muskulatur durch den vermehrten Blutfluss und der damit gesteigerten Transportkapazität von Reaktanten, Produkten, Substraten und Endprodukten des Stoffwechsels kompensiert werden (DE MARÉES 2003).

Zur Überprüfung und Aufnahme der Herzfrequenz hat sich die Anwendung von Herzfrequenzmessern (Pulsuhren) als objektive und valide Vorgehensweise in nahezu allen Alltagssituationen etabliert (GOODIE et al. 2000, LAUKKANEN und VIRTANEN 1998). In Bezug auf die Messgeräte wiesen GOODIE et al. (2000) eine sehr starke Korrelation zwischen einem Herzfrequenzmesser der Firma Polar und einer Elektrokardiographie nach ( $r = 0,90$ ). Wie bei zahlreichen wissenschaftlichen Studien (z. B. FIGARD-FABRE et al. 2010, HANSEN und SMITH 2009) diente auch in der vorliegenden Untersuchung ein entsprechender Brustgurt der Firma Polar zur Messung und Übertragung der Herzfrequenz (s. Kap. 3.2, S. 52).

Da die Herzfrequenzmessung eine anerkannte und einfache Methode zur Beurteilung der physiologischen Belastung bei Ausdauersportarten darstellt, wurde sie auch bei wissenschaftlichen Studien im Bereich des Nordic Walkings häufig eingesetzt, um die Belastungsintensität im Allgemeinen und im Vergleich zum Walking und Jogging zu analysieren. Dabei

zeigen sich im Vergleich zum Walking tendenziell höhere Herzfrequenzwerte für das Nordic Walking. Bei identischem Untersuchungsdesign bezüglich der vorgegebenen Belastung, Geschwindigkeit und/oder Steigung variieren die beschriebenen Unterschiede zwischen den Studien jedoch stark. So ermittelten AIGNER et al. (2004) bei 1,5% Steigung und vorgegebenen Geschwindigkeiten im Bereich zwischen 3 und 8 km•h<sup>-1</sup> signifikant höhere Herzfrequenzwerte beim Nordic Walking als beim Walking für alle Geschwindigkeitsstufen. Dabei wurden Werte zwischen 105 und 165 S•min<sup>-1</sup> erreicht (Werte wurden aus Abbildung 1 von AIGNER et al. 2004 entnommen). HÖLTKE et al. (2003, 2005) zeigten hingegen, dass die Herzfrequenz und das subjektive Belastungsempfinden nach BORG (1982) bei gleichbleibender Geschwindigkeit (1,39 m•s<sup>-1</sup>) und stufenförmiger Erhöhung der Steigung nur marginale und überwiegend nicht signifikante Unterschiede zwischen den beiden Sportarten aufweisen. Lediglich bei höheren Belastungsstufen > 5% Steigung konnten HÖLTKE et al. (2005) signifikant niedrigere RPEs beim Nordic Walking ermitteln. Bei gleicher Geschwindigkeit und einer Erhöhung der Steigung um 2,5% stellten wiederum SCHIEBEL et al. (2003) signifikant höhere Herzfrequenzwerte beim Nordic Walking fest (3,4-4,9%), wobei sich die Werte zwischen Walking und Nordic Walking mit zunehmender Steigung angleichen (s. Kap 2.3.1, S. 38). Bezüglich des RPEs konnten sie keine signifikanten Unterschiede nachweisen.

Bei einem 15-minütigen Dauertest mit einer Geschwindigkeit von 6 km•h<sup>-1</sup> (~1,67 m•s<sup>-1</sup>) lag die Herzfrequenz beim Nordic Walking im Mittel um 4,8% höher als beim Walking, während das Belastungsempfinden als gleichwertig beurteilt wurde (SCHIEBEL et al. 2003). Im Gegensatz dazu berichten PORCARI et al. (1997), dass die Herzfrequenzen beim Nordic Walking bei selbstgewählter Geschwindigkeit und gleicher Geschwindigkeit um 16% höher lagen als beim Walking und zwar im Mittel bei 129 (± 13) S•min<sup>-1</sup> bei den Männern und 134 (± 19) S•min<sup>-1</sup> bei den Frauen. Die RPEs lagen beim Nordic Walking im Mittel um 1,5 Einheiten (p ≤ 0,05) höher als beim Walking ohne Stöcke. Ein Unterschied zwischen Männern und Frauen

konnte beim Vergleich der Sportarten nicht belegt werden. Die selbstgewählten Geschwindigkeiten lagen im Mittel zwischen  $1,7$  und  $1,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , so dass die Belastungsintensitäten im Mittel bei  $69\% \text{ Hf}_{\text{max}}$  lagen. Alle Autoren dieser Laufbanduntersuchungen im Labor berufen sich in ihrem Erklärungsansatz darauf, dass ein gesteigerter Armeinsatz und damit höherer Gesamtmuskeleinsatz ursächlich für die erhöhte Herzfrequenz ist. Dies belegt besonders die Studie von JORDAN et al. (2001). Durch einen intensiven Armeinsatz erhöhten sich die Herzfrequenzen auf dem Laufband im Mittel um ca.  $34,3\%$  im Vergleich zum Walking und lagen bei  $137 (\pm 20,8) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$ . Auch bei den Feldstudien von CHURCH et al. (2002), MORSS et al. (2001) und ZISCHG und SPAZIER (2004) lagen die Herzfrequenzen beim Nordic Walking signifikant höher als beim Walking (ca.  $6\%$ ), wobei sich das subjektive Belastungsempfinden zwischen den Sportarten nicht unterschied. Die Herzfrequenzwerte differierten allerdings beträchtlich mit im Mittel  $114 (\pm 15,0) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  bzw.  $114 (\pm 12) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  bei CHURCH et al. (2002) und MORSS et al. (2001) und  $130,8 (\pm 16,4) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  bei ZISCHG und SPAZIER (2004), was vermutlich auf die um  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  höhere mittlere Geschwindigkeit zurückzuführen ist. Ähnliche Unterschiede zwischen den Herzfrequenzwerten beim Nordic Walking und Walking ermittelten auch SCHIFFER et al. (2006) auf der Laufbahn. Bis zu einer Geschwindigkeit von  $1,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  lagen die Herzfrequenzen beim Nordic Walking signifikant höher als beim Walking. Bei  $2,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  lagen diese Werte beim Nordic Walking und Walking signifikant höher als beim Jogging, so dass davon ausgegangen werden kann, dass bei einer Geschwindigkeit in dieser Größenordnung Jogging zwar die energetisch effizientere Fortbewegungsart darstellt, jedoch gesundheitlich weniger wirksam ist. Bei PREUß et al. (2008) lagen die Herzfrequenzwerte beim Nordic Walking auf allen Geschwindigkeitsstufen höher als beim Walking ( $6\text{-}7\%$ ) und bei  $7,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 2,08 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) auch geringfügig höher als beim Jogging. In der Endstufe wurden Werte von  $130,8 (\pm 17,3) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  erreicht, während bei RUDACK et al. (2005) nur bei Geschwindigkeiten bis  $7,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 2,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) signifikant höhere Herzfrequenzwerte beim Nordic Walking gegenüber dem Walking ermittelt wurden. Das subjektive Belastungsempfinden unter-

schied sich dagegen nicht. Der Belastungsabbruch erfolgte beim Nordic Walking bei einer mittleren Geschwindigkeit von  $8,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 2,39 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) und einer mittleren Herzfrequenz von  $166 \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$ . Auch RODGERS et al. (1995) ermittelten beim Nordic Walking tendenziell um 9% höhere Herzfrequenzen als beim Walking, allerdings erwiesen sich diese Ergebnisse, genau wie bei einer weiteren Feldstudie von SCHIFFER et al. (2011), als nicht signifikant. KNIGHT und CALDWELL (2000) und SAUNDERS et al. (2008) zeigten, dass auch die Nutzung von Trekkingstöcken eine signifikante Erhöhung der Herzfrequenzwerte bewirkt. KNOBLOCH (2007) beschreibt hingegen, dass bei einem gegebenen RPE keine Unterschiede zwischen Nordic Walking und Walking hinsichtlich der Herzfrequenz und der Herzleistung bestehen. Bei einem RPE von  $13 (\pm 1)$  wurden bei dem 30-minütigen Dauertest Herzfrequenzen von  $123 (\pm 30) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  erzielt. Auch KUKKONEN-HARJULA et al. (2007) konnten beim Vergleich von Nordic Walking und Walking keine signifikanten Herzfrequenzunterschiede innerhalb einer 13-wöchigen Interventionsstudie feststellen. Beide Sportarten erwiesen sich als geeignete und sichere Formen der Gesundheitsförderung durch körperliche Aktivität und zeigten positive Auswirkungen auf die kardipulmonale Leistungsfähigkeit. So lagen die Herzfrequenzen bei einer Belastung von 65% der  $\text{VO}_{2\text{max}}$  zu Beginn der Studie beim Nordic Walking bei  $135,7 (\pm 14,4) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  und am Ende bei  $130,8 (\pm 13) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$ . Ebenso konnten auch PERREY und FABRE (2008) sowie JACOBSON et al. (2000) bei ihren Untersuchungen keine signifikanten Unterschiede der Herzfrequenzwerte mit oder ohne Nutzung von Trekkingstöcken nachweisen. Dabei ist anzumerken, dass die Autoren keine konkreten Angaben zur Ausführung der jeweiligen Technik geben. Während PERREY und FABRE (2008) die Probanden zwar als geübte Nordic Walker bezeichnen, die eine Einführung zum Nordic Walking auf dem Laufband erhielten, bleiben JACOBSON et al. (2000) Angaben hierzu schuldig, so dass die Vergleichbarkeit der Studien eingeschränkt ist.

Da sich in keiner dieser Untersuchungen höhere Herzfrequenzen für das Walking gegenüber dem Nordic Walking bzw. dem Wandern mit Trekking-

stöcken ergaben, kann davon ausgegangen werden, dass die adäquate Nutzung von Nordic Walking oder Trekkingstöcken bei gleichem subjektiven Belastungsempfinden eine höhere Belastungsintensität bezogen auf die maximale Herzfrequenz bewirkt.

### 2.1.2 Sauerstoffaufnahme

Die Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) ist die wichtigste Kenngröße des respiratorischen und kardiopulmonalen Systems, da sich durch jede Funktionssteigerung der Arbeitsmuskulatur auch der Sauerstoffbedarf erhöht. Einhergehend steigert sich im direkten Verhältnis zum Anstieg der Belastungsintensität der Metabolismus. Die Reaktion auf einen gesteigerten Sauerstoffbedarf liegt in einer vermehrten Sauerstoffaufnahme resultierend aus einem Anstieg der Herzfrequenz, des Schlagvolumens und der Ventilation (AHA 2001, APPELL et al. 2001, ÅSTRAND et al. 2003, HOLLMANN und STRÜDER 2009, RÖCKER 2002). Vor allem zur Beurteilung der Belastungsintensitäten bei sportlicher Aktivität stellt sie in Abhängigkeit von der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ ) eine häufig genutzte Kenngröße dar (ÅSTRAND et al. 2003, DE MARÉES 2003, WILMORE et al. 2008). In der Regel wird die Sauerstoffaufnahme als absolute Größe in Liter pro Minute ( $l \cdot \text{min}^{-1}$ ) oder als relative Größe bezogen auf das Körpergewicht der Testperson im Milliliter pro Kilogramm Körpergewicht pro Minute ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) angegeben. Der relativen Darstellung wird dabei häufig der Vorzug gegeben, um eine interindividuelle Vergleichbarkeit zu ermöglichen (AHA 2001, HOLLMANN und STRÜDER 2009, WILMORE et al. 2008). Ähnlich wie die Herzfrequenz variiert auch die Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit von Lebensalter, Geschlecht, Körpergewicht, Belastung und Belastungsart. Eine weitere Beeinflussung unterliegt die Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit von der Kontraktionsform der Muskulatur, der eingesetzten Muskelmasse/-gruppen, der Belastungsform, der Körperposition, dem Trainingszustand, der Temperatur und der

Höhe (AHA 2001, ÅSTRAND et al. 2003, BUTTS et al. 1995, HOLLMANN und STRÜDER 2009, MARGARIA et al. 1963b, MAZZEO 2008, McARDLE 2010, WILMORE et al. 2008). Bei Weitem den größten Einfluss auf die Sauerstoffaufnahme und somit auch auf den Energieverbrauch soll das Körpergewicht ausüben (BOBBERT 1960, BOURDIN et al. 1993, VAN DER WALT und WYNDHAM 1973).

In körperlicher Ruhe liegt die relative Sauerstoffaufnahme eines gesunden Erwachsenen bei  $3,5\text{-}4\text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , wobei sich auch unter standardisierten Messbedingungen intraindividuelle Schwankungen von 2-6% zeigen (DE MARÉES 2003, MÜLLER et al. 2006, RÜHLE 2008, SCHMIDT und LANG 2007). Nach einer körperlichen Belastung liegt die Sauerstoffaufnahme immer über dem Maß des zu Belastungsbeginn eingegangenen Sauerstoffdefizits und hängt sowohl von der Belastungsintensität als auch von der Belastungsdauer ab (DE MARÉES 2003, HOLLMANN und STRÜDER 2009, McARDLE et al. 2010). Auch ein Einfluss der Belastungsart, des Trainingszustandes und des Geschlechts kann in Bezug auf die Sauerstoffaufnahme nach Belastungsende nicht ausgeschlossen werden (BØRSHEIM und BAHR 2003). Allerdings existieren auf der einen Seite diverse Studien die dies bestätigen, auf der anderen Seite auch Studien, die z. B. einen höheren bzw. niedrigeren Sauerstoffverbrauch bei Frauen ermittelt haben (WILMORE et al. 2008). MILLER und STAMFORD (1987) konnten hingegen keine geschlechtsspezifischen Differenzen des Sauerstoffverbrauchs nachweisen, wenn dieser in Bezug zum Körpergewicht gesetzt wird. Eine mögliche Erklärung dieser divergierenden Ergebnisse könnte in einem unterschiedlichen Trainingszustand der Probanden liegen.

Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) stellt als oberste Grenze einen wichtigen Parameter zur Bewertung der Ausdauerleistungsfähigkeit dar. Ähnlich wie bei der Herzfrequenz werden Trainingsempfehlungen häufig in Form des prozentualen Anteils der  $\text{VO}_{2\text{max}}$  angegeben (s. Kap. 2.2, S. 28). Bei normal aktiven Personen verringert sich die maximale aerobe Kapazität um ca. 10% pro Dekade, bei Frauen ungefähr ab dem

15. Lebensjahr, bei Männern ungefähr ab dem 25. Lebensjahr. Dies steht im direkten Zusammenhang zu dem Rückgang der kardiorespiratorischen Funktionen. Frauen erreichen nur ca. 70-75% der  $VO_{2max}$  von Männern. Die Begründung sei in dem höheren Anteil an Körperfett und – zu geringerem Anteil – auch in einem geringeren Hämoglobin-Level zu finden. Bei Hochleistungssportlern beträgt der geschlechtsspezifische Unterschied lediglich 8-15%. Bei durchschnittlichen Personen beruhen 70% der Differenzen der maximalen Sauerstoffaufnahme auf Unterschieden des Körpergewichts (HOLLMANN und STRÜDER 2009, WILMORE et al. 2008).

Zur Bestimmung der Sauerstoffaufnahme hat sich die Verwendung von Spirometern mittlerweile als reproduzierbare und valide Messmethode etabliert (AINSLIE et al. 2003b, BREUER 2004, HOLLMANN et al. 2006, JAMES et al. 2007, MACFARLANE 2001, RÖCKER 2002, WASSERMAN et al. 1987). Auch bei Studien aus dem Bereich Nordic Walking bzw. Wandern mit Stöcken ist sie die am häufigsten angewandte Messmethode, sobald es um die Untersuchung physiologischer Aspekte geht (CHURCH et al. 2002, DUNCAN und LYONS 2008, HANSEN und SMITH 2009, HÖLTKE et al. 2003, 2005, FIGARD- FABRE et al. 2010, JACOBSON et al. 2000, JORDAN et al. 2001, KNIGHT und CALDWELL 2000, MORSS et al. 2001, PERREY und FABRE 2008, PORCARI et al. 1997, PREUß et al. 2008, SAUNDERS et al. 2008, SCHIEBEL et al. 2003, SCHIFFER et al. 2006, 2011, SCHWAMEDER und RING 2006, WÜPPER et al. 2005, ZISCHG und SPAZIER 2004).

Bezüglich der physiologischen Belastung beim Nordic Walking herrscht weitgehende Übereinstimmung darin, dass der Energieverbrauch, basierend auf der Messung der Sauerstoffaufnahme, beim Nordic Walking höher liegt als beim Walking (CHURCH et al. 2002, HÖLTKE et al. 2003, 2005, JACOBSON et al. 2000, JORDAN et al. 2001, MORSS et al. 2001, PORCARI et al. 1997, PREUß et al. 2008, RODGERS et al. 1995, SCHIEBEL et al. 2003, SCHIFFER et al. 2006). Die Höhe des Unterschiedes ist jedoch umstritten. Bei CHURCH et al. (2002) und MORSS et al. (2001) lag die Sauerstoffaufnahme beim Nordic Walking bei einer selbstgewählten Geschwindigkeit von  $1,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  im Mittel um 20% höher als beim Walking

unter Feldbedingungen, wobei es große interindividuelle Unterschiede gab (4,8-62,7%). Die mittlere Sauerstoffaufnahme lag dabei bei  $16,7 (\pm 3,6) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  für das Nordic Walking, was einer Intensität von 36,5% der  $\text{VO}_{2\text{max}}$  entsprach. Die großen interindividuellen Unterschiede resultieren nach Autorenmeinung vermutlich aus der unterschiedlichen Intensität des Stockeinsatzes in Abhängigkeit von der Fortbewegungsgeschwindigkeit. Damit stellt die Nordic Walking Technik an sich und die richtige im Speziellen ebenfalls eine Einflussgröße auf die Sauerstoffaufnahme dar. Das subjektive Belastungsempfinden unterschied sich dagegen nicht signifikant zwischen den Sportarten. Außerdem zeigten CHURCH et al. (2002), dass kein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen besteht. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch in Laufbandstudien (FIGARD-FABRE et al. 2010, PORCARI et al. 1997). Die Sauerstoffaufnahme beim Nordic Walking lag im Mittel um 15-20% bzw. 23% höher als beim Walking ohne Stöcke. Während PORCARI et al. (1997) im Gegensatz zu CHURCH et al. (2002) und MORSS et al. (2001) einen signifikant höheren RPE (1,5 Einheiten) beim Nordic Walking ermittelten, beschreiben FIGARD-FABRE et al. (2010), dass der RPE beim Nordic Walking auf positiven Steigungen signifikant geringer ausfällt. Die selbstgewählten Geschwindigkeiten zwischen  $1,7$  und  $1,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  lagen bei PORCARI et al. (1997) deutlich höher als in den Feldstudien von CHURCH et al. (2002) und MORSS et al. (2001). Auch SCHWAMEDER und RING (2006) ermittelten mit 23-33% ähnlich große Unterschiede zwischen den beiden Sportarten, wobei diese Ergebnisse ausschließlich für eine gute Nordic Walking Technik mit adäquatem Armeinsatz gelten. Bei einer schlechten Nordic Walking Technik waren die Unterschiede zum Walking nicht signifikant. Genauso beschreiben auch FIGARD-FABRE et al. (2010), dass die Unterschiede der aeroben Kapazität zwischen den Sportarten durch ein gezieltes Techniktraining beim Nordic Walking vergrößert werden können. RODGERS et al. (1995) berichten, dass sich die Sauerstoffaufnahme durch die Nutzung von Nordic Walking Stöcken signifikant um ca. 12% ( $\sim 3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) erhöht, während WÜPPER et al. (2005) bei moderaten Geschwindigkeiten ( $1,5$ - $1,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) eine zwischen 10-25% höhere Sauer-

stoffaufnahme beim Nordic Walking maßen, die in keinerlei Zusammenhang zu der Erfahrung beim Nordic Walking zu stehen scheint. In höheren Geschwindigkeitsbereichen ( $1,8-2,59 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) waren Unterschiede in dieser Größenordnung nur bei unerfahrenen Nordic Walkern nachweisbar. Bei HANSEN und SMITH (2009) lag die Sauerstoffaufnahme auf dem Laufband mit Stöcken ebenfalls deutlich höher als ohne Stöcke. Bei Steigungen von  $-12^\circ$ ,  $0^\circ$  und  $+12^\circ$  ( $\sim 21,3\%$ ) stellten sie fest, dass die Größe des Unterschiedes in Zusammenhang mit der Steigung steht:  $8,3 (\pm 2,5) \%$  (bergauf),  $65,2 (\pm 11,5) \%$  (Ebene) und  $54,7 (\pm 12,5) \%$  (bergab). Dabei wurden mittlere Sauerstoffaufnahmewerte von  $36,12 (\pm 1,64) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (bergauf),  $26,87 (\pm 2,09) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (Ebene) und  $17,61 (\pm 0,89) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (bergab) erreicht. Außerdem konnten sie zeigen, dass um 7,5 cm kürzere Stöcke den Energiebedarf um 3% erhöhen, während das Komfortempfinden durch die Stocklänge nicht beeinflusst wird. Folglich können differierende Stocklängen die Messergebnisse beeinflussen. Die Unterschiede der aeroben Kapazität zwischen den Sportarten Nordic Walking und Walking fallen bei HÖLTKE et al. (2003, 2005), PREUß et al. (2008), SCHIEBEL et al. (2003), SCHIFFER et al. (2006) und ZISCHG und SPAZIER (2004) dagegen deutlich geringer aus. Bei der Feldstudie von PREUß et al. (2008) mit vorgegebener Geschwindigkeit lag die Sauerstoffaufnahme bei allen Geschwindigkeitsstufen ( $\sim 1,5/1,69/1,89 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) beim Nordic Walking zwischen 8-11% höher als beim Walking und bei SCHIFFER et al. (2006) zwischen 7-8% bei  $1,8$  und  $2,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Die ermittelten Sauerstoffaufnahmewerte können der Tabelle 2-1 entnommen werden.

Tab. 2-1: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) bei verschiedenen Geschwindigkeiten nach PREUß et al. (2008) und SCHIFFER et al. (2006)

Geschwindigkeit ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	1,2	1,5	1,69	1,8	1,89	2,08	2,1
PREUß et al. 2008	$\bar{x}$	15,1	8,0		21,9	27,4	
	SD	( $\pm 2,0$ )	( $\pm 2,3$ )		( $\pm 2,3$ )	( $\pm 3,0$ )	
SCHIFFER et al. 2006	11,0	14,7		16,9			24,0

Bei SCHIFFER et al. (2006) handelt es sich um Circa-Werte auf Grundlage des Diagramms.

Bei einer weiteren Studie von SCHIFFER et al. (2011) lagen die Werte der Sauerstoffaufnahme beim Nordic Walking ebenfalls um ca. 8% höher als beim Walking, gleichwohl sich die Ergebnisse als nicht signifikant erwiesen. Bei den Laufbanduntersuchungen mit Erhöhung der Steigung bei konstanter Geschwindigkeit von HÖLTKE et al. (2003) lag die Sauerstoffaufnahme beim Nordic Walking zwischen 2,4 und 4,2% und bei HÖLTKE et al. (2005) um ca. 4,3% höher, wobei nicht alle Belastungsstufen signifikant waren. Die Werte der mittleren Sauerstoffaufnahme der erfahrenen Nordic Walker bei HÖLTKE et al. (2003) bei Steigungen zwischen 5 und 21% können der Tabelle 2-2 entnommen werden.

Tab. 2-2: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) der männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden bei verschiedenen Steigungen (%) nach HÖLTKE et al. (2003)

Steigung	5%	7%	9%	11%	13%	15%	17%	19%	21%	
m	$\bar{x}$	22,21	24,95	27,27	26,45	31,59	34,12	36,41	38,73	41,17
	SD	( $\pm 2,15$ )	( $\pm 0,37$ )	( $\pm 1,66$ )	( $\pm 3,72$ )	( $\pm 2,89$ )	( $\pm 2,89$ )	( $\pm 4,36$ )	( $\pm 3,93$ )	( $\pm 3,78$ )
w	$\bar{x}$	23,04	25,19	28,1	26,88	30,86	32,91	34,28	50,22	
	SD	( $\pm 4,06$ )	( $\pm 0,43$ )	( $\pm 4,96$ )	( $\pm 3,77$ )	( $\pm 4,65$ )	( $\pm 4,73$ )	( $\pm 7,39$ )		

Auf dem Laufband mit zunehmender Steigung ermittelten auch SCHIEBEL et al. (2003) zwischen 4,5-9,6% höhere Sauerstoffaufnahmewerte beim Nordic Walking gegenüber Walking. Auch hier bestätigte sich, dass bezogen auf das subjektive Belastungsempfinden keine Unterschiede zwischen den Sportarten vorzuliegen scheinen. Da sowohl HÖLTKE et al. (2005) als auch SCHIEBEL et al. (2003) lediglich absolute Werte der Sauerstoffaufnahme veröffentlichten und statt dem Körpergewicht lediglich ein mittlerer BMI der Probanden angegeben wurde, muss auf die Angabe von Vergleichswerten verzichtet werden. Des Weiteren stellten SCHIEBEL et al. (2003) genau wie HANSEN und SMITH (2009) sowie SVOBODA et al. (2011) fest, dass diese Unterschiede zwischen Nordic Walking und Walking mit zunehmender Steigung geringer ausfallen (s. Kap. 2.3.1, S. 38). Die Belastungsintensität in Abhängigkeit der  $VO_{2max}$ , steigt zwischen 0-10% Steigung gleichmäßig an und es wurden bei einer vorgegebenen Geschwindigkeit von  $7,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 2,11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) Sauerstoffaufnahmen von  $24,20 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (37,8%  $VO_{2max}$ ) in der Ebene,  $31,11 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (50,2%  $VO_{2max}$ ) bei 5% Steigung und  $40,23 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (62,9%  $VO_{2max}$ ) bei 10% Steigung gemessen (SVOBODA et al. 2011).

Auch bei Untersuchungen mit Trekkingstöcken kamen zahlreiche Wissenschaftler zu ähnlichen Ergebnissen. So geben DUNCAN und LYONS (2008) sowie SAUNDERS et al. (2008) an, dass sich die Sauerstoffaufnahme durch die Nutzung von Wanderstöcken signifikant erhöht, was sie auf die zusätzliche Aktivität der Oberkörpermuskulatur zurückführen. So lagen die Werte bei dem einstündigen Dauertest auf einem Laufband mit 5% Steigung und der Nutzung von Trekkingstöcken um ca. 11% höher als ohne Stöcke, nämlich bei  $28,2 (\pm 2,9) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (DUNCAN und LYONS 2008). Die Ergebnisse der Feldstudie von SAUNDERS et al. (2008) können der Tabelle 2-3 entnommen werden.

Tab. 2-3: Mittelwerte der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ), Herzfrequenzen (Hf) und des subjektiven Belastungsempfindens bei verschiedenen Steigungen (%) nach SAUNDERS et al. (2008)

Steigung	-10%	-5%	0%	5%	10%
$VO_2$ (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	13,47	15,45	17,31	24,60	25,83
Hf (S·min <sup>-1</sup> )	103	108	108	121	126
RPE	8	8,3	8	8,8	9,7

*Es handelt sich um Circa-Werte auf Grundlage des Diagramms.*

Ein Einfluss der Stocknutzung auf das subjektive Belastungsempfinden konnte in keiner der beiden Studien nachgewiesen werden. Bei PERREY und FABRE (2008) zeigte sich dagegen eine erhöhte Sauerstoffaufnahme durch die Nutzung von Trekkingstöcken nur für das bergab Gehen (-15% Steigung), wobei die Stocknutzung das subjektive Belastungsempfinden nicht beeinflusste. In den Laufbandstudien von JACOBSON et al. (2000) und KNIGHT und CALDWELL (2000) ergaben sich dagegen keine Änderungen der Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit von der Stocknutzung.

Die Gründe für die stark differierenden Untersuchungsergebnisse und vor allem Sauerstoffaufnahmen lassen sich zum Teil auf verschiedene Studiendesigns von Feld- und Labortests, unterschiedliche Fortbewegungsgeschwindigkeiten, die Nordic Walking Technik und die stark differierenden Probandengruppen zurückführen. Auch das Messen mit unterschiedlichen Spirometrie-Geräten vermag bei abweichenden Ergebnissen (besonders bei absoluten Messwerten) eine Rolle zu spielen. Keine der aufgeführten Studien gibt die feldspezifischen Anforderungen von den einzelnen Personen in ihrer Gesamtheit wieder, so dass bis dato keine Klassifizierung der Sauerstoffaufnahmesituation für den Nordic Walker unter tatsächlichen Trainingsbedingungen besteht.

### 2.1.3 Geschwindigkeit

Neben dem Gewicht (Körpergewicht und Zusatzgewicht) und der Hangneigung stellt die Geschwindigkeit einen der wichtigsten Parameter für den Energieverbrauch beim Gehen dar. Damit ist die Fortbewegungsgeschwindigkeit der Parameter, mit dem eine Person die Belastungsintensität bei einer vorgegebenen Strecke individuell beeinflussen kann (GIVONI UND GOLDMAN 1971, HETTINGER et al. 1989, LARSSON 2003, PERRIN et al. 2000, SCHUTZ und CHAMBAZ 1997, TERRIER et al. 2001a). Laut MARGARIA (1938) existiert für jeden Menschen und jeden Steigungsgrad eine „optimale“ Geschwindigkeit bei der der Energieverbrauch beim Gehen am geringsten ist. So zeigt sich in der Ebene, dass ein Wechsel der Fortbewegungsgeschwindigkeit beim Gehen den Energieverbrauch entscheidend beeinflusst (ALEXANDER 2002, GIVONI und GOLDMAN 1971, MILLER und STAMFORD 1987, MINETTI et al. 2002). Wie zu erwarten, steigt mit der Geschwindigkeit der Energieverbrauch an.

Die Begründung für die Steigerung des Energieverbrauchs, analog der Sauerstoffaufnahme, mit zunehmender Gehgeschwindigkeit resultiert laut CAVAGNA et al. (1964) aus einer zusätzlichen Arbeit entgegen der Gravitation. Änderungen der Fortbewegungsgeschwindigkeit resultieren dabei aus einer Variation der Schrittfrequenz und/oder der Schrittlänge (BOBBERT 1960, COTES und MEADE 1960, PERRIN et al. 2000, TERRIER et al. 2001a, 2001b). BOOYENS und KEATINGE (1957) beschreiben, dass Männer und Frauen bei niedrigen Geschwindigkeiten ähnliche Schrittlängen aufweisen, während Männer bei steigender Geschwindigkeit zunehmend längere Schritte machen und die daraus resultierende größere vertikale Bewegung zusätzliche Energie benötigt. Sollen Frauen schneller gehen, so erhöhen sie in erster Linie ihre Schrittfrequenz. Die Schrittlänge verändert sich bei ihnen weniger stark als bei Männern. Sie schlussfolgern, dass die Geschlechtsunterschiede im Energieverbrauch beim Gehen nicht auf eine unterschiedliche Effizienz im Energieverbrauch der Muskulatur zu begründen sind, sondern wahrscheinlich auf unterschiedliche Schrittlängen zurückzuführen sind. Laut CAVAGNA und FRANZETTI (1986) verringert

sich bei vorgegebener Geschwindigkeit die externe Arbeit mit zunehmender Schrittfrequenz, wobei sich die interne Arbeit vergrößert.

Die Geschwindigkeit zur Minimierung des Energieverbrauchs pro zurückgelegter Wegstrecke liegt laut RALSTON (1958) bei  $74 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $\sim 1,23 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) auf flacher Strecke. MINETTI et al. (2002) ermittelten den geringsten Energieverbrauch pro gegangener Distanz bei einer Geschwindigkeit von  $\sim 1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  in der Ebene. Bei männlichen Probanden im Alter zwischen 20 und 26 Jahren liegt das energetische Optimum nach VAN DER WALT und WYNDHAM (1973) bei einer geringeren Gehgeschwindigkeit, nämlich bei  $4,05 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 1,13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Auch BASTIEN et al. (2005) beschreiben, dass das energetische Minimum bis zu einem Zusatzgewicht von 75% des Körpergewichtes zwischen  $0,9$  und  $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  liegt. BROWNING et al. (2006) beobachteten eine bevorzugte Walkinggeschwindigkeit von  $1,42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und postulierten, dass diese nah an der Geschwindigkeit läge, die den Energieverbrauch pro Distanz optimiert. Des Weiteren war die Geschwindigkeit unabhängig von Geschlecht und Körpergewicht lag jedoch bei normalgewichtigen Personen bei ca. 25-36% der  $\text{VO}_{2\text{max}}$  und bei übergewichtigen bei bis zu 50% der  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . Im Gegensatz dazu beschreiben MINETTI et al. (2003) für selbstgewählte Geschwindigkeiten in der Ebene ein Mittel von  $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 1,39 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), wobei dies um 30% höher lag als es zur Minimierung des Energieverbrauches auf gegebener Streckenlänge erforderlich gewesen wäre. Bei freier Geschwindigkeitswahl kommt es mit zunehmender Steigung zu einer Reduktion der Geschwindigkeit und Schrittfrequenz. Dies bestätigen auch PERRIN et al. (2000). MATTSSON et al. (1997) und MALATESTA et al. (2009) ermittelten dagegen bei übergewichtigen Frauen mit  $4,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 1,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) eine geringere bevorzugte Walking Geschwindigkeit.

Insgesamt muss bei der Beurteilung von Fortbewegungsgeschwindigkeiten bedacht werden, dass es bei gesunden Personen zu einer altersabhängigen Reduktion des bevorzugten Tempos von 30% bei Frauen und 34% bei Männern kommt (SAMSON et al. 2001). Während bis zum 62. Lebensjahr die Reduktion lediglich zwischen 1-2% liegt, soll sich die

Gehgeschwindigkeit ab dem 63. Lebensjahr bei Frauen im Mittel um 12,4% und bei Männern um 16,1% pro Dekade verringern (HIMANN et al. 1988).

In der Laufbandstudie von KNIGHT und CALDWELL (2000) zeigte sich, dass durch den Einsatz von Trekkingstöcken die Schrittlänge vergrößert (6,7%) und die Schrittfrequenz reduziert werden (6,3%). Auch PERREY und FABRE (2008) beschreiben eine signifikante Verringerung der Schrittfrequenz durch den Einsatz von Stöcken. Ebenso zeigten WILLSON et al. (2001), dass es beim Nordic Walking zu einer signifikanten Vergrößerung der Schrittlänge und auch der Geschwindigkeit gegenüber dem Walking ohne Stöcke kommt. Die selbstgewählte Nordic Walking Geschwindigkeit lag im Mittel bei  $1,59 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

CHURCH et al. (2002) und MORSS et al. (2001) formulieren, dass bei einer frei wählbaren Trainingsgeschwindigkeit beim Walking und Nordic Walking die mittlere Geschwindigkeit keine signifikanten Unterschiede aufweist ( $\sim 1,63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bzw.  $\sim 1,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), sehr wohl aber der energetische Aufwand (s. Kap 2.1.2, S. 15). Sie äußern die Vermutung, dass die Intensität des Stockeinsatzes in Abhängigkeit zu der Geschwindigkeit steht und eine höhere Geschwindigkeit zu einem ineffizienten Armeinsatz führt. Dagegen ermittelten JORDAN et al. (2001) in einem Feldtest, dass die bevorzugte Nordic Walking Geschwindigkeit um  $0,9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) höher liegt als beim reinen Walking. Auf die maximale Geschwindigkeit bezogen ergibt sich wieder ein anderes Bild: RUDACK et al. (2005) zeigten, dass aufgrund der höheren koordinativen Beanspruchung beim Nordic Walking die maximale Geschwindigkeit mit  $8,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 2,39 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) deutlich niedriger liegt als beim Walking mit  $9,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 2,61 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) und somit auch die maximal erreichbare Belastungsintensität in Bezug auf die Geschwindigkeit geringer ausfällt, aber z. B. nicht auf die Herzfrequenz. Bei AIGNER et al. (2004) erfolgte der Testabbruch beim Walking und Nordic Walking gleichermaßen im Bereich von  $7,9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 2,19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass es sich bei RUDACK et al. (2005) um erfahrene Nordic Walker handelte, während die Probanden bei

AIGNER et al. (2004) vor dem Test lediglich über den richtigen Stockeinsatz und die entsprechende Gehtechnik informiert wurden.

Bezüglich der bevorzugten Nordic Walking Geschwindigkeiten werden noch weitere Werte mit größerer Streuung beschrieben, die zum größten Teil – wie beschrieben (s. S. 22) – auf die Reduktion durch das Alter zurückzuführen sind: Bei PORCARI et al. (1997) liegen sie im Mittel zwischen 1,7 und 1,9  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  und bei ZISCHG und SPAZIER (2004) bei 1,93  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . HANSEN und SMITH (2009) ermittelten eine deutlich geringere bevorzugte Nordic Walking Geschwindigkeit von 1,65 ( $\pm 0,06$ )  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  wie auch CHURCH et al. (2002) und MORSS et al. (2001). Bei einer positiven Steigung von 12° (~21,3%) lag die Geschwindigkeit bei HANSEN und SMITH (2009) mit 1,13 ( $\pm 0,04$ )  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  deutlich niedriger und bei negativen Steigung von 12° betrug die Geschwindigkeit im Mittel 1,50 ( $\pm 0,04$ )  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  und war damit ebenfalls niedriger als in der Ebene. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von TERRIER et al. (2001a) aus dem Bereich des Gehens ohne Stöcke, die bei negativen Steigungen einen leichten Anstieg der bevorzugten Geschwindigkeit gegenüber der Ebene ermittelten (ca. 2%), während die Geschwindigkeit bei 15% Steigung um ca. 21% reduziert wurde.

In dieser Studie bestätigen TERRIER et al. (2001a) knapp 40 Jahre nach CAVAGNA et al. (1964) noch einmal, dass sich die Gehgeschwindigkeit analog der Sauerstoffaufnahme verhält und sich als günstiger Parameter zur Vorhersage der Sauerstoffaufnahme in der Ebene und auch bergauf erweist. Sie ermittelten sehr starke Korrelationen mit Korrelationskoeffizienten  $r = 0,90$  in der Ebene und  $r = 0,93$  bei einer positiven Steigung von 15%. Bei negativen Steigungen liegen die Korrelationskoeffizienten zwischen 0,69-0,88, wobei die Stärke der Korrelation mit zunehmendem Gefälle abnimmt. Insgesamt ergab sich eine negative Korrelation zwischen Steigung und Geschwindigkeit ( $r = -0,38$ ) als Resultat der Geschwindigkeitsreduktion bei zunehmender Steigung. Die Geschwindigkeit der Probanden variierte als Funktion der Steigung. Mit zunehmender Geschwindigkeit vergrößerte sich die Sauerstoffaufnahme in der Ebene als eine lineare Funktion des Quadrates der Geschwindigkeit.

Zur Messung der Fortbewegungsgeschwindigkeit hat sich innerhalb der letzten Jahre die Messung mit Hilfe von GPS-Geräten als adäquate Methode bestätigt, die es zusätzlich erlaubt, das Profil der gelaufenen Strecke zu erfassen (HENKE und BLUMENBACH 2005, LARSSON und HENRIKSSON-LARSÉN, 2001, PERRIN et al. 2000, SCHUTZ und CHAMBAZ 1997, s. Kap. 2.4, S. 47), denn laut MINETTI et al. (2002) haben im Gelände Sicherheitsfaktoren, Geometrie und Untergrund des Weges einen Einfluss auf die Fortbewegungsgeschwindigkeit.

## **2.2 Nordic Walking und Gesundheit**

Wie in Kapitel 2.1.2 detailliert beschrieben, ermöglicht Nordic Walking bei gleichem subjektiven Anstrengungsgrad einen höheren Energieumsatz und kann gegenüber dem Walking ohne Stöcke einen zusätzlichen Trainingseffekt bewirken (HANSEN und SMITH 2009, HÖLTKE et al. 2005, PORCARI et al. 1997, PREUß et al. 2008, RUDACK et al. 2005, SCHIEBEL et al. 2003, STIEF et al. 2008). Gerade dieser energetische Unterschied könnte einen großen gesundheitlichen Benefit ermöglichen, woraus sich das große Interesse an dieser Sportart aus gesundheitswissenschaftlichen, präventiven und rehabilitativen Gesichtspunkten ergibt.

Im Gegensatz zum Nordic Walking sind klassische Walkingtechniken aufgrund ihrer Bewegungstechnik häufig darin limitiert, allein über eine Geschwindigkeitssteigerung die höheren Trainingsreize des Nordic Walkings zu erreichen. Dadurch können physiologisch adaptationsrelevante Belastungsintensitäten nicht immer erreicht werden (JÖLLENBECK et al. 2007, PREUß et al. 2008, SVOBODA et al. 2011). Für Nordic Walking sind solche gesundheitlich wichtigen Anpassungen hinreichend belegt. PARKATTI et al. (2012) konnten jüngst in einer neunwöchigen Interventionsstudie zeigen, dass Nordic Walking einen positiven Einfluss auf das Leistungsvermögen bei älteren Menschen hat. Wie bereits in Kapitel 2.1

dargestellt, erfolgt eine höhere kardiopulmonale und energetische Belastung bei dem gleichen subjektiven Belastungsempfinden. Laut SAUNDERS et al. (2008) ziehen es deshalb Gesundheitssportler vor, sich bei gleichem physiologischem Benefit mit geringeren Geschwindigkeiten fortzubewegen.

Gesundheitliche Trainingsempfehlungen für die Sportart Nordic Walking basieren bis dato häufig auf den Erfahrungen aus dem Bereich des Gehens bzw. Walkings oder orientieren sich an allgemeinen Erkenntnissen und Empfehlungen zur physischen Aktivität verschiedener Organisationen wie der World Health Organization (WHO 2010), des American College of Sports Medicine (ACSM 1998) oder der American Heart Association (AHA 2001). So bestätigen z. B. HÖLTKE et al. (2005), dass sich die Laktatkonzentrationen beim Walking und Nordic Walking bei vorgegebener Geschwindigkeit und Steigung nicht signifikant voneinander unterscheiden und auch KUKKONEN-HARJULA et al. (2007) konnten nach einem 13 wöchigen Trainingsprogramm keine Unterschiede bezüglich der Herzfrequenz und der Laktatkonzentration bei diesen Sportarten feststellen. RUDACK et al. (2005) folgerten in ihren Untersuchungen zwar auch, dass sich die gleichen Herzfrequenzbereiche zur Ansteuerung der gewünschten Trainingsintensität eignen wie beim Walking, daraus jedoch unterschiedliche Geschwindigkeiten resultieren. Dagegen beschreiben DUNCAN und LYONS (2008) die signifikant erhöhte Sauerstoffaufnahme im gleichen Herzfrequenzbereich durch die Nutzung von Stöcken, so dass daraus eine andere Trainingsempfehlung resultieren müsste. Ebenso zeigen weitere Studien, dass die Laktatkonzentration beim Nordic Walking auf allen Geschwindigkeitsstufen signifikant höher liegt als beim Walking (AIGNER et al. 2004, PREUß et al. 2008). Dies bestätigen auch RUDACK et al. (2005), die bei gleichen Geschwindigkeiten bis zu  $7,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 2,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) ebenfalls signifikant höhere Laktatkonzentrationen beim Nordic Walking gemessen haben. Darüber hinaus lagen auch die Herzfrequenzen höher als beim Walking. Damit zeigt sich wie auch von SCHIFFER et al. (2006) beschrieben, dass eine Übertragbarkeit der Trai-

ningsempfehlungen vom Walking auf das Nordic Walking stark limitiert ist. Nicht nur die Laktatkonzentrationen beim Nordic Walking sind in ähnlichen Geschwindigkeitsbereichen gegenüber dem Walking erhöht, sondern es liegen auch in den gleichen Herzfrequenzbereichen höhere Laktatkonzentrationen vor. Auch wenn die Literatur bereits sieben Jahre alt ist, sind dem Autor keine neueren wissenschaftlich begründeten Trainingsempfehlungen bekannt.

Im Bereich der biomechanischen Studien zur Belastung der unteren Extremität beim Nordic Walking herrscht mittlerweile Konsens darüber, dass es beim Nordic Walking im Vergleich zum reinen Walking zu keiner Entlastung der Gelenke aufgrund der Stocknutzung kommt. Das Kraftmaximum kann sogar etwas höher liegen als beim Walking ohne Stöcke (FRANZ et al. 2006, HENNIG et al. 2007, JÖLLENBECK et al. 2007, KLEINDIENST et al. 2006, STIEF et al. 2008). Aus diesem Grund kann Nordic Walking für Zielgruppen mit orthopädischen Problemen im Bereich der unteren Extremität nicht uneingeschränkt empfohlen werden. Für gesunde Sportler, Neu- oder Wiedereinsteiger erweist sich Nordic Walking aber insgesamt als geeignete Ausdauersportart besonders im gesundheits-sportlichen Bereich (PREUß et al. 2008).

Bereits 1978 propagierten PAFFENBARGER et al. (1978) eine optimale Schutzwirkung vor myokardialen Infarkten bei einem zusätzlichen Energieverbrauch von 2000 kcal pro Woche durch körperliche Aktivität und Sport. Aber auch in Bezug auf Hypertonie, Glukosestoffwechsel, Krebs, etc. erweist sich ein Energiemehrverbrauch von mindestens 1000 bis 2000 kcal pro Woche als äußerst positiv (HASKELL 1994, HELMRICH et al. 1994, WARBURTON et al. 2006), so dass ein aktivitäts- und trainingsbedingter Mehrverbrauch von mindestens 1000 kcal pro Woche aus Sicht eines gesundheitsorientierten Trainings erstrebenswert erscheint (LEE und SKERRETT 2001).

Die WHO (2010) empfiehlt für Erwachsene im Alter zwischen 18 und 64 Jahren eine körperliche Aktivität von 150 bis 300 min pro Woche bei einer moderaten Intensität im aeroben Aktivitätsbereich. Zur Gesunderhaltung bzw. zur Steigerung der Gesundheit sollten die einzelnen Trainingseinheiten eine Dauer von wenigstens 10 min haben. Auch das American College of Sports Medicine (ACSM) und die American Heart Association (AHA) geben Empfehlungen zu gesundheitsrelevanter körperlicher Aktivität (ACSM und AHA 2007, ACSM 1998). Für die Quantität und Qualität eines Trainings zur Entwicklung der kardialen und muskulären Fitness und Flexibilität gesunder Erwachsener empfehlen sie:

- 3-5 Trainingseinheiten pro Woche
- Dauer von 20-60 min
- bei moderater Intensität.

Insbesondere propagieren sie Sportarten, die den Einsatz großer Muskelgruppen verlangen wie Walking, Jogging, Skilanglauf, Aerobic, Schwimmen oder deren Kombination. Nordic Walking stellt z. B. eine solche Kombination aus der klassischen Skilanglauftechnik und Walking dar.

Das ACSM (1998) propagiert eine Intensität von 55/65-90% der  $Hf_{max}$  bzw. 40/50-85% der  $VO_{2max}$ , um kardiopulmonale Anpassungen zu erzielen. Für ein moderates, gesundheitsorientiertes Training empfehlen sie genau wie die AHA Intensitäten von maximal 70% der  $Hf_{max}$  und 60% der  $VO_{2max}$ , was einem RPE von 12-13 entspricht (ACSM 1998, AHA 2001). Individuelle Voraussetzungen müssen berücksichtigt werden, aber für einen positiven Effekt auf die körperliche Fitness sollte mindestens dreimal pro Woche für 20 min bei mindestens 40% der  $VO_{2max}$  trainiert werden.

Trainingsempfehlungen für Nordic Walking sollten demnach in diesem Bereich liegen, wobei noch zu klären ist, ob 70% der  $Hf_{max}$  im Feld auch maximal 60% der  $VO_{2max}$  entsprechen und umgekehrt.

## 2.3 Äußere Einflussfaktoren beim Nordic Walking

Wie in Kapitel 2.2 aufgezeigt kann Nordic Walking einen Beitrag zur Gesundheit der Bevölkerung und zur Steigerung der körperlichen Aktivität leisten. Um dies zu erreichen, gilt es den Zugang zu dieser Sportart zu erleichtern, dadurch die Anzahl der Sportler zu erhöhen, Sicherheitsrisiken zu reduzieren, einen dauerhaften Sportraum zu schaffen und nicht zuletzt durch Lenkung der Sportler die Umwelt zu schützen. Das Anlegen und Ausweisen von adäquaten Walking bzw. Nordic Walking Strecken in der Natur bietet eine vergleichsweise kostengünstige Möglichkeit, die genannten Kriterien zur Ausübung dieser Sportart zu bahnen (BROWNSON et al. 2000, GILES-CORTI 2005, LUTHE und ROTH 2008, OWEN et al. 2004).

Die Besonderheit von sportlichen Aktivitäten in natürlicher Umgebung besteht insbesondere in den nur sehr begrenzt regulierbaren äußeren Bedingungen, die den Sportler auf verschiedensten physiologischen und psychologischen Ebenen beeinflussen können. Als Einflussfaktoren auf die physiologischen Parameter beim Nordic Walking, die auch im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen, sind insbesondere Zusatzgewichte wie z. B. das Tragen eines Rucksackes, Klimafaktoren wie Hitze, Kälte und Niederschlag, Wind und Luftwiderstand sowie die äußeren Bedingungen als Folge der Streckenwahl (Höhe, Steigung, Streckenlänge, Untergrund) zu nennen (AINSLIE et al. 2002, ÅSTRAND et al. 2003, MCARDLE et al. 2010, MÜLLER et al. 2006, SCHMIDT und LANG 2007, WILMORE et al. 2008).

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass es aus energetischen Gesichtspunkten am effektivsten ist, ein Zusatzgewicht direkt am Rumpf zu tragen. Aus diesem Grund eignet sich ein Rucksack sehr gut, um den Energieverbrauch trotz einer zusätzlichen Last so gering wie möglich zu halten (BASTIEN et al. 2005, PASSMORE und DURNIN 1955, SOULE und GOLDMAN 1972). Werden Zusatzgewichte bis zu 30 kg körpernah am Rumpf getragen, so haben sie den gleichen Einfluss auf den Energieverbrauch wie ein entsprechend höheres Körpergewicht (GIVONI und GOLDMAN 1971). Auch BROWNING et al. (2005) geben an, dass Übergewicht die gleichen Auswir-

kungen auf den Energieverbrauch beim Gehen hat wie ein entsprechend hohes Zusatzgewicht. Bei doppeltem Körpergewicht ist der Energieverbrauch auf einer definierten Strecke somit ungefähr doppelt so hoch. Werden Zusatzgewichte an den Extremitäten getragen, so erhöhen sie den Energieverbrauch in größerem Maße und haben an den Händen einen stärkeren Einfluss auf den Sauerstoffverbrauch als das gleiche Gewicht an den Fußknöcheln, unabhängig von der Gehgeschwindigkeit (MILLER und STAMFORD 1987).

Der Einfluss der Klimasituation auf den Energieumsatz ist nach HETTINGER et al. (1989) als gering einzuschätzen. In Temperaturbereichen zwischen 10-30°C und im Kältebereich bis -30°C wird der Arbeitsenergieumsatz nur marginal beeinflusst, wenn es nicht zum Kältezittern kommt. Bei Temperaturen innerhalb dieser Grenzbereiche (-30 - +30°C) beeinflussen Klimafaktoren in erster Linie das subjektive Belastungsempfinden (NEUMANN und HOTTENROTT 2005). In diesem Zusammenhang zeigten HOUSH et al. (2003), dass bei sportlicher Betätigung unter kalten Witterungsbedingungen die Körperkerntemperatur durch eine Erhöhung der metabolischen Rate und durch zweckmäßige Kleidung aufrechterhalten werden kann ohne auf Kältezittern zurückgreifen zu müssen. Nach WELLER et al. (1997a) ist der Einfluss der Klimafaktoren auf die physiologischen Faktoren abhängig von dem Verhältnis zwischen Wärmeverlust und Wärmeproduktion des Aktiven, was wiederum mit der Intensität der Belastung, der Isolation durch Kleidung und dem Unterhautfettgewebe zusammenhängt. AUCH PUGH (1967) stellt diese Nichtbeeinflussung fest: Personen, die eine körperliche Aktivität unter kalten, feuchten und windigen Wetterbedingungen ausüben bemerken bei einer körperlichen Belastung von mehr als 50-60%  $VO_{2max}$  keinen Einfluss auf die physiologische Reaktion ihres Körpers. Bei einer geringeren Belastung hingegen kommt es zum obligatorischen Anstieg des Energieaufwands durch Veränderung der Körper- und Muskeltemperatur, so war in nasser, windiger und kalter Umgebung bei Belastungsintensitäten  $< 900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  eine ca. 30-50% höhere Sauerstoffaufnahme zu messen als bei gleicher Inten-

sität unter trockenen Bedingungen. WELLER et al. (1997a) haben in ihrer Studie zu den Auswirkungen von kalten, windigen und feuchten Umweltbedingungen zusätzlich festgestellt, dass nach ca. zwei Stunden Gehen sowohl die Sauerstoffaufnahme, der respiratorische Quotient als auch der Laktatspiegel ansteigen. Bei einer Dauer von weniger als 120 min und bei einer Belastung von ~60% der maximalen Sauerstoffaufnahme konnten keine Einflüsse von kalten, windigen und feuchten Witterungsbedingungen auf die Körpertemperatur und die metabolischen Aktivitäten gemessen werden. Darüber hinaus beobachteten sie beim Walking mit geringer Belastung ( $< 5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , 0% Steigung), dass kalte, windige und feuchte äußere Bedingungen zwar keinen Einfluss auf die Herzfrequenz haben, jedoch die Körpertemperatur absinken lassen und der Sauerstoffverbrauch, der respiratorische Quotient, das Laktat und die Glukose im Blut sowie Noradrenalin und Adrenalin im Plasma ansteigen. Auch hier gleicht bei Belastungen höherer Intensität ( $> 6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , 10% Steigung) das „Abfallprodukt“ Wärme den Temperaturverlust durch die Umgebungsbedingungen aus. Physiologische Auswirkungen aufgrund der äußeren Bedingungen konnten nicht festgestellt werden (WELLER et al. 1997a). Auch kalte ( $5^\circ\text{C}$ ), windige (Luftstrom  $5,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) und feuchte Bedingungen (feuchte Kleidung) bei Belastungen  $> 60\%$  der  $\text{VO}_{2\text{max}}$  und einer Dauer von bis zu 45 min haben weder einen Einfluss auf den Energieverbrauch des Sportlers noch beeinträchtigen diese Faktoren das Leistungsvermögen (WELLER et al. 1997b). THOMPSON und HAYWARD (1996) stellten fest, dass auch nach vierstündiger Aktivität bei  $5,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  unter kalten ( $5^\circ\text{C}$ ), feuchten (kontinuierlicher Regen  $7,4 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$ ) und windigen ( $8,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) Bedingungen die Körperkerntemperatur bei den meisten Probanden nicht unter  $36^\circ\text{C}$  abfällt. Personen, die sich diesen äußeren Bedingungen widersetzen konnten, waren in der Lage für mindestens vier Stunden eine Unterkühlung zu vermeiden. Laut AINSLIE et al. (2005) kann es bei Personen, die bei kalten und feuchten Außenbedingungen wandern, durchaus zum Absinken der Körper- und der Hauttemperatur kommen. Fiel die Hauttemperatur auf unter  $20^\circ\text{C}$ , forcierten die meisten Probanden ihr Gehtempo, um damit die Körpertemperatur wieder zu

erhöhen. Dies kann bei untrainierten Personen zu einer schnelleren Ermüdung führen.

Wind vergrößert den Wärmeverlust aufgrund von Konvektion. Die Steigerung des subjektiven Kälteempfindens wird als „Windchill“-Effekt bezeichnet. In der Anfangsphase einer körperlichen Belastung kann der Körper den durch kalte Umgebungstemperaturen ausgelösten Wärmeverlust durch verstärkte Wärmeproduktion ausgleichen. Verringern sich die Energiereserven, kann die Intensität nicht weiter aufrechterhalten werden und die Wärmeproduktion verringert sich, so dass der Grad der Erschöpfung steigt und die Wärmeproduktion abnimmt (WILMORE et al. 2008). Schon 1971 beschreibt PUGH (1971), dass die Sauerstoffaufnahme beim Gehen und Laufen gegen den Wind im Quadrat zur Windgeschwindigkeit ansteigt, beim Gehen bei geringen Windgeschwindigkeiten von bis zu  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  aber minimal ist. ÅSTRAND et al. (2003) und WILMORE et al. (2008) bestätigen diesen Zusammenhang. Des Weiteren stellten sie fest, dass der Luftwiderstand in direkter Abhängigkeit zur Fortbewegungsgeschwindigkeit steht. Bei Geschwindigkeiten von  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  liegt der zusätzliche Energiebedarf zur Überwindung des Luftwiderstandes bei 8%, bei Halbierung der Fortbewegungsgeschwindigkeiten auf  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  verringert sich der Energiebedarf um 75% auf 2% (DAVIES 1980). Es kann somit davon ausgegangen werden, dass der Einfluss des Luftwiderstandes beim Gehen und Nordic Walking ohne zusätzlichen Wind zu vernachlässigen ist.

Der Einfluss der Höhe auf den Sportler beruht auf der Tatsache, dass der Luftdruck mit zunehmender Höhe in Abhängigkeit von klimatischen Faktoren, der Jahreszeit und dem Ort der Messung exponentiell abnimmt. Während der Luftdruck auf Meereshöhe ca. 760 mmHg beträgt, reduziert er sich bei einer Höhe von 1000 m auf 674 mmHg und bei 9000 m bis auf 231 mmHg. Bis zu einer Höhe von 3000 m liegt die Druckreduzierung bei ca. 8 mmHg pro 100 m Höhenzunahme. Der Sauerstoffgehalt in der Luft bleibt mit 20,93% bei trockener Luft auch in der Höhe konstant, während sich der Sauerstoffpartialdruck mit steigender Höhe proportional zum Luftdruck verringert. Mit einer Abnahme des Luftdrucks gehen auch die

Reduzierung der Luftdichte und damit ein reduzierter Luftwiderstand einher. Durch diese Reduktion des Sauerstoffpartialdruckes verstärken sich die respiratorischen Parameter sowohl während körperlicher Aktivität als auch in Ruhe. Die maximale Leistung des Herzens ist in der Höhe geringer als auf Meeresniveau und auch die  $VO_{2max}$  nimmt mit zunehmender Höhe ab. Bei Höhen bis 500 m verhält sich die Abnahme der  $VO_{2max}$  entsprechend der Reduktion des Sauerstoffpartialdrucks. Dies gilt gleichermaßen für beide Geschlechter. Schnellkraft bzw. Belastungen in mittleren Höhen (1500-2000 m) von weniger als 2 min bleiben weitgehend unbeeinflusst. Die Umgebungstemperatur nimmt linear um durchschnittlich  $6,5^{\circ}C$  pro 1000 m ab (DE MARÉES 2003, MCARDLE et al. 2010, WILMORE et al. 2008).

Bezüglich der körperlichen Auswirkungen konnten HOUSH et al. (2003) zeigen, dass ein negativer Effekt auf die Leistung erst ab einer Höhe von ca. 5000 ft (1523,95 m) zu verzeichnen ist. Durch die Reduktion der Sauerstoffsättigung im arteriellen Blut und den größeren Aufwand bei der Ventilation kommt es ab einer Höhe von ca. 3000 ft (914,37 m) zu einem Rückgang der maximalen Sauerstoffaufnahme von 5%. Trotzdem entspricht die Sauerstoffaufnahme bei submaximalen Belastungen in der Höhe der Sauerstoffaufnahme auf Meereshöhe. Dabei ist jedoch zu beachten, dass dies in der Höhe eine größere relative Intensität bezogen auf die maximale Sauerstoffaufnahme bedeutet. Eine geringe aber signifikante Reduktion der  $VO_{2max}$  kann bereits bei Höhen von 600-800 m beobachtet werden. Während die Herzfrequenz mit zunehmender Höhe ansteigt bleibt das Schlagvolumen nahezu unverändert, eventuell erfolgt sogar ein leichter Rückgang (MAZZEO 2008). Körperliche Leistungseinbußen bezogen auf die Ausdauer sind den Höhenbereichen der vorliegenden Studie (209-436 m) bisher nicht beschrieben.

Deutschlandweit existieren zahlreiche Anbieter für die Errichtung von Nordic Walking Strecken (z. B. Alpstein, DNV, DSV, Nature it, VDNOWAS), die zumeist in Kooperation mit den jeweiligen Tourismusverbänden der Regionen viele tausend Kilometer Nordic Walking Strecken

ausgewiesen haben. Je nach Anbieter werden Steigung, Streckenlänge und Untergrundbeschaffenheit durch weitere Parameter wie z. B. Höhenunterschied ergänzt, um Nordic Walking Strecken verschiedenen Kategorien zuordnen zu können. Die Einteilung der Strecken erfolgt zu meist in drei verschiedenen Schwierigkeitsstufen: leicht – mittel – schwer. Idealerweise handelt es sich bei den Routen um Rundkurse mit einem infrastrukturell günstigen Start- und Endpunkt (z. B. Wanderparkplatz) und einheitlicher Beschilderung zur einfachen und selbstständigen Orientierung (LUTHE und ROTH 2008, ROTH et al. 2003). Die Parameter Steigung, Streckenlänge und Untergrundbeschaffenheit bilden aufgrund ihres entscheidenden Einflusses auf die metabolische Belastungssituation beim Nordic Walking die Grundlage für die Schwierigkeitseinteilung bzw. Klassifizierung der meisten Nordic Walking Strecken in Deutschland und dem nahen europäischen Ausland (ROTH et al. 2003, LUTHE und ROTH 2008). Aus diesem Grund erfolgt eine separate Darstellung dieser drei Parameter in den Kapiteln 2.3.1-2.3.3.

### **2.3.1 Steigung**

Die Steigung stellt den wichtigsten Parameter für die Klassifizierung von Nordic Walking Strecken dar. Veränderungen der Steigung haben einen großen Einfluss auf die Belastungsintensität und den Energieverbrauch bei bipedaler Fortbewegung. Aus Veränderungen der Steigung resultieren Veränderungen der Sauerstoffaufnahme, der Herzfrequenz und auch der Fortbewegungsgeschwindigkeit (s. Kap. 2.1.3, S. 24), soweit diese frei wählbar ist (ARDIGÒ et al. 2003, BOBBERT 1960, MARGARIA 1938, MINETTI et al. 2003, MORRIS und HARDMAN 1997, OLESEN 1992).

BOBBERT (1960) konnte zeigen, dass der Energieverbrauch beim Gehen mit zunehmender positiver Steigung kurvenförmig zunimmt, während GIVONI und GOLDMANN (1971) von einem nahezu linearen Anstieg spre-

chen. Auch HAMMEL et al. (1968) beschreiben eine Linearität, allerdings nur bis zu einer Steigung von 10%. Zwischen 10 und 15% ermittelten sie einen geringeren Anstieg der Sauerstoffaufnahme, was letztlich einem Kurvenverlauf nahe kommt. Auch PUGH (1971) postuliert in seiner Studie, dass der Anstieg der Sauerstoffaufnahme abhängig von der Belastung ist. Während beim Gehen von Steigungen das Verhältnis zwischen Sauerstoffaufnahme und Belastung ( $> 300 \text{ kg pro m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) linear ist, steigt die Sauerstoffaufnahme bei geringeren Belastungen kurvenförmig an. Darüber hinaus zeigen aktuellere Studien von MINETTI et al. (2002) und TERRIER et al. (2001a) den direkten nahezu linearen Zusammenhang zwischen positiven Steigungen und dem Energieverbrauch, welcher sich aus der Sauerstoffaufnahme berechnet, ausgehend davon, dass pro Liter Sauerstoff 20,9 kJ Energie verbraucht werden. AINSLIE et al. (2002) wiesen nach, dass mit kontinuierlichem Aufstieg bei einer Bergwanderung die Sauerstoffaufnahme und die Herzfrequenz ansteigen und sich bei einer Belastungsintensität von ca. 50% der  $\text{VO}_{2\text{max}}$  und bei einer durchschnittlichen Herzfrequenz von  $148 (\pm 8) \text{ S} \cdot \text{min}^{-1}$  einpendeln.

Der erhöhte Energieverbrauch bei positiven Steigungen begründet sich nach BOBBERT (1960) durch die zusätzliche Arbeit entgegen der Gravitation. Auch TERRIER et al. (2001b) und SVOBODA et al. (2011) beschreiben, dass die größte Arbeit bei positiven Steigungen darin besteht, das Körpergewicht anzuheben und dass somit auch die Länge der Steigung von entscheidender Bedeutung ist. Laut DE MARÉES (2003) verdoppelt sich der Energieumsatz bei gleicher Gehgeschwindigkeit bei einem Anstieg von  $5^\circ$  (~9%) im Vergleich zum Gehen in der Ebene.

Eine Steigung von bis zu 15% bedingt einen hohen energetischen Aufwand bei der Vertikalbewegung des Gehens. Das Minimum vertikaler Arbeit findet sich bei Steigungen zwischen 15 und 40%. Das Optimum bei der Absolvierung von Steigungen scheint bezogen auf den Energieverbrauch und biomechanische Parameter für Anstiege und Gefälle gleichermaßen bei ca. 25% zu liegen. Der geringste Energieverbrauch bei dieser optimalen Steigung wird bei einer Geschwindigkeit

von  $0,15-0,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bergauf und bei  $0,20-0,50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bergab erreicht (MINETTI 1995). Bei selbstgewählten Gehgeschwindigkeiten und Schrittfrequenzen soll es trotzdem so sein, dass diese mit zunehmender Steigung zwar abnehmen, aber dennoch ca. 30% höher liegen als die Gehgeschwindigkeit, die den geringsten Energieverbrauch mit sich bringen würde (MINETTI et al. 2003, s. Kap. 2.1.3, S. 22). Auch weitere Studien beschreiben die Reduktion der Fortbewegungsgeschwindigkeit bei zunehmendem Anstieg (HENKE und BLUMENBACH 2005, PERRIN et al. 2000). TOWNSHEND et al. (2010) zeigen bei ihrer Untersuchung mit acht erfahrenen Läufern, dass Anstiege gegenüber der Ebene mit einer um 23% geringeren Geschwindigkeit absolviert werden. Im Bereich negativer Steigungen lagen die ermittelten Geschwindigkeiten um 13,8% höher als in der Ebene. Sie beschreiben weiter, dass Änderungen der Fortbewegungsgeschwindigkeit vornehmlich durch die Variation der Schrittlängen erfolgen. So waren diese bergauf um 20,5% kürzer als in der Ebene und bergab um 16,2% länger. Auch BOBBERT (1960) beschreibt die Geschwindigkeitsänderung bei den verschiedenen Steigungen als Ursache für die unterschiedlichen Schrittlängen und -frequenzen bei wechselnden Steigungen. Im Einklang damit stehen die Ergebnisse von LAURSEN et al. (2000), die bei konstanter Geschwindigkeit keine Unterschiede der Schrittlängen und -frequenzen beim Gehen von negativen und positiven Steigungen und in der Ebene belegen konnten. DICK und CAVANAGH (1987) geben keine Änderungen der Schrittlänge bei negativen Steigungen an.

Bereits 1938 beschrieb MARGARIA, dass jeder Mensch für jeden Steigungsgrad eine „optimale“ Geschwindigkeit hat bei welcher der Energieverbrauch am geringsten ausfällt. Der niedrigste Energieverbrauch beim Gehen liegt bei einer Steigung von -10% und ist ca. 25% geringer als in der Ebene bei gleicher Geschwindigkeit. Mit zunehmendem Gefälle und zunehmendem Anstieg erhöht sich der Energieverbrauch wieder und steht somit in direkter Abhängigkeit zum Grad der Steigung. Auch MINETTI et al. (1993, 1994) bestätigen den niedrigsten Energieverbrauch im Bereich

zwischen -10 und -11% Steigung bei allen konstanten Geschwindigkeiten. Ähnlich wird es auch in der Laufbandstudie von MINETTI et al. (2002) bestätigt, die den höchsten Energieverbrauch bei einer Steigung von 45% mit durchschnittlich  $17,33 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$  ermittelten, während der niedrigste bei einem Gefälle von -10% und  $0,81 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$  lag. Mit zunehmendem Gefälle stieg der Energieverbrauch beim Gehen wieder an bis auf  $3,46 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$  bei -45%. Im Gegensatz dazu geben WANTA et al. (1993) an, dass eine große Bandbreite an "optimalen" Steigungen besteht, die in Abhängigkeit von individuellen Faktoren im Bereich zwischen -6 und -15% liegen, wohingegen LAURSEN et al. (2000) und SANTEE et al. (2001) argumentieren, dass eine negative Steigung von 8% am ökonomischsten sei. Bei Gefälle kommt es zu einer Reduktion des Energieumsatzes von bis zu 40% (z. B.  $5,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  bei 9%), wohingegen größere Neigungen den Energieumsatz ansteigen lassen (DE MARÉES 2003). Auch AINSLIE et al. (2002) konnten zeigen, dass die Sauerstoffaufnahme bei selbstgewählten Geschwindigkeiten beim bergab Gehen auf 25-40%  $\text{VO}_{2\text{max}}$  fallen und die mittlere Herzfrequenz mit  $126 (\pm 5) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  um  $22 \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  geringer ausfällt als bei positiven Steigungen. Der niedrige Energieverbrauch bei negativen Steigungen resultiert nach PIVARNIK und SHERMAN (1990) daraus, dass ein Teil der potentiellen Energie für die Translation genutzt werden kann. Des Weiteren stellten sie in ihrer Untersuchung fest, dass keine signifikanten Unterschiede der Herzfrequenz beim bergab Gehen ( $4,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} \sim 1,33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) gegenüber der Ebene entstehen. Das subjektive Belastungsempfinden lag bei positiven Steigungen über dem negativer Steigungen, wobei sich geschlechtsspezifische Unterschiede als unwesentlich erwiesen. Nach HOLLMANN und STRÜDER (2009) existieren nur sehr wenige Studien über dynamisch-negative Arbeit wie z. B. beim bergab Gehen. Der Sauerstoffbedarf liege bei Gefälle bei einem Drittel von dem einer positiven Arbeit.

Im Bereich des Nordic Walkings ist der Einfluss der Steigung noch weit weniger detailliert untersucht worden. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse stammen aus Studien mit dem Ziel, den Unterschied zum

Walking ohne Stöcke darzustellen: Während SAUNDERS et al. (2008) keine Interaktionen zwischen der Stocknutzung und der Steigung aufdeckten, beschreiben FIGARD-FABRE et al. (2010) und PERREY und FABRE (2008), dass der Einsatz von Nordic Walking Stöcken den Energieverbrauch beim bergab Gehen signifikant erhöht (s. Kap. 2.1.2, S. 20). Die Schrittlängen stiegen beim Nordic Walking mit abnehmender Steigung signifikant an (PERREY und FABRE 2008). Bei einer kontinuierlichen Steigung von 5% zeigten DUNCAN und LYONS (2008), dass sich die Sauerstoffaufnahme im gleichen Herzfrequenzbereich durch die Nutzung von Stöcken signifikant erhöht. In ähnlichen Untersuchungen von KNIGHT und CALDWELL (2000) konnte dagegen kein Unterschied bei der Sauerstoffaufnahme festgestellt werden, allerdings zeigten sich durch die Stocknutzung signifikant größere Schrittlängen und reduzierte Schrittfrequenzen bei 5% Steigung. Auch SVOBODA et al. (2011) berichten, dass es beim Nordic Walking in allen untersuchten Steigungsbereichen (0-10%) zu einer Reduktion der Schrittfrequenz gegenüber dem Walking ohne Stöcke kommt. Wie beim Walking erhöht sich auch beim Nordic Walking die Schrittfrequenz mit zunehmender Steigung. Sie stellten weiter fest, dass die Sauerstoffaufnahmen und die Herzfrequenzen in allen Steigungsbereichen signifikant höher liegen als beim Walking, wobei sich der Unterschied mit zunehmender Steigung verringerte. Die Belastungsintensität beim Nordic Walking lag bei einer Geschwindigkeit von  $7,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\sim 2,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) und einer Steigung von 10% bei 63%  $\text{VO}_{2\text{max}}$  und 75% der Herzfrequenzreserve.

Die Anzahl der Studien, die sich mit den Auswirkungen der Steigung auf die physiologischen Parameter beim Nordic Walking beschäftigen, ist sehr begrenzt und ihre Ergebnisse sind nur sehr schwer miteinander zu vergleichen. Außerdem sind die angewandten Methoden nicht immer schlüssig. So werden Nordic Walker auf freizeitleichem Niveau z. B. mit Trekkingstöcken ausgestattet, ohne dass davon berichtet wird ob Technischeinweisungen stattgefunden haben. Ebenso fehlen Angaben dazu ob auf dem Laufband Einweisungen zur Gehtechnik stattgefunden haben bzw. welches Technikleitbild die Grundlage bildete. Somit besteht derzei-

tig ein großes Forschungsdefizit bei Fragen bezüglich des Einflusses von Steigungen auf die physiologischen Parameter beim Nordic Walkings.

### 2.3.2 Streckenlänge

Bei der Charakterisierung und Klassifizierung von Nordic Walking Strecken ist die Streckenlänge bei den meisten Anbietern von Nordic Walking Routen einer der entscheidenden Parameter (s. Kap. 2.3, S. 34). Dabei sind die Klassifizierungen bisher – bezogen auf die körperliche Belastung – nur unzureichend wissenschaftlich gestützt:

Zu dem Einfluss der Streckenlänge auf physiologische Parameter beim Nordic Walking bzw. Gehen sind in der Literatur nur wenige wissenschaftliche Artikel zu finden, die eine Interpretation im Hinblick auf die Distanz zulassen. In den meisten Fällen steht noch nicht einmal die Streckenlänge, sondern eher die damit einhergehende zeitliche Dauer der Belastung im Vordergrund der Arbeit.

Schon 1966 stellten STRYDOM et al. (1966) bei jungen Männern fest, dass moderate Belastungen von 3 mph ( $\sim 1,34 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) auf ebenem, festem Untergrund mit einem Zusatzgewicht von 50 lbs ( $\sim 22,68 \text{ kg}$ ) bis zu acht Stunden problemlos bewältigt werden können. Zu hinterfragen bleibt dabei sicherlich, ob die gesunden jungen Männer einen anderen Leistungsstand aufweisen als es junge, gesunde Männer heute mit einer möglichen eingeschränkteren Bewegungskultur. In einer Studie mit Marathonläufern konnte zum einen bei der Hälfte der Testteilnehmer kein Einfluss der einsetzenden Ermüdungserscheinungen auf den Energieverbrauch pro zurückgelegte Distanz gezeigt werden. Bei dem anderen Teil der Probanden war zum anderen nach einer Marathondistanz der Energieverbrauch pro zurückgelegter Distanz um 7,5% erhöht. Der Anstieg des Energieverbrauchs trat nach ca. 15 km auf (DI PRAMPERO et al. 1986). Damit ist umgekehrt der Einfluss von Ermüdungserscheinungen auf den Energie-

verbrauch bei einer Streckenlänge bis 15 km in dieser Studie als sehr gering einzuschätzen, wobei eine zusätzliche weitere Beeinflussung durch äußere Bedingungen wie Untergrund und Steigung nicht berücksichtigt wurde. Neben dem Energieverbrauch wird nach OLGATI et al. (1986) auch die neuromuskuläre Koordination des Laufens und Gehens durch Ermüdung kaum beeinflusst. BRUECKNER et al. (1991) stellten in ihrer Marathonstudie ebenfalls fest, dass der Energieumsatz beim Laufen bis 15 km unverändert bleibt, sich nach Kilometer 32 und 42,195 aber signifikant von der Ausgangsmessung unterscheidet. Sie wiesen auch basierend auf der Sauerstoffaufnahme ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ ), Umsatzsteigerung um 0,123% pro Kilometer mit zunehmend gelaufener Distanz nach. Für eine 1%ige Zunahme müssten damit etwas mehr als 8 Kilometer zurückgelegt werden. Der durchschnittliche Energieverbrauch in Bezug auf die  $\text{VO}_2$  erhöhte sich dabei aufgrund von Ermüdungserscheinungen um 5% und in Bezug auf den Energieaufwand um 3%. Ebenso zeigte sich auch bei DUNCAN und LYONS (2008) bei einem einstündigen Dauertest mit Trekkingstöcken auf einem Laufband (5% Steigung) keine signifikante Veränderung der Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit von der Zeit bzw. der Streckenlänge. Nach DE MARÉES (2003) hingegen erhöht sich der Sauerstoffverbrauch bei Gehgeschwindigkeiten von mehr als  $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  dagegen sogar je Wegmeter, wobei keine absoluten Steigerungswerte angegeben werden.

Darüber hinaus führte selbst ein im Rucksack getragenes Zusatzgewicht von 25 kg bei einer 120-minütigen Belastung mit konstanter Gehgeschwindigkeit von  $1,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  zu keinerlei Veränderungen beim Energieverbrauch. Hingegen erhöhte ein Zusatzgewicht von 40 kg bei gleichen Testbedingungen den Energieverbrauch signifikant über die Testdauer. Belastungen > 50% der maximalen Kapazität führen zu einer physischen Ermüdung, die wiederum zu einer veränderten Laufökonomie führt, wodurch sich der Energieverbrauch nochmals verändert (EPSTEIN et al. 1988).

Zusammenfassend sollte nach den aufgezeigten Studien beim Nordic Walking – analog zum Walking und zum Laufen – die physiologische Belastung unter konstanten Bedingungen mit zunehmender Belastungsdauer (bis zu einer für Nordic Walking sehr langen Distanz) nahezu konstant bleiben. Erst dann erfolgt ein gesteigerter Energieumsatz, der aber prozentual gering ausfällt. Es kann jedoch gleichzeitig angenommen werden, dass Ermüdungserscheinungen aufgrund des höheren koordinativen Anspruchs beim Nordic Walking früher auftreten als beim Walking ohne Stöcke, wobei die Literatur bis dato keine konkreten Ergebnisse dazu liefert.

Es ist somit zu folgern, dass die Streckenlänge bei Belastungen im aeroben Intensitätsbereich mit moderaten Geschwindigkeiten und einer Belastungsdauer unter 120 min einen sehr geringen bzw. zu vernachlässigenden Einfluss auf die Energiebereitstellung beim Walking und Nordic Walking hat. Die Aufnahme dieses Parameters bei der Klassifizierung von Nordic Walking Strecken scheint daher eher einen Hinweis auf die zeitliche Planung der Trainingseinheit zu liefern, als auf die tatsächliche energetische Beanspruchung.

### **2.3.3 Untergrund**

Wechselnde Untergründe steigern die Attraktivität von Nordic Walking und Walking Strecken (FIGARD-FABRE et al. 2010). Neben trainingsrelevanten Variationsmöglichkeiten wie Fahrtspielen ergeben sich kognitive Aspekte in Form von motivationalen und koordinativen Einflüssen als auch Veränderungen bezüglich der körperlichen Belastungssituation.

Zahlreiche wissenschaftliche Studien belegen, dass die Beschaffenheit des Untergrundes einen entscheidenden Einfluss auf die physiologischen und biomechanischen Größen beim Laufen, Gehen und Nordic Walking mit oder ohne Zusatzgewicht hat (HAISMAN und GOLDMAN 1974, HARDIN et

al. 2004, GLASOW und MÜLLER 1951, KERDOK et al. 2002, LEJEUNE et al. 1998, SCHIFFER et al. 2009, SOULE und GOLDMANN 1972, ZAMPARO et al. 1992). Bereits 1951 wiesen GLASOW und MÜLLER (1951) eine Erhöhung des Energieverbrauchs beim Gehen auf verschiedenen Untergründen nach. Entsprechend der Beschaffenheit des Untergrundes kann es zu einer Erhöhung bis zu 170% gegenüber dem Gehen auf festem, ebenem Terrain kommen. STRYDOM et al. (1966) stellten fest, dass der Sauerstoffverbrauch beim Laufen über weichen Untergrund (Wüstensand) im Mittel um  $0,872 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$  größer ist als beim Laufen über festen Untergrund. Die Körpertemperatur stieg im Mittel um  $1,0^\circ\text{F}$  ( $\sim 1,8^\circ\text{C}$ ), während die Erhöhung der Herzfrequenz bei  $22 \text{ S} \cdot \text{min}^{-1}$  lag. Die Studie erfolgte bei einer Geschwindigkeit von  $3 \text{ mph}$  ( $\sim 1,34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) und mit einem Zusatzgewicht von  $50 \text{ lbs}$  ( $\sim 22,68 \text{ kg}$ ). Ebenso konnten SOULE und GOLDMANN (1972) einen entscheidenden Einfluss des Untergrunds einer Laufstrecke auf den Energiebedarf eines Athleten nachweisen. Sie postulierten, dass sich der Energieverbrauch bei sportlicher Betätigung je nach Beschaffenheit des Untergrundes um einen festen Faktor erhöht (s. Tab. 2-4). Derartige Werte sollen für Zusatzgewichte bis zu  $40 \text{ kg}$  gelten. Diese sogenannten Terrainkoeffizienten wurden in weiteren Studien von HAISMAN und GOLDMAN (1974) und PANDOLF et al. (1977) mit nur geringen Abweichungen bestätigt.

Tab. 2-4: Terrainkoeffizienten nach SOULE und GOLDMAN (1972), Erhöhung des Energieverbrauchs in Abhängigkeit zur Untergrundbeschaffenheit

Terrain	Faktor
Asphalt	1,0
Schotterstraße	1,1
leichtes Unterholz	1,2
schweres Unterholz	1,5
Morast	1,8
Sand	2,1

Auch aktuellere Untersuchungen bestätigen den direkten Zusammenhang zwischen der Charakteristik des Untergrundes und dem Energieumsatz beim Laufen, Gehen und Nordic Walking, wobei auf weichem Untergrund ein höherer Energieverbrauch vorliegt als auf hartem (LEJEUNE et al. 1998, PINNINGTON und DAWSON 2001, PINNINGTON et al. 2005, SCHIFFER et al. 2009, ZAMPARO et al. 1992). LEJEUNE et al. (1998) und ZAMPARO et al. (1992) verglichen in ihren Studien die Beanspruchung auf festem Untergrund und auf Sand. Sie stellten gleichermaßen fest, dass die Sauerstoffaufnahme mit der Fortbewegungsgeschwindigkeit ansteigt und auf Sand um den Faktor 1,8 bzw. 2,1-2,7 höher liegt als auf festem Untergrund bei gleicher Geschwindigkeit. Den höheren Energieverbrauch führen sie in erster Linie auf die größere mechanische Arbeit auf Sand und eine Abnahme der Effizienz der positiven Arbeit von Muskeln und Sehnen zurück. Unterschiede bezüglich der Schrittfrequenz konnten nicht ausgemacht werden (LEJEUNE et al. 1998). Zwischen der Sauerstoffaufnahme und der Geschwindigkeit ergab sich beim Gehen und Laufen auf sandigem Untergrund eine lineare Beziehung. Auf festem Untergrund stieg die Sauerstoffaufnahme pro Geschwindigkeit bei höherem Tempo hingegen stärker an. Die Herzfrequenz erhöhte sich weitgehend linear mit steigender Geschwindigkeit und lag auf Sand insgesamt höher. Geschlechtsspezifische Differenzen konnten im Hinblick auf den Nettoenergieverbrauch nicht nachgewiesen werden (ZAMPARO et al. 1992). Auch PINNINGTON und DAWSON (2001) bestätigen den erhöhten Energieverbrauch beim Laufen auf Sand, wobei dieser bei vergleichbaren Laufgeschwindigkeiten um den Faktor 1,2-1,6 höher liegt als auf hartem Untergrund. STICK und MENDE (2002) stellten bei ihrem Vergleich zwischen dem Gehen auf Sand und dem Gehen auf asphaltiertem Untergrund unter Windschutz fest, dass die selbstgewählte Gehgeschwindigkeit auf Sand im Mittel um  $0,53 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  geringer ausfällt, während die Herzfrequenz im Mittel  $8,5 \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  höher liegt. Auch wenn die Untergründe anders beschaffen waren, wiesen CREAGH et al. (1998a) gleiches nach: Beim Vergleich zwischen befestigtem Fußweg sowie kurzem und langem Gras wurden die Schrittlängen mit steigendem Anspruch des Untergrundes kürzer und

die Geschwindigkeit geringer, während die vertikale Bewegung der Körpermasse und der Kniehub signifikant größer wurden. Genau wie LEJEUNE et al. (1998) konnten sie aber keine signifikanten Unterschiede bei den Schrittfrequenzen auf verschiedenen Untergründen feststellen. KERDOK et al. (2002) haben den Einfluss des Untergrundes auch bei Studien auf einem Laufband nachgewiesen, jedoch in eine andere Richtung. Sie zeigten, dass bei konstanter Laufgeschwindigkeit eine Abnahme des Härtegrades des Untergrundes auf dem Laufband um 12,5 Einheiten eine Abnahme der metabolischen Rate um 12% bewirkte.

SCHIFFER et al. (2009) veröffentlichten die bisher einzige Studie zum Einfluss der Untergrundbeschaffenheit beim Nordic Walking auf metabolische Parameter. Sie verglichen die Untergründe Beton, Polytan und Gras beim Nordic Walking miteinander und ermittelten bei gleicher Geschwindigkeit ( $2,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) signifikant höhere Sauerstoffaufnahmen von ca. 11% auf Gras gegenüber Beton und tendenziell höhere Werte von ca. 6% auf Gras als auf Polytan. Hingegen unterlagen in der Studie Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden keinem Einfluss der Untergrundbeschaffenheit. Nach den Autoren soll die größere Energieaufnahme des Untergrundes ursächlich für den erhöhten Energieverbrauch beim Nordic Walking auf weichen Untergründen sein.

Zusammenfassend zeigen die Studien eine Veränderung der metabolischen Situation durch den Untergrund. Entweder steigert sich bei gleicher Geschwindigkeit der Energieverbrauch der Probanden mit abnehmendem Härtegrad des Untergrundes oder die Testpersonen passen die metabolische Situation dem Untergrund an, indem sie unter Beibehaltung der Schrittfrequenz Einfluss auf die Schrittlänge nehmen. Daraus resultiert eine Abnahme der Geschwindigkeit. Eine Studie zur Untersuchung der physiologischen Beanspruchung von Nordic Walkern auf typischen Untergründen von Nordic Walking Strecken (Asphalt, Wirtschaftswegen und Singletrails) existiert in der wissenschaftlichen Literatur bis dato nicht.

## 2.4 Messmethoden beim Nordic Walking

Wie die vorausgegangenen Kapitel zeigen, werden Untersuchungen physiologischer Parameter beim Gehen, Walking, Laufen und Nordic Walking entweder im Rahmen von Labortests auf einem Laufbandergometer oder als Feldtests durchgeführt. Dabei wird Untersuchungen im Labor aus wissenschaftlicher Sicht häufig der Vorrang gegeben: Sie bieten den Vorteil konstanter, kontrollierter Testbedingungen und den eines zum Teil einfacheren und besseren apparativen Messaufbaus. Trotz dieser sehr guten Kontrollmöglichkeiten unterscheiden sich die vorliegenden Studien zum Walking und Nordic Walking deutlich. So finden sich auf der einen Seite Stufentests mit Belastungssteigerung über die Faktoren Geschwindigkeit bzw. Steigung (AIGNER et al. 2004, FIGARD-FABRE et al. 2009, HÖLTKE et al. 2003, 2005, JAKOB 2001, PERREY und FABRE 2008, SCHIEBEL et al. 2003, SVOBODA et al. 2011). Auf der anderen Seite werden konstante oder selbstgewählte Geschwindigkeiten im Dauertest als Belastungsgrundlage genommen (PORCARI et al. 1997, RODGERS et al. 1995, WALTER et al. 1996). Vielfach wird zusätzlich kritisiert, dass die tatsächliche Beanspruchung bestimmter Sportarten nur unzureichend durch Ergometer dargestellt werden kann (DICKHUTH 2000, HOLLMANN und STRÜDER 2009, LARSSON 2003, PICKENHAIN et al. 1993). Wie z. B. DAL et al. (2010) zeigen konnten, liegt die bevorzugte Gehgeschwindigkeit auf dem Laufband fast 20% niedriger als auf festem Boden und auch Schrittlänge und -frequenz sind signifikant niedriger. Ferner wird für die Fortbewegungsarten Gehen und Laufen beschrieben, dass Laufbandergometer auch die koordinative Beanspruchung im Vergleich zu Felduntersuchungen verändern (ACSM 2009, MURRAY et al. 1985, NIGG et al. 1995, WANK et al. 1998).

Deshalb erscheint gerade in Bezug auf die Sportart Nordic Walking die Nutzung von Laufbändern als problematisch, da die koordinative Beanspruchung wesentlich höher liegt als beim Gehen ohne Stöcke. Insbesondere die Technik des Armschwunges und des Stockeinsatzes scheint durch das Laufband beeinflusst zu werden, so dass die gemessenen sportartspezifischen Beanspruchungen beim Nordic Walking auf

Laufbandergometern variieren (JACOBSON et al. 2000, FIGARD-FABRE et al. 2010, KNIGHT und CALDWELL 2000, PERRY und FABRE 2008). Auch PREUß et al. (2008) konstatieren, dass der nicht technikkonforme Armeinsatz häufig ein limitierender Faktor ist, um Ergebnisse einer Labormessung im Bereich des Nordic Walkings auf die tatsächliche Belastung im Feld unter Trainingsbedingungen übertragen zu können. Als Quintessenz erweist sich nach Autorenmeinung die Untersuchung von Nordic Walking im Feld als das geeignete Studiendesign, da nur so die hohe Affinität zu dieser Sportart gewährleistet wird. Auch SCHIFFER et al. (2006) beschreiben die Beeinträchtigungen der Nordic Walking Technik auf dem Laufband. Außerdem beeinflussen Sicherheitsfaktoren wie Trittsicherheit oder Geometrie und Untergrund des Weges die physiologischen Faktoren beim Nordic Walking im Feld, wodurch die Übertragbarkeit von Laborwerten zusätzlich eingeschränkt wird (MINETTI et al. 2002). Ebenso beschreiben HENKE und BLUMENBACH (2005), dass die Topographie des Geländes bei vielen Natursportarten entscheidend für die metabolische Beanspruchung der Sporttreibenden ist. Trotzdem beschränken sich viele Untersuchungen aufgrund des geringeren technischen und organisatorischen Aufwands auf den Laboreinsatz, wobei neben dem Geländeprofil auch die Einflüsse verschiedener Untergründe vernachlässigt werden müssen. Konstante Steigungen über eine bestimmte Länge, wie sie auf dem Laufband vorgegeben werden, sind im Gelände praktisch nicht existent und auch die Vorgabe einer konstanten Geschwindigkeit spiegelt nicht das tatsächliche Geschwindigkeitsprofil eines Läufers bzw. Walkers im Feld wider (MINETTI et al. 2003, TOWNSHEND et al. 2010), was auch für das Nordic Walking als zutreffend erachtet werden kann. Dies wurde bereits in den Kapiteln 2.1.3, 2.3.1 bis 2.3.3 dokumentiert. Erfolgt doch zum einen in Abhängigkeit von äußeren Einflussfaktoren wie Steigung und Untergrund eine Anpassung der Geschwindigkeit, so kommt es zum anderen auch aufgrund von Ermüdungserscheinungen zu Veränderungen der Belastungsintensitäten. Durch die Vorgabe der Geschwindigkeit auf dem Laufband wird somit eine künstliche Belastungssituation geschaffen, die die Übertragbarkeit der Ergebnisse von Untersuchungen auf dem Laufbandergometer ins Feld

nicht gestattet. Damit wird die Ableitung von Trainingsempfehlungen (auch aus gesundheitlicher Sicht) aus den Ergebnissen derartiger Laboruntersuchungen eingeschränkt.

MINETTI et al. (2003) halten es für wichtig, die Entwicklung der Fortbewegungsgeschwindigkeiten auf heterogenen Bergstrecken zu untersuchen, um herauszufinden, welchen Kriterien bzw. äußeren Umständen Geschwindigkeitsänderungen tatsächlich unterliegen. Genau diese Umstände, der stetige Wechsel von frei regulierbaren Geschwindigkeiten und unterschiedlichen Steigungen bestimmen global gesehen das tägliche Leben und spezifisch das Nordic Walking in freier Natur und nicht konstante Geschwindigkeiten und konstante Steigungen. Untersuchungen auf einem Laufband haben zur Folge, dass Geschwindigkeitsvariabilitäten auf einzelnen Streckenabschnitten, die durch die Topographie der Strecke und die Untergrundbeschaffenheit hervorgerufen werden, außer Acht gelassen werden. Damit ist die metabolische Gesamtsituation auf einer Strecke nur unzulänglich geklärt und auch die Kategorisierung von Strecken spiegelt die physiologische Beanspruchung auf der Strecke nur bedingt wider.

Die innerhalb der letzten Jahre stark verbesserten satellitengestützten Messverfahren zur statischen und kinematischen Positionsberechnung bieten in diesem Bezug ein enormes Potential für sportwissenschaftliche Untersuchungen im Feld. Sie haben sich als sehr komfortable, praktikable und geeignete Methode zur Bestimmung von Steigungen, Streckenlängen und Geschwindigkeiten im Feld erwiesen. Der Einsatz eines differentiellen GPS-Verfahrens (dGPS) ermöglicht eine Lagebestimmung im zentimetergenauen Bereich. Durch zwei Stationen bzw. Referenzstation und Rover (eine in Bewegung befindliche Station), die sich in einer Entfernung von wenigen Kilometern zueinander befinden, können große Teile gleichartig wirkender Fehlereinflüsse eliminiert und die Genauigkeit der Positionsberechnung und Geschwindigkeitsmessung gegenüber einfachen GPS-Geräten stark erhöht werden (DUNCAN et al. 2009a, 2009b, LADETTO 2000, LARSSON und HENRIKSSON-LARSÉN 2001, 2005,

LICHTENEGGER et al. 1997, PERRIN et al. 2000, SCHUTZ und CHAMBAZ 1997, TERRIER und SCHUTZ 2005, TOWNSHEND et al. 2008, WITTE und WILSON 2004).

In Kombination mit Herzfrequenzmessungen ermöglichen die Positionsbe-  
rechnung und Geschwindigkeitsmessung durch GPS-Technik partielle  
Veränderungen von Trainings- und Wettkampfvorgaben unter Feldbedin-  
gungen zu beobachten und langfristig verbesserte Trainingsempfehlungen  
zu geben (DUNCAN et al. 2009a, MILLER 2001). Auch PERRIN et al. (2000)  
bestätigten, dass ein dGPS geeignet ist, Geschwindigkeiten unter Frei-  
landbedingungen zu messen. Diese Messmethode eröffnet neue  
Perspektiven im Bereich der biomechanischen und physiologischen  
Untersuchungen. LARSSON und HENRIKSSON-LARSÉN (2001) zeigten in  
ihrer Untersuchung von Skilangläufern durch die Kombination der  
dGPS-Technik mit spirometrischen Messungen eine zuverlässige Analyse  
von metabolischen Veränderungen an verschiedenen Positionen eines  
Rundkurses. Durch die GPS-Technik können damit Testpersonen im Feld  
ihre Fortbewegungsgeschwindigkeit völlig frei wählen und trotzdem wis-  
senschaftlich charakterisiert werden (ANDERSSON et al. 2010, LARSSON und  
HENRIKSSON-LARSÉN 2001). Die einzige Einschränkung liegt in dem Tragen  
eines Rucksacks mit dem GPS-Gerät und einer Atemmaske, bei Kombina-  
tion mit einem portablen Spirometrie-System. Dadurch ergibt sich die  
Möglichkeit, sportartspezifische Leistung im Feld unter realitätsnahen  
Bedingungen und mit nur sehr geringen Einschränkungen zu messen.  
Metabolische Parameter können in Abhängigkeit von Steigung, Strecke  
und Geschwindigkeit analysiert und beurteilt werden. Sie liegen somit sehr  
viel näher an der tatsächlichen physiologischen Situation als Laufbandun-  
tersuchungen im Labor (PERRIN et al. 2000). Damit eröffnet sich im  
Bereich des Nordic Walkings die Möglichkeit, die physiologische  
Beanspruchung in Abhängigkeit von Lage- und Geschwindigkeitsverände-  
rungen zu beurteilen und sowohl Trainings- als auch  
Gesundheitsempfehlungen aus der tatsächlichen sportartspezifischen  
Beanspruchung auf Nordic Walking Strecken zu entwickeln.

## 3 Material und Methode

### 3.1 Untersuchungsaufbau

Die Felduntersuchungen wurde im Zeitraum vom 06.11.2007 bis zum 25.11.2007 auf den Strecken des DSV nordic aktiv Walking Zentrums Ortenau (Schwarzwald) durchgeführt. Die Rekrutierung der Probanden erfolgte durch die DSV-Instruktoren vor Ort. Die Teilnahme war freiwillig und es wurde bewusst auf einen Ausschluss von Personen aufgrund unterschiedlicher körperlicher Leistungsfähigkeit verzichtet, um eine möglichst reale Zusammensetzung der Nordic Walking Gruppen zu simulieren. Ausschlusskriterium waren gesundheitliche Probleme, akute Infekte an den Testtagen und unzureichende Nordic Walking Technik (s. u.).

Innerhalb einer Informationsveranstaltung vier Wochen vor Testbeginn wurden alle Teilnehmer detailliert über den Ablauf der Studie und mögliche Risiken aufgeklärt. Sie wurden dazu aufgefordert sich ausgewogen zu ernähren, 48 Stunden vor dem Test keiner sportlichen Aktivität nachzugehen und an jedem Testtag die gleiche Kleidung zu tragen, um so Gewichtsänderungen aufgrund des Materials vorzubeugen. Des Weiteren wurden die richtige Technikausführung der Probanden und die Stocklängen durch den Untersuchungsleiter und die Instruktoren des DSV nordic aktiv Zentrums Ortenau vor Studienbeginn überprüft. Als Technikleitbild galt hierbei die Nordic Walking Technik des Deutschen Skiverbandes (WÖRLE und FALKNER 2008).

Vor jedem ersten Test erfolgte eine Einzelunterweisung jedes Probanden zum detaillierten Ablauf. Offene Fragen wurden geklärt und die RPE-Skala (ratings of perceived exertion) nach BORG (1982) zur Einschätzung der subjektiven Belastung wurde erläutert. Jeder Proband unterzeichnete eine Einverständniserklärung und eine medizinische Unbedenklichkeitserklärung (s. Anlage A). Außerdem erfolgte einmalig die Aufnahme der körperlichen Aktivität, des Gesundheitszustandes und der Essgewohnheiten innerhalb eines Fragebogens. Zusätzlich füllte jeder Teilnehmer vor Beginn eines jeden Tests einen weiteren, einseitigen Fragebogen zur

sportlichen Aktivität innerhalb der letzten 48 Stunden sowie des aktuellen Gesundheits- und Ernährungsstatus aus (s. Anlage A). Die Ergebnisse wurden überprüft, wobei keine Unregelmäßigkeiten festgestellt werden konnten, die die Testergebnisse hätten maßgeblich beeinflussen können. Daher konnten alle Probanden planmäßig an der jeweiligen Untersuchung teilnehmen.

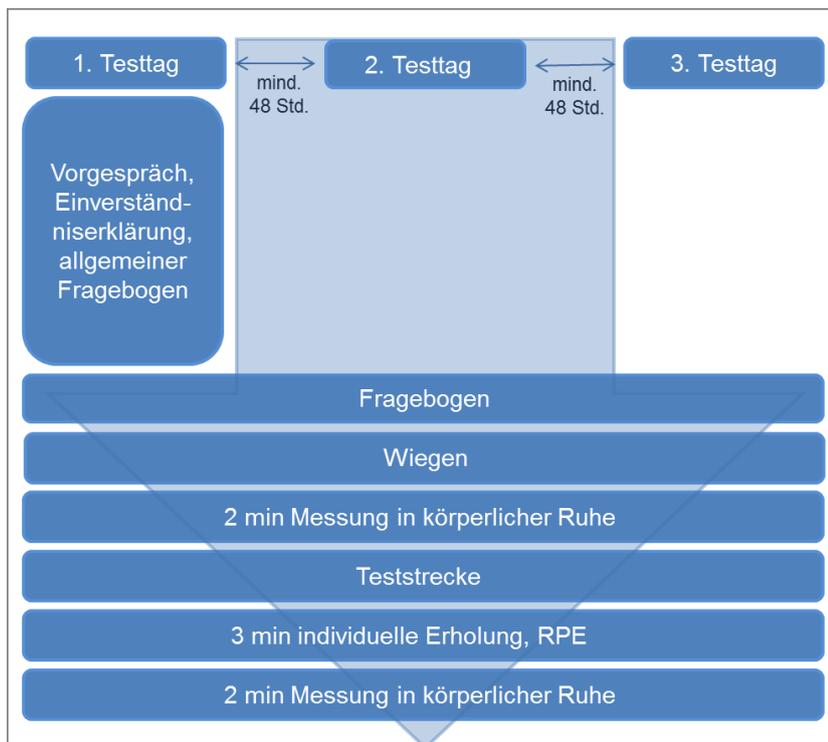


Abb. 3-1: Schematische Darstellung des Studienverlaufs

Innerhalb von drei separaten Untersuchungstagen musste jeder Proband drei Teststrecken unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades in randomisierter Reihenfolge und zur gleichen Tageszeit absolvieren. Ausgerüstet mit einem portablen Spirometrie-System (ZAN 600 Mobile) zur Messung der Atemgase in Kombination mit einem Brustgurt (Polar Electro GmbH Deutschland) zur Übertragung der Herzfrequenz und einem Rover (Leica-SR 530) zur Aufzeichnung der Lagedaten mussten die Strecken

von den Teilnehmern selbstständig zurückgelegt werden (s. Abb. 3-1). Alle Teilnehmer wurden wiederholt dazu aufgefordert, die Strecken in ihrer üblichen Trainingsgeschwindigkeit zu bewältigen.

Um einen Einfluss des Klimas auf die Messungen und die Leistungen der Probanden auszuschließen, wurden täglich die Klimadaten Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind gemessen. Die Klimadaten, als Mittelwerte der Messungen der einzelnen Testzeitpunkte, können der Abbildung 3-2 entnommen werden.

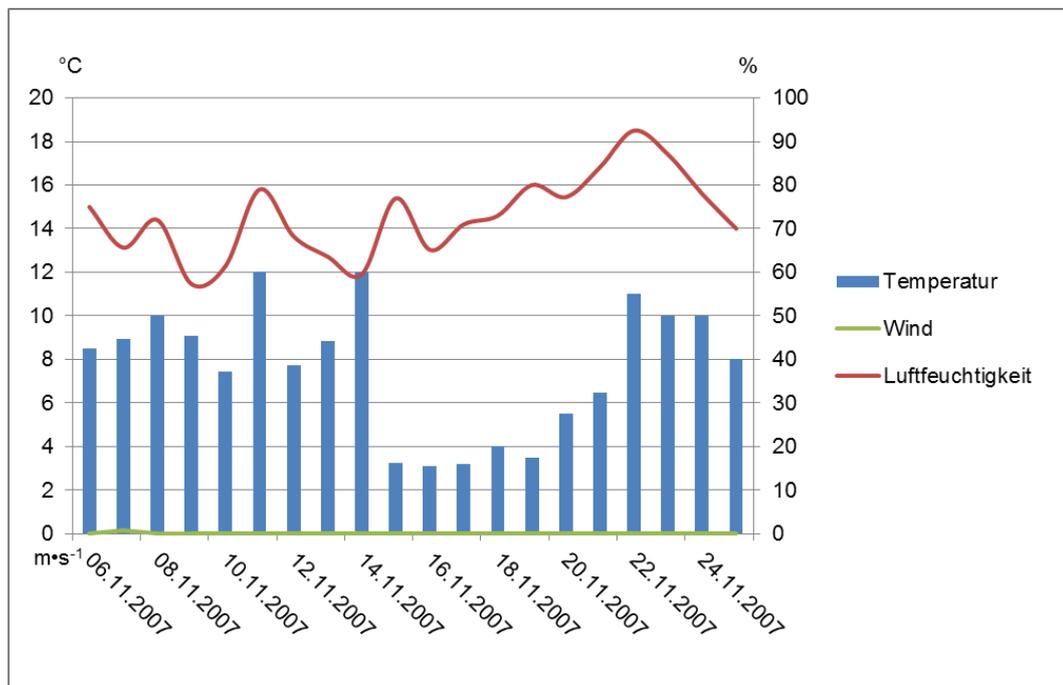


Abb. 3-2: Klimadaten im Studienverlauf. Mittlere Temperatur (°C), mittlere Luftfeuchtigkeit (%) und Windgeschwindigkeit (m·s<sup>-1</sup>) der Testzeitpunkte

### 3.2 Messmethodik

Jede Untersuchung startete mit der Ermittlung des Körpergewichtes der Probanden in bekleidetem Zustand auf einer digitalen Personenwaage (Seca 803). Unmittelbar vor jedem Test erfolgte die Aufzeichnung der physiologischen Parameter Herzfrequenz, Sauerstoffaufnahme und Kohlenstoffdioxidabgabe in körperlicher Ruhe (sitzend und mit geschlossenen Augen) über eine Dauer von zwei Minuten (s. Abb. 3-1, S. 50) zur Ermittlung von Baselinewerten. Drei Minuten nach Beendigung eines jeden Tests wurde das Prozedere zur Ermittlung von Erholungswerten wiederholt. Das subjektive Belastungsempfinden für den gesamten Streckenverlauf wurde im Anschluss über die RPE-Skala ermittelt (BORG 1982).

Während der Testphase erfolgte eine kontinuierliche Aufzeichnung der Herzfrequenz, Sauerstoffaufnahme und Kohlenstoffdioxidabgabe über das portable Spirometrie-System ZAN 600 Mobile. Die Validität des Gerätes wurde vor Beginn der Studie am Institut für Physiologie und Anatomie der Deutschen Sporthochschule Köln überprüft und bestätigt. Alle Probanden trugen die zugehörigen Gesichtsmasken aus Silikon in entsprechender Größe und einen Brustgurt der Firma Polar zur Übertragung der Herzfrequenzen auf das Spirometrie-System. Der Brustgurt wurde individuell an den Brustumfang angepasst und angefeuchtet, um eine bestmögliche Herzfrequenzaufnahme zu gewährleisten.

Vor jeder Messung wurde das portable Spirometrie-Gerät durch den Untersuchungsleiter unter Umgebungsbedingungen kalibriert. Die Aufnahme der Klimadaten Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Temperatur erfolgte über das zugehörige Umweltmodul, während die Windstärke am Startpunkt mit Hilfe eines Windmessers (Anemo Germany) zu Beginn eines jeden Tests gemessen wurde. Nach jedem absolvierten Untersuchungsdurchlauf erfolgte die Übertragung der spirometrischen Testdaten mittels Bluetooth auf einen Laptop. Diese wurden über die zugehörige Software des ZAN 600 Mobile ausgewertet und anschließend als Excel Datei exportiert.

Die Aufzeichnung der Lagedaten erfolgte mit maximaler Genauigkeit durch ein differentielles GPS-Gerät (dGPS-Gerät: Leica-SR 530) mit Rover und Referenzstation. Wie im Forschungsstand beschrieben sind dGPS-Geräte präzise und valide Messinstrumente, um Fortbewegungsgeschwindigkeiten von Menschen generell und auch im sportlichen Kontext zu messen (HENKE und BLUMENBACH 2005, PERRIN et al. 2000, TOWNSHEND et al. 2008, s. Kap 2.4, S. 47). Nach jedem absolvierten Untersuchungsdurchlauf wurden die Daten auf einen Laptop übertragen und gesichert. Die Aufnahme der Topographie der Strecken erfolgte während der dreiwöchigen Felduntersuchungen durch den Untersuchungsleiter. Die Untergründe der Strecke wurden mit Hilfe des dGPS-Gerätes und eines Mobile Mappers der Firma Thales punktgenau verortet.

Die Abbildung 3-3 zeigt die technischen Hilfsmittel zur Vorbereitung und Sicherung der Messdaten, die Probandin mit portablen Spirometrie-System ZAN 600 Mobile und Rover und die Referenzstation des dGPS-Gerätes (Leica-SR 530).



Abb. 3-3: Technische Ausstattung zur Vorbereitung und Sicherung der Messungen (1), Probandin mit portablen Spirometrie-System und Rover (2) sowie Referenzstation des dGPS-Gerätes (3)

### 3.3 Strecken

Die ausgewählten Strecken gehören zum DSV nordic aktiv Walking Zentrum Ortenau und wurden im Jahre 2005 durch das Institut für Natursport und Ökologie der Deutschen Sporthochschule Köln und den Deutschen Skiverband (DSV) zertifiziert. Es wurden drei Strecken unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades ausgewählt, um alle Schwierigkeitskategorien hinsichtlich ihrer Eignung für ein gesundheitsorientiertes Training zu überprüfen. Die Einteilung der Schwierigkeitsgrade kann Tabelle 3-1 entnommen werden.

Tab. 3-1: Schwierigkeitseinteilung von Nordic Walking Strecken in Abhängigkeit von Länge, Gesamtanstieg und Höhendifferenz nach ROTH et al. (2003, 15)

Schwierigkeitsgrad	Länge (km)	Gesamtanstieg (m)	Höhendifferenz (m)
Leicht (blau)	3,0 – 5,0	50 – 100	40 – 80
Mittelschwierig (rot)	5,0 – 8,0	100 – 200	80 – 160
Schwierig (schwarz)	8,0 – 13	200 – 400	160 – 240

Bei den drei Teststrecken handelte es sich um Rundkurse mit Start und Zielpunkt auf einem Parkplatz, wobei bei der blauen und der schwarzen Route die ersten 120 m bzw. 335 m sowohl für den Hin- als auch für den Rückweg genutzt wurden. Im Wesentlichen ließen sich die Untergründe der Teststrecken in die drei Kategorien *asphaltierte Wege*, *Wirtschaftswege* und *Singeltrails* einteilen:



Abb. 3-4: Asphaltierter Weg im Untersuchungsgebiet (Breite: ca. 3 m)

*Asphaltierte Wege:* Sie bestehen aus einer natürlich oder technisch hergestellten Mischung aus dem Bindemittel Bitumen und Gesteinskörnungen (ZIRKLER 2001, s. Abb. 3-4).



Abb. 3-5: Wassergebundener Wirtschaftsweg im Untersuchungsgebiet (Breite: ca. 2,25 m)

*Wirtschaftsweg:* Die Bezeichnung Wirtschaftsweg trifft bei allen Wegen zu, die keine überörtliche Bedeutung besitzen und die zum größten Teil dem land- oder forstwirtschaftlichen Zweck dienen, wobei dies unabhängig von der Wegbefestigung ist (DIETZ et al. 1984). Bei den Wirtschaftswegen dieser Studie handelt es sich um wassergebundene Wege von mindestens einer Fahrzeugbreite mit spärlicher Schotterung, die häufig auch als Forstwege bezeichnet werden (s. Abb. 3-5).



Abb. 3-6: Singletrail im Untersuchungsgebiet (Breite: ca. 0,5 m)

*Singletrail:* Die Begrifflichkeit Singletrail kommt aus dem Mountainbike-Sport und steht für schmale Pfade bis zu einer Breite von ca. 60 cm, die nur Platz zum Befahren oder Begehen durch eine Person bieten (s. Abb. 3-6). Im Bereich des Wanderns werden diese Wege häufig als „Pfade“ oder „Trampelpfade“ bezeichnet (RADTKE und CHILLA 2002).

Die Abbildungen 3-7 bis 3-9 zeigen den jeweiligen Verlauf der drei Teststrecken in der Farbe des jeweiligen Schwierigkeitsgrades und das dazugehörige Höhenprofil. Start- und Zielpunkt, Laufrichtung und die unterschiedlichen Untergrundanteile sind farblich gekennzeichnet.

Die blaue Strecke führte von einem Parkplatz Richtung Wald, durch diesen hindurch, entlang eines Weinberges und durch den Wald zurück zum Ausgangspunkt. Sie verlief 3,3 km über leicht ansteigendes Gelände mit einem Asphaltanteil von 7,3%, während 92,7% über leicht geschotterte Forstwege führen. Die Höhendifferenz (HD) betrug 65,5 m (s. Abb. 3-7).

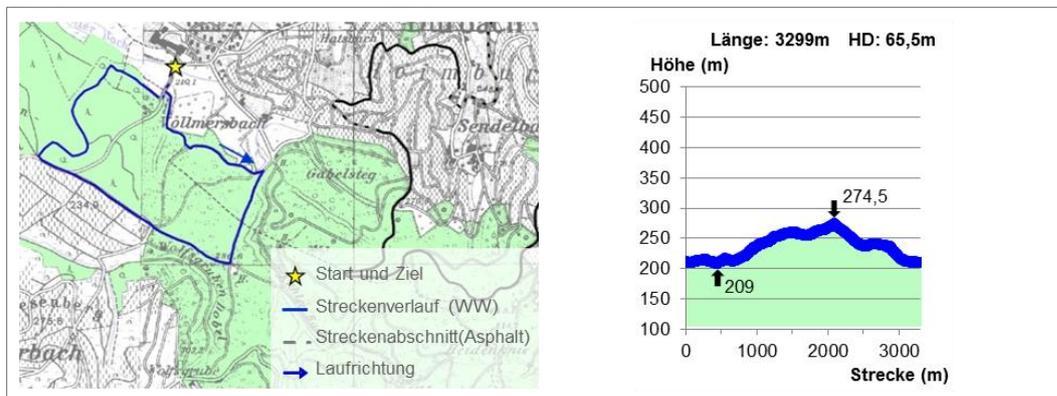


Abb. 3-7: Blaue Strecke: Streckenverlauf und Höhenprofil

Die rote Strecke hatte ihren Start- und Zielpunkt auf einem Parkplatz in dicht bewaldetem Gebiet und verlief von dort aus zunächst 318 m über einen Singletrail bevor sie nach einem langen asphaltierten Abschnitt auf einem Forstweg entlang eines Weinberges und später durch den Wald führte. Anschließend verlief sie wieder über einen asphaltierten Abschnitt zum Ausgangspunkt zurück. Bei einer Streckenlänge von 4,27 km über kupertes Gelände entfielen 7,7% der Strecke auf die Untergrundkategorie Singletrail, 32% auf Asphalt und 60,3% auf Forstwege. Die Höhendifferenz (HD) betrug 106,7 m (s. Abb. 3-8).

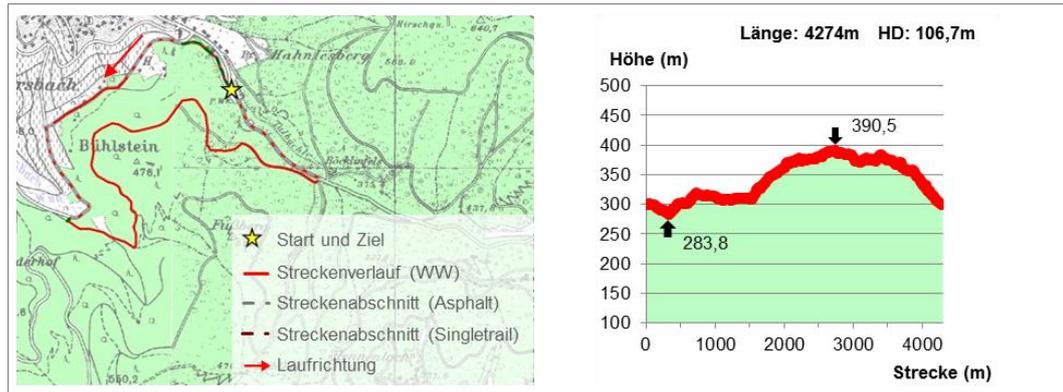


Abb. 3-8: Rote Strecke: Streckenverlauf und Höhenprofil

Die schwarze Strecke hatte ihren Startpunkt auf einem Parkplatz am Fuße eines Weinberges. Von dort aus führte sie entlang eines Baches über einen Forstweg, der im weiteren Verlauf durch die Weinberge moderat und später steil bis zum höchsten Punkt der Strecke in einem bewaldeten Gebiet anstieg. Über asphaltierte Abschnitte und Forstwege verlief der Rundweg anschließend durch die Weinberge und ein Wohngebiet zurück zum Ausgangspunkt. Bei der insgesamt 8,03 km langen Strecke entfielen 19,6% des Weges auf asphaltierte Untergründe und 80,4% auf Wirtschaftswege. Die Höhendifferenz (HD) betrug 219,9 m (s. Abb. 3-9).

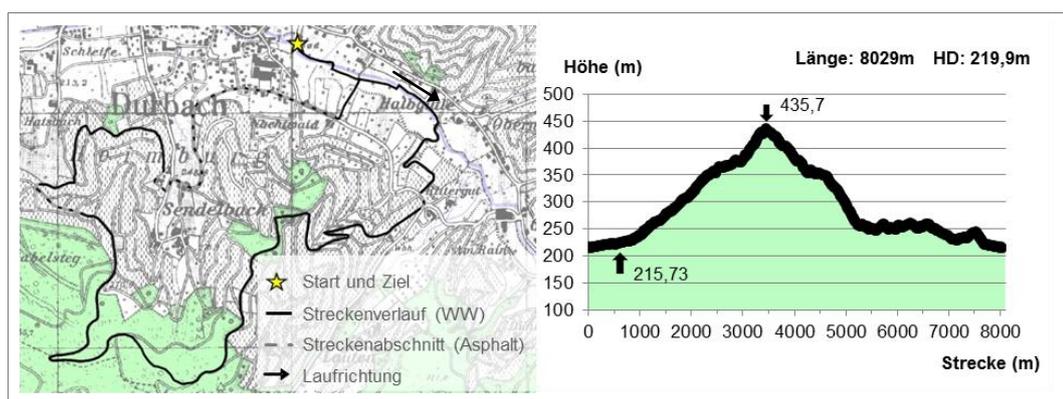


Abb. 3-9: Schwarze Strecke: Streckenverlauf und Höhenprofil

Der Streckenverlauf aller drei Routen war durch die einheitliche Beschilderung des DSV nordic aktiv Walking Zentrums Ortenau eindeutig gekennzeichnet (s. Abb. 3-10).



Abb. 3-10: Streckenbeschilderung im Untersuchungsgebiet

### 3.4 Untersuchungsgut

An der Studie nahmen insgesamt 13 Probanden teil. Aufgrund von Krankheit und fehlerhaften Testdurchläufen mussten vier Probanden aus den Berechnungen ausgeschlossen werden. Somit setzt sich das in die Ergebnisberechnung einfließende Untersuchungsgut aus insgesamt 9 Probanden zusammen: 7 weibliche Teilnehmer mit einem mittleren Alter von 49,1 ( $\pm 8,1$ ) Jahren und 2 männliche Teilnehmer mit einem mittleren Alter von 58,0 ( $\pm 8,5$ ) Jahren. Die Frauen hatten eine mittlere Körpergröße von 1,67 ( $\pm 0,07$ ) m, ein mittleres Gewicht von 71,65 ( $\pm 10,86$ ) kg und einen Body Mass Index (BMI) von 25,78 ( $\pm 3,77$ ) kg/m<sup>2</sup>. Bei den Männern lag die mittlere Körpergröße bei 1,70 ( $\pm 0,08$ ) m, das mittlere Körpergewicht bei 82,80 ( $\pm 11$ ) kg und der BMI bei 28,7 ( $\pm 1,19$ ) kg/m<sup>2</sup>. Das angegebene Körpergewicht entspricht dabei dem Mittelwert aller drei Messungen.

Der Body Mass Index ist definiert als:

$$\text{BMI} = \frac{\text{Körpergewicht (kg)}}{\text{Körpergröße (m)}^2}$$

Die detaillierten Probandendaten können der Tabelle 3-2 entnommen werden.

Tab. 3-2: *Anthropometrische Daten der Probanden*

ID	Geschlecht	Alter (J)	Körpergröße (m)	Körpergewicht (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
1	w	43	1,72	89,10	30,1
2	w	58	1,65	61,10	22,4
3	m	64	1,64	75,00	27,9
4	m	52	1,75	90,60	29,6
5	w	50	1,60	72,60	28,3
6	w	40	1,75	60,60	19,8
7	w	61	1,56	66,60	27,4
8	w	50	1,69	68,60	24,0
9	w	42	1,71	83,20	28,4
$\bar{x}$		51,1	1,67	74,13	26,44
SD		8,6	0,07	11,30	3,54
$\bar{x}$	w	49,1	1,67	71,65	25,78
SD	w	8,1	0,07	10,86	3,77
$\bar{x}$	m	58	1,70	82,80	28,73
SD	m	8,5	0,08	11,00	1,19

Sowohl die Frauen als auch die Männer liegen mit dem durchschnittlichen BMI ca. einen Index-Punkt über den Durchschnittswerten der entsprechenden Gruppe in Deutschland im Jahre 2005 und 2009 (GBE 2009). Damit sind sie gut in die Normalbevölkerung zu platzieren.

Die maximale Herzfrequenz ( $Hf_{max}$ ) der Probanden wurde nach Vorgabe des American College of Sports Medicine (ACSM 2009) über das Lebensalter (LA) nach folgender Formel berechnet:

$$Hf_{max} = 206,9 - (0,67 * LA).$$

Die Ergebnisse dieser Berechnung können Tabelle 3-3 entnommen werden.

Tab. 3-3: Maximale Herzfrequenz ( $Hf_{max}$ ) der Probanden mit Angabe des Mittelwertes ( $\bar{x}$ ) und der Standardabweichung (SD)

ID	Geschlecht	$Hf_{max}$ ( $S \cdot min^{-1}$ )
1	w	178,1
2	w	168,0
3	m	164,0
4	m	172,1
5	w	173,4
6	w	180,1
7	w	166,0
8	w	173,4
9	w	178,8
$\bar{x}$		172,7
SD		5,7

Da sich alle Testpersonen nach eigener Auskunft in die Kategorie der Freizeitsportler einordnen erfolgt die Berechnung der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ ) nach der Formel von McARDLE et al. (2010) für gemäßigt aktive Personen (ca. zwei Trainingseinheiten pro Woche):

$$VO_{2\max} = 61,4 - (0,39 \cdot LA).$$

Die Ergebnisse dieser Berechnung können Tabelle 3-4 entnommen werden.

Tab. 3-4: Maximale relative Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2\max}$ ) der Probanden mit Angabe des Mittelwertes ( $\bar{x}$ ) und der Standardabweichung (SD)

ID	Geschlecht	$VO_{2\max}$ ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )
1	w	44,63
2	w	38,78
3	m	36,44
4	m	41,12
5	w	41,9
6	w	45,8
7	w	37,61
8	w	41,9
9	w	45,02
$\bar{x}$		41,47
SD		3,34

Alle Teilnehmer gaben an über langjährige Erfahrung in der Sportart Nordic Walking zu verfügen und vier von ihnen waren als Nordic Walking Instruktoren tätig. Alle Probanden waren vertraut im Umgang mit dem angewandten Stocksystem „Speed Pacer Vario“ der Firma Leki.

Über das Nordic Walking hinaus betrieben alle Probanden weitere Ausdauersportarten wie Walking, Jogging, Mountainbiking und Fitnesstraining. Alle Testpersonen ordneten ihre sportlichen Aktivitäten mit Frequenzen von zwei bis drei Trainingseinheiten pro Woche dem freizeitsportlichem Niveau zu.

## 3.5 Auswertung

### 3.5.1 Auswertungskonzept und -darstellung

In der Fachliteratur werden zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit die Herzfrequenz und die relative Sauerstoffaufnahme als wichtigste physiologische Parameter propagiert (s. Kap. 2.1, S. 7). Kohlenstoffdioxid ist nach WILMORE et al. (2008) weniger konstant und eignet sich zur Beurteilung lediglich bei Ruhemessungen oder bei steady state Belastungen. Deshalb wurden nur die Sauerstoffaufnahme und die Herzfrequenz aus den spirometrischen Daten extrahiert und bildeten die Grundlage für die weiteren Berechnungen. Beeinflusst werden diese beiden individuellen Parameter beim Walking und somit vermutlich auch beim Nordic Walking im Feld durch die Fortbewegungsgeschwindigkeit und äußere Faktoren wie z. B. Steigung und Untergrund (s. Kap. 2.1.3 und 2.3). Da es sich bei der Geschwindigkeit ebenso wie bei der Herzfrequenz und der relativen Sauerstoffaufnahme um einen individuellen Faktor handelt, werden diese drei Parameter im weiteren Verlauf der Arbeit auch unter der Bezeichnung *individuelle Parameter* zusammengefasst.

Die statistische Auswertung beginnt mit den Messwerten in körperlicher Ruhe, um zu zeigen, dass es sich um gesunde Probanden handelt, die ohne körperliche Vorbelastung an den Start gingen (s. Kap. 4.1.1). Des Weiteren wird die Erholungssituation 3 min nach Belastungsende dargestellt, um die Konsequenzen der Belastungssituation auf der Strecke aufzuzeigen (s. Kap. 4.1.2). In Kapitel 4.2 wird die durchschnittliche Belastung aller Probanden auf den einzelnen Strecken durch das subjektive Belastungsempfinden nach BORG (1982) und die Mittelwerte der individuellen Parameter zur Komplettierung von Kapitel 4.1 zusammengefasst. Zusätzlich ist ein Vergleich zwischen den Teststrecken dargestellt.

In Anlehnung an die Klassifizierung des DSV (DSV 2012, LUTHE und ROTH 2008, ROTH et al. 2003) und an zahlreiche wissenschaftliche Studien (s. Kap. 2) aus dem Bereich des Walkings kann eine Nordic Walking Strecke, durch Steigung (DE MARÉES 2003, MARGARIA et al. 1963a, MINETTI et

al. 2002, TERRIER et al. 2001a), Streckenlänge (BRUECKNER et al. 1991) und Untergrund (LEJEUNE et al. 1998, SOULE UND GOLDMAN 1972, ZAMPARO et al. 1992) charakterisiert werden. Diese drei Parameter werden im weiteren Verlauf auch als *Streckencharakteristika* bezeichnet und stellen ebenfalls eine Grundlage für die nachfolgenden statistischen Berechnungen dar. Zuerst erfolgt ein Vergleich der Streckencharakteristika im Hinblick auf die individuellen Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit (s. Kap. 4.3). Bei der Steigung wurde zunächst nach positiver und negativer Steigung unterschieden, um eine generelle Einschätzung der Belastungssituation auf Steigungen zu ermöglichen (s. Kap. 4.3.1.1). In einem weiteren Schritt wurden die positiven und negativen Steigungen innerhalb der jeweiligen Teststrecken und zwischen den Strecken auf Unterschiede untersucht (s. Kap. 4.3.1.3). Anschließend wurden die Steigungen in Anlehnung an MARGARIA et al. (1963a), MINETTI et al. (2002) und NAGLE et al. (1990) zur weiteren Differenzierung der Daten in Abschnitte mit je 5% Steigung eingeteilt (s. Kap. 4.3.1.3). Verglichen wurde sowohl zwischen den einzelnen Teststrecken als auch zwischen den benachbarten Steigungsbereichen. Da BRUECKNER et al. (1991) beschreiben, dass die Streckenlänge einen Einfluss auf die relative Sauerstoffaufnahme beim Laufen hat und laut DI PRAMPERO et al. (1986) die Laufökonomie bei Distanzen über 1500 m Länge die Sauerstoffaufnahme beeinflusst, erfolgen Analysen zum Vergleich der Streckenlängen auf die individuellen Parameter (s. Kap. 4.3.2). Um einen inter- als auch intraindividuellen Unterschied zu identifizieren, wurden die Strecken zum Vergleich halbiert und die Werte der ersten und der zweiten Teilstrecke hinsichtlich der individuellen Parameter verglichen. Um dem möglichen Einfluss des Streckenprofils zu begegnen, wurden die Berechnungen nach einer Gesamtdarstellung und einer Differenzierung innerhalb der Teststrecken auch innerhalb der zuvor definierten Steigungsabschnitte durchgeführt (s. Kap. 4.3.2). Dieser Aufbau wird auch bei der Überprüfung des Untergrundes als Einflussfaktor auf die individuellen Parameter beibehalten (s. Kap. 4.3.3).

Neben der Berechnung der Unterschiede zwischen den einzelnen Werten stehen im Rahmen dieser Arbeit die Zusammenhänge der vorher beschriebenen individuellen Parameter untereinander und mit den definierten Streckencharakteristika im Vordergrund. Einzelne Zusammenhänge zwischen ausgewählten Parametern sind in Kapitel 4.4 zur Steigerung der Übersichtlichkeit in Tabellenform abgebildet: Sie beinhalten die Daten der Korrelationsanalysen nach Pearson (s. Kap. 3.6.1, S. 68). In Kapitel 4.4.1 werden die Ergebnisse der individuellen Parameter untereinander dargestellt, während Kapitel 4.4.2 die Ergebnisse zwischen den individuellen Parametern und den Streckencharakteristika wiedergibt. Aufgrund der Angaben in der Literatur, dass sich die physiologische Beanspruchung zwischen negativen und positiven Steigungsbereichen maßgeblich unterscheidet (MARGARIA et al. 1963a, PERREY und FABRE 2008, s. Kap. 2.3.1, S. 34ff.), wurden weitere Analysen getrennt nach diesen beiden Steigungskategorien durchgeführt und dargestellt. Nach der Analyse der Unterschiede und Zusammenhänge werden die berechneten Zusammenhänge beschrieben bzw. Werte der abhängigen Variablen prognostiziert, um eine Aussage zu der Grundfrage des Einflusses der Streckencharakteristika auf die individuellen Parameter machen zu können. Abschließend ist in Kapitel 4.5 der Einfluss und die Gewichtung der Streckenlänge, der Steigung und des Untergrundes in Bezug auf die individuellen Parameter mittels multipler Regressionsanalyse (s. Kap. 3.6.2, S. 69f.) dargestellt. Den Abschluss der Berechnungen bilden die Belastungsintensitäten, in Abhängigkeit von der maximalen Herzfrequenz und der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme (s. Kap. 3.4, S. 60) und die zugehörigen Fortbewegungsgeschwindigkeiten, um die erzielten Belastungsintensitäten in einen gesundheitlichen Kontext setzen zu können. Wie bereits in Kapitel 2.2 beschrieben, orientieren sich die Empfehlungen für ein gesundheitsorientiertes Training der WHO, des ACSM und des AHA an diesen prozentualen Angaben (ACSM 1998, ACSM und AHA 2007, WHO 2010).

Alle Darstellungen der statistischen Berechnungen (s. Kap. 3.6) erfolgen schriftlich und werden tabellarisch oder graphisch visualisiert. Die Aufbereitung der Tabellen und Abbildungen wurde mit der Software Microsoft Excel 2010 für Windows 7 realisiert.

### 3.5.2 GPS-Daten

Der erste Auswertungsschritt der GPS-Daten erfolgte im Postprocessing durch die Fachgemeinschaft Wald-Wild-Landschaftsökologie. Anschließend wurden die Daten in ein ESRI-Shapefile transferiert und über das Programm ArcView 3.1 der Firma ESRI auf der topographischen Kartengrundlage 1:25000 des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg visualisiert. Im nächsten Schritt erfolgte der Export der shape-Dateien als dbf-Dateien, die anschließend in Microsoft Excel 2007 weiterverarbeitet werden konnten. Mögliche Messartefakte aufgrund von Satellitenabschirmungen wurden in den Datenblättern manuell durchgesehen und ggf. korrigiert (s. u.). Aus den Rohdaten wurden über Hoch- und Rechtswert die Distanzen zwischen den aufeinanderfolgenden Datenpunkten berechnet. Über den zugehörigen Aufzeichnungszeitpunkt erfolgte die Berechnung der entsprechenden individuellen Fortbewegungsgeschwindigkeit der Probanden, wie auch bei PERRIN et al. (2000) beschrieben. Die Höhendaten wurden mit den Profildaten des Landesvermessungsamtes abgeglichen und korrigiert. Im Anschluss erfolgte eine Interpolation der Daten jedes Testdurchlaufes nach der cubic spline Methode für Sekundenabstände. Die drei verschiedenen Untergrundkategorien wurden nach steigendem Anspruch kodiert: Asphalt = 1; Wirtschaftsweg = 1,1; Single-trail = 1,2.

### 3.5.3 Spirometrische Daten

Die von dem portablen Spirometrie-System gespeicherten Daten wurden als Excel-Datei exportiert. Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, haben sich die Parameter Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme zur Beurteilung der physiologischen Beanspruchung bei körperlicher Aktivität etabliert (ACSM 2009). Aus diesem Grund wurden ausschließlich die Werte der Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenzen zur weiteren Bearbeitung extrahiert. Alle aufgezeichneten Werte wurden einzeln in den Datenmasken kontrolliert und Messartefakte ggf. manuell korrigiert.

Um interindividuelle Differenzen der Sauerstoffaufnahme untersuchen zu können, erfolgte die Berechnung der jeweilige relative Sauerstoffaufnahme durch Division durch das zum Probanden gehörende Körpergewicht (MCARDLE et al. 2010, DE MARÉES 2003). Somit handelt es sich bei den angegebenen Werten der Sauerstoffaufnahme immer um die relative Sauerstoffaufnahme, gemessen in Milliliter pro Kilogramm Körpergewicht pro Minute ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

Das Zusatzgewicht von Rover und portablen Spirometrie-System inklusive des Brustgurts betrug 5,4 kg. Diesbezüglich belegen zahlreiche Studien, dass ein zusätzliches Gewicht dieser Größenordnung den gleichen Einfluss auf die Sauerstoffaufnahme hat, wie zusätzliches Körpergewicht, wenn es nah am Körperschwerpunkt getragen wird (BROWNING et al. 2006, GIVONI und GOLDMANN 1971, MCARDLE et al. 2010). Bei der Berechnung der relativen Sauerstoffaufnahme wurde es deshalb zu dem jeweiligen Körpergewicht addiert (BOBBERT 1960).

Nach JAMES et. al (2007) ist es gängige Praxis breath by breath Daten in second by second Werte zu konvertieren und diese anschließend in eine passende Größe zu überführen, um Störungen bzw. Störgrößen zu minimieren. Analog zu den GPS-Daten wurden deshalb auch die Ergebnisse der spirometrischen Messung nach der cubic spline Methode für Sekundenabstände interpoliert. Dadurch konnten die spirometrischen Daten im nächsten Schritt mit den zugehörigen GPS-Daten synchronisiert werden.

### 3.6 Statistik

Die statistische Auswertung wurde unter Anwendung des Statistikprogrammes IBM SPSS Statistics 19 durchgeführt. Eine deskriptive Auswertung der Daten erfolgte über arithmetische Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der anthropometrischen und physiologischen Daten.

Zur Überprüfung der Daten auf Normalverteilung wurde aufgrund des metrischen Skalenniveaus und der kleinen Stichprobe der Kolmogorov-Smirnov-Test angewendet. Da eine Normalverteilung der Werte nicht bestätigt werden konnte, wurde zur Überprüfung von Unterschieden zwischen Strecken und einzelner Abschnitte innerhalb einer Strecke, der Wilcoxon-Test zum nichtparametrischen Vergleich zweier abhängiger Stichproben angewendet (BÜHL 2012, BROSIUS 2011). Bei mehr als zwei abhängigen Stichproben wurde zunächst der Friedman-Test als Form der nichtparametrischen Varianzanalyse angewendet. Bei einem signifikanten Ergebnis erfolgte in einem weiteren Schritt die paarweise Überprüfung der Unterschiede zwischen den einzelnen Variablen mit Hilfe des Wilcoxon-Tests (BÜHL 2012).

In Anlehnung an BÜHL (2012) werden im Rahmen dieser Arbeit die folgenden Grenzen für die Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ) angenommen:

$p > 0,05$	=	nicht signifikant (n.s.)
$p \leq 0,05$	=	signifikant (*)
$p \leq 0,01$	=	hochsignifikant (**)
$p \leq 0,001$	=	höchst signifikant (***)

### 3.6.1 Korrelationsanalysen

Zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den individuellen Parametern Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit untereinander und mit den Streckencharakteristika Streckenlänge, Steigung und Untergrund wurden Korrelationsanalysen nach Pearson durchgeführt. Zuvor wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung getestet (s. o.). Die Art und die Stärke des Zusammenhangs werden über den Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) nach Pearson angegeben. Die Interpretation des Korrelationskoeffizienten erfolgt in Anlehnung an BROSIUS (2011) wie in Tabelle 3-5 dargestellt.

Tab. 3-5: Korrelationskoeffizienten und ihre Interpretation nach BROSIUS (2011, 523)

Betrag des Korrelationskoeffizienten	Mögliche Interpretation
0	Keine Korrelation
über 0 bis 0,2	Sehr schwache Korrelation
über 0,2 bis 0,4	Schwache Korrelation
über 0,4 bis 0,6	Mittlere Korrelation
über 0,6 bis 0,8	Starke Korrelation
über 0,8 bis unter 1	Sehr starke Korrelation
1	Perfekte Korrelation

Die Signifikanz des Zusammenhangs wird innerhalb der Korrelationsanalysen als zweiseitige Signifikanz angegeben (Interpretation des Signifikanzniveaus s. o.).

### 3.6.2 Regressionsanalysen

Die Beziehung zwischen einer Kriteriumsvariablen (abhängige Variable) und zwei oder mehr Prädiktorvariablen (unabhängigen Variablen) wird über die multiple lineare Regression analysiert (BORTZ 2005). Tabelle 3-6 zeigt die ausgewählten Kriteriumsvariablen und die Prädiktorvariablen für die angewandten Regressionsanalysen.

Tab. 3-6: Kriteriums- und Prädiktorvariablen innerhalb der Regressionsanalysen

		Kriteriumsvariable		
		Herzfrequenz (Hf)	relative Sauerstoffaufnahme (VO <sub>2</sub> )	Geschwindigkeit
Prädiktorvariable	Streckenlänge	Streckenlänge	Streckenlänge	Streckenlänge
	Steigung	Steigung	Steigung	Steigung
	Untergrund	Untergrund	Untergrund	Untergrund
	Geschwindigkeit	Geschwindigkeit		

Die Darstellung der Ergebnisse der Regressionsanalyse erfolgt unter Angabe der folgenden Werte:

r: Korrelationskoeffizient nach Pearson

p: einseitige Signifikanz der Korrelationsanalyse

R<sup>2</sup>: Bestimmtheitsmaß

p<sub>F</sub>: Signifikanz des F-Test

β: standardisierter Beta-Koeffizient

Tol.: Toleranz

VIF: Varianzinflationsfaktor

p<sub>t</sub>: Signifikanz des t-Tests

Der Korrelationskoeffizient ( $r$ ) und die zugehörige Signifikanz ( $p$ ) geben Aufschluss über die Art und die Stärke des Zusammenhangs zwischen der Kriteriumsvariablen und den einzelnen Prädiktorvariablen (BORTZ 2005).  $R^2$  kennzeichnet das Bestimmtheitsmaß für den durch die Regressionsgleichung erklärbaren Teil der Varianz (BACKHAUS et al. 2008, BÖS et al. 2004, BROSIUS 2011).  $p_F$  wird als Signifikanz des F-Tests definiert. Sie zeigt, ob ein Zusammenhang zwischen Kriteriums- und Prädiktorvariablen besteht und das Modell gegenüber dem Zufall abgesichert werden kann (BACKHAUS et al. 2008, BÖS et al. 2004, BROSIUS 2011).

Die standardisierten Beta-Koeffizienten ( $\beta$ ) geben laut BROSIUS (2011) Aufschluss über die Gewichtung der einzelnen Parameter innerhalb der Regression. Der größte absolute Beta-Wert repräsentiert somit den größten Einfluss der betreffenden unabhängigen auf die abhängige Variable. Eine derartige Interpretation ist zulässig, wenn eine sogenannte Multikollinearität ausgeschlossen werden kann, das bedeutet die unabhängigen Variablen nicht miteinander korrelieren. Die Überprüfung auf Kollinearität erfolgt durch die Toleranz (Tol.) und den Varianzinflationsfaktor (VIF). Dabei wecken Toleranzwerte  $< 0,1$  oder VIFs  $> 10$  den Verdacht auf Kollinearität (BROSIUS 2011).

Liegt eine Signifikanz des t-Tests ( $p_t$ ) vor, so ist es sehr wahrscheinlich, dass der Prädiktor im Kontext der anderen Prädiktorvariablen tatsächlich einen Beitrag zur Vorhersage der Kriteriumsvariablen leistet (BACKHAUS et al. 2008).

## 4 Ergebnisse

Dargestellt sind die für die Beantwortung der Fragestellung relevanten Parameter und die im Rahmen einer Berechnung ermittelten signifikanten Ergebnisse. Dabei liegt der Fokus auf den Veränderungen der individuellen Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit ausgelöst durch die definierten Streckencharakteristika Steigung, Streckenlänge und Untergrund. Die Darstellung erfolgt durch die arithmetischen Mittelwerte der jeweiligen Parameter der Testpersonen. Einzelauswertungen der Probanden zur physiologischen Einordnung des Untersuchungsgutes erfolgen innerhalb der Ruhemessungen. Zur besseren Visualisierung erfolgt die Darstellung der einzelnen Strecken innerhalb der Abbildungen in den Farben der jeweiligen Schwierigkeitsgrade. Auch bei der Ausdifferenzierung der einzelnen Strecken nach Steigungen, Streckenlängen und Untergründen wird in den Abbildungen der Farbmodus beibehalten. Die Aufbereitung der Ergebnisse aus den Korrelations- und Regressionsanalysen erfolgt aus Gründen der Übersichtlichkeit ausschließlich in tabellarische Form.

### 4.1 Messwerte in körperlicher Ruhe

Die im Folgenden aufgeführten Untersuchungsergebnisse beinhalten die arithmetischen Mittelwerte der relativen Sauerstoffaufnahme und der Herzfrequenz in körperlicher Ruhe für jeden Probanden und alle drei Teststrecken. Die statistisch berechneten Signifikanzen wurden aufgrund der Übersichtlichkeit in tabellarischer Form an die Ergebnisdarstellung angefügt oder direkt im Fließtext verbal beschrieben.

#### 4.1.1 Messwerte in körperlicher Ruhe vor der Belastung

Die Tabelle 4-1 zeigt die Mittelwerte der Herzfrequenzen aus den zweiminütigen Ruhemessungen vor Belastungsbeginn. Dabei liegen die Herzfrequenzwerte für Strecke 1 im Mittel bei  $72,5 (\pm 7,3) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$ , für Strecke 2 bei  $72,8 (\pm 9,4) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  und für Strecke 3 bei  $72,5 (\pm 8,7) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Tab. 4-1: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der Herzfrequenzen (Hf) einer 2 min Messung in körperlicher Ruhe vor Belastungsbeginn

ID	Geschlecht		Strecke 1 Hf ( $\text{S}\cdot\text{min}^{-1}$ )	Strecke 2 Hf ( $\text{S}\cdot\text{min}^{-1}$ )	Strecke 3 Hf ( $\text{S}\cdot\text{min}^{-1}$ )
1	w	$\bar{x}$	74,6	74,3	77,4
		SD	( $\pm 2,9$ )	( $\pm 1,6$ )	( $\pm 1,9$ )
2	w	$\bar{x}$	69,3	74,5	71,9
		SD	( $\pm 1,7$ )	( $\pm 3,4$ )	( $\pm 4,5$ )
3	m	$\bar{x}$	59,0	52,5	53,1
		SD	( $\pm 3,5$ )	( $\pm 0,9$ )	( $\pm 1,4$ )
4	m	$\bar{x}$	70,0	71,3	73,1
		SD	( $\pm 1,4$ )	( $\pm 1,4$ )	( $\pm 1,9$ )
5	w	$\bar{x}$	74,3	74,7	73,0
		SD	( $\pm 5,9$ )	( $\pm 5,7$ )	( $\pm 3,6$ )
6	w	$\bar{x}$	84,8	87,0	85,0
		SD	( $\pm 1,8$ )	( $\pm 1,1$ )	( $\pm 1,6$ )
7	w	$\bar{x}$	73,8	80,1	74,4
		SD	( $\pm 1,4$ )	( $\pm 1,1$ )	( $\pm 2,6$ )
8	w	$\bar{x}$	68,1	68,1	67,9
		SD	( $\pm 1,7$ )	( $\pm 1,4$ )	( $\pm 1,2$ )
9	w	$\bar{x}$	79,0	72,5	76,6
		SD	( $\pm 2,9$ )	( $\pm 2,0$ )	( $\pm 6,8$ )
	<b>Gesamt</b>	$\bar{x}$	72,5	72,8	72,5
		SD	( $\pm 7,3$ )	( $\pm 9,4$ )	( $\pm 8,7$ )

Die relativen Sauerstoffaufnahmewerte in Ruhe vor der Belastung variierten im Mittel von  $3,1 (\pm 1,2) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  bei Strecke 1 über  $4,47 (\pm 1,67) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  bei Strecke 2 zu  $5,24 (\pm 3,46) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  bei Strecke 3 (s. Tab. 4-2).

Tab. 4-2: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{VO}_2$ ) einer 2 min Messung in körperlicher Ruhe vor Belastungsbeginn

ID	Geschlecht		Strecke 1 $\text{VO}_2$ ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	Strecke 2 $\text{VO}_2$ ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	Strecke 3 $\text{VO}_2$ ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )
1	w	$\bar{x}$ SD	2,06 ( $\pm 0,61$ )	5,35 ( $\pm 1,44$ )	3,06 ( $\pm 0,73$ )
2	w	$\bar{x}$ SD	4,34 ( $\pm 0,52$ )	4,35 ( $\pm 0,52$ )	12,01 ( $\pm 1,19$ )
3	m	$\bar{x}$ SD	5,22 ( $\pm 0,86$ )	2,22 ( $\pm 0,31$ )	9,37 ( $\pm 0,60$ )
4	m	$\bar{x}$ SD	1,25 ( $\pm 0,53$ )	3,76 ( $\pm 1,06$ )	1,91 ( $\pm 0,42$ )
5	w	$\bar{x}$ SD	3,65 ( $\pm 0,76$ )	3,96 ( $\pm 1,08$ )	4,12 ( $\pm 1,05$ )
6	w	$\bar{x}$ SD	2,66 ( $\pm 0,42$ )	4,43 ( $\pm 0,60$ )	1,39 ( $\pm 0,43$ )
7	w	$\bar{x}$ SD	2,36 ( $\pm 0,38$ )	5,83 ( $\pm 0,91$ )	4,66 ( $\pm 0,72$ )
8	w	$\bar{x}$ SD	3,21 ( $\pm 0,75$ )	2,62 ( $\pm 0,69$ )	5,74 ( $\pm 0,37$ )
9	w	$\bar{x}$ SD	3,12 ( $\pm 3,60$ )	7,70 ( $\pm 1,04$ )	4,86 ( $\pm 1,01$ )
	<b>Gesamt</b>	$\bar{x}$ SD	3,10 ( $\pm 1,20$ )	4,47 ( $\pm 1,67$ )	5,24 ( $\pm 3,46$ )

#### 4.1.2 Messwerte in körperlicher Ruhe nach der Belastung

Die Werte der zweiminütigen Ruhemessungen nach Belastungsende sind in den Tabellen 4-3 und 4-4 dargestellt. Die gemittelten Herzfrequenzwerte der Strecke 3 liegen um 12,5% höher als bei Strecke 1 und um 8,8% höher als bei Strecke 2 (s. Tab. 4-3). Die Unterschiede bei den Mittelwerten der Herzfrequenzen zwischen Strecke 1 und 3 (\*\*) sowie zwischen Strecke 2 und 3 (\*) erweisen sich als signifikant (s. Tab. 4-5).

Tab. 4-3: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der Herzfrequenzen (Hf) einer 2 min Messung in körperlicher Ruhe 3 min nach Belastungsende

ID	Geschlecht		Strecke 1 Hf (S·min <sup>-1</sup> )	Strecke 2 Hf (S·min <sup>-1</sup> )	Strecke 3 Hf (S·min <sup>-1</sup> )
1	w	$\bar{x}$ SD	98,9 (± 2,5)	95 (± 4,2)	101,2 (± 1,2)
2	w	$\bar{x}$ SD	99,3 (± 5,3)	100,1 (± 3,7)	108,1 (± 3,6)
3	m	$\bar{x}$ SD	100,0 (± 3,5)	91,8 (± 8,2)	107,5 (± 3,6)
4	m	$\bar{x}$ SD	99,4 (± 3,4)	102,3 (± 5,7)	124,0 (± 14,1)
5	w	$\bar{x}$ SD	102,5 (± 2,1)	114,0 (± 1,6)	116,3 (± 5,0)
6	w	$\bar{x}$ SD	124,8 (± 6,1)	138,0 (± 3,5)	134,7 (± 3,5)
7	w	$\bar{x}$ SD	83,4 (± 3,2)	105,7 (± 2,9)	111,9 (± 2,6)
8	w	$\bar{x}$ SD	89,8 (± 4,2)	92,5 (± 4,6)	86,1 (± 3,2)
9	w	$\bar{x}$ SD	114,3 (± 6,7)	112,2 (± 21,3)	153,5 (± 23,7)
	<b>Gesamt</b>	$\bar{x}$ SD	101,4 (± 12,2)	105,7 (± 14,5)	115,9 (± 19,6)

Die Mittelwerte der relativen Sauerstoffaufnahme bei Strecke 3 liegen um 52,6% höher als bei Strecke 1 und um 36,8% höher als bei Strecke 2 (s. Tab. 4-4). Signifikante Unterschiede ergeben sich für die relative Sauerstoffaufnahme in körperlicher Ruhe nach Belastungsende zwischen Strecke 1 und Strecke 3 (s. Tab. 4-5).

Tab. 4-4: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichungen (SD) der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) einer 2 min Messung in körperlicher Ruhe 3 min nach Belastungsende

ID	Geschlecht		Strecke 1	Strecke 2	Strecke 3
			$\text{VO}_2$ ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	$\text{VO}_2$ ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	$\text{VO}_2$ ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )
1	w	$\bar{x}$	3,36	6,93	4,25
		SD	(± 1,32)	(± 1,08)	(± 1,06)
2	w	$\bar{x}$	6,90	10,66	14,02
		SD	(± 1,60)	(± 0,84)	(± 5,01)
3	m	$\bar{x}$	6,50	5,02	12,13
		SD	(± 1,80)	(± 2,53)	(± 1,36)
4	m	$\bar{x}$	1,99	5,93	2,59
		SD	(± 1,52)	(± 4,14)	(± 1,24)
5	w	$\bar{x}$	4,17	4,88	5,61
		SD	(± 0,83)	(± 3,16)	(± 3,34)
6	w	$\bar{x}$	7,25	5,87	3,52
		SD	(± 2,17)	(± 4,18)	(± 2,06)
7	w	$\bar{x}$	2,04	5,54	11,03
		SD	(± 0,49)	(± 1,46)	(± 1,92)
8	w	$\bar{x}$	4,25	4,75	8,33
		SD	(± 1,68)	(± 4,13)	(± 2,20)
9	w	$\bar{x}$	2,30	2,15	8,04
		SD	(± 3,16)	(± 1,18)	(± 2,02)
	<b>Gesamt</b>	$\bar{x}$	4,31	5,75	9,10
		SD	(± 2,11)	(± 2,26)	(± 5,87)

Tab. 4-5: Unterschiede der Herzfrequenzen (Hf) und der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{VO}_2$ ) zwischen den Teststrecken in körperlicher Ruhe nach der Belastung (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ )

Strecke	1 versus 2	1 versus 3	2 versus 3
Hf	n.s.	**	*
$\text{VO}_2$	n.s.	*	n.s.

## 4.2 Gesamtstrecke

Im Folgenden werden die arithmetischen Mittelwerte der erhobenen individuellen Parameter subjektives Belastungsempfinden, Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit für die jeweilige Gesamtdistanz der drei Teststrecken dargestellt. Signifikante Unterschiede zwischen den Teststrecken sind innerhalb der Abbildungen 4-1 bis 4-4 kenntlich gemacht.

### 4.2.1 Subjektives Belastungsempfinden

Das subjektive Belastungsempfinden für die Strecke 1 wurde im Mittel mit einem RPE von 10,7 ( $\pm 1,1$ ), bei Strecke 2 mit 12,3 ( $\pm 0,9$ ) und bei Strecke 3 mit 15,0 ( $\pm 1,2$ ) angegeben. Damit unterscheidet sich die Wahrnehmung der körperlichen Belastung zwischen allen drei Teststrecken signifikant (s. Abb. 4-1).

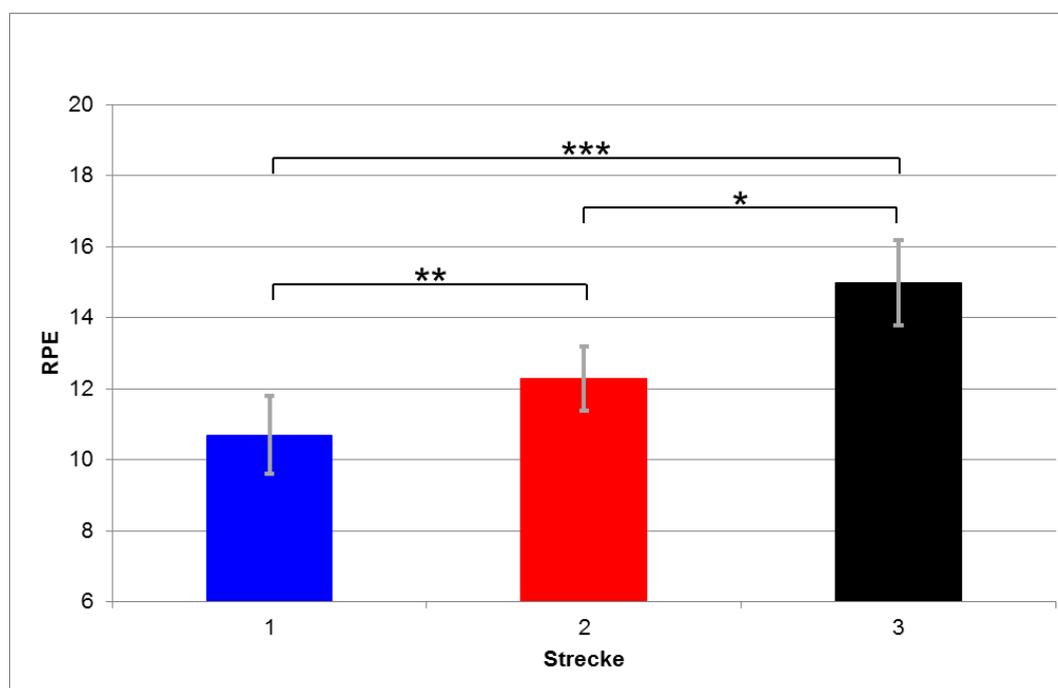


Abb. 4-1: Mittelwerte und Standardabweichungen des subjektiven Belastungsempfindens (RPE) der drei Teststrecken mit Angabe signifikanter Unterschiede (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ ),  $n=9$

### 4.2.2 Herzfrequenz

Die mittleren Herzfrequenzwerte fallen mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad der Strecke tendenziell höher aus. Wurden bei der leichten Strecke 1 im Mittel  $138,5 (\pm 13,5) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  erreicht, lag die mittlere Herzfrequenz bei Strecke 2 bei  $142,2 (\pm 15,6) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  und bei Strecke 3 bei  $147,8 (\pm 17,0) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$ . Zwischen Strecke 1 und Strecke 3 ist dieser Unterschied auf einem Niveau von  $p \leq 0,05$  signifikant (s. Abb. 4-2).

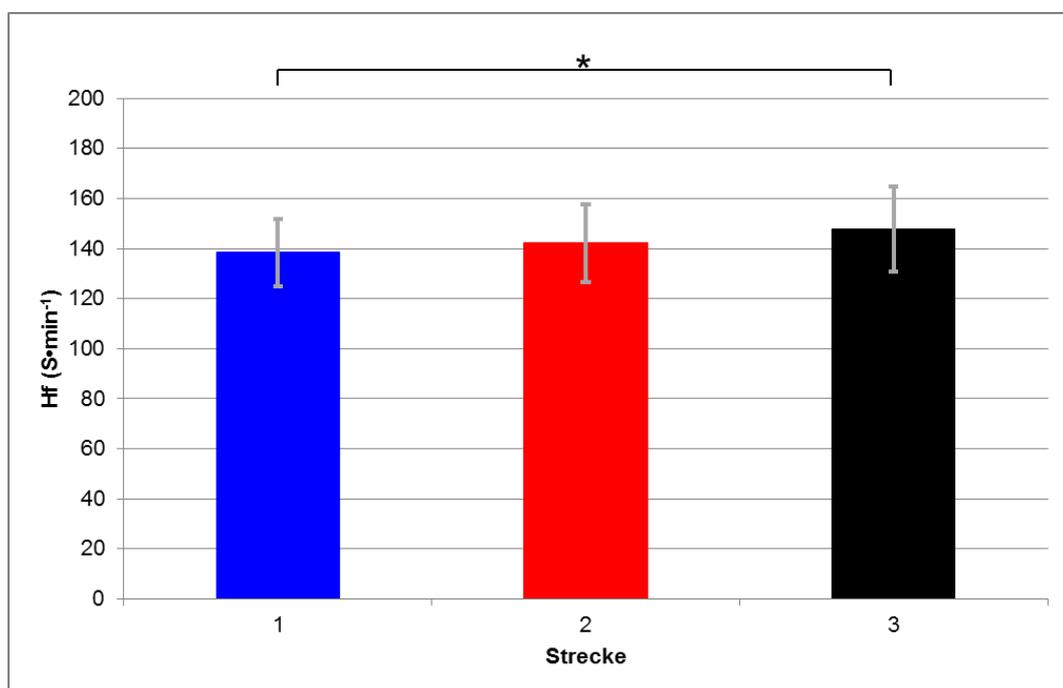


Abb. 4-2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) der drei Teststrecken mit Angabe signifikanter Unterschiede (\*  $p \leq 0,05$ ),  $n=9$

### 4.2.3 Relative Sauerstoffaufnahme

Die mittleren Werte der relativen Sauerstoffaufnahme fallen mit zunehmendem Anspruch der Strecke tendenziell höher aus. Bei Strecke 1 liegt der Mittelwert bei  $22,35 (\pm 5,07) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , bei Strecke 2 bei  $23,09 (\pm 3,22) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  und bei Strecke 3 bei  $25,13 (\pm 4,51) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Diese Tendenzen erweisen sich als nicht signifikant (s. Abb. 4-3).

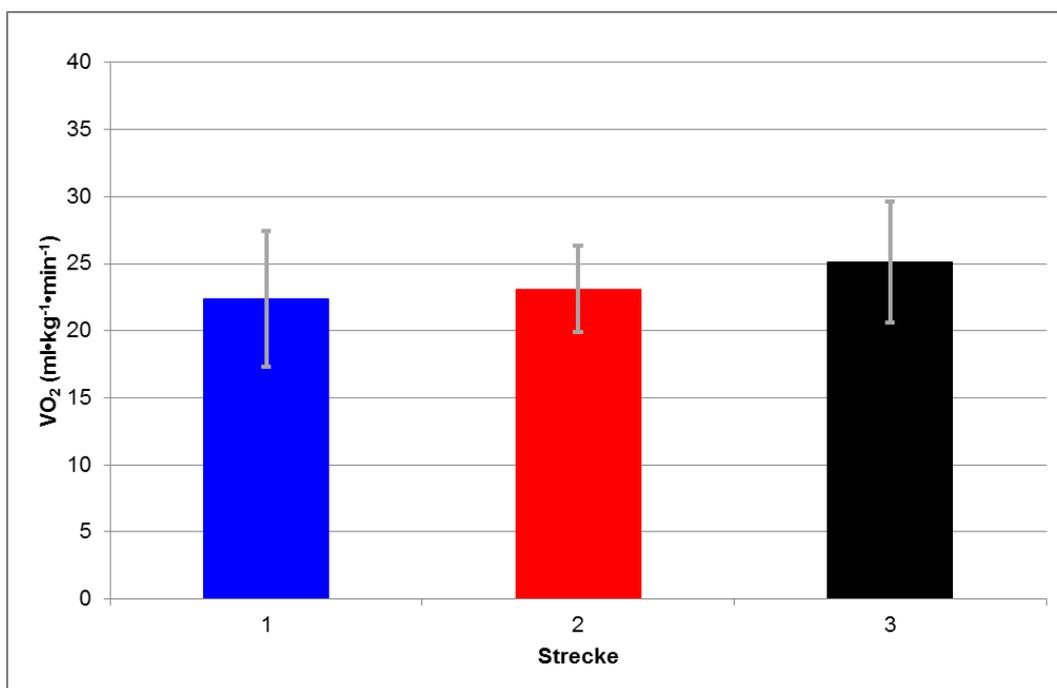


Abb. 4-3: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{VO}_2$ ) der drei Teststrecken,  $n=9$

#### 4.2.4 Geschwindigkeit

Abbildung 4-4 zeigt, dass die mittelschwierige Strecke 2 mit  $1,80 (\pm 0,16) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  gegenüber  $1,71 (\pm 0,19) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bei Strecke 1 und  $1,68 (\pm 0,17) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bei Strecke 3 mit der höchsten mittleren Geschwindigkeit absolviert wurde. Dieser Unterschied ist zwischen den Strecken 2 und 3 signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

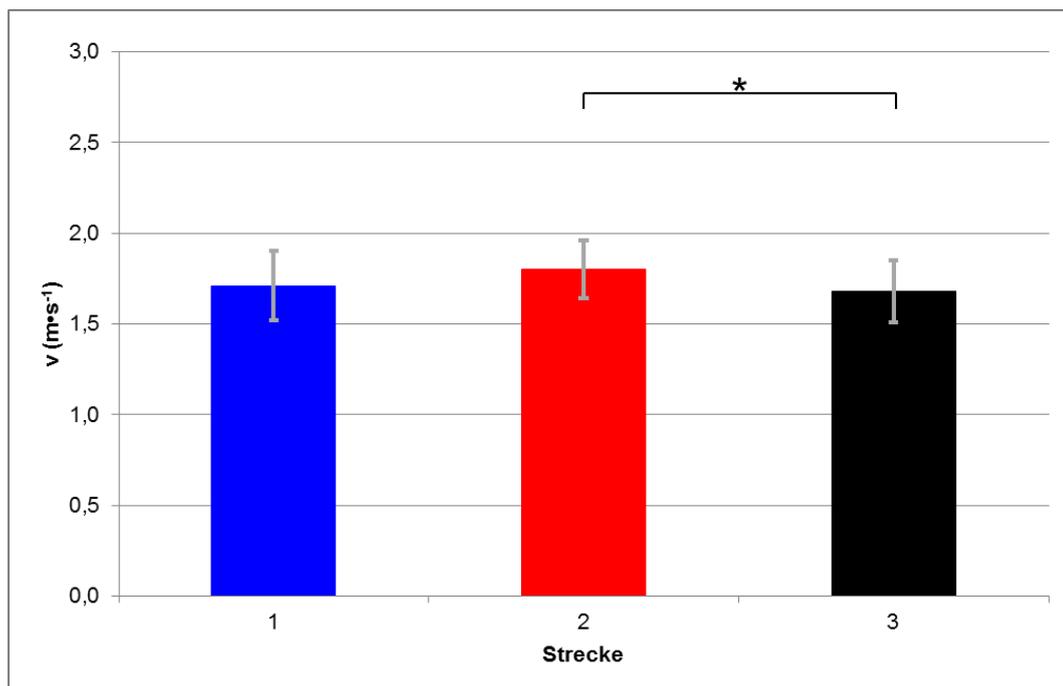


Abb. 4-4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten ( $v$ ) der drei Teststrecken mit Angabe signifikanter Unterschiede ( $* p \leq 0,05$ ),  $n=9$

### **4.3 Vergleich der Streckencharakteristika im Hinblick auf die individuellen Parameter**

Im Folgenden werden die drei individuellen Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit in Bezug auf die Streckencharakteristika Steigung, Streckenlänge und den Untergrund dargestellt. Dies erfolgt in den einzelnen Unterkapiteln zunächst innerhalb einer Zusammenfassung der drei Teststrecken, anschließend für die einzelnen Teststrecken und zum Abschluss differenziert nach den definierten Steigungsabschnitten von jeweils 5% Steigung (s. Kap. 3.5.1, S. 63).

#### **4.3.1 Vergleich der Steigungen im Hinblick auf die individuellen Parameter**

Zum Vergleich der Steigungen als Einflussfaktor auf die individuellen Parameter wird zunächst streckenübergreifend zwischen positiven und negativen Steigungsbereichen unterschieden. Anschließend erfolgt ein Vergleich zwischen negativen und positiven Steigungen innerhalb der drei Teststrecken und im Streckenvergleich sowie die weitere Ausdifferenzierung der Steigungsabschnitte.

### 4.3.1.1 Unterschiede zwischen negativer und positiver Steigung im Hinblick auf die individuellen Parameter

#### Herzfrequenz

Abbildung 4-5 zeigt die Unterschiede der mittleren Herzfrequenzwerte zwischen positiven und negativen Steigungen für die Zusammenfassung aller Teststrecken. Die mittleren Herzfrequenzen fallen im Bereich positiver Steigungen signifikant höher aus als im Bereich negativer Steigungen ( $p \leq 0,01$ ). Bei Anstiegen wurden mittlere Herzfrequenzwerte von  $147,6 (\pm 14,6) \text{ S} \cdot \text{min}^{-1}$  ermittelt. Im negativen Steigungsbereich lagen die Mittelwerte bei  $138,4 (\pm 16,1) \text{ S} \cdot \text{min}^{-1}$ .

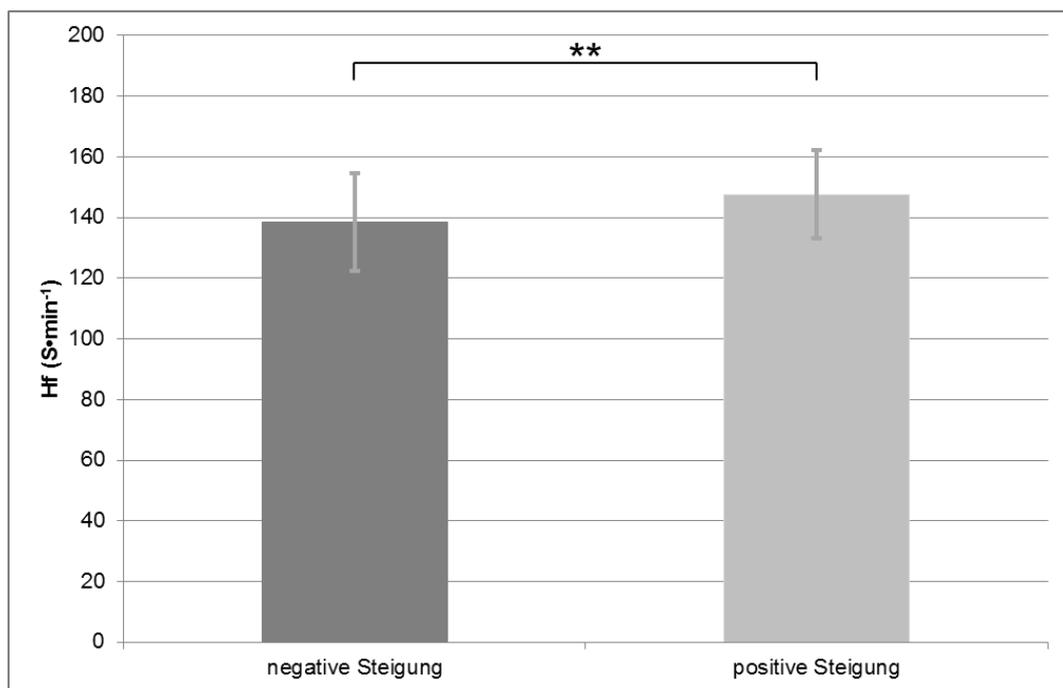


Abb. 4-5: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) mit Differenzierung nach positiver und negativer Steigung und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Sauerstoffaufnahme

Die Unterschiede der mittleren relativen Sauerstoffaufnahmen zwischen negativen und positiven Steigungsbereichen sind in Abbildung 4-6 dargestellt. Streckenübergreifend liegen die mittleren Werte der relativen Sauerstoffaufnahmen im Bereich negativer Steigungen bei  $21,31 (\pm 4,67) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  und im Bereich positiver Steigungen bei  $25,91 (\pm 4,63) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Dieser Unterschied ist mit  $p \leq 0,01$  hochsignifikant.

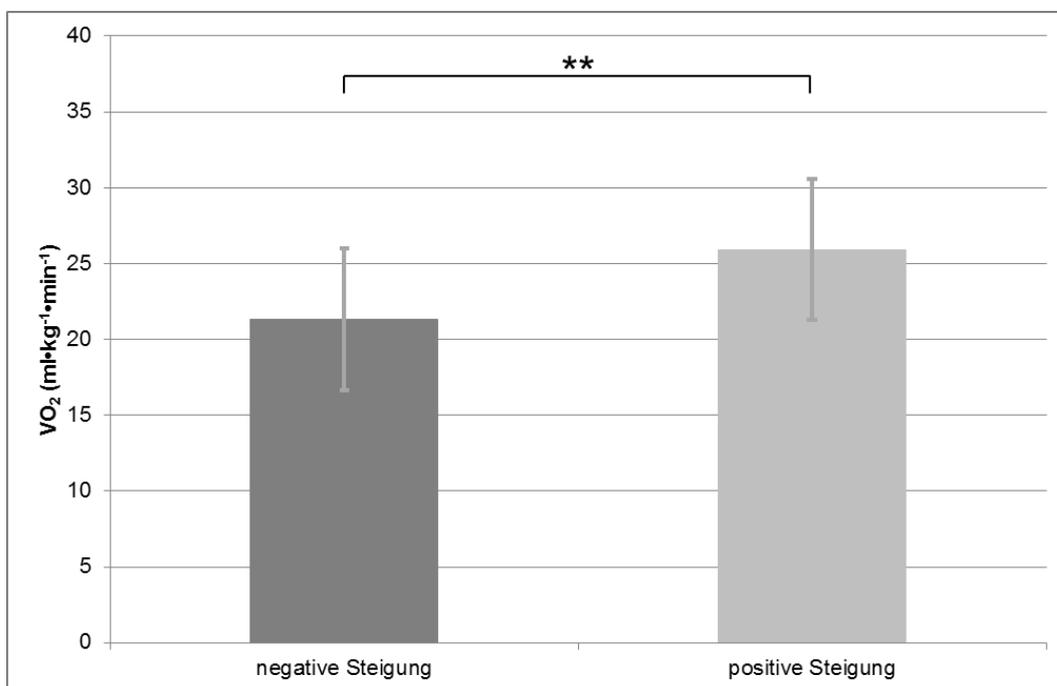


Abb. 4-6: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{VO}_2$ ) mit Differenzierung nach positiver und negativer Steigung und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Geschwindigkeit

Die mittleren Fortbewegungsgeschwindigkeiten liegen bei der Zusammenfassung aller Strecken bei negativen Steigungen tendenziell höher als im Bereich positiver Steigungen. In negativen Steigungsbereichen liegt die mittlere Fortbewegungsgeschwindigkeit bei  $1,77 (\pm 0,2) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und bei positiven Steigungen bei  $1,70 (\pm 0,18) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Die Geschwindigkeiten unterscheiden sich nicht signifikant (s. Abb. 4-7).

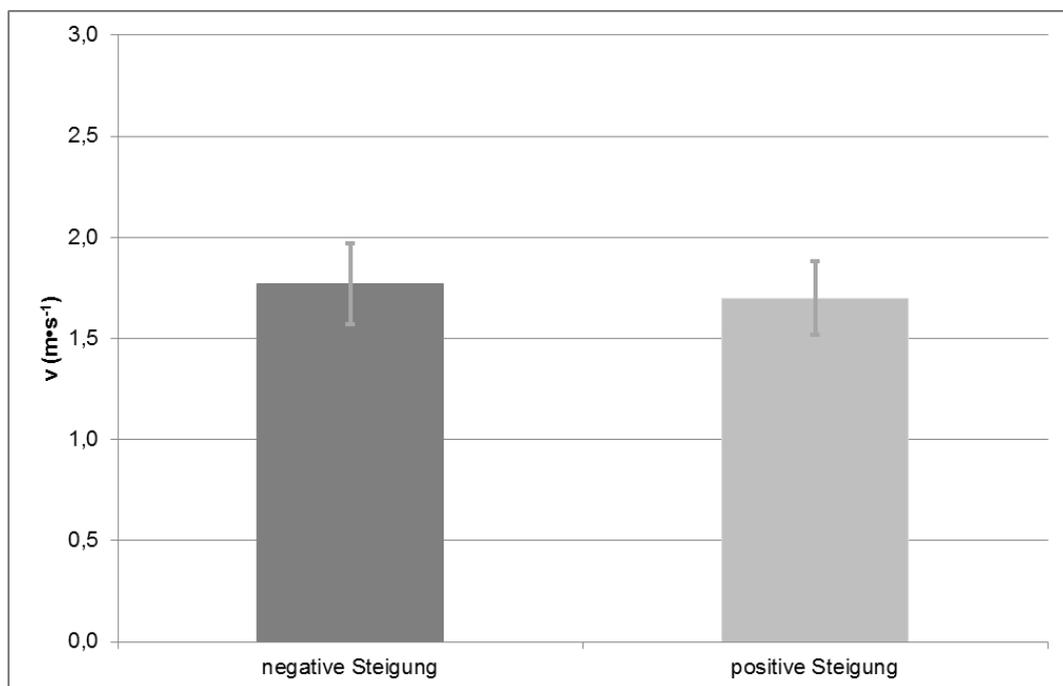


Abb. 4-7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeit ( $v$ ) mit Differenzierung nach positiver und negativer Steigung,  $n=9$

### 4.3.1.2 Unterschiede zwischen negativer und positiver Steigung im Hinblick auf die individuellen Parameter innerhalb der Teststrecken

#### Herzfrequenz

Wie in Abbildung 4-8 dargestellt, liegen die mittleren Herzfrequenzen im Bereich positiver Steigungen bei Strecke 1 mit  $142,2 (\pm 13,6) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$ , bei Strecke 2 mit  $148,3 (\pm 13,6) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  und bei Strecke 3 mit  $152,3 (\pm 16,6) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  zwischen 5,9 und 7,2% über den Mittelwerten der negativen Steigungen derselben Strecke. Diese Unterschiede innerhalb einer Strecke sind bei Strecke 1 und 3 auf einem Niveau von  $p \leq 0,01$  und bei Strecke 2 auf einem Niveau von  $p \leq 0,05$  signifikant. Im Streckenvergleich wurden signifikante Unterschiede zwischen Strecke 1 und 3 für negative Steigungen auf einem Niveau von  $p \leq 0,05$  und für positive Steigungen auf einem Niveau von  $p \leq 0,01$  ermittelt.

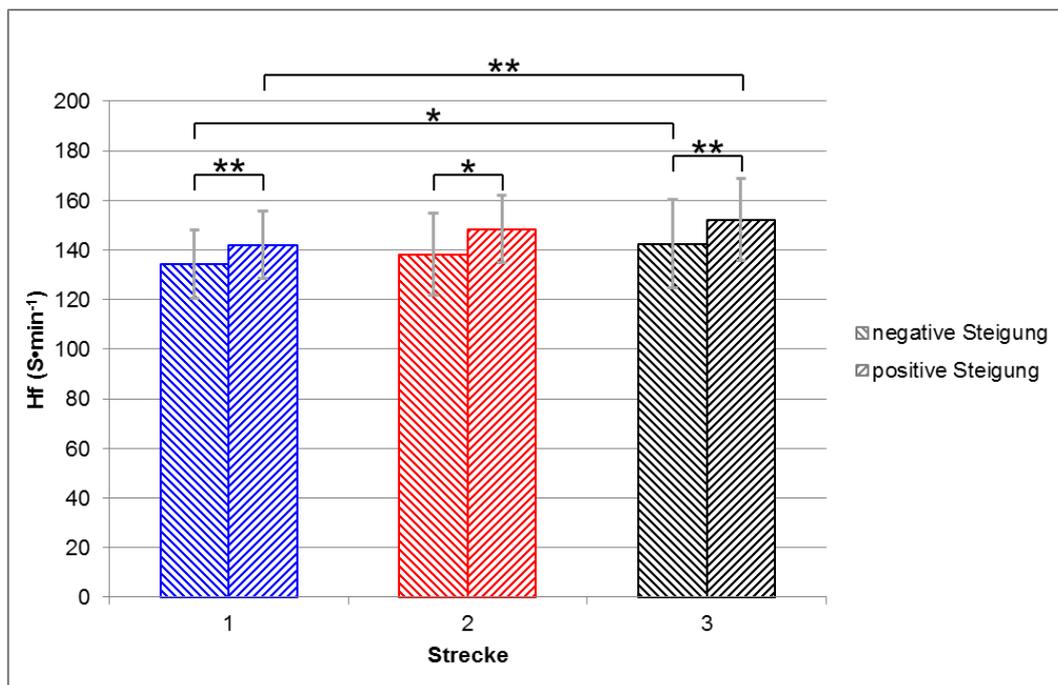


Abb. 4-8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) auf den drei Teststrecken mit Differenzierung nach positiver und negativer Steigung und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Relative Sauerstoffaufnahme

Die mittleren Werte der relativen Sauerstoffaufnahmen liegen bei positiven Steigungen signifikant höher als bei negativen Steigungen der gleichen Strecke (s. Abb. 4-9). Bei den Strecken 1 und 3 mit einem Signifikanzniveau von  $p \leq 0,01$  und bei Strecke 2 mit einem Niveau von  $p \leq 0,05$ . Im Streckenvergleich fallen die Werte der relativen Sauerstoffaufnahme bei positiven Steigungen mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad der Strecke höher aus. Im positiven Steigungsbereich wurde bei Strecke 3 mit  $27,96 (\pm 4,60) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  der höchste Wert erreicht. Er liegt signifikant höher als bei Strecke 2 mit  $25,32 (\pm 3,36) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $p \leq 0,05$ ). Bei negativer Steigung wird auf Strecke 2 mit  $22,04 (\pm 5,01) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  der höchste Wert der relativen Sauerstoffaufnahme erreicht. Bei negativen Steigungen der Strecke 1 liegt der Mittelwert der relativen Sauerstoffaufnahme bei  $20,07 (\pm 4,35) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  und bei Strecke 3 bei  $21,83 (\pm 4,64) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .

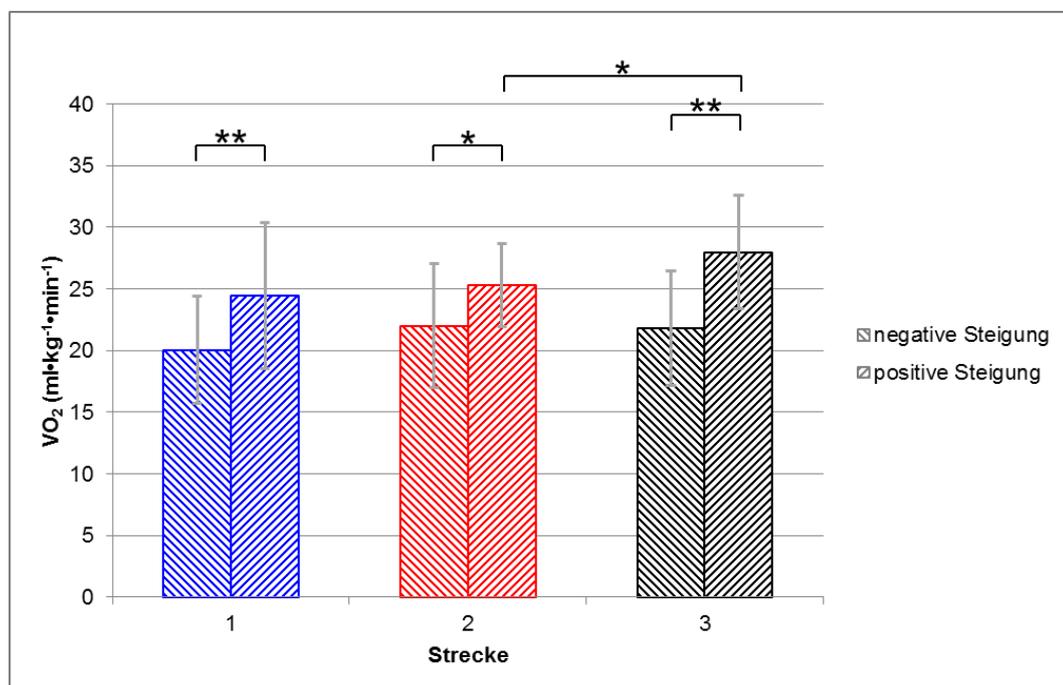


Abb. 4-9: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{VO}_2$ ) auf den drei Teststrecken mit Differenzierung nach positiver und negativer Steigung und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Geschwindigkeit

Wie in Abbildung 4-10 dargestellt, sind bei positiven Steigungen tendenziell geringere mittlere Geschwindigkeiten zu verzeichnen als bei Gefälle. Bei Strecke 1 und 2 fällt der Unterschied mit 3 bzw. 3,4% geringer aus als bei Strecke 3 mit 6,1%. Die Unterschiede innerhalb der jeweiligen Strecke sind nicht signifikant. Nur der Vergleich von Strecke 2 und 3 ergibt signifikante Unterschiede für die mittleren Geschwindigkeiten bei positiven Steigungen ( $p \leq 0,05$ ).

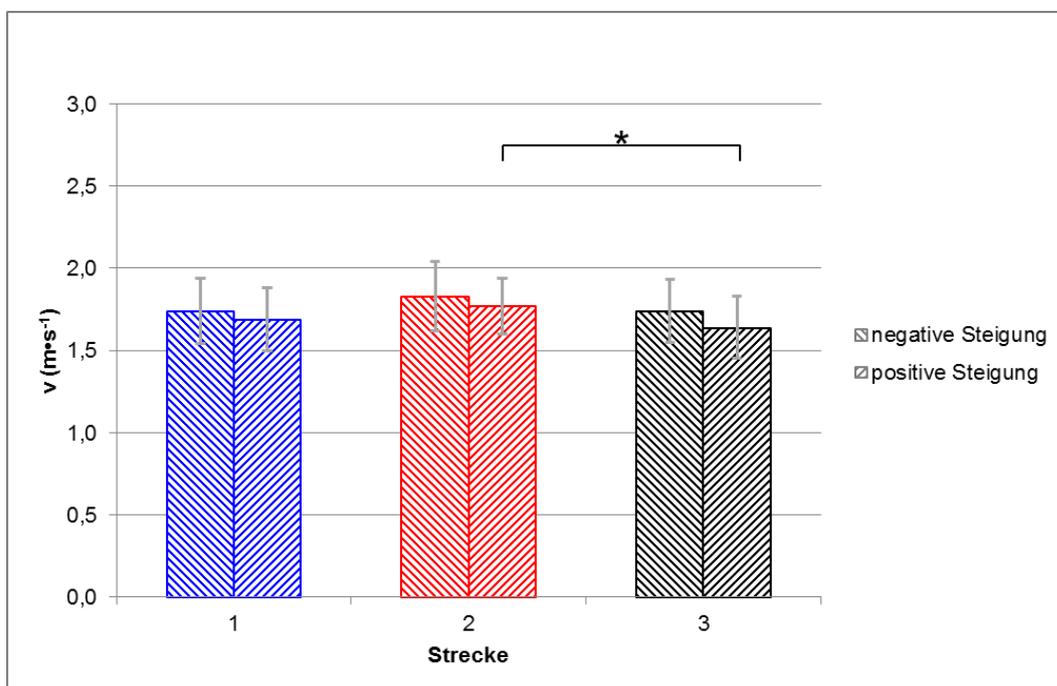


Abb. 4-10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten ( $v$ ) auf den drei Teststrecken mit Differenzierung nach positiver und negativer Steigung und Darstellung signifikanter Unterschiede ( $* p \leq 0,05$ ),  $n=9$

#### 4.3.1.3 Unterschiede zwischen den Steigungsabschnitten im Hinblick auf die individuellen Parameter

Die folgenden Berechnungen zeigen die Effekte der Steigungen auf die Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit bei der Differenzierung der Steigungen in Abschnitte mit jeweils 5% Steigungsschritten (-20 bis -15%, -15 bis -10%, -10 bis -5 %, etc.). Die einzelnen Steigungsniveaus wurden jeweils innerhalb einer Teststrecke mit den direkt angrenzenden Steigungsbereichen auf signifikante Unterschiede hin überprüft. Außerdem erfolgte ein Streckenvergleich innerhalb der einzelnen Steigungsabschnitte.

##### Herzfrequenz

Auf der anspruchsvollsten Strecke 3 werden in allen Steigungsabschnitten höhere mittlere Herzfrequenzwerte erreicht als bei Strecke 1 und 2. Insgesamt sind mit zunehmender Steigung tendenziell höhere Herzfrequenzen innerhalb einer Strecke zu verzeichnen. Diese Unterschiede sind nicht für alle Strecken und nicht für jede Stufe signifikant. Zwischen 5 und 10% Steigung werden bei allen Strecken signifikant höhere Herzfrequenzen erreicht als bei Steigungen zwischen 0 und 5% der jeweiligen Strecke.

Beim Streckenvergleich innerhalb eines Steigungsabschnittes ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen den Strecken 1 und 3 im Bereich zwischen -15 bis -10%, -5 bis 0% und 10 bis 15% Steigung ( $p \leq 0,05$ ). Bei Strecke 2 und 3 sind die Unterschiede im Bereich von 15 bis 20% Steigung auf einem Niveau von  $p \leq 0,05$  signifikant (s. Abb. 4-11).

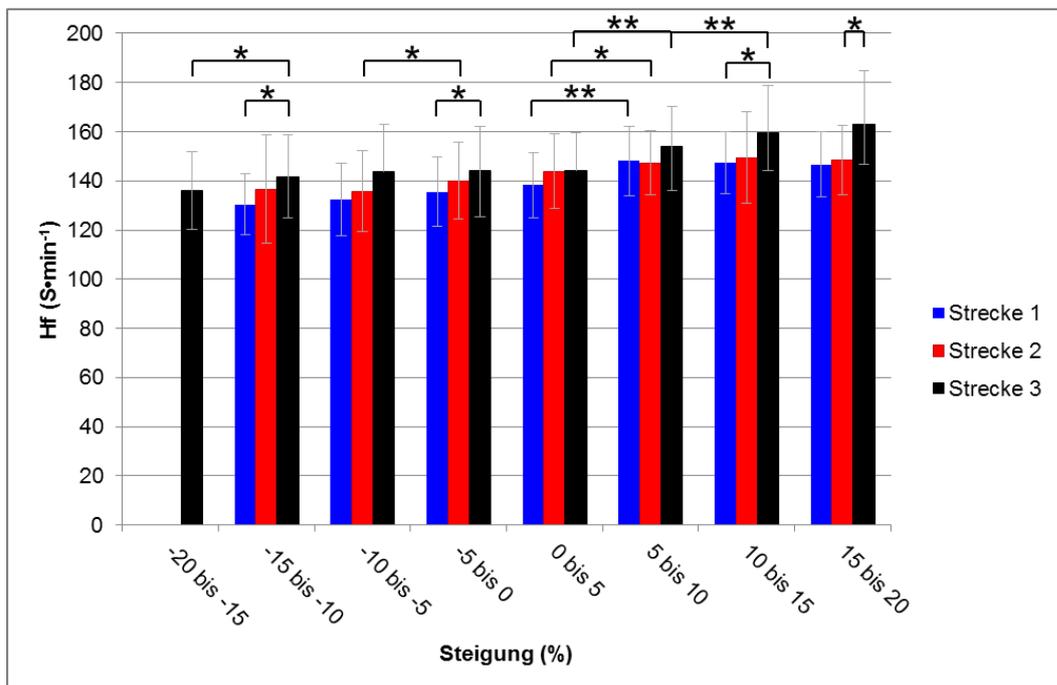


Abb. 4-11: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) auf den drei Teststrecken mit Differenzierung nach Steigungsabschnitten mit jeweils 5% Steigung und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Relative Sauerstoffaufnahme

Der Vergleich der mittleren relativen Sauerstoffaufnahme innerhalb der verschiedenen Steigungsbereiche und zwischen den Teststrecken ergibt signifikante Unterschiede auf einem Niveau von  $p \leq 0,05$  zwischen den Strecken 2 und 3 in den Bereichen von 5 bis 10% und 15 bis 20% Steigung (s. Abb. 4-12). Weitere signifikante Unterschiede bestehen zwischen einzelnen Steigungsbereichen innerhalb der jeweiligen Teststrecken und sind in Abbildung 4-12 dargestellt.

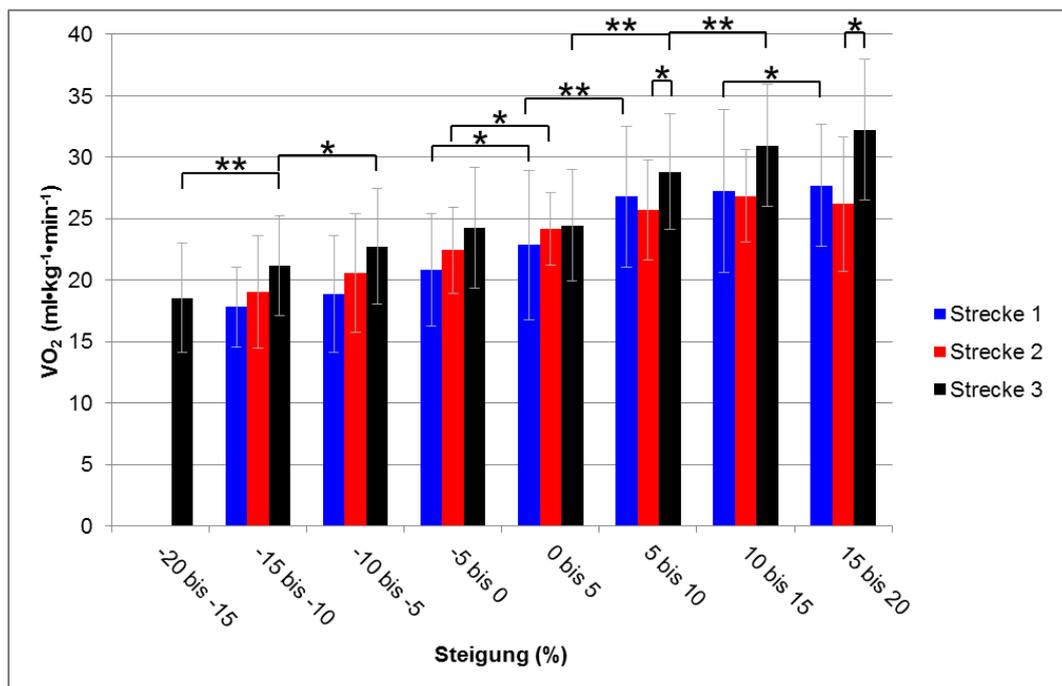


Abb. 4-12: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) auf den drei Teststrecken mit Differenzierung nach Steigungsabschnitten mit jeweils 5% Steigung und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Geschwindigkeit

Die mittleren Geschwindigkeiten innerhalb der definierten Steigungsabschnitte und signifikante Unterschiede zwischen den angrenzenden Steigungsbereichen innerhalb der Teststrecken sowie zwischen den einzelnen Steigungen der drei Teststrecken sind in Abbildung 4-13 dargestellt. Eine Analyse der mittleren Fortbewegungsgeschwindigkeiten auf Strecke 3 zeigt auf, dass sich die Geschwindigkeit bei positiven Steigungen von Abschnitt zu Abschnitt signifikant reduziert ( $p \leq 0,01$ ). Bei Strecke 2 verringert sich die Geschwindigkeit zwischen 5 bis 10% und 10 bis 15% Steigung signifikant ( $p \leq 0,01$ ), während für Strecke 1 keine signifikanten Unterschiede zwischen den positiven Steigungsabschnitten ermittelt werden können. Der Streckenvergleich zeigt, dass bei Strecke 1 im Bereich von 5 bis 10% Steigung signifikant geringere mittlere Ge-

schwindigkeiten erreicht werden als bei Strecke 2 ( $p \leq 0,05$ ) und signifikant höhere mittlere Geschwindigkeiten als bei Strecke 3 ( $p \leq 0,05$ ). Ab dem Steigungsabschnitt 5 bis 10% wurde Strecke 2 mit einer deutlich höheren mittleren Geschwindigkeit absolviert als Strecke 3 ( $p \leq 0,01$ ).

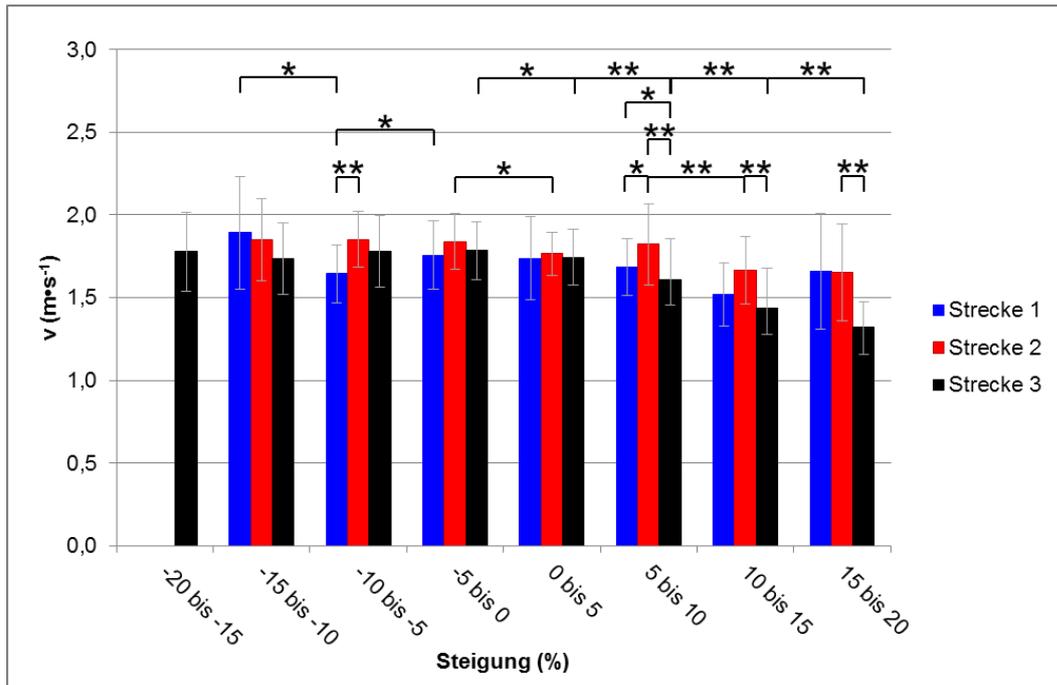


Abb. 4-13: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten ( $v$ ) auf den drei Teststrecken mit Differenzierung nach Steigungsabschnitten mit jeweils 5% Steigung und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

### **4.3.2 Unterschiede zwischen erster und zweiter Streckenhälfte zur Beurteilung des Einflusses der Streckenlänge auf die individuellen Parameter**

Um die Auswirkung der Streckenlänge auf die individuellen Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit zu untersuchen, wurde jede Strecke auf Streckenmitte geteilt und die jeweiligen Mittelwerte miteinander verglichen (s. Kap. 3.5.1, S. 63). Zunächst erfolgt ein Vergleich der ersten und zweiten Streckenhälfte aller Strecken (s. Kap. 4.3.2.1) und in einem zweiten Schritt innerhalb der einzelnen Teststrecken (s. Kap. 4.3.2.2). Anschließend werden die erste und die zweite Streckenhälfte innerhalb der definierten Steigungsabschnitte miteinander verglichen (s. Kap. 4.3.2.3). Dabei werden alle drei Teststrecken in einer Abbildung zusammengefasst, um die Anzahl der Abbildungen überschaubar zu halten.

#### 4.3.2.1 Unterschiede zwischen erster und zweiter Streckenhälfte im Hinblick auf die individuellen Parameter

##### Herzfrequenz

Abbildung 4-14 zeigt, dass die mittleren Herzfrequenzwerte bei der Zusammenfassung aller Strecken auf der ersten Streckenhälfte signifikant höher liegen als auf der zweiten Streckenhälfte. Auf der ersten Streckenhälfte liegen die Herzfrequenzwerte im Mittel bei  $147 (\pm 14,6) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  und im zweiten Streckenabschnitt bei  $141,2 (\pm 16) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$ .

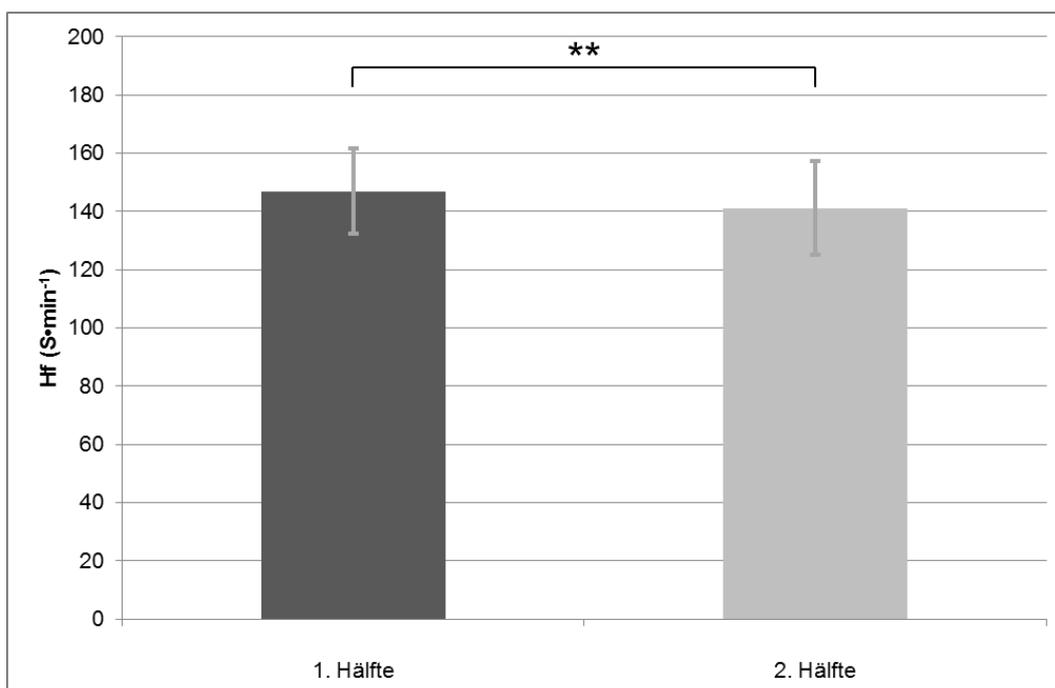


Abb. 4-14: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) auf der 1. und 2. Streckenhälfte und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Relative Sauerstoffaufnahme

Bei der Zusammenfassung aller Strecken liegen die Mittelwerte der relativen Sauerstoffaufnahme auf der ersten Streckenhälfte bei  $26,53 (\pm 3,95) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  und auf der zweiten Streckenhälfte bei  $21,22 (\pm 3,90) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Dieser Unterschied erweist sich als hochsignifikant (s. Abb. 4-15).

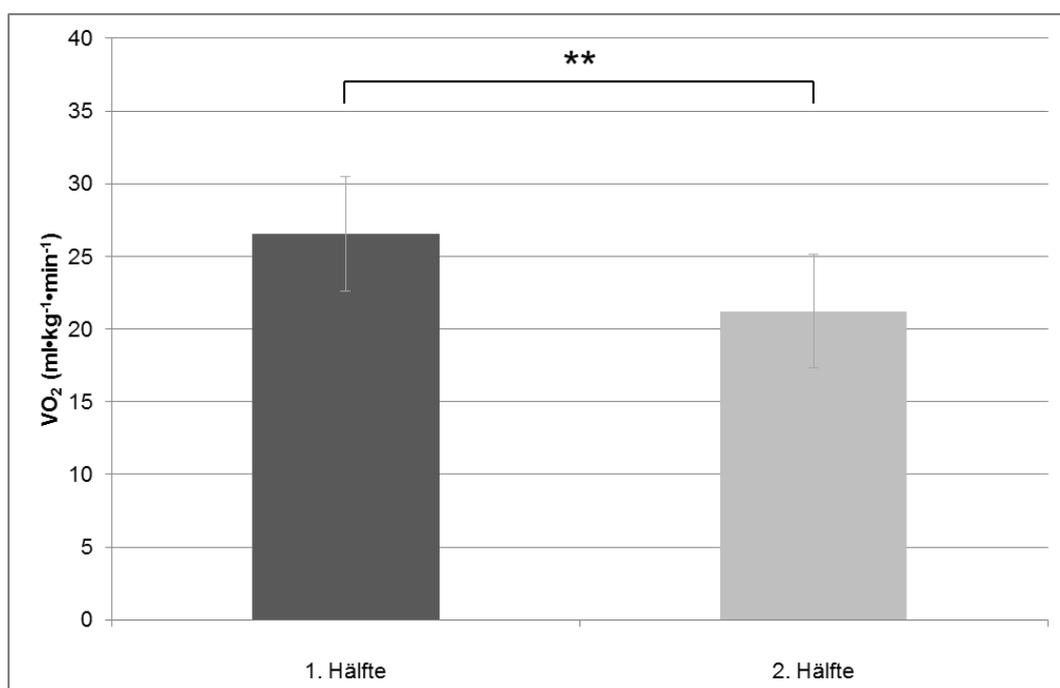


Abb. 4-15: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) auf der 1. und 2. Streckenhälfte und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Geschwindigkeit

Abbildung 4-16 zeigt die mittleren Fortbewegungsgeschwindigkeiten auf der ersten und der zweiten Streckenhälfte als Zusammenfassung aller Strecken. Die mittlere Geschwindigkeit liegt auf der ersten Streckenhälfte bei  $1,67 (\pm 0,14) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und auf der zweiten Streckenhälfte bei  $1,77 (\pm 0,17) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Dieser Unterschied erweist sich als hochsignifikant (s. Abb. 4-16).

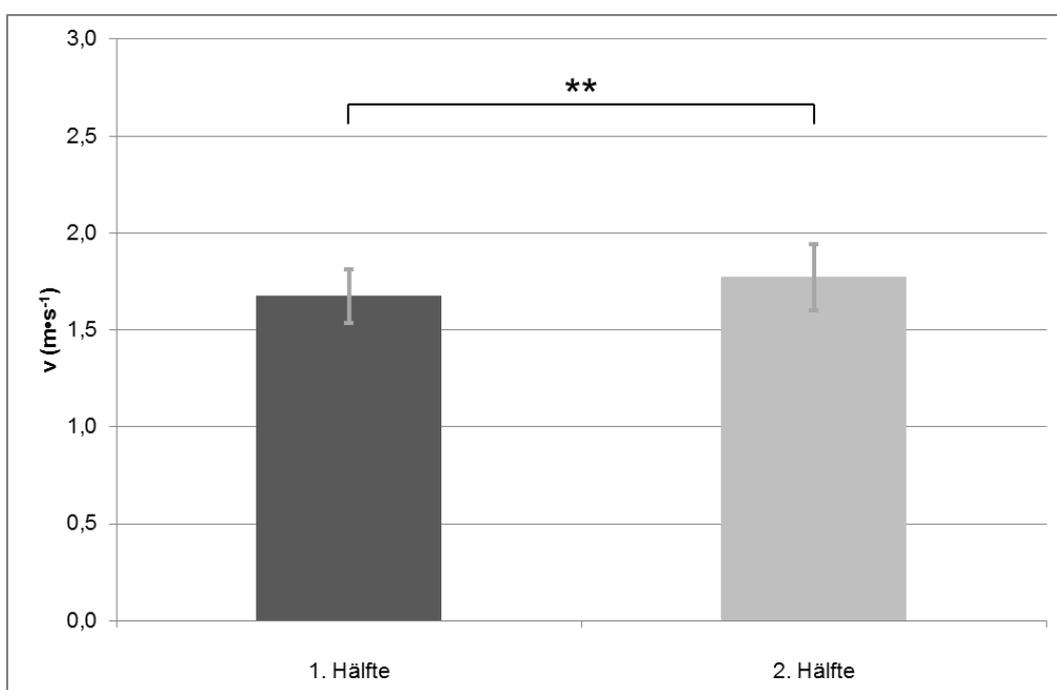


Abb. 4-16: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten ( $v$ ) auf der 1. und 2. Streckenhälfte und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

### 4.3.2.2 Unterschiede zwischen erster und zweiter Streckenhälfte im Hinblick auf die individuellen Parameter innerhalb der Teststrecken

#### Herzfrequenz

Bei der Differenzierung nach den verschiedenen Teststrecken zeigt sich, dass die mittleren Herzfrequenzen auf den ersten Streckenhälften der einzelnen Teststrecken signifikant höher liegen als auf der jeweiligen zweiten Streckenhälfte ( $p \leq 0,05$ ). Der größte Unterschied mit 5% ergibt sich auf der schwierigen Strecke 3 mit mittleren Herzfrequenzwerten von  $151,7 (\pm 15,8) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  auf der ersten Streckenhälfte gegenüber  $143,6 (\pm 18,2) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  im zweiten Streckenabschnitt (s. Abb. 4-17).

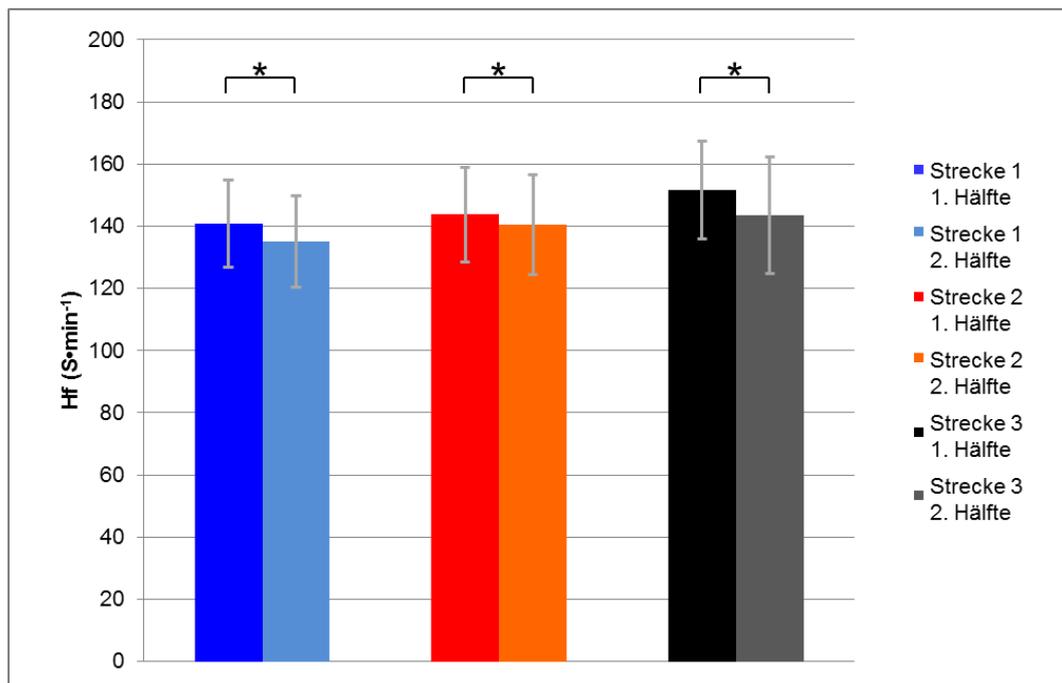


Abb. 4-17: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) auf der 1. und 2. Streckenhälfte der drei Teststrecken und Darstellung signifikanter Unterschiede ( $* p \leq 0,05$ ),  $n=9$

## Relative Sauerstoffaufnahme

Auf der ersten Streckenhälfte liegen die mittleren relativen Sauerstoffaufnahmen bei allen drei Teststrecken mit einem Signifikanzniveau von  $p \leq 0,01$  deutlich über den Werten der jeweiligen zweiten Streckenhälfte. Bei der leichten Strecke 1 wurden auf der ersten Streckenhälfte Werte im Mittel von  $24,04 (\pm 5,48) \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  erreicht, auf der zweiten Streckenhälfte von  $20,07 (\pm 5,16) \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Bei der mittelschwierigen Strecke 2 lagen die Werte auf der ersten Streckenhälfte bei  $25,14 (\pm 3,69) \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  gegenüber  $20,81 (\pm 3,07) \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  auf der zweiten Streckenhälfte und bei der schwierigen Strecke 3 bei  $28,35 (\pm 4,54) \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  auf der ersten Streckenhälfte gegenüber  $21,69 (\pm 4,60) \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  auf der zweiten Hälfte. Dieser Unterschied beträgt 16% auf der leichten Strecke 1, 17% auf der mittelschwierigen Strecke 2 und 24% auf der schwierigen Strecke 3 (s. Abb. 4-18).

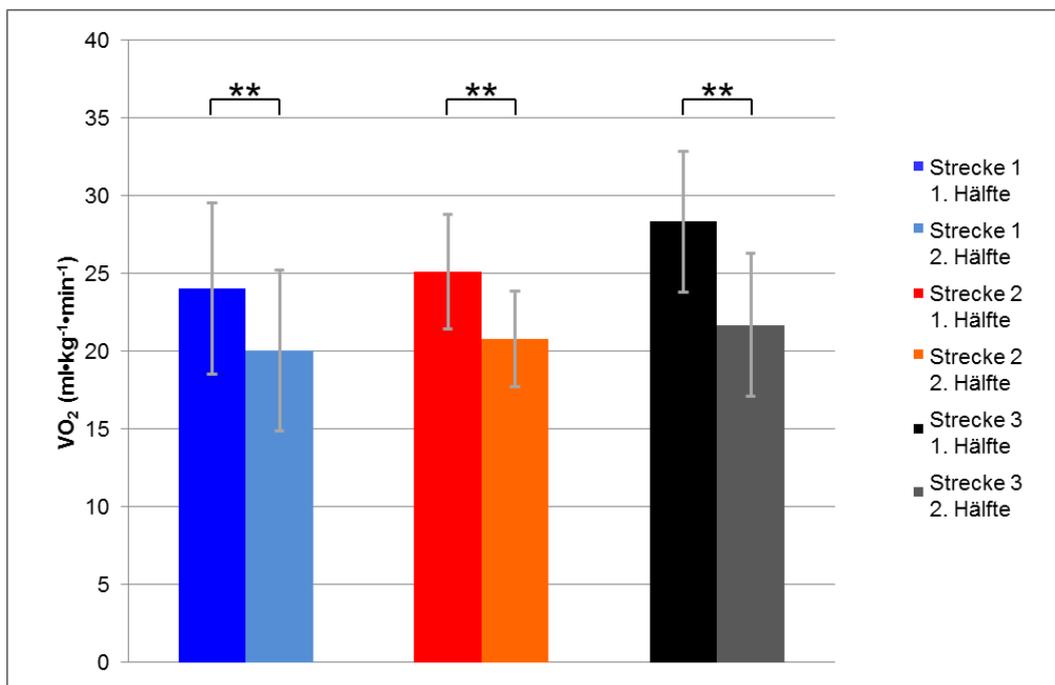


Abb. 4-18: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{VO}_2$ ) auf der 1. und 2. Streckenhälfte der drei Teststrecken und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Geschwindigkeit

Der Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten zeigt, dass bei Strecke 1 auf der ersten Streckenhälfte im Mittel mit höheren Geschwindigkeiten gegangen wurde als auf der zweiten Streckenhälfte. Diese Tendenz ist nicht signifikant, während bei den Strecken 2 und 3 auf der zweiten Streckenhälfte signifikant höhere mittlere Geschwindigkeiten erreicht wurden als auf der ersten Streckenhälfte. Die mittleren Geschwindigkeiten lagen bei der mittelschwierigen Strecke 2 auf der ersten Streckenhälfte bei  $1,71 (\pm 0,13) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und auf der zweiten Streckenhälfte bei  $1,90 (\pm 0,19) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Bei der schwierigen Strecke 3 lagen die mittleren Fortbewegungsgeschwindigkeiten auf der ersten Streckenhälfte bei  $1,63 (\pm 0,16) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und auf der zweiten Streckenhälfte bei  $1,74 (\pm 0,19) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (s. Abb. 4-19).

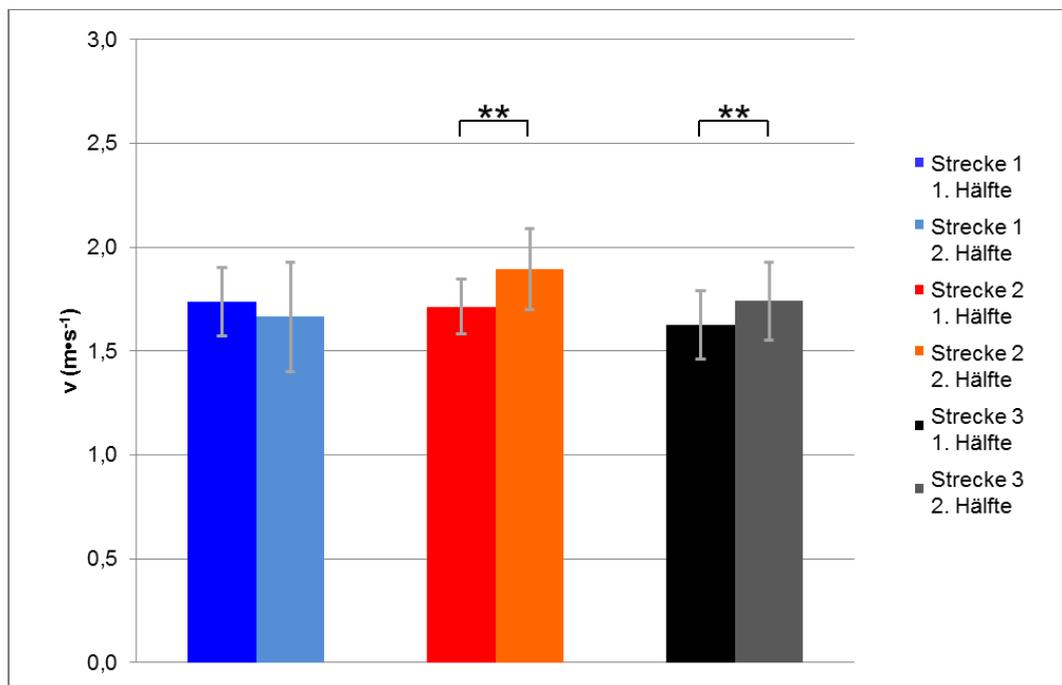


Abb. 4-19: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten ( $v$ ) auf der 1. und 2. Streckenhälfte der drei Teststrecken und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

### 4.3.2.3 Unterschiede zwischen erster und zweiter Streckenhälfte im Hinblick auf die individuellen Parameter innerhalb der Steigungsabschnitte der Teststrecken

#### Herzfrequenz

Signifikante Unterschiede der mittleren Herzfrequenzen zwischen der ersten und der zweiten Streckenhälfte wurden in Bezug auf die Steigungsabschnitte in zwei Fällen errechnet: Bei Strecke 2 liegt die mittlere Herzfrequenz der zweiten Streckenhälfte im Bereich von -10 bis -5% Steigung signifikant höher als auf der ersten Hälfte ( $p \leq 0,05$ ). Im Steigungsbereich von 10 bis 15% liegt die mittlere Herzfrequenz der ersten Streckenhälfte der Strecke 3 signifikant höher als beim zweiten Streckenabschnitt ( $p \leq 0,01$ ). Die höchsten Herzfrequenzwerte werden bei 10 bis 15% Steigung erreicht, die niedrigsten im Bereich zwischen -10 bis -5% (s. Abb. 4-20).

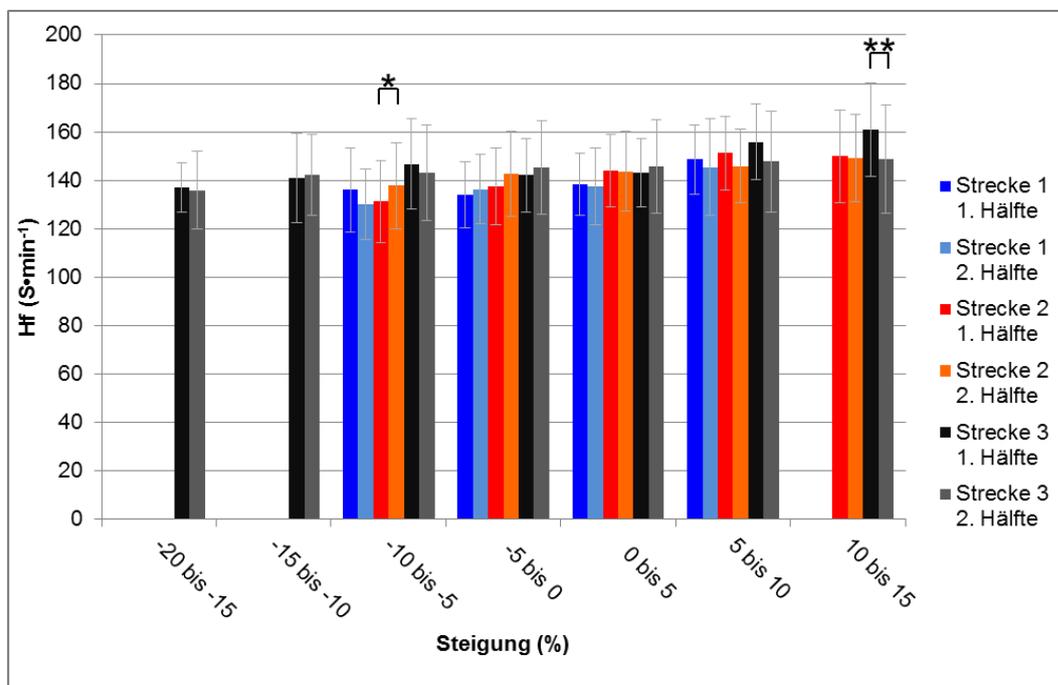


Abb. 4-20: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) innerhalb der Steigungskategorien mit Differenzierung der Teststrecken und zwischen 1. und 2. Streckenhälfte und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Relative Sauerstoffaufnahme

Die mittleren Werte der relativen Sauerstoffaufnahme liegen im ersten Streckenabschnitt in fast allen Steigungsbereichen höher als im zweiten Streckenabschnitt. Einzige Ausnahme bildet der Bereich zwischen 5 und 10% Steigung der Strecke 1. Bei den Strecken 2 und 3 sind diese Unterschiede für alle positiven Steigungsabschnitte signifikant bis hochsignifikant ( $p \leq 0,05$ ;  $p \leq 0,01$ ). Die höchsten Werte der mittleren relativen Sauerstoffaufnahme werden zwischen 10 und 15% Steigung erreicht, die geringsten im Bereich zwischen -10 bis -5% (s. Abb. 4-21).

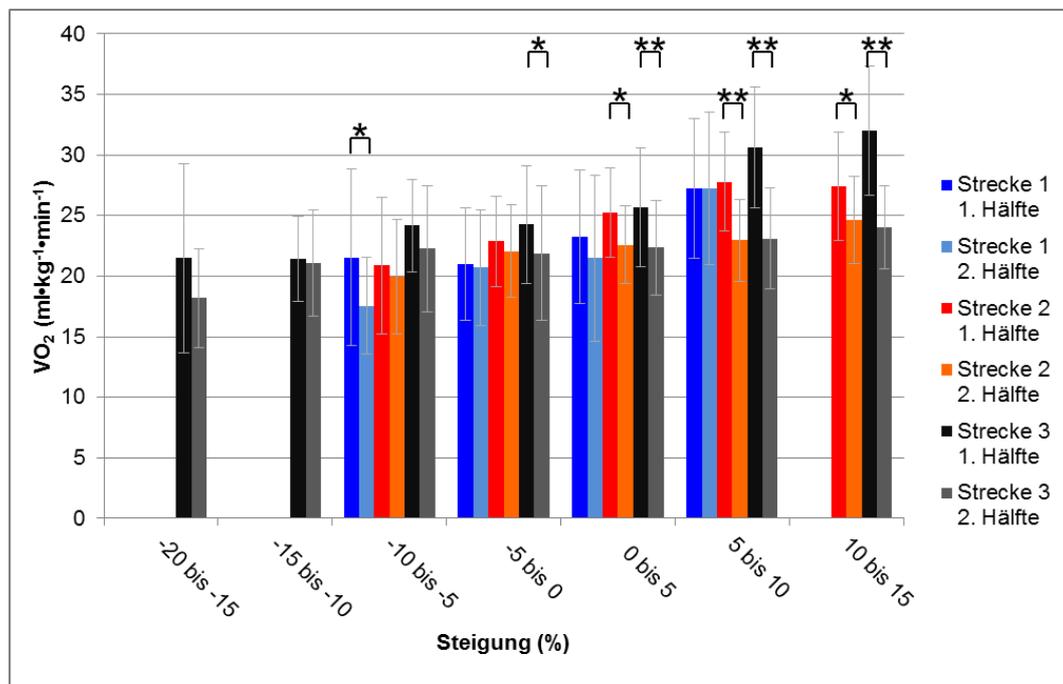


Abb. 4-21: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) innerhalb der Steigungskategorien mit Differenzierung der Teststrecken und zwischen 1. und 2. Streckenhälfte und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Geschwindigkeit

In Bezug auf die mittleren Geschwindigkeiten der halbierten Strecken können keine einheitlichen Tendenzen bei den Teststrecken festgestellt werden. Bei Strecke 1 werden auf der ersten Streckenhälfte höhere mittlere Geschwindigkeiten erzielt als auf der zweiten. Im Bereich zwischen -5 und 0% Steigung ist dieser Unterschied signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Bei Strecke 2 werden auf der zweiten Streckenhälfte tendenziell höhere mittlere Geschwindigkeiten erreicht. Diese Unterschiede sind in den Steigungsbereichen -10 bis -5%, 5 bis 10% und 10 bis 15% signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Vergleicht man die mittleren Geschwindigkeiten der ersten und zweiten Streckenhälfte von Strecke 3, so zeigt sich ein inhomogenes Bild. In den Steigungsbereichen 5 bis 10% und 10 bis 15% liefen die Probanden auf dem ersten Streckenabschnitt im Mittel signifikant ( $p \leq 0,05$ ) langsamer als auf dem zweiten, während im Bereich zwischen -15 und -10% Steigung auf der ersten Streckenhälfte signifikant höhere mittlere Geschwindigkeiten erreicht wurden. Bei Strecke 1 erreichten die Probanden zwischen -5 und 0% Steigung die höchsten mittleren Geschwindigkeiten und zwischen -5 und -10% die geringsten. Bei Strecke 2 erreichten sie zwischen 10 und 15% auf der ersten Streckenhälfte die niedrigsten und auf der zweiten Streckenhälfte die höchsten mittleren Geschwindigkeiten. Im Steigungsbereich zwischen 10 und 15% wurden auch bei Strecke 3 die geringsten mittleren Geschwindigkeiten ermittelt während die höchsten bei einer Steigung zwischen -15 und -20% lagen (s. Abb. 4-22).

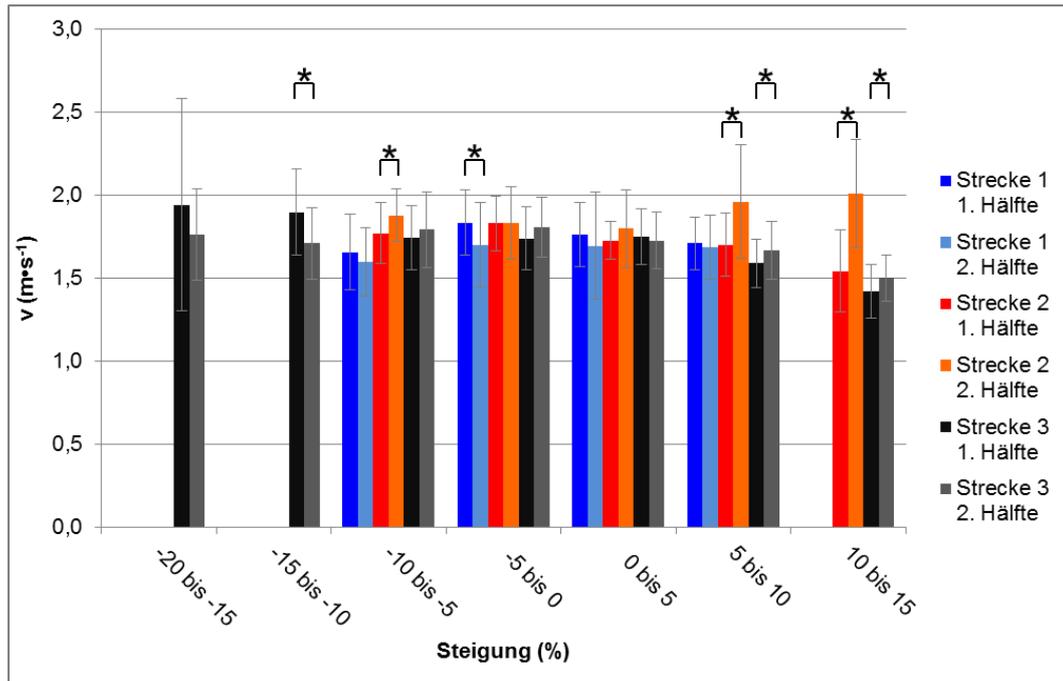


Abb. 4-22: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten ( $v$ ) innerhalb der Steigungskategorien mit Differenzierung der Teststrecken und zwischen 1. und 2. Streckenhälfte und Darstellung signifikanter Unterschiede ( $* p \leq 0,05$ ),  $n=9$

### 4.3.3 Vergleich der Untergründe im Hinblick auf die individuellen Parameter

Die Untergründe der Strecken sind in die drei Kategorien *asphaltierte Wege*, *Wirtschaftswege* und *Singletrails* unterteilt (s. Kap. 3.3, S. 55).

Im Folgenden wird der Einfluss des Untergrundes auf die individuellen Parameter untersucht, indem die innerhalb der jeweiligen Untergrundkategorie berechneten Mittelwerte der individuellen Parameter miteinander verglichen werden (s. Kap. 3.5.1, S. 62ff.). Dies erfolgt zunächst zusammenfassend für alle Strecken, anschließend für jede Teststrecke und zum Abschluss innerhalb der definierten Steigungsabschnitte und der einzelnen Strecken. Während Strecke 2 alle drei Untergrundkategorien beinhaltet, setzen sich die Strecken 1 und 3 aus den Kategorien asphaltierte Wege und Wirtschaftswege zusammen. Dargestellt werden

ausschließlich die Steigungsabschnitte bei denen Vergleichswerte von mindestens zwei verschiedenen Untergrundkategorien innerhalb einer Strecke existieren. Um die Anzahl der Abbildungen überschaubar zu halten, werden die Untergründe aller drei Teststrecken in einer Abbildung zusammengefasst.

## Herzfrequenz

Der Vergleich der mittleren Herzfrequenzen der drei definierten Untergrundkategorien zeigt, dass sich die Werte aller Kategorien hochsignifikant voneinander unterscheiden. Der höchste mittlere Herzfrequenzwert mit  $147,2 (\pm 14,7) \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$  wurde in der Kategorie Wirtschaftsweg ermittelt. Auf asphaltierten Wegen lag die mittlere Herzfrequenz bei  $139,9 (\pm 15,5) \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$  und auf Singletrails bei  $123 (\pm 15,2) \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$  (s. Abb. 4-23).

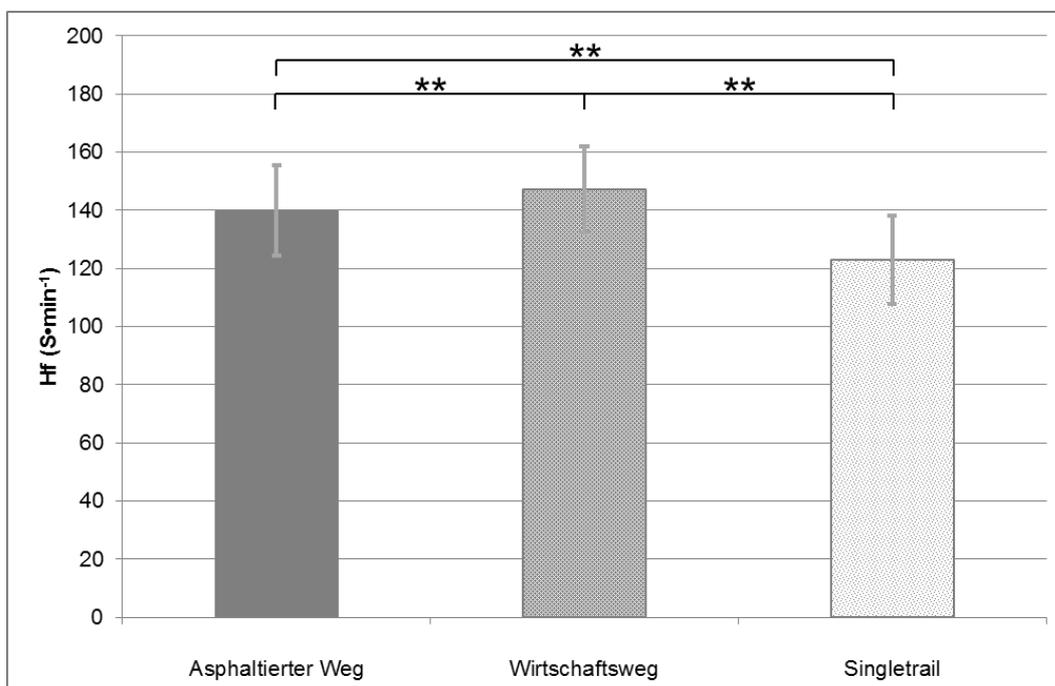


Abb. 4-23: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) innerhalb der Untergrundkategorien und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Relative Sauerstoffaufnahme

Abbildung 4-24 zeigt die Ergebnisse der mittleren relativen Sauerstoffaufnahme innerhalb der drei definierten Untergrundkategorien. Auf Wirtschaftswegen erreichten die Untersuchungsteilnehmer mit  $24,94 (\pm 3,91) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  die höchsten relativen Sauerstoffaufnahme-werte. In Abschnitten mit asphaltierten Untergründen wurden Werte von  $21,11 (\pm 3,37) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  erreicht und auf Singletrails lagen die mittleren Werte bei  $19,06 (\pm 2,88) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Im Vergleich der mittleren relativen Sauerstoffaufnahmen der drei Untergrundkategorien miteinander, ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen Wirtschaftswegen und asphaltierten Wegen sowie Singletrails ( $p \leq 0,01$ ). Zwischen asphaltierten Wegen und Singletrails konnte kein statistisch relevanter Unterschiede ermittelt werden (s. Abb. 4-24).

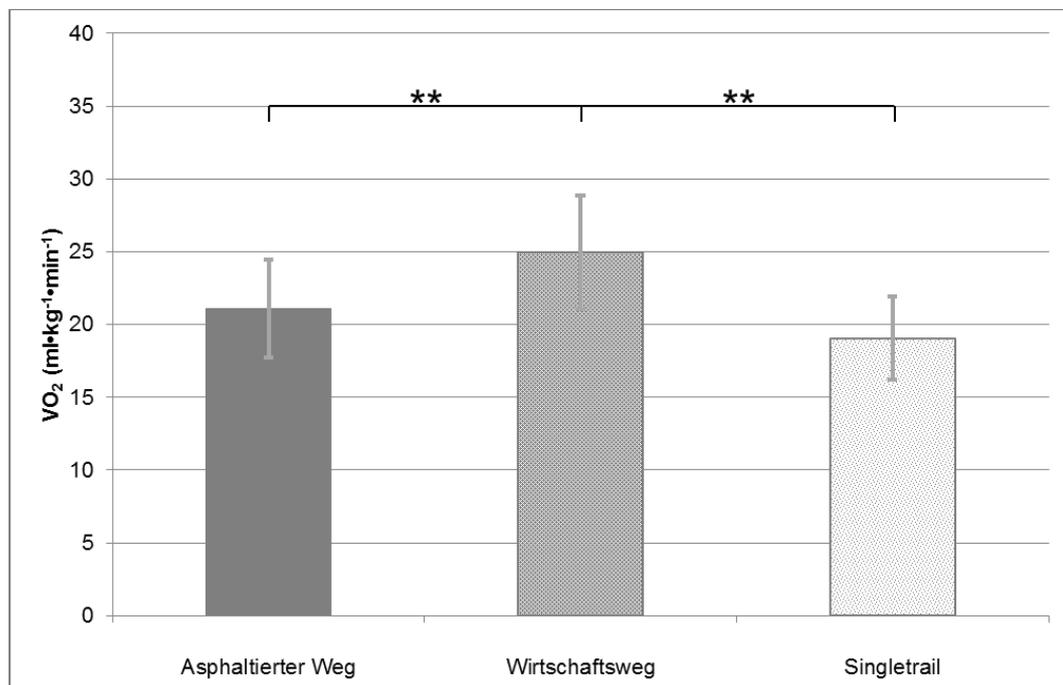


Abb. 4-24: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $\text{VO}_2$ ) innerhalb der Untergrundkategorien und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Geschwindigkeit

Die höchste mittlere Fortbewegungsgeschwindigkeit wurde mit  $1,81 (\pm 0,18) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  auf asphaltierten Wegen ermittelt. Auf Wirtschaftswegen liegt die mittlere Geschwindigkeit mit  $1,70 (\pm 0,15) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ). Auf Singletrails bewegten sich die Probanden mit einer mittleren Geschwindigkeit von  $1,64 (\pm 0,32) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Der Unterschied zu asphaltierten Wegen und Wirtschaftswegen ist nicht signifikant (s. Abb. 4-25).

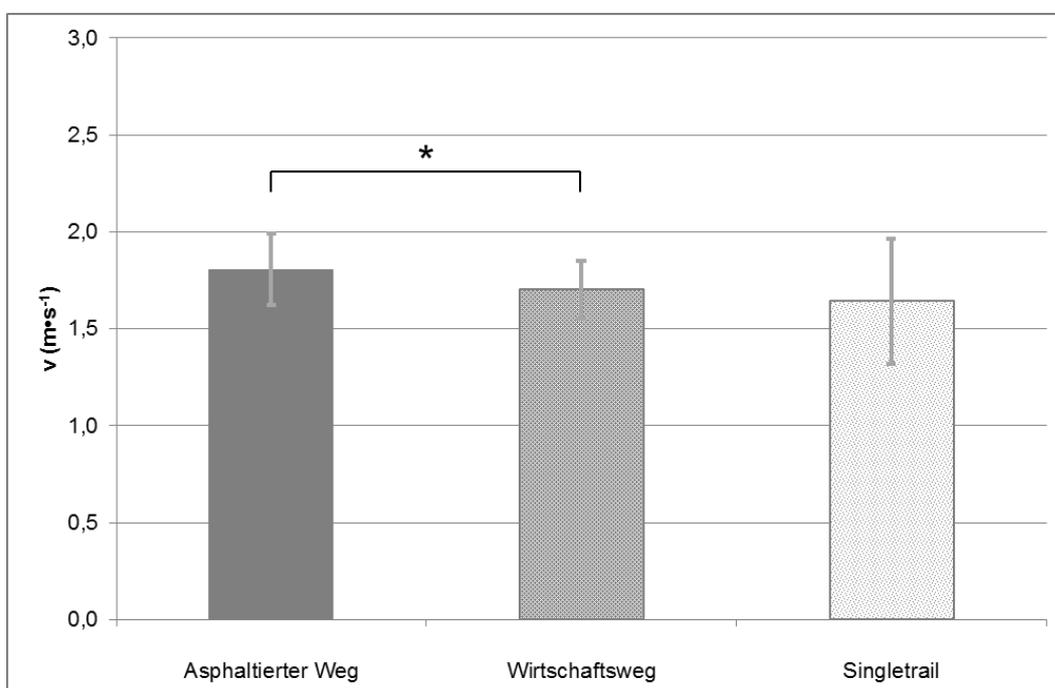


Abb. 4-25: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten ( $v$ ) innerhalb der Untergrundkategorien und Darstellung signifikanter Unterschiede ( $* p \leq 0,05$ ),  $n=9$

### 4.3.3.1 Vergleich der Untergründe im Hinblick auf die individuellen Parameter innerhalb der Teststrecken

#### Herzfrequenz

Im Vergleich der mittleren Herzfrequenzwerte der verschiedenen Untergrundkategorien innerhalb der jeweiligen Teststrecken miteinander, zeigt sich für Strecke 1, dass die mittleren Herzfrequenzen auf Wirtschaftswegen mit  $138,3 (\pm 13,2) \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$  hochsignifikant höher liegen als auf asphaltierten Wegen mit  $109,25 (\pm 10,8) \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ . Bei Strecke 2 unterscheiden sich die Werte zwischen allen Untergrundkategorien hochsignifikant. Dabei wird auf Wirtschaftswegen mit  $148,5 (\pm 16,1) \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$  die höchste mittlere Herzfrequenz erreicht. Bei Strecke 3 wurde auf Wirtschaftswegen mit  $148,8 (\pm 16,5) \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$  ebenfalls ein höherer mittlerer Herzfrequenzwert erreicht als auf Asphalt mit  $144,9 (\pm 19,8) \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ . Dies erweist sich als nicht signifikant (s. Abb. 4-26).

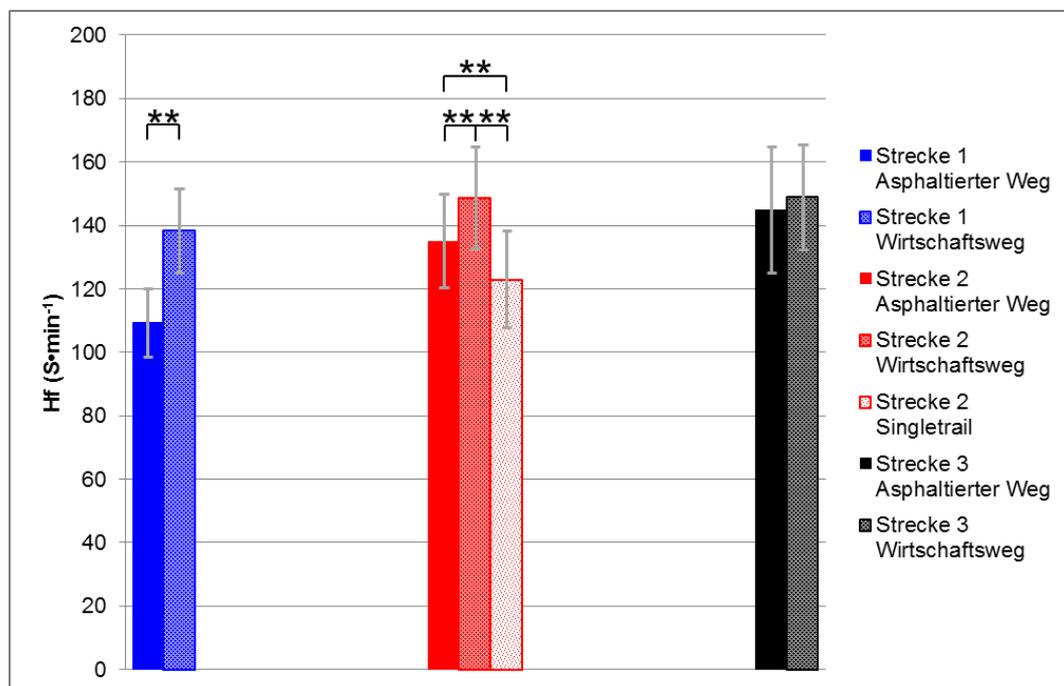


Abb. 4-26: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) innerhalb der Untergrundkategorien mit Differenzierung der Teststrecken und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Relative Sauerstoffaufnahme

Abbildung 4-27 zeigt, dass die höchsten mittleren Werte der relativen Sauerstoffaufnahme bei allen drei Teststrecken innerhalb der Untergrundkategorie Wirtschaftswege erreicht wurden. Dieser Unterschied zu den Werten auf asphaltierten Wegen ist bei den Strecken 1 und 3 hochsignifikant ( $p \leq 0,01$ ) und bei der mittelschwierigen Strecke 2 signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Bei der leichten Strecke 1 fällt der Unterschied zwischen den beiden Untergrundkategorien mit 46% am größten aus. Bei Strecke 2 ergibt sich außerdem ein signifikanter Unterschied zwischen den Untergrundkategorien Wirtschaftsweg und Singletrail ( $p \leq 0,05$ ).

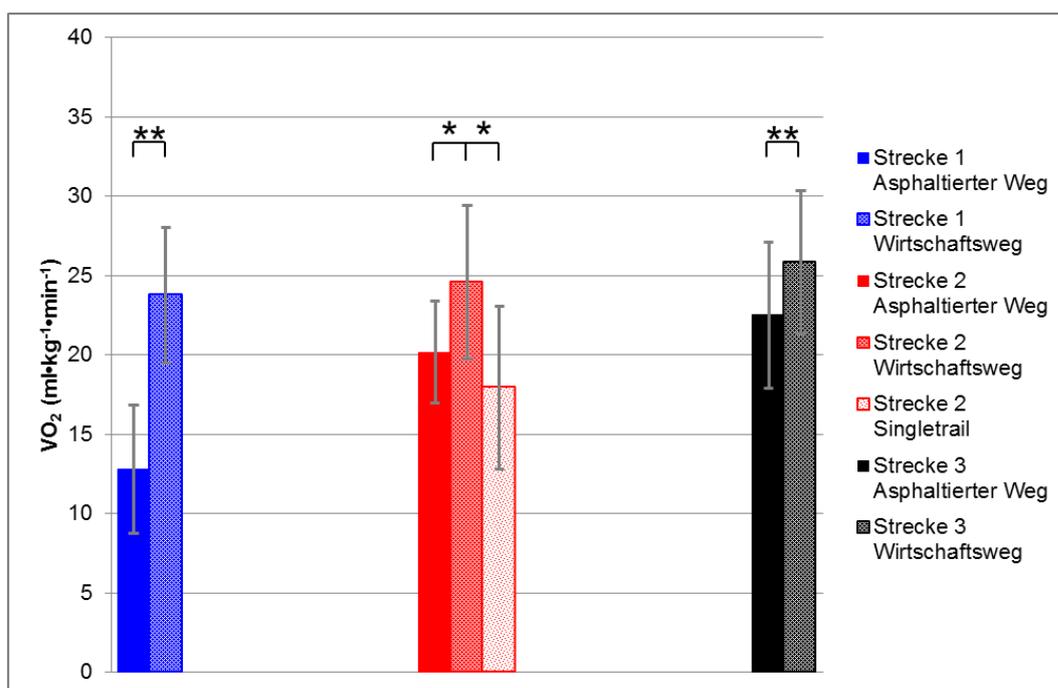


Abb. 4-27: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) innerhalb der Untergrundkategorien mit Differenzierung der Teststrecken und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Geschwindigkeit

Die höchsten mittleren Geschwindigkeiten erreichten die Untersuchungsteilnehmer auf asphaltierten Wegen. Während der Unterschied zwischen Asphalt und Wirtschaftswegen bei Strecke 2 mit  $1,83 (\pm 0,18) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  zu  $1,81 (\pm 0,19) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  marginal ist, ergibt sich bei den Strecken 1 und 3 ein hochsignifikanter Unterschied. Die mittleren Geschwindigkeiten liegen bei Strecke 1 auf Asphalt bei  $1,81 (\pm 0,18) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und auf Wirtschaftswegen bei  $1,70 (\pm 0,19) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Mit mittleren Werten von  $1,76 (\pm 0,19) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  auf asphaltierten Wegen und  $1,66 (\pm 0,17) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  auf Wirtschaftswegen fallen die Fortbewegungsgeschwindigkeiten innerhalb dieser Untergrundkategorien bei Strecke 3 am geringsten aus. Die niedrigste mittlere Geschwindigkeit erreichten die Probanden innerhalb der Untergrundkategorie Singletrail (s. Abb. 4-28).

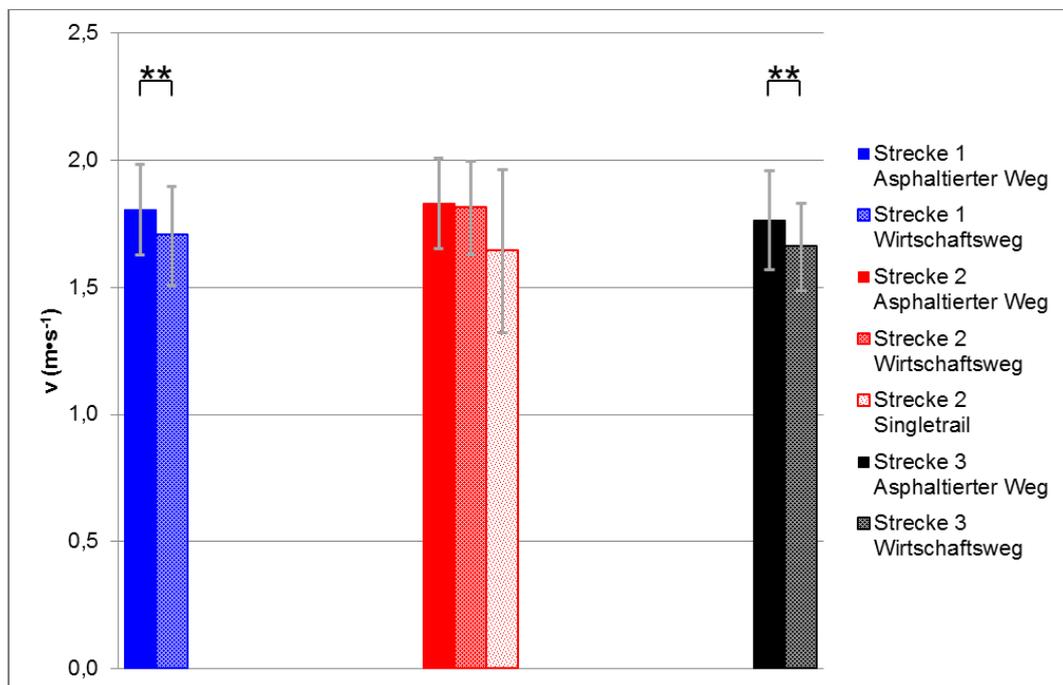


Abb. 4-28: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten ( $v$ ) innerhalb der Untergrundkategorien mit Differenzierung der Teststrecken und Darstellung signifikanter Unterschiede (\*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

### 4.3.3.2 Vergleich der Untergründe im Hinblick auf die individuellen Parameter innerhalb der Steigungsabschnitte der Teststrecken

#### Herzfrequenz

Auf Strecke 1 existieren Vergleichswerte für den Steigungsabschnitt 0 bis 5%. Hier liegen die mittleren Herzfrequenzen auf Wirtschaftswegen hochsignifikant über denen von asphaltierten Wegen. Bei Strecke 2 wurden innerhalb aller Steigungsabschnitte auf Wirtschaftswegen signifikant höhere Werte erreicht als auf Asphalt und auf Singletrails. Bei Strecke 3 ergeben sich bei -10 und -5% Steigung auf Asphalt signifikant höhere Herzfrequenzwerte als auf Wirtschaftswegen. Ansonsten liegen die Herzfrequenzen bei Strecke 3 auf Wirtschaftswegen tendenziell höher als auf Asphalt (s. Abb. 4-29).

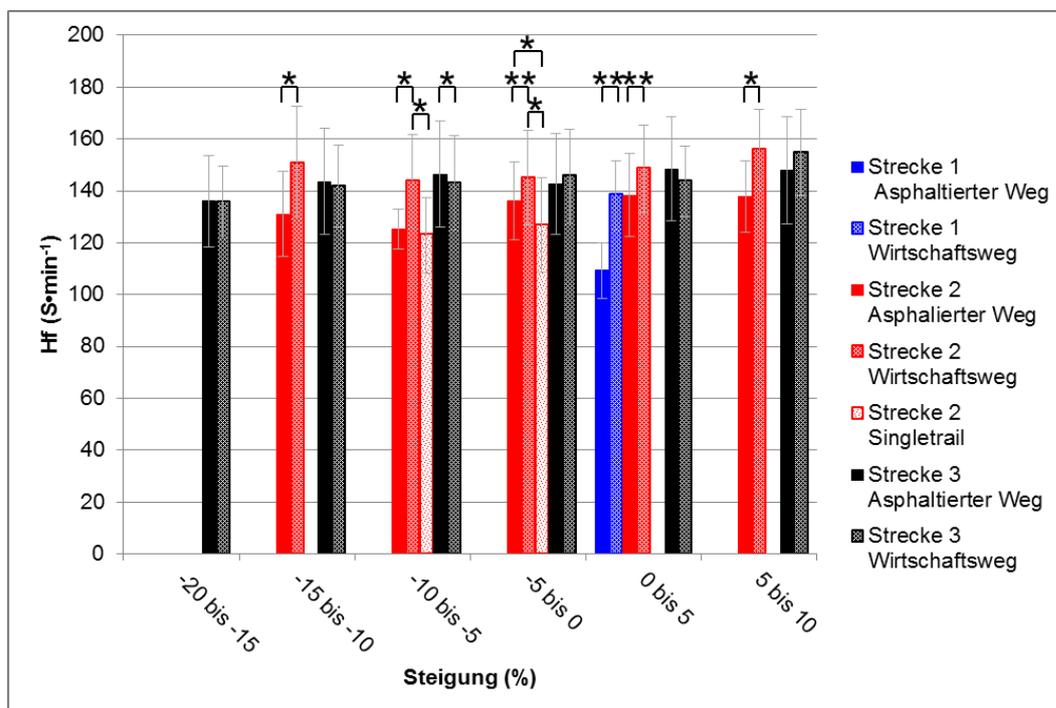


Abb. 4-29: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (Hf) aller Steigungskategorien mit mindestens zwei verschiedenen Untergründen zum Vergleich innerhalb der jeweiligen Teststrecke. Differenzierung zwischen den Untergründen asphaltierter Weg, Wirtschaftsweg und Singletrail und Darstellung signifikanter Unterschiede innerhalb der Steigungsabschnitte (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Relative Sauerstoffaufnahme

Die mittlere relative Sauerstoffaufnahme liegt auf Wirtschaftswegen der leichten Strecke 1 signifikant höher als auf asphaltierten Wegen ( $p \leq 0,01$ ). Bei der mittelschwierigen Strecke 2 erreichten die Probanden in allen Steigungsbereichen auf Wirtschaftswegen signifikant höhere Werte der relativen Sauerstoffaufnahme als in Bereichen asphaltierter Streckenabschnitte und Singletrails ( $p \leq 0,05$ ). Bei Strecke 3 liegt die relative Sauerstoffaufnahme im positiven Steigungsbereich auf den Wirtschaftswegen tendenziell höher als auf Asphalt. Hochsignifikant ist dieser Unterschied im Bereich von 5 bis 10% Steigung (s. Abb. 4-30).

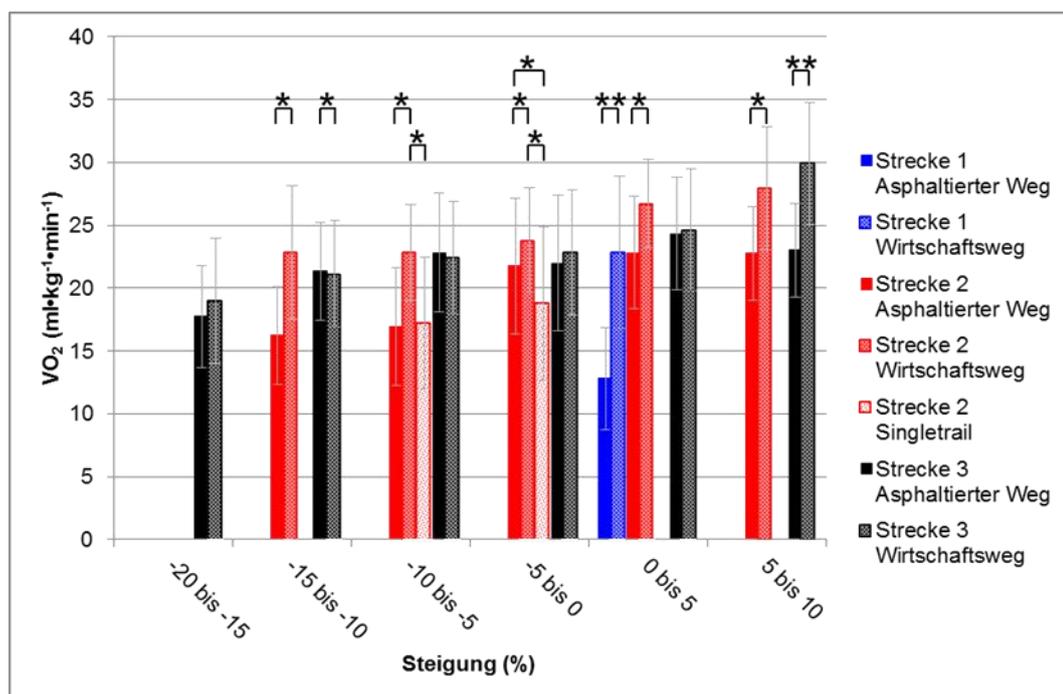


Abb. 4-30: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Sauerstoffaufnahmen ( $VO_2$ ) aller Steigungskategorien mit mindestens zwei verschiedenen Untergründen zum Vergleich innerhalb der jeweiligen Teststrecke. Differenzierung zwischen den Untergründen asphaltierter Weg, Wirtschaftsweg und Singletrail und Darstellung signifikanter Unterschiede innerhalb der Steigungsabschnitte (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ),  $n=9$

## Geschwindigkeit

Die Fortbewegungsgeschwindigkeit liegt auf asphaltierten Wegen tendenziell höher als auf Wirtschaftswegen. Bei Strecke 2 ist dieser Unterschied im Steigungsbereich zwischen -15 und -10% auf einem Niveau von  $p \leq 0,05$  signifikant. Bei Strecke 3 unterscheiden sich die Geschwindigkeiten im Bereich zwischen 5 und 10% Steigung signifikant zwischen den Untergrundkategorien Asphalt und Wirtschaftsweg. Nur in den Steigungsabschnitten -10 bis -5% und 5 bis 10% Steigung werden bei Strecke 2 auf Wirtschaftswegen tendenziell höhere Geschwindigkeiten erreicht als auf Asphalt (s. Abb. 4-31).

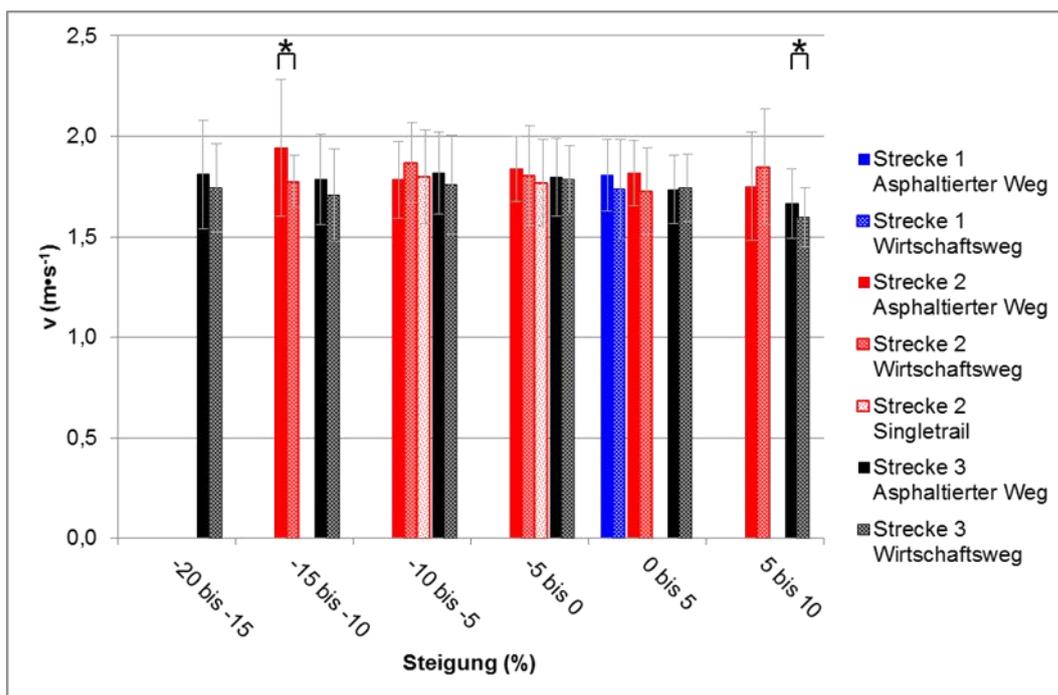


Abb. 4-31: Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeit ( $v$ ) aller Steigungskategorien mit mindestens zwei verschiedenen Untergründen zum Vergleich innerhalb der jeweiligen Teststrecke. Differenzierung zwischen den Untergründen asphaltierter Weg, Wirtschaftsweg und Singletrail und Darstellung signifikanter Unterschiede innerhalb der Steigungsabschnitte (\*  $p \leq 0,05$ ),  $n=9$

## 4.4 Korrelationsanalysen

In diesem Unterkapitel werden Zusammenhänge zwischen den individuellen Parametern Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit mittels bivariater Korrelationsanalyse nach Pearson dargestellt (s. Kap. 4.4.1 bzw. Kap 3.6.1, S. 68). Anschließend werden die Zusammenhänge zwischen diesen Parametern und den Streckencharakteristika Streckenlänge, Steigung und Untergrund abgebildet (s. Kap. 4.4.2). Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt getrennt nach positiven und negativen Steigungen (s. Kap. 3.5.1, S. 64).

### 4.4.1 Zusammenhänge zwischen den Parametern Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit

Bei negativen Steigungen zeigt sich für alle Strecken und für die Gesamtdarstellung ein hochsignifikanter bzw. höchst signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und der relativen Sauerstoffaufnahme. Die jeweiligen Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) zeigen einen starken Zusammenhang bei Strecke 1 ( $r = 0,612$ ), während sich bei Strecke 2 ( $r = 0,366$ ) und bei der Gesamtdarstellung ( $r = 0,275$ ) ein schwacher Zusammenhang und bei Strecke 3 ( $r = 0,089$ ) ein sehr schwacher Zusammenhang ergibt.

In Bezug auf die Geschwindigkeit ergibt sich ein inhomogenes Bild: Bei Strecke 1 zeigt sich eine höchst signifikante, schwach positive Korrelation zwischen Geschwindigkeit und Herzfrequenz sowie zwischen Geschwindigkeit und relativer Sauerstoffaufnahme. Bei Strecke 2 korrelieren Herzfrequenz und Geschwindigkeit sehr schwach negativ und zwischen Geschwindigkeit und relativer Sauerstoffaufnahme besteht kein Zusammenhang. Bei Strecke 3 und bei der Gesamtdarstellung ergibt sich ein sehr schwacher, höchst signifikanter Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und relativer Sauerstoffaufnahme, während sich für

Geschwindigkeit und Herzfrequenz keine Zusammenhänge nachweisen lassen (s. Tab. 4-6).

Tab. 4-6: Zusammenhänge zwischen den Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei negativen Steigungen

n=9 Strecke	Hf				VO <sub>2</sub>				
	1	2	3	Gesamt	1	2	3	Gesamt	
VO <sub>2</sub>	r	0,612	0,366	0,089	0,275				
	p	0,000***	0,000***	0,005**	0,000***				
v	r	0,202	-0,113	0,059	0,042	0,327	0,045	0,126	0,146
	p	0,000***	0,006*	0,064	0,065	0,000***	0,281	0,000***	0,000***

Bivariate Korrelation nach Pearson, Korrelationskoeffizient (r), zweiseitige Signifikanz (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Bei positiven Steigungen zeigt sich für alle Strecken und für die Gesamtdarstellung ein hoch- bzw. höchst signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und der relativen Sauerstoffaufnahme. Die jeweiligen Korrelationskoeffizienten zeigen, dass der Zusammenhang bei Strecke 1 ( $r = 0,651$ ) als stark bezeichnet werden kann, während sich bei Strecke 2 ( $r = 0,256$ ), bei Strecke 3 ( $r = 0,271$ ) und bei der Gesamtdarstellung ( $r = 0,382$ ) ein schwacher Zusammenhang ergibt.

Für den Parameter Geschwindigkeit zeigt sich ein inhomogenes Bild: Bei Strecke 1 ergibt sich eine hochsignifikante, sehr schwach positive Korrelation zwischen Geschwindigkeit und Herzfrequenz sowie eine schwach positive, höchst signifikante Korrelation zwischen Geschwindigkeit und relativer Sauerstoffaufnahme. Bei Strecke 2 zeigt sich ein sehr schwach positiver, signifikanter Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Herzfrequenz. Ein Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und relativer Sauerstoffaufnahmen kann bei positiven Steigungen der Strecke 2 nicht errechnet werden. Bei positiven Steigungen der Strecke 3 korreliert die Geschwindigkeit schwach negativ mit der Herzfre-

quenz ( $r = -0,165$ ;  $p \leq 0,001$ ) und schwach negativ mit der relativen Sauerstoffaufnahme ( $r = -0,083$ ;  $p \leq 0,01$ ). In der Gesamtdarstellung ist der sehr schwach negative Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Herzfrequenz auf einem Niveau von  $p \leq 0,05$  signifikant, während ein Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Sauerstoffaufnahme nach diesen Berechnungen nicht bestätigt werden kann (s. Tab. 4-7).

Tab. 4-7: Zusammenhänge zwischen den Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei positiven Steigungen

n=9 Strecke	Hf				$VO_2$				
	1	2	3	Gesamt	1	2	3	Gesamt	
$VO_2$	r	0,651	0,256	0,271	0,382				
	p	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***				
v	r	0,146	0,088	-0,165	-0,049	0,341	-0,063	-0,083	-0,022
	p	0,002**	0,039*	0,000***	0,022*	0,000***	-0,140	0,004**	0,309

Bivariate Korrelation nach Pearson, Korrelationskoeffizient (r), zweiseitige Signifikanz (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

#### 4.4.2 Zusammenhänge zwischen den individuellen Parametern und den Streckencharakteristika

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Korrelationen der individuellen Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit und den Streckencharakteristika Steigung, Streckenlänge und Untergrund dargestellt.

#### 4.4.2.1 Steigung

Wie Tabelle 4-8 zeigt, ergibt sich bei negativen Steigungen eine sehr schwach positive Korrelation zwischen der Herzfrequenz und der Steigung bei Strecke 1, während die Zusammenhänge bei Strecke 2 und bei der Gesamtdarstellung schwach bzw. sehr schwach negativ sind. Bei der relativen Sauerstoffaufnahme sind die statistisch signifikanten Korrelationen schwach bis sehr schwach positiv. Sehr schwach positive Zusammenhänge in negativen Steigungsbereichen zeigen sich bei allen Strecken und bei der Gesamtdarstellung zwischen Geschwindigkeit und Steigung. Diese Zusammenhänge sind für Strecke 1 auf einem Niveau von  $p \leq 0,05$  signifikant und für alle anderen höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ).

Tab. 4-8: Zusammenhänge zwischen der Steigung und den individuellen Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei negativen Steigungen

n=9 Strecke		Steigung			
		1	2	3	Gesamt
Hf	r	0,119	-0,261	0,024	-0,111
	p	0,020*	0,000***	0,446	0,000***
$VO_2$	r	0,223	-0,062	0,101	0,022
	p	0,000***	0,137	0,001***	0,320
v	r	0,102	0,198	0,199	0,157
	p	0,046*	0,000***	0,000***	0,000***

Bivariate Korrelation nach Pearson, Korrelationskoeffizient (r), zweiseitige Signifikanz (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Bei positiven Steigungen wurden sehr schwache bis schwach positive Korrelationen zwischen der Herzfrequenz und der Steigung berechnet, die mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p \leq 0,001$  als höchst signifikant einzustufen sind. Mit Ausnahme von Strecke 1 gilt dies auch für den Zusammenhang zwischen relativer Sauerstoffaufnahme und Steigung. Der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Steigung ist bei Strecke 1

und 3 und bei der Gesamtdarstellung negativ sowie höchst signifikant (s. Tab. 4-9).

Tab. 4-9: Zusammenhänge zwischen der Steigung und den individuellen Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei positiven Steigungen

n=9	Strecke	Steigung			Gesamt
		1	2	3	
Hf	r	0,185	0,181	0,257	0,217
	p	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
$VO_2$	r	0,045	0,149	0,286	0,184
	p	0,354	0,000***	0,000***	0,000***
v	r	-0,240	0,040	-0,239	-0,101
	p	0,000***	0,348	0,000***	0,000***

Bivariate Korrelation nach Pearson, Korrelationskoeffizient (r), zweiseitige Signifikanz (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

#### 4.4.2.2 Streckenlänge

Zusammenhänge zwischen Streckenlänge und Herzfrequenz können bei negativen Steigungen für Strecke 3 und für die Gesamtdarstellung statistisch belegt werden. Die Werte korrelieren sehr schwach positiv (Strecke 3:  $r = 0,093$ ; Gesamt:  $r = 0,156$ ) auf hochsignifikantem bzw. höchst signifikantem Niveau. Zwischen der relativen Sauerstoffaufnahme und der Streckenlänge ergibt sich für die drei Strecken ein sehr schwacher (Strecke 1:  $r = -0,114$ ; Strecke 3:  $r = -0,068$ ) bis schwacher (Strecke 2:  $r = -0,389$ ) negativer Zusammenhang mit statistischer Relevanz. Die Geschwindigkeit und die Streckenlänge korrelieren bei negativen Steigungen der Strecke 1 sehr schwach negativ ( $r = -0,168$ ) und bei Strecke 3 sehr schwach positiv ( $r = 0,088$ ) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p \leq 0,001$  bzw.  $p \leq 0,01$  (s. Tab. 4-10).

Tab. 4-10: Zusammenhänge zwischen der Streckenlänge und den individuellen Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>) und Geschwindigkeit (v) bei negativen Steigungen

n=9		Streckenlänge			
Strecke		1	2	3	Gesamt
Hf	r	-0,067	-0,046	0,093**	0,156
	p	0,185	0,263	0,003	0,000***
VO <sub>2</sub>	r	-0,114	-0,389	-0,068	-0,029
	p	0,025*	0,000***	0,034*	0,206
v	r	-0,168	0,039	0,088	0,023
	p	0,001***	0,342	0,006**	0,308

Bivariate Korrelation nach Pearson, Korrelationskoeffizient (r), zweiseitige Signifikanz (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Bei positiven Steigungen zeigt sich bei den Strecken 1 und 2 sowie bei der Gesamtdarstellung ein sehr schwach positiver und höchst bzw. hochsignifikanter Zusammenhang zwischen der Streckenlänge und der Herzfrequenz. Der Zusammenhang zwischen der relativen Sauerstoffaufnahme und der Streckenlänge erweist sich als sehr schwach negativ. Für die Strecken 2 und 3 und bei der Gesamtdarstellung ist diese Korrelation hoch- bzw. höchst signifikant. Zwischen der Geschwindigkeit und der Streckenlänge ergibt sich bei der Strecke 1 ein sehr schwach negativer Zusammenhang, der mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p \leq 0,05$  statistisch signifikant ist (s. Tab. 4-11).

Tab. 4-11: Zusammenhänge zwischen der Streckenlänge und den individuellen Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>) und Geschwindigkeit (v) bei positiven Steigungen

n=9		Streckenlänge			
Strecke		1	2	3	Gesamt
Hf	r	0,148	0,159	0,010	0,128
	p	0,002**	0,000***	0,739	0,000***
VO <sub>2</sub>	r	-0,002	-0,117**	-0,265	-0,079
	p	0,969	0,006**	0,000***	0,000***
v	r	-0,106	0,313	-0,005	0,004
	p	0,027*	0,000***	0,853	0,837

Bivariate Korrelation nach Pearson, Korrelationskoeffizient (r), zweiseitige Signifikanz (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

#### 4.4.2.3 Untergrund

Zwischen Herzfrequenz und Untergrund ergibt sich bei negativen Steigungen der Strecke 1 ein schwach positiver Zusammenhang auf höchst signifikantem Niveau ( $p \leq 0,001$ ). Bei der Korrelation von relativer Sauerstoffaufnahme und Untergrund zeigen sich höchst signifikante, positive Zusammenhänge bei den Strecken 1 und 2 in schwacher bis sehr schwacher Ausprägung. Bei der Gesamtdarstellung ist der Zusammenhang sehr schwach positiv und in einem Bereich von  $p \leq 0,05$  signifikant. Der Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und dem Untergrund bei negativen Steigungen ist tendenziell negativ. Eine statistische Signifikanz ergibt sich bei Strecke 2 und bei der Gesamtdarstellung (s. Tab. 4-12).

Tab. 4-12: Zusammenhänge zwischen dem Untergrund und den individuellen Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei negativen Steigungen

n=9		Untergrund			
Strecke		1	2	3	Gesamt
Hf	r	0,296	0,081	-0,012	0,002
	p	0,000***	0,05*	0,714	0,931
$VO_2$	r	0,270	0,147	0,013	0,045
	p	0,000***	0,000***	0,672	0,047*
v	r	-0,044	-0,089	-0,056	-0,084
	p	0,386	0,030*	0,077	0,000***

Bivariate Korrelation nach Pearson, Korrelationskoeffizient (r), zweiseitige Signifikanz (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Bei positiven Steigungen korrelieren die Herzfrequenz und der Untergrund bei den Strecken 1 und 3 und bei der Gesamtdarstellung schwach bis sehr schwach positiv. Diese Zusammenhänge sind bei Strecke 3 hochsignifikant ( $p \leq 0,01$ ) und bei Strecke 1 und der Gesamtdarstellung höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Zwischen relativer Sauerstoffaufnahme und Untergrund lässt sich bei den Strecken 1 und 3 und bei der Gesamtdarstellung ein schwacher bis sehr schwacher positiver Zusammenhang auf höchst signifikantem Niveau errechnen ( $p \leq 0,001$ ). Bei der Korrelation von Geschwindigkeit und Untergrund zeigen sich in Bereichen positiver Steigungen tendenziell negative Zusammenhänge. Statistisch signifikante Korrelationen ergeben sich dabei bei Strecke 3 und bei der Gesamtdarstellung (s. Tab. 4-13).

Tab. 4-13: Zusammenhänge zwischen dem Untergrund und den individuellen Parametern Herzfrequenz (Hf), relative Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) und Geschwindigkeit (v) bei positiven Steigungen

n=9		Untergrund			
Strecke		1	2	3	Gesamt
Hf	r	0,392	0,026	0,077	0,077
	p	0,000***	0,549	0,008**	0,000
$VO_2$	r	0,332	0,056	0,237	0,160
	p	0,000***	0,195	0,000***	0,000***
v	r	-0,066	-0,063	-0,109	-0,085
	p	0,170	0,144	0,000***	0,000***

Bivariate Korrelation nach Pearson, Korrelationskoeffizient (r), zweiseitige Signifikanz (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

## 4.5 Regressionsanalysen

In diesem Unterkapitel wird die Art der Zusammenhänge zwischen den individuellen Parametern Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und den Streckencharakteristika Streckenlänge, Steigung und Untergrund unter Anwendung der multiplen Regressionsanalyse dargestellt. Außerdem wird die Art des Zusammenhanges zwischen Geschwindigkeit und den physiologischen Parametern Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme aufgezeigt sowie zwischen der Geschwindigkeit und den Charakteristika der Strecke. Bei der Berechnung der multiplen Regression wurde zwischen positiven und negativen Steigungen differenziert (s. Kap. 3.5.1, S. 64). Tabellarisch sind Auszüge der Korrelationsmatrix (Korrelationskoeffizient  $r$  und einseitige Signifikanz  $p$ ), der Modellzusammenfassung (erklärte Varianz  $R^2$ ), der ANOVA (Signifikanz des F-Tests  $p_F$ ), der Koeffizienten (standardisierter Regressionskoeffizient  $\beta$ , Signifikanz des t-Tests  $p_t$ ) sowie die zugehörige Kollinearitätsstatistik (Toleranz Tol. und Varianzinflationsfaktor VIF) dargestellt.

### 4.5.1 Herzfrequenz

Tabelle 4-14 zeigt die ausgewählten Ergebnisse der multiplen Regression zwischen der Kriteriumsvariablen Herzfrequenz und den Prädiktorvariablen Streckenlänge, Steigung, Untergrund und Geschwindigkeit bei negativen Steigungen. Die erklärte Varianz zeigt, dass sich zwischen 1 und 17% der Varianz der Herzfrequenz durch die vier Prädiktoren erklären lassen. Die Signifikanzen des F-Tests zeigen in allen Fällen, dass das Modell gegen den Zufall abgesichert werden kann ( $p \leq 0,001$  bzw.  $p \leq 0,05$ ). Aufgrund der Toleranzwerte  $> 0,1$  und der Varianzinflationswerte  $< 10$  besteht kein Verdacht auf Multikollinearität.

Die standardisierten Regressionskoeffizienten belegen, dass innerhalb des vorliegenden Modells der Untergrund bei Strecke 1 den größten Einfluss auf die Herzfrequenz hat, während bei Strecke 2 die Steigung und

bei Strecke 3 die Streckenlänge den größten Einfluss nehmen. Bei der Zusammenfassung aller Strecken erweist sich die Streckenlänge als bedeutendster Prädiktor. Wie die Signifikanzen des t-Tests mit Werten von  $p \leq 0,01$  und  $p \leq 0,001$  bei der Zusammenfassung aller Strecken zeigen, nehmen alle Prädiktorvariablen einen Einfluss auf die Herzfrequenz.

Tab. 4-14: Zusammenhänge zwischen Herzfrequenz und Streckenlänge, Steigung, Untergrund und der Geschwindigkeit ( $v$ ) bei negativen Steigungen (multiple Regression)

Strecke		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	$v$	$R^2$	$p_F$
1	$r$	-0,067	0,119	0,296	0,202	0,169	0,000***
	$p$	0,093	0,010**	0,000***	0,000***		
	$\beta$	-0,144	0,177	0,366	0,182		
	$p_t$	0,005**	0,014*	0,000***	0,000***		
	VIF	1,183	1,037	1,139	1,036		
	Tol.	0,846	0,964	0,878	0,966		
2	$r$	-0,046	-0,261	0,081	-0,113	0,084	0,000***
	$p$	0,131	0,000***	0,025*	0,003**		
	$\beta$	-0,085	-0,270	0,048	-0,052		
	$p_t$	0,057	0,000***	0,272	0,205		
	VIF	1,244	1,103	1,187	1,053		
	Tol.	0,804	0,906	0,843	0,949		
3	$r$	0,093	0,024	-0,012	0,059	0,012	0,017*
	$p$	0,002**	0,223	0,357	0,032*		
	$\beta$	0,100	0,006	0,031	0,051		
	$p_t$	0,004**	0,846	0,369	0,119		
	VIF	1,198	1,047	1,187	1,047		
	Tol.	0,835	0,955	0,843	0,955		
Gesamt	$r$	0,156	-0,111	0,002	0,042	0,041	0,000***
	$p$	0,000***	0,000***	0,002**	0,033*		
	$\beta$	0,168	-0,111	0,065	0,061		
	$p_t$	0,000***	0,000***	0,005**	0,007**		
	VIF	1,126	1,031	1,129	1,034		
	Tol.	0,888	0,970	0,885	0,967		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des t-Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des F-Tests ( $p_F$ );  
 (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Bei positiven Steigungen können zwischen 6 und 22% der Varianzen der Herzfrequenz durch die Prädiktorvariablen vorhergesagt werden. Die Ergebnisse des F-Tests sind in allen Fällen höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ), so dass das Modell gegen den Zufall abgesichert werden kann. Aufgrund der Toleranzwerte  $> 0,1$  und der Varianzinflationswerte  $< 10$  besteht kein Verdacht auf Multikollinearität.

Die standardisierten Regressionskoeffizienten zeigen, dass die Stärke des Einflusses der einzelnen Prädiktorvariablen zwischen den Strecken variiert. Während bei positiven Steigungen der Strecke 1 der Untergrund den größten Einfluss auf die Herzfrequenz nimmt, ist es bei den Strecken 2 und 3 sowie bei der Zusammenfassung aller Strecken die Steigung. Bei Strecke 1 und 3 erweist sich die Geschwindigkeit als Prädiktorvariable mit dem zweitgrößten Einfluss auf die Herzfrequenz, während es bei Strecke 2 und der Zusammenfassung aller Strecken die Streckenlänge ist (s. Tab. 4-15).

Tab. 4-15: Zusammenhänge zwischen Herzfrequenz und Streckenlänge, Steigung, Untergrund und der Geschwindigkeit ( $v$ ) bei positiven Steigungen (multiple Regression)

Strecke		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	$v$	$R^2$	$p_F$
1	$r$	0,148	0,185	0,392	0,146	0,222	0,000***
	$p$	0,001**	0,000***	0,000***	0,001**		
	$\beta$	0,026	0,205	0,376	0,223		
	$p_t$	0,588	0,000***	0,000***	0,000***		
	<b>VIF</b>	1,276	1,099	1,259	1,080		
	<b>Tol.</b>	0,783	0,910	0,795	0,926		
2	$r$	0,159	0,181	0,026	0,088	0,060	0,000***
	$p$	0,000***	0,000***	0,275	0,020*		
	$\beta$	0,151	0,182	-0,001	0,034		
	$p_t$	0,001***	0,000***	0,978	0,446		
	<b>VIF</b>	1,123	1,012	1,025	1,122		
	<b>Tol.</b>	0,891	0,988	0,975	0,892		
3	$r$	0,010	0,257	0,077	-0,165	0,078	0,000***
	$p$	0,369	0,000***	0,004**	0,000***		
	$\beta$	0,036	0,223	0,038	-0,107		
	$p_t$	0,324	0,000***	0,306	0,000***		
	<b>VIF</b>	1,651	1,128	1,741	1,068		
	<b>Tol.</b>	0,606	0,887	0,574	0,936		
Gesamt	$r$	0,128	0,217	0,077	-0,049	0,073	0,000***
	$p$	0,000***	0,000***	0,000***	0,011*		
	$\beta$	0,162	0,200	0,106	-0,021		
	$p_t$	0,000***	0,000***	0,000***	0,318		
	<b>VIF</b>	1,134	1,026	1,157	1,016		
	<b>Tol.</b>	0,882	0,974	0,864	0,984		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des t-Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des F-Tests ( $p_F$ );  
 (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

#### 4.5.2 Relative Sauerstoffaufnahme

Tabelle 4-16 zeigt die ausgewählten Ergebnisse der multiplen Regression zwischen der Kriteriumsvariablen relative Sauerstoffaufnahme und den Prädiktorvariablen Streckenlänge, Steigung, Untergrund und Geschwindigkeit bei negativen Steigungen.

$R^2$  gibt an, dass zwischen 3 und 26% der Varianzen der relativen Sauerstoffaufnahme durch die vier Prädiktoren erklärt werden können. Aufgrund der Toleranzwerte  $> 0,1$  und der Varianzinflationswerte  $< 10$  besteht kein Verdacht auf Multikollinearität.

Anhand des standardisierten Regressionskoeffizienten wird ersichtlich, dass bei Strecke 1 der Untergrund, bei Strecke 2 die Streckenlänge und bei Strecke 3 sowie bei der Zusammenfassung aller Strecken die Geschwindigkeit den größten Einfluss auf die relative Sauerstoffaufnahme nimmt. Anhand der Signifikanzen des t-Tests zeigt sich, dass bei Strecke 1 alle vier Prädiktorvariablen einen Einfluss auf die Kriteriumsvariable haben ( $p \leq 0,05$  bzw.  $p \leq 0,001$ ). Bei negativen Steigungen der Strecke 2 und 3 kann ein Einfluss des Untergrundes auf die relative Sauerstoffaufnahme nicht berechnet werden und bei der Zusammenfassung aller Strecken ist ein Einfluss von Streckenlänge und Steigung nicht nachweisbar.

Tab. 4-16: Zusammenhänge zwischen relativer Sauerstoffaufnahme und Streckenlänge, Steigung, Untergrund und der Geschwindigkeit ( $v$ ) bei negativen Steigungen (multiple Regression)

Strecke		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	$v$	$R^2$	$p_F$
1	$r$	-0,114	0,223	0,270	0,327	0,258	0,000***
	$p$	0,012*	0,000***	0,000***	0,000***		
	$\beta$	-0,154	0,208	0,360	0,296		
	$p_t$	0,001***	0,000***	0,000***	0,000***		
	<b>VIF</b>	1,183	1,037	1,139	1,036		
	<b>Tol.</b>	0,846	0,964	0,878	0,966		
2	$r$	-0,389	-0,062	0,147	0,045	0,182	0,000***
	$p$	0,000***	0,068	0,000***	0,141		
	$\beta$	-0,434	-0,175	-0,009	0,096		
	$p_t$	0,000***	0,000***	0,831	0,013*		
	<b>VIF</b>	1,244	1,103	1,187	1,053		
	<b>Tol.</b>	0,804	0,906	0,843	0,949		
3	$r$	-0,068	0,101	0,013	0,126	0,029	0,000***
	$p$	0,017*	0,001***	0,336	0,000***		
	$\beta$	-0,091	0,086	-0,014	0,116		
	$p_t$	0,009**	0,008**	0,683	0,000***		
	<b>VIF</b>	1,198	1,047	1,187	1,047		
	<b>Tol.</b>	0,835	0,955	0,843	0,955		
Gesamt	$r$	-0,029	0,022	0,045	0,146	0,025	0,000***
	$p$	0,103	0,160	0,024*	0,000***		
	$\beta$	-0,015	-0,004	0,053	0,152		
	$p_t$	0,528	0,870	0,026*	0,000***		
	<b>VIF</b>	1,126	1,031	1,129	1,034		
	<b>Tol.</b>	0,888	0,970	0,885	0,967		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des t-Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des F-Tests ( $p_F$ );  
 (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Bei positiven Steigungen können zwischen 4 und 27% der Varianzen der relativen Sauerstoffaufnahme durch die Prädiktorvariablen vorhergesagt werden. Die Ergebnisse des F-Tests sind in allen Fällen höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ), so dass das Modell gegen den Zufall abgesichert werden kann. Aufgrund der Toleranzwerte  $> 0,1$  und der Varianzinflationswerte  $< 10$  besteht kein Verdacht auf Multikollinearität.

Die standardisierten Regressionskoeffizienten zeigen, dass die Stärke des Einflusses der einzelnen Prädiktorvariablen zwischen den Strecken variiert. Während bei Strecke 1 der Untergrund den größten Einfluss auf die relative Sauerstoffaufnahme nimmt, erweist sich bei den Strecken 2 und 3 sowie bei der Zusammenfassung aller Strecken die Steigung als Prädiktorvariable mit dem größten Einfluss auf die relative Sauerstoffaufnahme.

Anhand der Signifikanzen des t-Tests wird deutlich, dass der Einfluss der Steigung auf die relative Sauerstoffaufnahme bei Strecke 1 nicht gegeben ist. Bei den Strecken 2 und 3 können Einflüsse durch den Untergrund und die Geschwindigkeit nicht nachgewiesen werden. Bei der Gesamtdarstellung aller Strecken zeigt der t-Test ein höchst signifikantes Ergebnis ( $p \leq 0,001$ ) für die Beeinflussung durch Streckenlänge, Steigung und Untergrund. Ein Einfluss der Geschwindigkeit kann in diesem Fall nicht bestätigt werden (s. Tab. 4-17).

Tab. 4-17: Zusammenhänge zwischen relativer Sauerstoffaufnahme und Streckenlänge, Steigung, Untergrund und der Geschwindigkeit ( $v$ ) bei positiven Steigungen (multiple Regression)

Strecke		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	$v$	$R^2$	$p_F$
1	$r$	-0,002	0,045	0,332	0,341	0,266	0,000***
	$p$	0,484	0,177	0,000***	0,000***		
	$\beta$	-0,130	0,085	0,405	0,374		
	$p_t$	0,006**	0,051	0,000***	0,000***		
	VIF	1,276	1,099	1,259	1,080		
Tol.	0,783	0,910	0,795	0,926			
2	$r$	-0,117	0,149	0,056	-0,063	0,039	0,000***
	$p$	0,003**	0,000***	0,098	0,070		
	$\beta$	-0,110	0,144	0,049	-0,032		
	$p_t$	0,015*	0,001***	0,249	0,478		
	VIF	1,123	1,012	1,025	1,122		
Tol.	0,891	0,988	0,975	0,892			
3	$r$	-0,265	0,286	0,237	-0,083	0,150	0,000***
	$p$	0,000***	0,000***	0,000***	0,002**		
	$\beta$	-0,247	0,273	0,024	-0,017		
	$p_t$	0,000***	0,000***	0,511	0,545		
	VIF	1,651	1,128	1,741	1,068		
Tol.	0,606	0,887	0,574	0,936			
Gesamt	$r$	-0,079	0,184	0,160	-0,022	0,054	0,000***
	$p$	0,000***	0,000***	0,000***	0,155		
	$\beta$	-0,037	0,169	0,128	0,006		
	$p_t$	0,000***	0,000***	0,000***	0,777		
	VIF	1,134	1,026	1,157	1,016		
Tol.	0,882	0,974	0,864	0,984			

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des  $t$ -Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des  $F$ -Tests ( $p_F$ );  
 (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

### 4.5.3 Geschwindigkeit

Die Tabelle 4-18 zeigt die ausgewählten Ergebnisse der multiplen Regression zwischen der Kriteriumsvariablen Geschwindigkeit und den Prädiktorvariablen Streckenlänge, Steigung und Untergrund bei negativen Steigungen.  $R^2$  gibt an, dass zwischen 3 und 5% der Varianzen der relativen Sauerstoffaufnahme durch die drei Prädiktoren erklärt werden können. Die Ergebnisse des F-Tests sind in allen Fällen hoch- bzw. höchst signifikant ( $p \leq 0,01$ ;  $p \leq 0,001$ ), so dass das Modell gegen den Zufall abgesichert werden kann. Aufgrund der Toleranzwerte  $> 0,1$  und der Varianzinflationswerte  $< 10$  besteht kein Verdacht auf Multikollinearität.

Die standardisierten Regressionskoeffizienten belegen, dass die Stärke des Einflusses der einzelnen Prädiktorvariablen zwischen den Strecken variiert. Während bei negativen Steigungen der Strecke 1 die Streckenlänge den größten Einfluss auf die Geschwindigkeit nimmt, erweist sich bei der Zusammenfassung aller Strecken die Steigung als Prädiktorvariable mit dem größten Einfluss auf die Geschwindigkeit.

Anhand der Signifikanzen des t-Tests wird deutlich, dass bei den Strecken 2 und 3 einzig die Steigung einen Einfluss auf die Geschwindigkeit hat ( $p \leq 0,001$ ). Ein Einfluss der Streckenlänge und des Untergrundes kann nicht nachgewiesen werden. Bei der Zusammenfassung aller Strecken kann ein Einfluss der Streckenlänge nicht bestätigt werden.

Tab. 4-18: Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Streckenlänge, Steigung und Untergrund bei negativen Steigungen (multiple Regression)

Strecke		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	R <sup>2</sup>	p <sub>F</sub>
1	r	-0,168	0,102	-0,044	0,034	0,004**
	p	0,000***	0,023*	0,193		
	β	-0,163	0,077	0,020		
	p <sub>t</sub>	0,003**	0,130	0,704		
	VIF	1,155	1,031	1,139		
	Tol.	0,866	0,970	0,878		
2	r	0,039	0,198	-0,089	0,051	0,000***
	p	0,171	0,000***	0,015*		
	β	0,058	0,212	-0,070		
	p <sub>t</sub>	0,195	0,000***	0,111		
	VIF	1,240	1,056	1,182		
	Tol.	0,806	0,947	0,846		
3	r	0,088	0,199	-0,056	0,045	0,000***
	p	0,003**	0,000***	0,038*		
	β	0,060	0,193	-0,028		
	p <sub>t</sub>	0,077	0,000***	0,407		
	VIF	1,194	1,008	1,186		
	Tol.	0,837	0,992	0,843		
Gesamt	r	0,023	0,157	-0,084	0,033	0,000***
	p	0,154	0,000***	0,000***		
	β	0,005	0,160	-0,087		
	p <sub>t</sub>	0,829	0,000***	0,000***		
	VIF	1,126	1,004	1,122		
	Tol.	0,888	0,996	0,892		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des t-Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des F-Tests ( $p_F$ );  
 (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Bei positiven Steigungen können zwischen 2 und 11% der Varianzen der Geschwindigkeit durch die Prädiktorvariablen vorhergesagt werden. Die Ergebnisse des F-Tests sind in allen Fällen höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ), so dass das Modell gegen den Zufall abgesichert werden kann. Aufgrund der Toleranzwerte  $> 0,1$  und der Varianzinflationswerte  $< 10$  besteht kein Verdacht auf Multikollinearität.

Die standardisierten Regressionskoeffizienten zeigen, dass die Stärke des Einflusses der einzelnen Prädiktorvariablen zwischen den Strecken variiert. Während bei den Strecken 1 und 3 sowie bei der Zusammenfassung aller Strecken die Prädiktorvariable Steigung den größten Einfluss auf die Geschwindigkeit nimmt, erweist sich bei Strecke 2 die Streckenlänge als Prädiktorvariable mit dem größten Einfluss auf die Geschwindigkeit.

Anhand der Signifikanzen des t-Tests wird ersichtlich, dass bei Strecke 3 alle Prädiktorvariablen einen Einfluss auf das Regressionsmodell haben, während bei Strecke 2 der Einfluss der Steigung auf die Geschwindigkeit nicht bestätigt werden kann. Bei Strecke 1 kann ein Einfluss des Untergrundes und bei der Zusammenfassung aller Strecken ein Einfluss der Streckenlänge auf die Geschwindigkeit nicht bestätigt werden (s. Tab. 4-19).

Tab. 4-19: Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Streckenlänge, Steigung und Untergrund bei positiven Steigungen (multiple Regression)

Strecke		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	R <sup>2</sup>	p <sub>F</sub>
1	r	-0,106	-0,240	-0,066	0,074	0,000***
	p	0,013**	0,000***	0,085		
	β	-0,135	-0,253	0,017		
	p <sub>t</sub>	0,009**	0,000***	0,750		
	Tol.	0,796	0,971	0,795		
2	r	0,313	0,040	-0,063	0,108	0,000***
	p	0,000***	0,174	0,072		
	β	0,321	0,053	-0,094		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,192	0,022*		
	Tol.	0,993	0,991	0,985		
3	r	-0,005	-0,239	-0,109	0,064	0,000***
	p	0,427	0,000***	0,000***		
	β	-0,074	-0,216	-0,107		
	p <sub>t</sub>	0,042*	0,000***	0,004**		
	Tol.	0,608	0,928	0,579		
Gesamt	r	0,004	-0,101	-0,085	0,016	0,000***
	p	0,418	0,000***	0,000***		
	β	-0,022	-0,091	-0,081		
	p <sub>t</sub>	0,328	0,000***	0,000***		
	Tol.	0,882	0,982	0,869		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des t-Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des F-Tests ( $p_F$ );  
 (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

## 4.6 Belastungsintensitäten und Geschwindigkeiten

Zum Abschluss der Ergebnisdarstellung werden die Belastungsintensitäten der drei Teststrecken im Verhältnis zu der maximalen Herzfrequenz und der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme sowie die zugehörigen mittleren Geschwindigkeiten innerhalb der definierten Steigungsabschnitte dargestellt.

### 4.6.1 Belastungsintensitäten und Geschwindigkeiten der Strecke 1

Die mittleren Belastungsintensitäten auf der leichten Teststrecke 1 liegen zwischen  $75,4 (\pm 5,3) \%$  und  $85,8 (\pm 7,2) \%$  der  $Hf_{\max}$  bzw.  $43,2 (\pm 8,4) \%$  und  $67,3 (\pm 17,4) \%$  der  $VO_{2\max}$ . Die mittlere Fortbewegungsgeschwindigkeit zeigt bei einem Gefälle zwischen  $-15$  und  $-10\%$  mit  $1,89 (\pm 0,34) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  den höchsten Wert und fällt im Bereich zwischen  $10$  und  $15\%$  Steigung mit  $1,52 (\pm 0,19) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  am geringsten aus (s. Abb. 4-32).

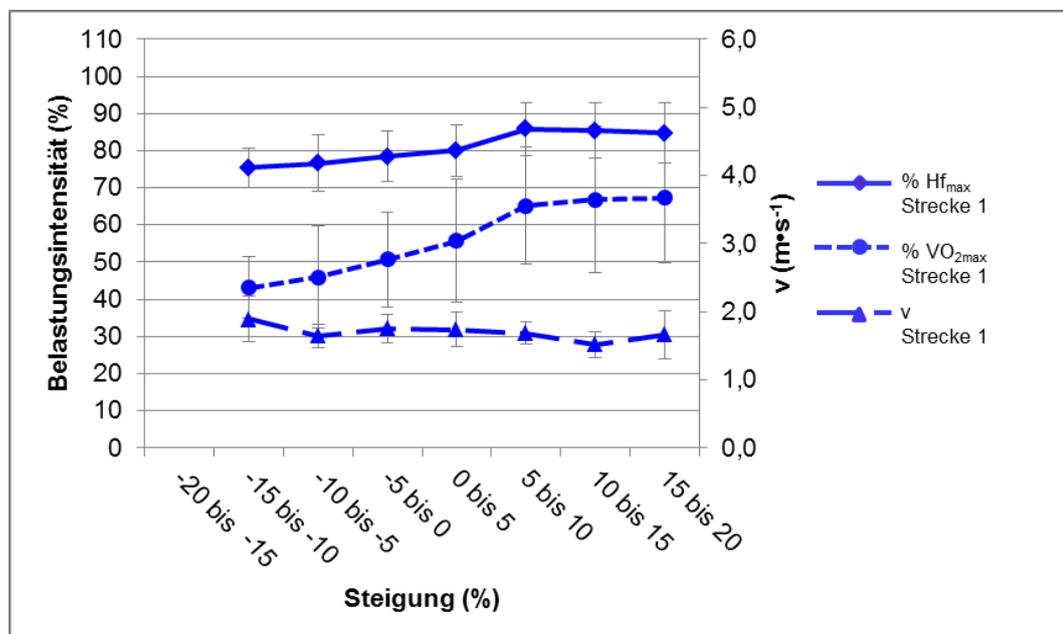


Abb. 4-32: Strecke 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Belastungsintensitäten im Verhältnis zu der maximalen Herzfrequenz ( $\% Hf_{\max}$ ) und der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme ( $\% VO_{2\max}$ ) sowie der Geschwindigkeit ( $v$ ) innerhalb der definierten Steigungsabschnitte,  $n=9$

#### 4.6.2 Belastungsintensitäten und Geschwindigkeiten der Strecke 2

Abbildung 4-33 zeigt die Belastungsintensitäten der mittelschwerigen Teststrecke 2 und die zugehörigen Fortbewegungsgeschwindigkeiten innerhalb der definierten Steigungsabschnitte. Die mittleren Belastungsintensitäten liegen zwischen  $78,6 (\pm 8,7) \%$  und  $86,5 (\pm 9,7) \%$  der  $Hf_{\max}$  bzw.  $46,1 (\pm 10,9) \%$  und  $65,5 (\pm 12,6) \%$  der  $VO_{2\max}$ . Im Bereich negativer Steigungen bleibt die mittlere Geschwindigkeit nahezu konstant ( $1,85 (\pm 0,25) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und  $1,84 (\pm 0,17) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), während die Belastungsintensitäten kontinuierlich bis auf  $46,1 (\pm 10,8) \%$  der  $VO_{2\max}$  abnehmen. In Bezug auf die maximale Herzfrequenz verringern sich die Belastungsintensitäten bis zum Abschnitt -5 bis -10%, bleiben aber bei größerem Gefälle nahezu konstant ( $79,1\%$  bzw.  $78,6 \%$   $Hf_{\max}$ ). Bei positiven Steigungen nehmen die Belastungsintensitäten tendenziell zu, während sich die mittlere Geschwindigkeit bis auf  $1,65 (\pm 0,29) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bei 15 und 20% Steigung verringert.

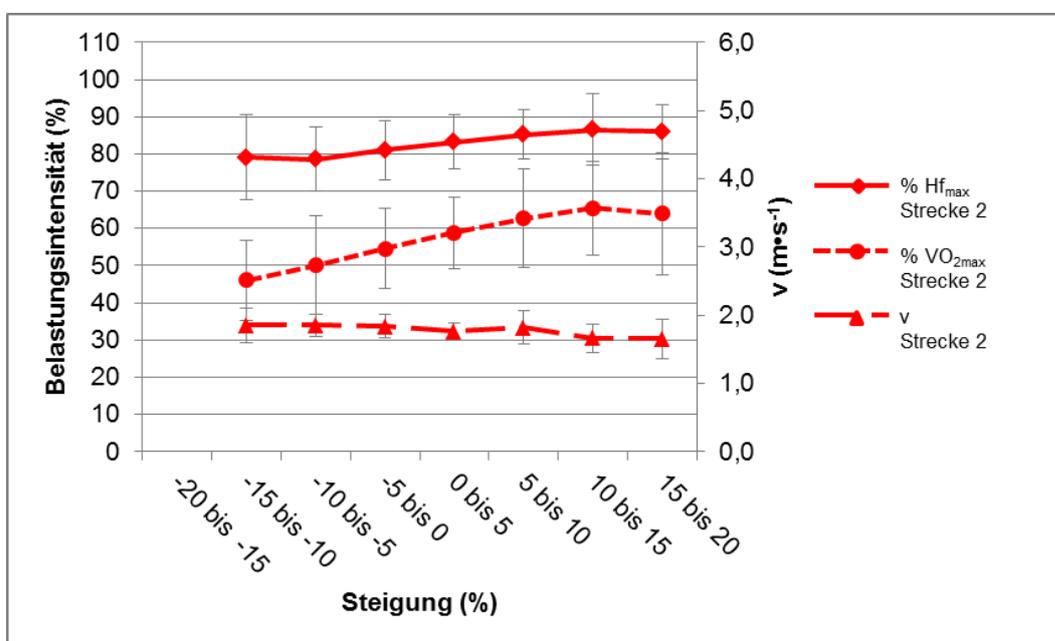


Abb. 4-33: Strecke 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Belastungsintensitäten im Verhältnis zu der maximalen Herzfrequenz ( $\% Hf_{\max}$ ) und der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme ( $\% VO_{2\max}$ ) sowie der Geschwindigkeit ( $v$ ) innerhalb der definierten Steigungsabschnitte,  $n=9$

### 4.6.3 Belastungsintensitäten und Geschwindigkeiten der Strecke 3

Abbildung 4-34 zeigt die Belastungsintensitäten der schwierigen Teststrecke 3 und die zugehörigen Fortbewegungsgeschwindigkeiten innerhalb der definierten Steigungsabschnitte. Die mittlere Geschwindigkeit bleibt im Bereich negativer Steigungen nahezu konstant, während sich die Belastungsintensitäten im Verhältnis zu der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme und der maximalen Herzfrequenz kontinuierlich bis auf  $45,3 (\pm 13,4) \%$  der  $VO_{2max}$  bzw.  $78,7 (\pm 7,5) \%$  der  $Hf_{max}$  reduzieren. Bei positiven Steigungen kommt es zu einer kontinuierlichen Reduktion der Fortbewegungsgeschwindigkeit bis auf  $1,33 (\pm 0,17) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und zu einem kurvenförmigen Anstieg der Belastungsintensitäten bis zu  $79 (\pm 19,5) \%$   $VO_{2max}$  bzw.  $94,4 (\pm 11,1) \%$  der  $Hf_{max}$  zwischen 15 und 20% Steigung.

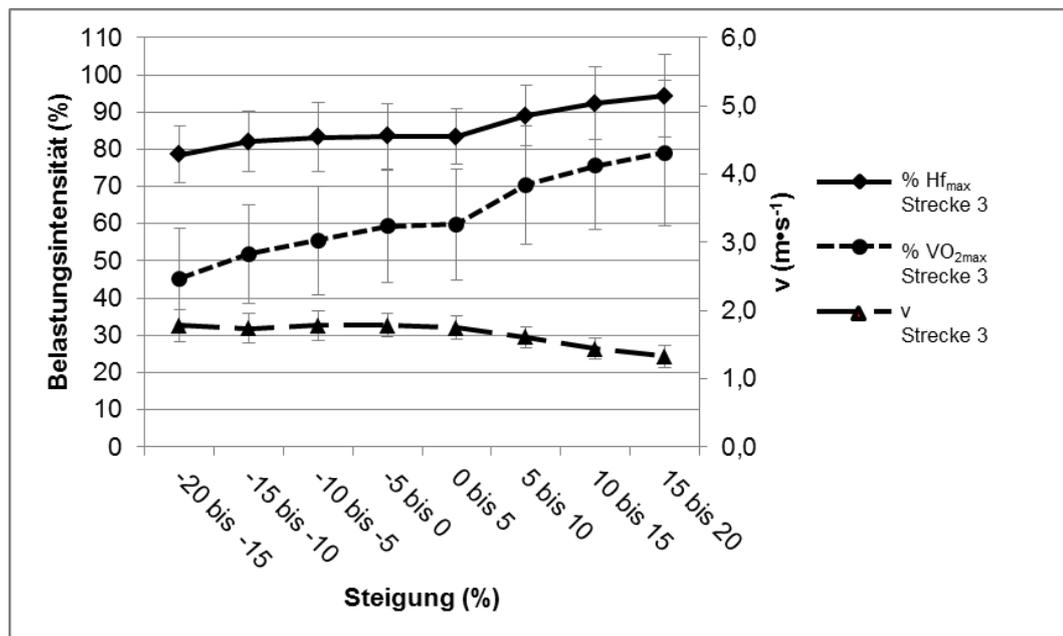


Abb. 4-34: Strecke 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Belastungsintensitäten im Verhältnis zu der maximalen Herzfrequenz ( $\% Hf_{max}$ ) und der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme ( $\% VO_{2max}$ ) sowie der Geschwindigkeit ( $v$ ) innerhalb der definierten Steigungsabschnitte,  $n=9$

## 5 Diskussion

Das primäre Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Einflüsse der für Nordic Walking Strecken charakteristischen Eigenschaften Steigung, Streckenlänge und Untergrund in Bezug auf die Leistungsparameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit beim Nordic Walking im Feld zu untersuchen. Als sekundäres Ziel gilt es, diese Größen miteinander in Verbindung zu setzen, individuelle Strategien zur Regulation der Belastung zu identifizieren und daraus ableitend die streckenbezogenen Einflussgrößen und die resultierenden Leistungsparameter aus gesundheitlicher Sicht zu bewerten.

In diesem Zusammenhang beschäftigen sich bestehende Studien fast ausschließlich mit den Auswirkungen eines einzelnen Streckenparameters auf die Leistung, ohne zu berücksichtigen, wie sich der Nordic Walker selbst in seinem sportartspezifischen Umfeld und unter trainingsnahen Bedingungen verhält. Feldnahe Untersuchungen, die auch auf internale oder individuelle Regulationsmechanismen beim Nordic Walking fokussieren, existieren bislang nicht. Ein besonderes Augenmerk wird daher auf die Fortbewegungsgeschwindigkeit als mögliches individuelles Regulativ der Belastungsintensität gelegt.

### 5.1 Diskussion der Methodik

Grundlegend für die Gestaltung des Untersuchungsdesigns waren die Aussagen von DICKHUTH (2000), HOLLMANN und STRÜDER (2009), LARSSON (2003) und PICKENHAIN et al. (1993), die beschreiben, dass durch eine kontrollierte Testsituation in einem Labor keine sportartspezifische Leistung gemessen werden kann bzw. nicht alle sportartspezifischen Ergometer die typischen motorischen Belastungen in der jeweiligen Sportart widerspiegeln. Nicht nur DECHMAN et al. (2012) ermittelten beim Nordic

Walking im Feld signifikant höhere Werte der Herzfrequenz und der relativen Sauerstoffaufnahme als im Labor auf einem sportartspezifischen Laufband. Auch LEONARDI und SCHENA (2006) beschreiben, dass der Energieverbrauch im Feld höher liegt als unter Laborbedingungen. Ursächlich dafür seien u.a. ein unüblicher Rhythmusverlust oder differierende Schrittlängen. Nach SCHIFFER et al. (2006) und PREUß et al. (2008) ist im Bereich des Nordic Walkings eine Untersuchung im Feld aufgrund der höheren Affinität zur Bewegungsform aussagekräftiger (s. Kap. 2.4, S. 46). Außerdem ist eine gesundheitsbezogene Aussage nicht zuletzt auch wegen der aufgezeigten veränderten Belastung im Feld erst sinnvoll, wenn diese Parameter an dem Ort erhoben werden, an dem auch die freizeitsportliche Aktivität ausgeführt wird. Aus diesem Grund wurde der Feldtest als geeignetes Testdesign ausgewählt, um die sportartspezifische Leistung beim Nordic Walking auf ausgewiesenen Nordic Walking Strecken des DSV zu messen.

Die Problematik von Messungen im Feld liegt in erster Linie in der „Inkonstanz der Untersuchungsbedingungen“ (DE MARÉES 2003, 443). Differierende klimatische Faktoren wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind können nicht eliminiert werden. Die Auswirkungen dieser Klimafaktoren auf die sportliche Aktivität bzw. physiologischen Faktoren (z. B. Sauerstoffverbrauch und Körpertemperatur) sind dabei abhängig von dem Verhältnis zwischen Wärmeverlust und Wärmeproduktion des Aktiven. Diese Parameter hängen wiederum mit der Intensität der Belastung, der Isolation durch Kleidung und dem Unterhautfettgewebe zusammen (MCARDLE et al. 2010, WELLER 1997a). Insgesamt wird den Klimafaktoren bei sportlichen Aktivitäten mit einer Belastung von mehr als 60% der maximalen Sauerstoffaufnahme und einer Dauer von weniger als 120 min eine nur sehr geringe Auswirkung auf die Körpertemperatur und den Metabolismus der Aktiven zugesprochen. Die Wärmeproduktion durch die Aktivität der Aktiven gleicht den durch die Umgebungsbedingungen hervorgerufenen potentiellen Wärmeverlust in der Regel wieder aus (PUGH 1967, WELLER et al. 1997a, 1997b). Auch HETTINGER et al. (1989) bestätig-

ten schon vor mehr als 20 Jahren, dass der Einfluss der Klimasituation auf den Arbeitsenergieumsatz als gering einzustufen ist, solange es nicht zum Kältezittern kommt. Außerdem zeigte PUGH (1971), dass der Einfluss von Luftwiderstand und Wind auf die Sauerstoffaufnahme beim Gehen bei Windgeschwindigkeiten bis zu  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  minimal ist. Als Konsequenz wurde beim Untersuchungsdesign und an den Testtagen auf diese Aussagen der Literatur (s. Kap. 2.3, S. 32) besonders geachtet. Alle Messungen wurden nur an solchen Tagen durchgeführt, die klimatisch keinen Einfluss auf die Untersuchung ausübten. Wie die Aufzeichnungen der Klimafaktoren an den Testtagen der vorliegenden Studie zeigen (s. Abb. 3-2, S. 51), lagen die Durchschnittstemperaturen zwischen  $3^\circ$  und  $12^\circ\text{C}$ , die Luftfeuchtigkeit zwischen 57 und 94% (ohne Regen oder Schneefall), die Windgeschwindigkeiten bei maximal  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und die Belastungsdauer bei  $< 95 \text{ min}$ . Auswirkungen der klimatischen Bedingungen auf die erhobenen Parameter können innerhalb der vorliegenden Studie demnach vernachlässigt werden.

Auch eine Beeinflussung der Probanden aufgrund der Höhe kann in der vorliegenden Untersuchung ausgeschlossen werden. Die Teststrecken waren in Höhenlagen zwischen 210 und 436 m lokalisiert und laut MAZZEO (2008) werden erste signifikante Veränderungen der maximalen Sauerstoffaufnahme aufgrund der Höhe erst ab ca. 600 m relevant. Dahingegen kann bei submaximalen Intensitäten in diesen Höhenlagen keinerlei Einflussnahme auf die Sauerstoffaufnahme gegenüber der Sauerstoffaufnahme auf Meereshöhe belegt werden (s. Kap. 2.3, S. 33). Auch beim Nordic Walking in Höhen- (1600 m) und Tallagen (600 m) konnte ein Einfluss der Höhe auf die physiologischen Parameter und das subjektive Belastungsempfinden nicht nachgewiesen werden (ZISCHG und SPAZIER 2004).

Die Orientierung auf den bekannten Teststrecken erfolgte selbstständig anhand der Streckenbeschilderung, so dass eine Einflussnahme durch den Testleiter ausgeschlossen werden kann. Alle Strecken waren den Probanden bekannt. Anhand der GPS Aufzeichnungen konnte die richtige

Streckenwahl überprüft und bestätigt werden. Außerdem kam es nach Aussage der Probanden zu keinerlei besonderen Vorkommnissen während der Testdurchführung. Einzig ein fehlendes Streckenschild wurde einmalig bemängelt, welches aufgrund der bekannten Streckenführung keinerlei nennenswerte Beeinträchtigung mit sich brachte. Der Mangel wurde durch den Testleiter im Anschluss behoben, so dass keine Einflussnahme auf die Probanden möglich war. Trotzdem darf nicht vernachlässigt werden, dass auch kleinere Ereignisse, wie z. B. ein Zusammentreffen mit anderen Personen wie Wanderern oder Mountainbikern zu kurzfristigen physiologischen Reaktionen führen können (AINSLIE et al. 2003a, 2003b, McARDLE et al. 2010). Ebenso können Modifikationen der Nordic Walking Technik z. B. aufgrund von Ermüdung nicht ausgeschlossen werden, die aber letztlich die reale Situation im Feld widerspiegeln. Laut Auskunft der Probanden kam es zu keinen Unregelmäßigkeiten auf den Strecken, die die Qualität der Messung beeinträchtigt hätten.

Vor Beginn eines jeden Testdurchlaufes wurde eine Messung der Herzfrequenz und der relativen Sauerstoffaufnahme in körperlicher Ruhe (sitzend) durchgeführt. Um physiologische Reaktionen aufgrund äußerer Faktoren zu minimieren, hielten die Probanden ihre Augen geschlossen. Eine akustische Abschottung konnte jedoch nicht gewährleistet werden. Trotzdem wurden durch die immer gleichen Testsituationen und die weitgehend identischen Voraussetzungen keine abweichenden Ruhewerte ermittelt (s. Kap. 4.1.1, S. 72f.).

Als abschließender Kritikpunkt der Methodik sei die geringe Anzahl der Probanden genannt, die die Möglichkeit einer Verallgemeinerung der Testergebnisse einschränkt. Der geringen Probandenzahl steht jedoch die große Anzahl an Messwerten gegenüber. Über die gesamte Testdauer wurden sowohl die Lagedaten (dGPS: Leica-SR 530) als auch die physiologischen Parameter Herzfrequenz (Brustgurt: Polar) und Atemgase (mobiles Spirometrie-System: ZAN 600 Mobile) kontinuierlich aufgezeichnet, so dass eine umfangreiche Datengrundlage für die Einzelpersonen

gegeben ist. Auch wenn die Anzahl der Probanden zu gering ist, um allgemeingültige Aussagen treffen zu können, lassen sich für die Stichprobe dennoch viele statistisch signifikante Ergebnisse aufzeigen, die eine fundierte Grundlage für mögliche Folgestudien (s. Kap. 5.3, S. 183ff.) in diesem Bereich bilden.

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse**

Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt in Anlehnung an die Ergebnisdarstellung in Kapitel 4. So werden zunächst die Ruhewerte und die Mittelwerte der Strecken analysiert, bevor die Einflussfaktoren der Strecke (Steigung, Streckenlänge und Untergrund) auf die individuellen Parameter (Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit) mit der Literatur verglichen werden. Abschließend werden die Einzelergebnisse der Korrelations- und Regressionsanalysen im Zusammenhang mit den anderen Studienergebnissen diskutiert. Die wichtigsten Erkenntnisse der Diskussion bilden die Grundlage für die Konsequenzen der Studie und geben einen Ausblick auf mögliche weitere Untersuchungen.

### **5.2.1 Messwerte in körperlicher Ruhe**

#### **5.2.1.1 Messwerte in körperlicher Ruhe vor der Belastung**

Die gemessenen Herzfrequenzwerte in körperlicher Ruhe vor Belastungsbeginn stimmen mit  $72,6 (\pm 8,1) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  mit den vorhandenen Normdaten in der Literatur von 60 bis  $90 \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  überein (DE MARÉES 2003, DICKHUTH 2000, HOLLMANN et al. 2006). Beim Probandenkollektiv handelt es sich eher um Freizeitsportler als um stark Ausdauer trainierte Personen, für die Herzfrequenzanpassungen in Ruhe von unter  $60 \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  beschrieben

werden (MCARDLE et al. 2010). Auch die Selbstauskunft der Probanden über ihren sportlichen Werdegang korrespondiert mit dieser Aussage.

Die Ruhewerte der relativen Sauerstoffaufnahme liegen mit  $4,27 (\pm 2,41) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  geringfügig höher als die in der Literatur mit  $3,5\text{-}4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  angegebenen Werte, wobei sich auch unter standardisierten Messbedingungen intraindividuelle Schwankungen von 2-6% zeigen (DE MARÉES 2003, MÜLLER et al. 2006, RÜHLE 2008, SCHMIDT und LANG 2007). Eine mögliche Ursache für diese Erhöhung könnte in dem kurzen Weg vom Parkplatz zum Startpunkt liegen, bei dem bereits eine geringe körperliche Aktivität stattgefunden hat und auch eine nahrungsinduzierte Thermogenese könnte den Sauerstoffverbrauch erhöht haben. Zwar haben die Probanden angegeben 1,5 Stunden vor dem Test keine Nahrung mehr zu sich genommen zu haben, doch ist der Energiegehalt der aufgenommenen Nahrung von entscheidender Bedeutung dafür, wie lange die Folgen der Nahrungsaufnahme nachweisbar sind (MÜLLER et al. 2004, 2006). Vor der Studie wurden die Probanden auf eine kontrollierte Nahrungsaufnahme aufmerksam gemacht und vor Testbeginn wurde eine Befragung zur Nahrungsaufnahme durchgeführt. In diesen Protokollen konnten keine Unregelmäßigkeiten festgestellt werden.

Der sehr viel höhere Mittelwert bei der relativen Sauerstoffaufnahme vor Beginn der Strecke 3 lässt sich auf den unverhältnismäßig hohen Wert von Probandin 2 reduzieren. Mögliche Ursache für einen derartig hohen Wert könnte eine Vorstartreaktion sein, die mit erhöhten Katecholaminwerten einhergeht und auch die Atmung aktiviert (NEUMANN et al. 2010, SMOLLE 1998). Die Sichtung des Fragebogens hinsichtlich der körperlichen Aktivität und der Nahrungsaufnahme lässt keinen weiteren Rückschluss auf eine mögliche Ursache zu.

### 5.2.1.2 Messwerte in körperlicher Ruhe nach der Belastung

Die Messwerte in körperlicher Ruhe 3 min nach Belastungsende weisen im Streckenvergleich erhebliche Differenzen auf. Entsprechend des Schwierigkeitsgrades der zurückgelegten Wege fallen die Werte mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad tendenziell höher aus. Bei den Herzfrequenzwerten sind diese Unterschiede zwischen Strecke 1 und 3 und zwischen Strecke 2 und 3 signifikant, bei der Sauerstoffaufnahme lediglich zwischen Strecke 1 und 3 (s. Tab. 4-5, S. 75). Dies bestätigt die Aussage von DE MARÉES (2003, 457), dass „das Herzfrequenzverhalten nach Belastungsende sowohl von der vorausgegangenen Belastungsintensität als auch der Belastungsdauer abhängig ist und darüber hinaus eine erhebliche interindividuelle Variabilität berücksichtigt werden muss“. HOLLMANN und STRÜDER (2009) geben hingegen an, dass die Dauer der Herzfrequenzerholung maßgeblich von der vorausgegangenen Belastungsintensität und nur in geringem Maße von der Belastungsdauer abhängt. Einigkeit herrscht aber darüber, dass die Sauerstoffaufnahme nach Belastungsende immer über dem Maß des zu Belastungsbeginn eingegangenen Sauerstoffdefizits liegt (DE MARÉES 2003, HOLLMANN und STRÜDER 2009, MCARDLE et al. 2010). Auch ein Einfluss der Belastungsart, des Trainingszustandes und des Geschlechts kann nicht ausgeschlossen werden (BØRSHEIM und BAHR 2003, XU und RHODES 1999). Insgesamt zeigen die Werte der Probanden in der vorliegenden Arbeit somit in Ruhe vor und 3 min nach der Belastung keine abweichenden Auffälligkeiten, sondern bestätigen die in der einschlägigen Literatur beschriebene physiologische Reaktionslage. Zum einen ist dies ein Indiz dafür, dass die Wahl der Probanden einer normalen gesunden Population entstammt. Zum anderen können mögliche Auswirkungen externer Faktoren wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Höhe, wie bereits in Kapitel 2.3 und 5.1 beschrieben, vernachlässigt werden, da die Reaktionen der Probanden der Norm folgten.

Die unterschiedlichen Herzfrequenz- und Sauerstoffaufnahmewerte der Messung in körperlicher Ruhe nach der Belastung geben das subjektive

Belastungsempfinden der Probanden wieder (s. Kap. 5.2.2, s. u.) und rechtfertigen auch die Schwierigkeitseinteilung der Strecken des nordic aktiv Walking Zentrums Ortenau durch den DSV.

### 5.2.2 Gesamtstrecke

Wie beschrieben stellt das subjektive Belastungsempfinden nach BORG (1982) den ausgewiesenen Schwierigkeitsgrad der Strecken sehr gut dar und unterscheidet sich signifikant zwischen den drei Teststrecken. Die Schwierigkeitsklassifizierung, die sich beim DSV aus Streckenlänge, Gesamtanstieg und Höhendifferenz ergibt (s. Tab. 3-1, S. 54), spiegelt sich auch bei den Mittelwerten der individuellen Parameter Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme auf der Strecke wider, wobei die höchsten mittleren Werte jeweils bei der schwierigen (schwarzen) Strecke 3 erreicht wurden und die niedrigsten bei der leichten (blauen) Strecke 1. Diese Unterschiede sind für die Herzfrequenzwerte von Strecke 1 und 3 signifikant (s. Abb. 4-2, S. 77). Somit kann attestiert werden, dass das subjektive Belastungsempfinden der Probanden dem ausgewiesenen Schwierigkeitsgrad der Strecke durch den DSV und auch der tatsächlichen gemessenen physiologischen Beanspruchung entspricht. Innerhalb des vom ACSM (1998) empfohlenen Belastungsbereiches für ein gesundheitsorientiertes moderates Ausdauertraining mit überwiegend aerober Stoffwechsellage (RPE 12-13) liegt lediglich die Strecke 2 mit einem mittleren RPE von  $12,3 (\pm 0,9)$ . Hingegen unterschreitet Strecke 1 mit  $10,7 (\pm 1,1)$  die Angaben des ACSM und entfaltet somit zu wenig gesundheitliche Wirkung. Strecke 3 mit einem RPE von  $15,0 (\pm 1,2)$  erweist sich wiederum als zu anspruchsvoll, so dass nach diesen Maßstäben beide Strecken nicht dem optimalen Bereich für ein gesundheitsorientiertes Training bei dieser Probandengruppe entsprechen.

Die Fortbewegungsgeschwindigkeit steht diesen Ergebnissen widersprüchlich gegenüber (s. Abb. 4-4, S. 79). Die geringste mittlere Geschwindigkeit wurde zwar bei der schwierigen Strecke 3 ermittelt, die höchste jedoch nicht wie zu vermuten bei der leichten Strecke 1, sondern bei der mittelschwierigen Strecke 2. Ursächlich hierfür könnte das Streckenprofil sein, das bei der mittelschwierigen Strecke eine kupierte Geländeform aufweist. Charakteristisch hierfür ist ein ständiger Wechsel zwischen positiven und negativen Steigungen, anders als bei den Strecken 1 und 3. Diese beiden Rundkurse charakterisiert ein eher kontinuierlicher Anstieg bis zum höchsten Punkt. Eine mögliche Erklärung für die Ergebnisse der Strecke 2 ist, dass beim bergab Gehen die Gehgeschwindigkeit erhöht wird und dann in einem folgendem kurzen Anstieg im kupierten Gelände beibehalten wird. Literaturhinweise zu diesem Sachverhalt existieren bisher nicht, werden aber durch die Korrelations- und Regressionsanalyse bestätigt (s. Kap. 5.2.4 und 5.2.5).

Insgesamt liegt die mittlere Nordic Walking Geschwindigkeit auf allen drei Strecken mit  $1,68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $1,80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und  $1,71 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  zwar höher als in den Studien von CHURCH et al. (2002), HANSEN und SMITH (2009) und WILLSON et al. (2001) mit Geschwindigkeiten zwischen  $1,59$  und  $1,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , reichen aber in den Bereich der selbstgewählten Geschwindigkeiten von PORCARI et al. (1997) mit  $1,7$ - $1,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und DECHMAN et al. (2012) mit ca.  $1,78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  hinein. Ob das zusätzliche Gewicht des GPS- und Spirometrie-Gerätes in vorliegender Studie die Geschwindigkeit negativ beeinflusst hat, kann nicht abschließend beurteilt werden. Die hier selbstgewählten Geschwindigkeiten sind zwar mit den Feld- oder Laborversuchen anderer Studien vergleichbar, dennoch stimmen die Streckenuntergründe dieser Untersuchungen nicht mit den hiesigen überein. Auch wird in den Korrelations- und Regressionsanalysen deutlich, dass der Untergrund – je nach Streckenprofil – einen mehr oder minder großen Einfluss ausübt (s. Kap. 5.2.4.2 und 5.2.6).

## **5.2.3 Einfluss der Strecke auf die Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit**

### **5.2.3.1 Einfluss der Steigung**

Aus der einschlägigen Literatur zum Einfluss der Steigung auf die physiologischen Parameter ergibt sich, dass sinnvoller Weise getrennt nach positiver und negativer Steigung diskutiert werden sollte (s. Kap. 2.3.1, S. 34ff.). Selbst Auswirkungen in einzelnen Steigungsabschnitten sind zum Teil sehr unterschiedlich (HÖLTKE et al. 2003, 2005). Deshalb wird der Einfluss der Steigung auf die individuellen Parameter wie in der Ergebnisdarstellung zunächst getrennt nach negativen und positiven Steigungen und anschließend differenziert nach den definierten Steigungsabschnitten analysiert.

#### **Negative und positive Steigung**

Die Ergebnisse von Kapitel 4.3.1.1 machen deutlich, dass die verschiedenen positiven und negativen Steigungen die individuellen Parameter (Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit) unterschiedlich stark beeinflussen. Es bestätigt sich das aus anderen Studien abgeleitete Bild: Die mittleren Herzfrequenzwerte und die mittleren Werte der relativen Sauerstoffaufnahme liegen bei Anstiegen der jeweiligen Strecke signifikant höher als bei negativen Steigungen derselben Strecke (s. Kap. 4.3.1.2, S. 84f.). Der höhere Energieverbrauch (errechnet aus dem Sauerstoffverbrauch) resultiert dabei aus der vermehrten Arbeit entgegen der Gravitation (BOBBERT 1960). Zu den gleichen Ergebnissen kamen AINSLIE et al. (2002) bei Messungen der Sauerstoffaufnahme während einer Bergwanderung. PERREY und FABRE (2008) ermittelten bei der relativen Sauerstoffaufnahme sogar ca. 64% höhere Werte bei Anstiegen als bei Abstiegen mit selbstgewählter, aber konstanter Geschwindigkeit. Bei der Herzfrequenz lag der Unterschied bei 51%. Die Differenzen zwi-

schen negativen und positiven Steigungen fallen in der vorliegenden Studie jedoch deutlich geringer aus. So erreichten die Herzfrequenzen bei positiven Steigungen zwischen 5,9 und 7,2% höhere Werte als bei negativen Steigungen und die relative Sauerstoffaufnahme lag zwischen 13% und 21,9% höher. Eine mögliche Erklärung ist im unterschiedlichen Testdesign zu suchen. Während in der vorliegenden Studie alle Werte innerhalb eines Untersuchungsdurchlaufs erhoben wurden und sich die Gehgeschwindigkeiten bergauf reduzierten, da sie frei wählbar waren, stammen die Werte von PERREY und FABRE (2008) aus einzelnen Testdurchläufen mit gleicher Geschwindigkeit für die jeweilige Bedingung. Die Erholungszeit zwischen den einzelnen Untersuchungen wurde in Abhängigkeit von dem Erreichen des Ruhepulses bemessen, so dass, anders als in dem vorliegenden Test, immer von dem gleichen Level gestartet wurde und das Halten der Geschwindigkeit bergauf möglich war. Auch HANSEN und SMITH (2009) beschreiben für das Nordic Walking auf positiven Steigungen eine Verminderung der Geschwindigkeit, die auf einer Reduktion von Schrittlänge und Schrittfrequenz basiert. Diese Reduktion der Geschwindigkeit bergauf spiegelt die metabolische Situation im Feld wider und sollte das Maß für gesundheitliche Vorgaben sein.

Auch MARGARIA (1938) und MARGARIA et al. (1963a) beschreiben, dass der Energieumsatz beim Begehen von positiven Steigungen in Abhängigkeit zur Steigung zunimmt. Dabei ergab sich ein proportionaler Anstieg des Energieumsatzes ab einer positiven Steigung von 15%. Bei Gefälle wurde eine negative Beziehung zwischen dem Energieverbrauch und der Steigung festgestellt, die in vorliegender Studie so nicht bestätigt werden konnte (s. Tab. 4-8, S. 114). Bei nahezu konstanter Geschwindigkeit in den negativen Steigungsbereichen nahm die Sauerstoffaufnahme im Testbereich bei allen Strecken immer weiter ab (s. Kap. 4.6, S. 131ff.). In ihren Untersuchungen auf dem Laufband fanden auch GIVONI und GOLDMAN (1971) mit zunehmendem Grad der Steigung einen erhöhten Energieumsatz und erkannten, dass dieser Anstieg abhängig von der Gehgeschwindigkeit war. Bei einem vorgegebenen konstanten Tempo war

der Effekt der Steigung geradlinig. BOBBERT (1960) fand dagegen heraus, dass der Energieverbrauch mit zunehmender Steigung kurvenförmig ansteigt. Beim Gehen in der Ebene und bei positiven Steigungen nimmt der Energieverbrauch mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zu (BOBBERT 1960). In der vorliegenden Studie verringerte sich aber die Geschwindigkeit tendenziell mit zunehmender Steigung, so dass ein leicht sigmoidaler Verlauf der Kurven für die Belastungsintensität im Verhältnis zu der maximalen Herzfrequenz und der maximalen Sauerstoffaufnahme für alle Strecken resultiert (s. Kap. 4.6, S. 131ff.). Eine Annäherung an ein oberes metabolisches Plateau erscheint auch sinnvoll, da sonst die physiologische Leistung nicht aufrecht zu erhalten ist (MCARDLE et al. 2010). Hingegen stiegen die Fortbewegungsgeschwindigkeiten im negativen Abschnitt von 0 bis -5% leicht an und veränderten sich danach nur marginal, obwohl die Herzfrequenzen sowie die relativen Sauerstoffaufnahmen weiter sanken (s. Kap. 4.6, S. 131ff.). Ob dies daran liegen kann, dass eine maximal „gefühlte“ gehbare Gehgeschwindigkeit von den Probanden eingehalten wurde oder eine psychologisch vertretbare Trittsicherheit eingeregelt wurde, bleibt spekulativ.

PIVARNIK und SHERMAN (1990) konnten in ihrer Untersuchung keine signifikanten Unterschiede der Herzfrequenz beim bergab Gehen gegenüber dem Gehen in der Ebene bei konstanter Geschwindigkeit ( $4,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} \sim 1,33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) feststellen. Dies widerspricht der vorliegenden Studie, könnte aber ein weiteres Indiz dafür sein, dass sich die physiologischen Beanspruchungen von Walking und Nordic Walking stark unterscheiden (SCHIFFER et al. 2006). Das subjektive Belastungsempfinden (Borgskala 1-10) lag bei PIVARNIK und SHERMAN (1990) bei positiven Steigungen jedoch über dem negativer Steigungen. Damit werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigt und der RPE kann als guter subjektiver Indikator für Belastung angesehen werden.

Bei der gesonderten Betrachtung der Geschwindigkeit zeigt sich in der vorliegenden Studie das zu erwartende Bild: Positive Steigungen werden im Mittel mit geringeren Geschwindigkeiten absolviert als negative, wobei

es sich lediglich um Tendenzen handelt, die statistisch nicht abgesichert werden konnten (s. Kap. 4.3.1.1, S. 83). Eine Verminderung der Geschwindigkeit bergauf wurde beim Walken häufiger dokumentiert. Auch bei TERRIER et al. (2001a) reduzierten die Probanden ihre selbstgewählte Fortbewegungsgeschwindigkeit mit zunehmendem Anstieg ( $\sim 1,36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bei 0% bis  $\sim 1,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bei 15%) genauso wie in der Untersuchung von PERREY und FABRE (2008), bei denen die bevorzugte Gehgeschwindigkeit beim bergab Gehen ( $1,25 \pm 0,19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) signifikant höher angegeben wird als bergauf ( $1,14 \pm 0,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $p \leq 0,05$ ). Insgesamt liegen die mittleren Geschwindigkeiten in der vorliegenden Untersuchung sowohl bei negativen als auch bei positiven Steigungen höher als in den Nordic Walking Studien von CHURCH et al. (2002), HANSEN und SMITH (2009) und WILLSON et al. (2001) (s. Kap. 5.2.2, S. 142). Dies verdeutlicht die bessere sportliche Verfassung der Probanden gegenüber den anderen Studien und auch die große Diskrepanz zwischen Labor- und Feldtests beim Nordic Walking.

Wie die Ergebnisse zeigen, bedingen positive Steigungen eine höhere physiologische Beanspruchung als negative, obwohl die Probanden durch die freie Geschwindigkeitswahl die Möglichkeit besaßen über eine Geschwindigkeitsreduktion physiologisch kompensierend eingreifen zu können. Trotz dieser Regulationsoption wird die Geschwindigkeit mit zunehmendem Anstieg zwar reduziert, allerdings in geringerem Maße als es zur Aufrechterhaltung der metabolischen Belastungssituation notwendig wäre: Die Herzfrequenz und die relative Sauerstoffaufnahme nehmen dementsprechend zu. Auch MINETTI et al. (2003) beschreiben, dass die selbstgewählte Gehgeschwindigkeit mit zunehmender Steigung zwar abnimmt (von  $1,39 \pm 0,22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bei 0% auf  $0,83 \pm 0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bei +25%), aber immer noch ca. 30% höher liegt als die Geschwindigkeit, die den geringsten Energieverbrauch mit sich bringen würde. Somit erweisen sich diese Befunde nicht nur für Walking, sondern auch für Nordic Walking zumindest als tendenziell zutreffend. Athleten wählen folglich eine Trainingsgeschwindigkeit, die höher liegt als die ökonomisch komfortabelste Geschwindigkeit, denn diese würde nach RALSTON (1958) im Bereich des

niedrigsten Energieverbrauches liegen. In Abhängigkeit von negativen und positiven Steigungen variierte diese beim Gehen zwischen 1,28 und  $0,58 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (LEONARDI und SCHENA 2006). Für die Sportart Nordic Walking existieren bislang keine vergleichbaren Werte.

Zusammenfassend zeigt sich, dass beim Nordic Walking als Gesundheits- oder Freizeitsport nicht die energetisch optimale Geschwindigkeit in Abhängigkeit zur Steigung bei den Sportlern im Vordergrund steht, sondern eine physiologische Beanspruchung gewählt wird, die zwar einen positiven Effekt in Bezug auf die Leistungssteigerung zur Folge hat, gesundheitliche Aspekte aber ggf. konterkariert (s. Kap 5.2.6, S. 179).

### **Steigungsabschnitte**

Innerhalb der differenzierten Analyse der Steigungsabschnitte zeigen sich ähnliche Tendenzen wie bei der alleinigen Unterscheidung zwischen positiven und negativen Steigungen (s. o.), sie differenziert aber die Bereiche noch einmal deutlich aus.

Laut MARGARIA (1938), MINETTI et al. (1993), MINETTI et al. (2002) und TERRIER et al. (2001a) liegt der minimale Energieverbrauch beim Gehen bei einer negativen Steigung von ungefähr -10%. Dies sei von den Unterschieden zwischen der idealen energetischen Voraussetzung aufgrund potenzieller Energieänderungen und den tatsächlichen Voraussetzungen bzw. der unterschiedlichen Effizienz der Muskeln für Kraft- und Bremswirkungen abhängig. LEONARDI und SCHENA (2006) beschreiben dagegen, dass das absolute Minimum des Energieverbrauches bei konstanter Geschwindigkeit bei einer negativen Steigung von -15% liegt. Diese Ergebnisse konnten in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden. Wie die Abbildungen 4-12 (S. 89) und 5-1 (S. 179) zeigen, fallen die Mittelwerte der relativen Sauerstoffaufnahme bzw. die Belastungsintensität im Verhältnis zur  $VO_{2\text{max}}$  mit zunehmendem Gefälle geringer aus. Es wird

deutlich, dass der in der Literatur postulierte minimale Energieverbrauch beim Gehen im Bereich von -10 bzw. -15% so nicht auf die Sportart Nordic Walking mit selbstgewählter Geschwindigkeit übertragen werden kann.

Wie bereits in der Literatur beschrieben und auch in vorliegender Studie bestätigt, liegt die selbstgewählte Geschwindigkeit bei negativen Steigungen höher als im Bereich positiver Steigungen (PERREY und FABRE 2008, s. Kap. 4.3.1.1, S. 83). Des Weiteren beschreiben PERREY und FABRE (2008) geringere Schrittfrequenzen bei positiven Steigungen als in der Ebene und in der Ebene geringere als bei negativen Steigungen. Darüber hinaus sind beim Nordic Walking signifikant niedrigere Schrittfrequenzen als beim Gehen ohne Stöcke zu beobachten. Unterschiede hinsichtlich der Schrittlänge beim bergab Gehen im Vergleich zum Gehen in der Ebene konnten DICK und CAVANAGH (1987) nicht nachweisen. Diesbezüglich postulierten PIVARNIK und SHERMAN (1990) sowie MINETTI und SAIBENE (1992), dass die Schrittlänge und -frequenz beim bergab Gehen einen Einfluss auf den Energieverbrauch und damit auch auf die Sauerstoffaufnahme haben könnten. Außerdem würden negative Steigungen metabolische und kardiovaskuläre Veränderungen mit sich bringen, die vermutlich durch exzentrische Muskelarbeit und höhere psychische Anforderungen bedingt sind. Auch wenn negative Steigungen von ihren Probanden nicht als schwerer empfunden wurden, so wurde doch beschrieben, dass negative Steigungen weniger entspannt und mit mehr Aufmerksamkeit absolviert werden mussten (PIVARNIK und SHERMAN 1990). Diese beschriebene metabolische Veränderung konnte in vorliegender Studie so bestätigt werden; die weiteren Erklärungen zur Schrittlänge und -frequenz und die folgende metabolische Konsequenz sind zwar auch für die hiesige Studie denkbar, bleiben jedoch spekulativ.

Hinsichtlich der durchschnittlichen Herzfrequenzwerte zeigt sich, dass mit zunehmender Steigung tendenziell höhere mittlere Herzfrequenzen erreicht werden. Im Bereich zwischen 0 bis 5 % und 5 bis 10% Steigung ist dieser Unterschied auf allen Strecken signifikant (Strecke 1 und 3:  $p \leq 0,01$ ; Strecke 2:  $p \leq 0,05$ ). Die mittleren Herzfrequenzen liegen

bei Strecke 3 in allen Steigungsabschnitten höher als bei den Strecken 1 und 2. Ähnliche Tendenzen zeigen sich auch für die mittleren Werte der relativen Sauerstoffaufnahme: Mit zunehmender Steigung erhöhen sich die Werte der relativen Sauerstoffaufnahme. Dabei wird genau wie bei den Herzfrequenzen deutlich, dass innerhalb der einzelnen Steigungsabschnitte auf Strecke 3 die höchsten Werte erreicht wurden. Zwischen den Steigungsbereichen 0 bis 5% und 5 bis 10% sind die Unterschiede bei den Strecken 1 und 3 signifikant ( $p \leq 0,01$ ). Auch für das Walking stellten PIVARNIK und SHERMAN (1990) fest, dass Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme mit zunehmender Steigung größer werden, wobei dieser Anstieg zunehmend steiler verläuft, was durch die vorliegende Studie nicht bestätigt werden kann. Allerdings bewegten sich die Probanden bei PIVARNIK und SHERMAN (1990) in allen Steigungsbereichen mit einer konstanten Geschwindigkeit von  $\sim 1,33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (s. Kap. 2.3.1, S. 37), während die Probanden in der vorliegenden Untersuchung die Fortbewegungsgeschwindigkeiten frei wählen konnten und diese mit zunehmendem Anstieg reduzierten (s. Kap. 4.6, S. 131ff.). Trotzdem erreichten die Probanden in vorliegender Studie für Strecke 1 und 2 mit  $1,66 (\pm 0,35) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bzw.  $1,65 (\pm 0,29) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  immer noch höhere Geschwindigkeiten bei 15-20% Steigung (s. Abb. 4-13, S. 90) als bei PIRVARNIK und SHERMAN (1990). Die mittleren Geschwindigkeiten innerhalb der Steigungsabschnitte zeigen bei Strecke 3 einen signifikanten Rückgang zwischen allen positiven Steigungsbereichen. Bei den Strecken 1 und 2 trifft dies nur mit einer Ausnahme zu (Strecke 2 zwischen 5 bis 10% und 10 bis 15%). Ein Abgleich mit dem Streckenprofil lässt die Vermutung zu, dass eine bedeutsame Reduktion der Fortbewegungsgeschwindigkeit in Zusammenhang zu der Länge des Steigungsabschnittes steht. Es kommt somit nicht initial mit Beginn einer Steigung zu einer Geschwindigkeitsreduktion, sondern erst mit zunehmender Länge der Steigung, eventuell nach dem Erreichen einer bestimmten Belastungsintensität. Ein Hinweis auf den Einfluss der Länge einer Steigung lässt sich auch bei TERRIER et al. (2001b) finden. Sie begründen ihre Erkenntnis damit, dass die größte Arbeit bei Steigungen darin bestehe das Körpergewicht anzuheben, das

bedeutet erst mit Ermüdung durch die Hebearbeit wird die Geschwindigkeit reduziert. Eine genauere Beschreibung bleiben sie allerdings schuldig.

Bislang konzentrieren sich wissenschaftliche Studien auf den Zusammenhang zwischen dem errechneten Energieverbrauch und der Steigung in Verbindung mit der Fortbewegungsgeschwindigkeit. So geben GIVONI und GOLDMANN (1971) an, dass mit zunehmender Bewegungsgeschwindigkeit der Energieverbrauch ansteigt: In der Ebene steigt er exponentiell, um dann in Abhängigkeit zur Steigung zu einem nahezu linearen Anstieg zu kommen. Auch nach MINETTI et al. (2002) variiert der Energieumsatz beim Walking in der Ebene in Abhängigkeit zur Geschwindigkeit. Der höchste Energieverbrauch wurde bei einer Steigung von 45% mit durchschnittlich  $17,33 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$  gemessen, während der niedrigste bei einer negativen Steigung von 10% und  $0,81 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$  lag. Mit zunehmendem Gefälle stieg der Energieverbrauch beim Gehen wieder an bis auf  $3,46 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$  bei -45%. Außerdem fanden sie heraus, dass sich der Energieverbrauch bei positiven Steigungen ( $> 15\%$ ) direkt proportional zur Steigung verhält. Bei negativen Steigungen ermittelten sie eine lineare negative Beziehung zwischen dem Energieverbrauch und Steigungen  $< -15\%$  beim Gehen. Dies trifft in vorliegender Studie nur zum Teil zu und ist abhängig vom Streckenprofil und vor allem den Längen der Anstiege. Auch der von OLESEN (1992) beschriebene 2-5 mal höhere Energieaufwand bei konzentrischen gegenüber exzentrischen Belastungen fällt in vorliegender Studie aufgrund der reduzierten Geschwindigkeit niedriger aus. Auch TERRIER et al. (2001a) beschreiben diesen Verlauf: Bei einer konstanten Steigung erhöht sich die Sauerstoffaufnahme mit zunehmender Geschwindigkeit linear, während bei konstanter Geschwindigkeit der Sauerstoffverbrauch quadratisch mit zunehmender Steigung ansteigt. Greift man in vorliegender Studie die mittleren Steigungsabschnitte heraus, bei denen relativ konstante Geschwindigkeiten gegangen wurden, werden zwar wieder höhere Werte aber keine quadratischen Steigerungen des Energieverbrauches bzw. der Sauerstoffaufnahme gefunden. Es stellt sich somit immer wieder die Frage, ob die metabolische Beanspruchung zwi-

schen Walking und Nordic Walking wirklich gleichläufig ist (SCHIFFER et al. 2006).

Mit den in vorliegender Studie gegangenen Geschwindigkeiten und auch aufgrund des Streckenverlaufs liegen die Probanden sehr weit entfernt von hohen ökonomischen, biomechanisch-energetischen Wirkungsgraden. Laut MINETTI (1995) und MINETTI et al. (2002) liegt die ökonomischste Steigung bei Wanderwegen bergauf wie bergab zwischen 25 und 28%, da in diesem Bereich die vertikalen Kräfte am geringsten sind. Die optimalen Geschwindigkeiten mit höchsten Wirkungsgraden betragen bei dieser Steigung bergauf bei  $0,15-0,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und bergab bei  $0,2$  bis  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Auch wenn in der hiesigen Studie keine 25% Steigung gegangen wurde, ist die gewählte Geschwindigkeit beim Nordic Walking weit von der ökonomischsten Arbeitsweise entfernt. Letztlich ist ein leistungssteigerndes Training aufgrund dieser erhöhten kardiopulmonalen Parameter aber auch erst möglich.

Insgesamt zeigte sich, dass beim Nordic Walking mit freier Geschwindigkeitswahl das Streckenprofil einen entscheidenden Einfluss auf die physiologische Beanspruchung ausübt. Ferner greifen die Sportler nur bedingt auf individuelle Regulationsmechanismen wie die Geschwindigkeitsanpassung zurück, um ihre Belastungssituation anzupassen. Die Belastungsintensität variiert mit den Vorgaben der Strecke und wird nicht konstant gehalten.

### 5.2.3.2 Unterschiede zwischen erster und zweiter Streckenhälfte zur Beurteilung des Einflusses der Streckenlänge

Ausgehend von den Aussagen von BRUECKNER et al. (1991), DE MARÉES (2003) und DI PRAMPERO et al. (1986), die eine Steigerung des Energieverbrauchs mit zunehmender Laufstrecke beschreiben (s. Kap. 2.3.2, S. 39ff.), wurden die drei Teststrecken halbiert und die Mittelwerte der individuellen Parameter der ersten und zweiten Streckenhälfte miteinander verglichen. Wie in vorliegender Studie konnten auch bei BRUECKNER et al. (1991) die Probanden ihre Laufgeschwindigkeit frei wählen, wobei in deren Ansatz eine Feldstudie auf der Laufbahn durchgeführt wurde.

Bei den hier untersuchten Nordic Walkern zeigten sich erneut im Mittel die gegenläufigen Tendenzen von den Parametern Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme zu der individuell anpassbaren Geschwindigkeit: Höhere Werte der mittleren Herzfrequenz und relativen Sauerstoffaufnahme gehen mit einer reduzierten Fortbewegungsgeschwindigkeit einher und umgekehrt (s. Kap. 4.3.1.4 und 4.6). Die Werte der mittleren Herzfrequenzen und relativen Sauerstoffaufnahmen liegen auf der ersten Streckenhälfte signifikant höher als auf der zweiten ( $p \leq 0,01$ ), wohingegen im zweiten Streckenabschnitt signifikant höhere mittlere Geschwindigkeiten erreicht wurden als auf der ersten ( $p \leq 0,01$ ). Ein kausaler Zusammenhang ist hierfür wieder in den Streckenprofilen zu suchen. Die erste Streckenhälfte ist bei allen Strecken durch den größeren Anteil an positiven Steigungen charakterisiert (s. Kap. 3.3) und wie bereits in Kapitel 5.2.3.1 beschrieben wurde, gehen positive Steigungen mit höheren Herzfrequenzen und höheren Werten der relativen Sauerstoffaufnahme einher.

Auch wenn noch eine weitere Differenzierung zwischen den Teststrecken erfolgte, zeigte sich für die mittleren Werte der Herzfrequenz und der relativen Sauerstoffaufnahme eine signifikant höhere physiologische Belastung auf der ersten Streckenhälfte als auf der zweiten. Dabei fallen die Unterschiede bei der relativen Sauerstoffaufnahme (16-24%) deutlich höher aus als bei der Herzfrequenz (2-4%). Dieses Verhalten spiegelt die Angaben von DE MARÉES (2003) und BRUECKNER et al. (1991) und

DI PRAMPERO et al. (1986) nicht wider. Schon bei einer Gehgeschwindigkeit von  $> 1,38 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  erhöht sich laut DE MARÉES (2003) der Sauerstoffverbrauch je Wegmeter. In vorliegender Studie zeigt die differenzierte Analyse bei den mittleren Werten der Geschwindigkeit auf den Strecken 2 und 3 auf der zweiten Streckenhälfte signifikant höhere Geschwindigkeiten als auf der ersten ( $p \leq 0,01$ ), wohingegen bei Strecke 1 kein signifikanter Unterschied ermittelt werden konnte. Danach müsste auf der zweiten Hälfte mehr Energie verbraucht worden sein als auf der ersten, jedoch war die relative Sauerstoffaufnahme auf der zweiten Streckenhälfte bei Strecke 2 und 3 wesentlich geringer. Auf Strecke 1 hingegen lagen die mittleren Geschwindigkeiten und damit auch der Energieverbrauch auf der ersten Hälfte der Strecke 1 tendenziell höher als im zweiten Abschnitt, was durch die Literaturangaben wiederum gestützt wird. BRUECKNER et al. (1991) wiesen nach, dass sich der Energieumsatz ( $\text{mlO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ ) mit zunehmender gelaufener Distanz um 0,123% pro Kilometer erhöht und dass der Energieverbrauch in Bezug auf die Streckenlänge, ermittelt auf der Basis des Sauerstoffverbrauchs und des respiratorischen Quotienten, im Mittel um 0,08% pro Kilometer ansteigt. Je nach Proband konnten DI PRAMPERO et al. (1986) eine Zunahme des Energieverbrauchs erst ab Kilometer 15 und mehr feststellen. Außerdem erhöhte sich aufgrund von Ermüdungserscheinungen der durchschnittliche Energieverbrauch am Ende eines Marathons bezüglich der Sauerstoffaufnahme um 5% und in Bezug auf den Energieaufwand um 3%. In vorliegender Studie war aber die längste Strecke nur ca. 8 km lang und der Energieverbrauch am Ende der Strecke niedriger. Damit hat zum einen das Streckenprofil bei Nordic Walking Strecken einen weitaus größeren Einfluss auf die individuellen Parameter als die Streckenlänge und zum anderen sind die Distanzen und Geschwindigkeiten so gewählt, dass keine wesentliche Ermüdung auftritt. Auch ÅSTRAND et al. (2003) fanden bei moderat fitten Personen keine Ermüdungserscheinungen bei einer Belastungsdauer von einer Stunde und 50% der  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . Aus gesundheitlicher Sicht ist dies ein positiver Befund. Ob ein verringerter Armeinsatz

aufgrund von Ermüdungserscheinungen auftritt kann aufgrund des gewählten Testdesigns nicht abschließend geklärt werden.

### **Unterschiede zwischen erster und zweiter Streckenhälfte im Hinblick auf die individuellen Parameter innerhalb der Steigungsabschnitte der Teststrecken**

Beim Vergleich der ersten und zweiten Streckenhälfte innerhalb der Steigungsabschnitte ergeben sich bei der mittleren Herzfrequenz nur in zwei Fällen signifikante Unterschiede, wobei sich keine einheitliche Tendenz ausmachen lässt auf welcher Streckenhälfte die Werte höher liegen. Dagegen ist die Tendenz bei der mittleren relativen Sauerstoffaufnahme eindeutig: Sie liegt auf der ersten Streckenhälfte tendenziell höher als auf der zweiten. Für Strecke 2 und 3 sind diese Unterschiede bei allen positiven Steigungsabschnitten signifikant ( $p \leq 0,05$  bzw.  $p \leq 0,01$ ). Dies ist unter der Berücksichtigung der Streckenprofile (s. Abb. 3-7 bis 3-9, S. 56f.) gut erklärbar. Bei beiden Strecken liegen in der ersten Hälfte die wesentlich längeren und steileren Anstiege. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass das Streckenprofil an sich einen größeren Einfluss auf die relative Sauerstoffaufnahme nimmt als Streckenlängen von bis zu 8 km Länge, insbesondere wenn man sich dazu die Geschwindigkeitsverläufe ansieht (s. Kap. 5.2.6, S. 179). Da für Streckenprofile bisher aber noch keine sehr differenzierten und systematischen Auswertungskriterien bezüglich der Belastung existieren, konnte innerhalb der Korrelations- und Regressionsanalysen nur auf die etablierten Streckencharakteristika (Steigung, Streckenlänge und Untergrund) eingegangen werden. Der Versuch eine Definition zur Beschreibung des Profils ist in Kapitel 5.2.4.2 (S. 170) zu finden.

Die großen Unterschiede zwischen den Streckenhälften im positiven Steigungsbereich insbesondere der Strecke 3 lassen auch hier die Interpretation zu, dass nicht die Streckenlänge im Allgemeinen eine Erhö-

hung der Sauerstoffaufnahme erfordert, sondern im Speziellen die Länge einer Steigung die entscheidende Rolle spielt. Diesbezüglich stellten auch HARDIN et al. (2004) fest, dass sich die Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme bei 30 min Läufen mit konstanter Steigung (-12%) und Geschwindigkeit ( $3,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) innerhalb von 5 min systematisch und jeweils signifikant erhöhen. Auch wenn die Geschwindigkeit in der Studie doppelt so hoch war wie in der hier vorliegenden, wird deutlich, dass besonders lange Steigungsabschnitte den Metabolismus nachhaltig und stetig beeinflussen und damit eine Regulierung über die Geschwindigkeit notwendig machen. Dieser Regulierungszeitpunkt setzt aber erst in Abhängigkeit von der steigenden metabolischen Beanspruchung zeitverzögert ein.

Diesbezüglich findet sich bei den mittleren Geschwindigkeiten in den Steigungsabschnitten der Strecke 1 eine tendenziell höhere mittlere Geschwindigkeit auf der ersten Streckenhälfte, während bei Strecke 2 und 3 eher auf der zweiten Hälfte die höheren mittleren Geschwindigkeiten gemessen wurden, die in einzelnen Steigungsbereichen signifikant waren. Auch hier wird abermals deutlich, dass die Fortbewegungsgeschwindigkeit bei längeren Steigungen, wie beispielweise bei der ersten Hälfte der Strecke 3, zwar reduziert wurde, dies aber nicht ausreichend war, um die physiologische Mehrbelastung zu kompensieren und dadurch die Belastungsintensität konstant zu halten (s. Kap. 4.6.3, S. 133): Als Resultat steigt die relative Sauerstoffaufnahme bei niedrigerer Geschwindigkeit an. Andererseits ist die Fortbewegungsgeschwindigkeit im zweiten Streckenabschnitt insbesondere auf Strecke 2 bei den größeren Steigungen viel höher, die relative Sauerstoffaufnahme aber geringer. Die Probanden hielten in den weniger langen Anstiegen die Geschwindigkeit hoch, da eine langfristige Anpassung an den Metabolismus (bei HARDIN et al. (2004) im 5-Minutentakt gemessen) nicht erfolgen musste.

Ähnlich wie BRUECKNER et al. (1991) bei Amateurläufern feststellten, dass bei Streckenlängen bis 15 km keine physiologische Mehrbelastung aufgrund von Ermüdungserscheinungen auftritt, kann auch aus den vorliegenden Ergebnissen gefolgert werden, dass Distanzen bis ca. 8 km

bei erfahrenen Nordic Walkern keinen entscheidenden Einfluss auf einen gesteigerten Energieverbrauch haben. Ganz deutlich wurde in vorliegender Studie sogar, dass bei höheren Geschwindigkeiten auf der zweiten Streckenhälfte noch weniger Energie verbraucht wurde. Das Streckenprofil ist am Ende somit wieder maßgeblich für den energetischen Aufwand. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass die Nordic Walking Technik bzw. die Intensität des Armeinsatzes innerhalb dieser Studie nicht kontrolliert wurden. Eine verminderte Intensität des Armeinsatzes z. B. durch Ermüdung (s. Kap. 2.1.3, S. 23), kann somit nicht sicher ausgeschlossen werden und könnte zu einer Beeinflussung der Testergebnisse geführt haben.

### **5.2.3.3 Einfluss des Untergrundes**

Erstmalig wurden die für Nordic Walking Strecken typischen Untergrundkategorien Asphalt, Wirtschaftswege und Singletrails hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit untersucht. Der Anteil an Asphaltwegen über alle Teststrecken beträgt ca. 20%, der an Wirtschaftswegen etwas mehr als 77% und der an Singletrails weniger als 3%. Dies hat zwangsläufig eine Auswirkung auf die Auswertung, die deshalb entsprechend vorsichtig diskutiert werden muss. Eine nach Steigungsabschnitten differenzierte Analyse der Untergründe erfolgte für die Steigungsabschnitte bei denen innerhalb einer Teststrecke mindestens zwei verschiedene Untergrundkategorien vorlagen. So konnte die leichte Strecke 1 bei der Differenzierung nach Steigungsabschnitten lediglich bei 0-5% Steigung integriert werden, während für die Teststrecken 2 und 3 Vergleichswerte für die Steigungsbereiche zwischen -15% und 10% vorlagen und bei Strecke 3 zusätzlich die Kategorie -15% bis -20% hinzukam (s. Kap. 4.3.3.2, S. 108).

Wie im Forschungsstand beschrieben, steht der Energieumsatz beim Gehen und Laufen in direktem Zusammenhang zur Charakteristik des Untergrundes (LEJEUNE et al. 1998, MINETTI et al. 2002, STRYDOM et al. 1966, ZAMPARO et al. 1992, s. Kap. 2.3.3, S. 41). Streckenübergreifend konnte auch in der vorliegenden Studie festgestellt werden, dass sich die physiologische Beanspruchung zwischen den definierten Untergrundkategorien unterscheidet. Es ist aber zu bedenken, dass die verschiedenen Untergrundkategorien in der Allgemeinbetrachtung neben der unterschiedlichen Streckenlänge durch andersartige Streckenprofile und damit einhergehend auch Fortbewegungsgeschwindigkeiten charakterisiert sind. Die mittleren Herzfrequenzen unterscheiden sich zwischen den drei Untergrundkategorien asphaltierter Weg, Wirtschaftsweg und Singletrail signifikant voneinander ( $p \leq 0,01$ ). Während auf Wirtschaftswegen die höchsten mittleren Herzfrequenzwerte erzielt wurden, fallen diese auf asphaltierten Wegen geringer aus. Die niedrigsten mittleren Herzfrequenzwerte wurden auf Singletrails erreicht, was zunächst im Widerspruch zu den Angaben von SOULE und GOLDMAN (1972) und HAISMAN und GOLDMAN (1974) zu stehen scheint, die beschreiben, dass sich der Energieverbrauch beim Gehen auf Schotterstraßen um den Faktor 1,1 und auf Pfaden um den Faktor 1,2 gegenüber asphaltierten Untergründen erhöht. Nach SANTEE et al. (2003) kann mit einem konstanten Terrainfaktor keine Vorhersage über den Energieverbrauch im Feld gemacht werden. Je nach Geschwindigkeit, Steigung, Last und Länge müsse der Terrainfaktor modifiziert werden. Deshalb sind die Ursachen für die gefundenen Unterschiede wieder im Streckenprofil und der anteiligen Länge zu suchen.

Die Kategorie Singletrail ist lediglich auf der mittelschwierigen Strecke 2 zu finden. Anteilsmäßig liegt der weitaus längste Abschnitt dieser Kategorie direkt am Beginn der Strecke 2 und weist ein Gefälle bis zu -10% auf. Wie in Kapitel 5.2.3.1 (S. 143) bereits erörtert wurde, liegen die mittleren Werte der Herzfrequenzen und relativen Sauerstoffaufnahmen bei Gefälle tendenziell niedriger als bei Anstiegen (PERREY und FABRE 2008). Verbes-

serte Aussagen zum Einfluss der Untergründe liefern die Unterteilungen nach Steigungsabschnitten: Auch innerhalb der Steigungsabschnitte zeigt sich, dass sowohl die mittleren Herzfrequenzen als auch die relativen Sauerstoffaufnahmen auf Singletrails geringer ausfallen als auf Wirtschaftswegen und Asphalt. Auch wenn die Geschwindigkeiten innerhalb dieser Streckenkategorie augenscheinlich niedriger liegen, so ist dieser Unterschied so gering, dass dies als Erklärung allein nicht ausreichend ist. Es wird somit vermutet, dass die geringen Werte innerhalb der Untergrundkategorie Singletrail aus dem Zusammenspiel der negativen Steigung, der Lage (Streckenbeginn) und der geringen Länge resultieren. Dieser Tatsache wird der größte Stellenwert eingeräumt. Mit 318 m Streckenlänge zu Beginn des Weges wurde diese Strecke bei einer mittleren Geschwindigkeit von  $1,64 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  in etwas mehr als 3 min zurückgelegt. Am Anfang einer Belastung kommt es in dieser Zeit gerade erst zu einer Einregelung des Metabolismus (HOLLMANN und STRÜDER 2009, HARDIN et al. 2004).

Betrachtet man die Unterschiede zwischen asphaltierten Wegen und Wirtschaftswegen, so bestätigen sich die Aussagen zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen, die einen größeren Energieverbrauch bei Gehen und Laufen beschreiben je weicher bzw. unebener der Untergrund ist (HARDIN et al. 2004, KERDOK, 2002, LEJEUNE et al. 1998, PINNINGTON und DAWSON 2001, ZAMPARO et al. 1992). Dies bestätigen GIVONI und GOLDMAN (1971) und SOULE und GOLDMAN (1972) auch für den Fall, dass wie in der vorliegenden Studie ein Zusatzgewicht getragen wird. Für die Sportart Nordic Walking konnten SCHIFFER et al. (2009) ebenfalls nachweisen, dass die relative Sauerstoffaufnahme auf weicherem Untergrund (Gras) signifikant höher liegt als auf festem Untergrund (Beton). Dies bestätigen auch die Ergebnisse der vorliegenden Studie: Die mittleren relativen Sauerstoffaufnahmen auf Wirtschaftswegen liegen signifikant höher als im Bereich asphaltierter Wege ( $p \leq 0,01$ ). Je mehr Energie vom Boden aufgenommen wird, desto mehr Energie wird benötigt, um eine bestimmte Geschwindigkeit aufrecht zu erhalten (SCHIFFER et al. 2009).

Der höhere Energieverbrauch auf weicheren Untergründen kann auf die größere mechanische Arbeit und eine Abnahme der Effizienz der positiven Arbeit von Muskeln und Sehnen zurückgeführt werden (LEJEUNE et al. 1998, ZAMPARO et al. 1992). Laut PASSMORE und DURNIN (1955) erhöht sich der Energiebedarf aufgrund von unebenem Terrain um maximal 10%, wenn der Boden nicht sehr weich ist. Auf Wanderstrecken ist der Energieverbrauch laut LEONARDI und SCHENA (2006) abhängig von der Beschaffenheit des Untergrundes. Signifikante Unterschiede im Energieverbrauch fanden sie im Bereich steiniger und felsiger Wegoberflächen bei mittleren Steigungen.

In der vorliegenden Studie zeigt sich, dass der Unterschied zwischen der relativen Sauerstoffaufnahme auf asphaltierten Wegen und auf Wirtschaftswegen bei geringen Steigungen (0-5%) zwischen 2 und 15% liegt. Bei größeren Steigungen (5-10%) fällt diese Differenz größer aus. Die relativen Sauerstoffaufnahmen liegen auf Wirtschaftswegen mit 18 bis 23% deutlich höher als auf Asphalt (s. Kap. 4.3.3.2, S. 109). Dies lässt vermuten, dass sich die Auswirkungen des Untergrundes auf den Energieverbrauch mit zunehmender Steigung vergrößern. Ob dies wirklich der Fall ist, müssen die Korrelations- und Regressionsanalysen zeigen (s. Kap 5.2.4.2 und 5.2.5). Somit beeinflusst die Beschaffenheit des Untergrundes die relative Sauerstoffaufnahme beim Gehen, Laufen und Nordic Walking nicht nur in der Ebene, wie die bestehende Literatur konstatiert, sondern wie hier gezeigt werden konnte, bei selbstgewählter Geschwindigkeit auch bei positiven und negativen Steigungen. Die Gehgeschwindigkeit spielt in vorliegender Studie zwar auch eine herausragende Rolle, kann aber nicht alle erhöhten metabolischen Werte erklären, besonders nicht bei Strecke 2.

Betrachtet man dagegen die Herzfrequenzwerte innerhalb der Untergrundkategorien, so zeigt sich bei Strecke 2 ein hochsignifikanter Unterschied der mittleren Herzfrequenzwerte zwischen allen drei Untergrundkategorien mit den höchsten Werten innerhalb der Kategorie Wirtschaftswege. Auch bei Strecke 3 wurden auf diesem Untergrund ten-

denziell die höchsten mittleren Herzfrequenzwerte erreicht. Innerhalb der Steigungsabschnitte liegen wiederum nur bei Strecke 2 signifikante Ergebnisse vor. Bei Teststrecke 3 werden in den Steigungsabschnitten -5 bis 0% und 5 bis 10% auf Wirtschaftswegen tendenziell höhere Werte erreicht, während die Werte in den anderen Steigungsbereichen auf Asphalt tendenziell höher liegen. Somit kann aus diesen Messwerten keine einheitliche Aussage hinsichtlich der Auswirkungen des Untergrundes auf die mittlere Herzfrequenz formuliert werden. Auch in der Literatur sind die Angaben hierzu widersprüchlich. HAISMAN und GOLDMAN (1974) beschreiben, dass die Herzfrequenzen beim Gehen auf unterschiedlichen Untergründen, mit und ohne zusätzliche Last, ähnliche Tendenzen aufweisen wie die Werte der relativen Sauerstoffaufnahmen (wie auch in vorliegender Studie), allerdings mit einer weitaus größeren Variabilität. STICK und MENDE (2002) maßen beim Gehen auf weichen (sandigen) Untergründen signifikant höhere Herzfrequenzen als auf Asphalt. Dagegen konnten SCHIFFER et al. (2009) beim Nordic Walking keine signifikanten Unterschiede der Herzfrequenzwerte auf den drei untersuchten Untergrundkategorien Gras, Polytan und Beton nachweisen. Zu den Untergründen, die tatsächlich auf den meisten Nordic Walking Strecken vorzufinden sind wie Asphalt, Wirtschaftswege und Singletrails liegen bis dato keine Untersuchungen vor, so dass keine direkten Vergleichswerte zu der vorliegenden Untersuchung existieren. Welche Parameter am Ende den größten Einfluss aufeinander nehmen, wurde durch die Regressionsanalysen berechnet (s. Kap. 4.5).

In Bezug auf die mittlere Geschwindigkeit zeigt sich das erwartete Bild: Die mittlere Geschwindigkeit liegt auf Asphalt signifikant höher als auf Wirtschaftswegen ( $p \leq 0,05$ ). Der Anteil an Asphaltwegen beträgt aber insgesamt nur ca. 20%, der an Wirtschaftswegen etwas mehr als 77%. Ob dies eine Auswirkung auf die Auswertung hat ist spekulativ. Auch bei einer weiteren Differenzierung nach Strecken bzw. nach Steigungsabschnitten bleibt diese Tendenz überwiegend bestehen, ist jedoch nur in zwei Fällen signifikant (Strecke 2: -15 bis -10%,  $p \leq 0,05$ ; Strecke 3: 5 bis 10%,

$p \leq 0,05$ ). Auf Singletrails ist die mittlere Nordic Walking Geschwindigkeit tendenziell geringer. Letztere machten aber nur 2,4% an der gesamten Laufstrecke über alle Strecken aus und sind damit nicht repräsentativ. Trotzdem entsprechen die Werte grundsätzlich den beschriebenen Effekten.

STICK und MENDE (2002) wiesen nach, dass selbstgewählte Gehgeschwindigkeiten auf sandigem Untergrund im Mittel um  $0,53 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  geringer ausfallen als auf festem Untergrund, während die Herzfrequenzen im Mittel um  $8,5 \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  höher liegen als auf festem Terrain; in vorliegender Untersuchung lagen die mittleren Herzfrequenzwerte auf Asphalt um  $7,3 \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  höher als auf Wirtschaftswegen. Auch CREAGH et al. (1998a) bestätigen, dass sich Fortbewegungsgeschwindigkeit und Schrittlängen mit steigendem Anspruch des Untergrundes (fester Fußweg – kurzes Gras – langes Gras) reduzieren, während die Vertikalbewegung der Körpermasse und der Kniehub signifikant größer werden. Bezüglich der Schrittfrequenz konnten sie keine signifikanten Unterschiede feststellen.

#### **5.2.4 Korrelationsanalysen**

Ziel der Korrelationsanalysen war es, die möglichen Zusammenhänge zwischen den individuellen Parametern Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit untereinander und mit den Streckenparametern Steigung, Streckenlänge und Untergrund für die Sportart Nordic Walking aufzudecken.

#### 5.2.4.1 Zusammenhänge zwischen den Parametern Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit

Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und der Sauerstoffaufnahme während körperlicher Aktivität (AINSLIE et al. 2003b, ÅSTRAND und RYHMING 1954, BERNARD et al. 1997, ESTON et al. 1998, FAIRBARN et al. 1994, LAMBRICK et al. 2009, LONDEREE und AMES 1976, LONDEREE et al. 1995, MCARDLE et al. 2010, SPURR et al. 1988, WILMORE et al. 2008). Ebenso basieren zahlreiche Formeln zur Vorhersage der maximalen Sauerstoffaufnahme (ÅSTRAND und RYHMING 1954, KLINE et al. 1987, LÉGER et al. 1988) bzw. des Energieverbrauchs (BOOYENS und HERVEY 1960, CEESAY et al. 1989) auf diesem Zusammenhang.

Auch für die Sportart Nordic Walking konnte durch die vorliegenden Ergebnisse der Korrelationsanalysen nach Pearson ein höchst bzw. hochsignifikanter positiver Zusammenhang zwischen den individuellen Parametern Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme, sowohl bei positiven als auch bei negativen Steigungen bestätigt werden (s. Kap. 4.4.1, S. 111ff.). LAMBRICK et al. (2009) ermittelten auf dem Fahrrad eine sehr starke Korrelation zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme ( $r=0,98$ ) bei einem RPE von 13. Nach MINETTI et al. (2002) nimmt die Sauerstoffaufnahme beim Gehen mit zunehmender Geschwindigkeit zu, beim Laufen ist ein linearer Anstieg von Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit zu verzeichnen. Hingegen weisen CHRISTENSEN et al. (1983) und SPURR et al. (1998) darauf hin, dass sich bei steigender Intensität starke interindividuelle Unterschiede bezüglich der Stärke des Zusammenhangs zwischen Herzfrequenz und relativer Sauerstoffaufnahme zeigen. Auch in der vorliegenden Studie variiert die Stärke des Zusammenhangs zwischen den Probanden (s. Anlage B) sowie zwischen den Strecken und fällt mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad der Strecke geringer aus (s. Kap. 4.4.1, S. 111ff.). Außerdem steht laut Literatur die Stärke des Zusammenhangs in Verbindung mit einer Vielzahl von Faktoren. Dazu zählen z. B. die Anzahl der beteiligten Muskelgruppen, Stress,

klimatische Bedingungen, Alter, Geschlecht, Trainingszustand und besonders auch die Geschwindigkeit (SWAIN und LEUTHOLZ 1997, SWAIN et al. 1998). Deshalb wird die Berechnung des Energieverbrauchs nur auf Grundlage einer Herzfrequenzmessung in der Literatur als sehr fehlerbehaftet eingestuft und die Spirometrie vorgezogen (AINSLIE et al. 2003b, CHRISTENSEN et al. 1983, DAVIES 1968, MCARDLE et al. 2010, SPURR et al. 1988).

Der Einfluss des Trainingszustandes ist laut MCARDLE et al. (2010) auch durch eine lineare Beziehung zwischen der Herzfrequenz und der Sauerstoffaufnahme charakterisiert, wobei Personen mit einem hohen Ausdauerfitnessgrad intensivere körperliche Arbeit ausüben, bevor sie eine Herzfrequenz von 140 bis 160  $\text{S}\cdot\text{min}^{-1}$  erreichen als weniger leistungsfähige Personen. In vorliegender Untersuchung haben die Probanden eine errechnete mittlere maximale Sauerstoffaufnahme von  $41,47 (\pm 3,34) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (s. Kap. 3.4, S. 61), so dass sie im Bereich ihres durchschnittlichen Alters von 51 Jahren zu den fitteren Personen zählen (MCARDLE et al. 2010). Für die Korrelation hat dies in vorliegender Studie aber keine Bedeutung.

Bezüglich des Alters fanden FAIRBARN et al. (1994) einen Unterschied in der Beziehung zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit zum Lebensalter. Bei Frauen über 50 Jahren und Männern über 70 Jahren verläuft die Gerade steiler als bei den jüngeren Probanden. Außerdem liegen die Geraden der Männer niedriger bzw. unterhalb der Geraden der weiblichen Versuchspersonen. Die Gesamtgruppe liegt mit ihrem Altersdurchschnitt von 51 Jahren gerade im Übergangsbereich für Frauen, die beiden Männer heben den Altersdurchschnitt (s. Kap. 3.4, S. 59). Große Auswirkungen von Geschlecht und Alter sollten also in der Korrelation nicht vorliegen.

In Bezug auf die Zusammenhänge zwischen der Fortbewegungsgeschwindigkeit und den Parametern Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme zeigen sich wie auch schon häufiger diskutiert, große Unterschiede in Abhängigkeit von der Steigung. Eine größere Geschwin-

digkeit verlangt entweder eine erhöhte Schrittfrequenz und/oder einen verlängerten Schritt (COTES und MEADE 1960, NILSSON et al. 1985, TERRIER et al. 2001a) mit metabolischen Folgen: Deshalb korreliert bei negativen Steigungen die Geschwindigkeit positiv mit der relativen Sauerstoffaufnahme (s. Tab. 4-6, S. 112) was sich auch mit den Angaben von TERRIER et al. (2001a) deckt. Mit Ausnahme von Strecke 2 sind die Korrelationen zwar schwach, aber höchst signifikant (Strecke 1:  $r = 0,327$ ;  $p \leq 0,001$  und Strecke 3:  $r = 0,146$ ;  $p \leq 0,001$ ). Wie bereits in Kapitel 5.2.2 (S. 142) beschrieben kann vermutet werden, dass das Profil der Strecke 2, mit vergleichsweise häufigem Wechsel zwischen negativen und positiven Steigungen für eine geringere Geschwindigkeitsanpassung verantwortlich ist. Der Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Geschwindigkeit kann bei negativen Steigungen aber nicht einheitlich bestätigt werden. Letztlich ist dies auch dadurch begründet, dass die Geschwindigkeit an sich das Anpassungsregulativ ist. Die höhere Belastung bei Steigungen wirkte sich durch die geringere Länge der Anstiege weniger stark auf die Geschwindigkeit aus. Studien, die den Zusammenhang zwischen der Fortbewegungsgeschwindigkeit und Herzfrequenz bzw. Sauerstoffaufnahme beim Gehen in der Ebene untersuchten, stellten heraus, dass die Sauerstoffaufnahme als Funktion der Geschwindigkeit steigt (BOBBERT 1960, GIVONI und GOLDMANN 1971, MILLER und STAMFORD 1987, MINETTI et al. 2002, ZAMPARO et al. 1992). Im Feld sieht dies zum Teil wieder anders aus: Bei positiven Steigungen zeigt sich eine sehr schwach positive Korrelation zwischen Herzfrequenz und Geschwindigkeit bei Strecke 1 und 2, während die beiden Parameter bei positiven Steigungen der Strecke 3 schwach negativ korrelieren ( $r = -0,165$ ;  $p \leq 0,001$ , s. Tab. 4-7, S. 113). Ähnlich sieht der Zusammenhang auch zwischen relativer Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit aus. Während diese Parameter bei Strecke 1 schwach positiv korrelieren, erweist sich der Korrelationskoeffizient bei Strecke 3 als sehr schwach, aber hochsignifikant negativ. Somit verfestigt sich die in Kapitel 5.2.3.1 (S. 149) geäußerte Vermutung, dass eine Geschwindigkeitsreduktion in Abhängigkeit zu der Länge eines Anstieges steht.

#### 5.2.4.2 Zusammenhänge zwischen den individuellen Parametern und den Streckencharakteristika

##### Steigung

Im Verlauf der Diskussion wurde schon häufiger das Streckencharakteristikum Steigung als zentraler Parameter zur Begründung von metabolischen Veränderungen herangezogen. Bei der speziellen Untersuchung möglicher Zusammenhänge zwischen der Steigung von Nordic Walking Strecken und den individuellen Parametern zeigt sich für den Bereich negativer Steigungen eine höhere Geschwindigkeit mit zunehmendem Gefälle. Dieser Zusammenhang ist zwar sehr schwach, aber überwiegend höchst signifikant ( $r_{\text{Gesamt}} = 0,157$ ;  $p \leq 0,001$ ). Positive Steigungen korrelieren mit Ausnahme von Strecke 2 negativ: Die Fortbewegungsgeschwindigkeit reduziert sich mit zunehmender Steigung. Dieser Zusammenhang wird in vielen Studien bestätigt (MINETTI et al. 2003, PERRIN et al. 2000, TERRIER et al. 2001a). Aus den Korrelationen der Strecke 2 ist die geäußerte Vermutung, dass positive Steigungen erst einmal mit gleicher oder ggf. sogar höherer Geschwindigkeit angelaufen werden und erst mit der Länge der Steigung die Geschwindigkeit reduziert wird, zu bestätigen (s. Kap. 5.2.2, S. 142). Diesbezüglich sei wiederum auf das kuptierte Geländeprofil mit seinem stetigen Wechsel zwischen kurzen An- und Abstiegen verwiesen.

Höchst signifikant ist auch der Zusammenhang zwischen positiven Steigungen und der Herzfrequenz. Je größer die Steigung ist, desto höher fallen auch die Herzfrequenzwerte aus ( $r_{\text{Gesamt}} = 0,217$ ;  $p \leq 0,001$ ). Mit Ausnahme der Strecke 1 gilt dies auch für den Zusammenhang zwischen der positiven Steigung und der relativen Sauerstoffaufnahme ( $r_{\text{Gesamt}} = 0,184$ ;  $p \leq 0,001$ ). Diese Ergebnisse aus dem Bereich des Nordic Walking gehen konform mit den Ergebnissen von HÖLTKE et al. (2003, 2005) und auch zahlreichen Studien aus dem Bereich des Gehens und des Laufens (BOBBERT 1960, GIVONI und GOLDMANN 1971, MARGARIA

1938, MARGARIA et al. 1963a, MINETTI und SAIBENE 1993, MINETTI et al. 2002, PERREY und FABRE 2008). Bei positiven Steigungen muss gegen die Gravitation gearbeitet werden, weshalb der Energieverbrauch höher ausfällt (BOBBERT 1960). Trotzdem konnte BOBBERT (1960) bei der Untersuchung positiver Steigungen keine systematische Beeinflussung der Geschwindigkeit durch die Steigung feststellen.

Die negativen Steigungen korrelieren zwar in vorliegender Studie alle positiv mit der Geschwindigkeit, jedoch sind innerhalb der Strecken bezüglich relativer Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz unterschiedliche positive und negative Zusammenhänge zu erkennen. Diese sind wieder in den Streckenprofilen mit den Längen der Anstiege zu suchen: Ursächlich für die positiven Zusammenhänge auf Strecke 1 und 3 ist, dass beim bergab Gehen ein Teil der potentiellen Energie für die Translation genutzt wird, weshalb der Energieverbrauch bzw. die Sauerstoffaufnahme geringer sind als bergauf bzw. mit zunehmendem Gefälle sinken (PIVARNIK und SHERMAN 1990). Da eine steigende Fortbewegungsgeschwindigkeit auf einer höheren Schrittfrequenz und/oder einer größeren Schrittlänge basiert, was wiederum einen größeren Anteil an muskulärer Aktivität verlangt (COTES und MEADE 1960, NILSSON et al. 1985), kann es reflektorisch auch zu einem Anstieg des Sauerstoffbedarfs kommen.

### **Streckenlänge**

Wird bei der Suche nach Zusammenhängen zwischen der Streckenlänge und den individuellen Parametern die negative Steigung bei den Korrelationsanalysen zugrunde gelegt, so kann keine einheitliche Tendenz statistisch relevanter Zusammenhänge ausgemacht werden. Lediglich zwischen der Streckenlänge und der relativen Sauerstoffaufnahme zeigt sich für alle Teststrecken eine signifikante, wenn auch sehr schwache bis schwach negative Korrelation. Betrachtet man die Streckenprofile, so ist dies nicht verwunderlich, da die größeren Anteile der negativen

Steigungen mit den längeren Streckenabschnitten in den zweiten Streckenhälften liegen, die die Probanden zum Ausgangspunkt zurück bringen. Die Nordic Walker hatten damit bei nur geringfügig veränderten Geschwindigkeiten auf den langen negativen Steigungen zum Streckenende hin die Möglichkeit der metabolischen Erholung.

Auch bei positiven Steigungen zeigt sich ein uneinheitliches Bild. Zwar sind die Zusammenhänge zwischen der Herzfrequenz und der Streckenlänge tendenziell positiv, während sie zwischen relativer Sauerstoffaufnahme und Streckenlänge tendenziell negativ ausfallen, doch sind diese Ergebnisse nicht für alle Teststrecken signifikant. Die gegenläufigen Beziehungen sind aber durchaus erklärbar: Die Sauerstoffaufnahme ist an das Herzminutenvolumen gekoppelt, was sich aus Frequenz und Schlagvolumen berechnet. Mit der steigenden Herzfrequenz in Bereichen von 90% der  $Hf_{max}$  verkürzen sich die Ventrikeldiastole des Herzens und somit auch die Füllungszeit des Herzens. Von diesem individuellen Punkt sinkt das Schlagvolumen der Person wieder und die Sauerstoffaufnahme insgesamt nimmt ab. Auch mit der Belastungszeit sinkt das Schlagvolumen ab (pro Stunde um 15%), zur Kompensation steigt die Herzfrequenz weiter an (MAIRBÄURL 2009). In vorliegender Untersuchung lag aber die längste Belastungszeit auf Strecke 3 mit im Mittel 79,4 ( $\pm 8,4$ ) min, die niedrigste auf Strecke 1 mit Mittelwerten von 31,3 ( $\pm 3,1$ ) min, so dass dieser Effekt nicht so wesentlich sein dürfte.

Insgesamt lassen die nur sehr schwachen und auch konträren Korrelationswerte die Interpretation zu, dass die Streckenlänge bei mittleren Belastungsintensitäten auf Nordic Walking Strecken bezogen auf die physiologischen Parameter eine eher untergeordnete Rolle spielt (s. Kap.5.2.3.2, S. 153). Damit bestätigt sich auch für Nordic Walking das in Kapitel 2.3.2 gewonnene Bild aus der bestehenden wissenschaftlichen Literatur, dass Strecken mit einer Länge von bis zu 8 km bei Belastungen im aeroben Intensitätsbereich einen zu vernachlässigenden Einfluss auf die energetischen Aspekte haben. Unabhängig von der Länge der Strecke könnte man dies auch für die Gehzeiten konstatieren, die hier unterhalb

von 90 min liegen. Die Vermutung, dass es durch die höhere koordinative Beanspruchung beim Nordic Walking womöglich früher zu metabolisch relevanten Ermüdungserscheinungen kommt, kann durch die vorliegende Studie bei den vorgegebenen Streckenprofilen und bei Distanzen bis zu 8 km nicht bestätigt werden. Die Gewichtung des Parameters Streckenlänge im Verhältnis zu Steigung, Steigungslänge am Stück, Steigungslänge insgesamt und Untergrund zur Klassifizierung von Nordic Walking Strecken bis 8 km Länge sollte vor diesem Hintergrund noch einmal überdacht werden. Trotzdem sollte aber einbezogen werden, dass die Streckenlänge bis zu einer bestimmten Distanz zwar aus physiologischer Sicht eine untergeordnete Rolle spielt, aber im Hinblick auf die Anlage von Nordic Walking Strecken von entscheidender Bedeutung ist: Bei der Planung einer Trainingseinheit stellt sie eine wichtige organisatorische (zeitliche) und psychologische Komponente dar (STENGL und BARTOSCH 2005).

## **Untergrund**

Wissenschaftliche Studien aus dem Bereich des Gehens und Laufens beschreiben den Zusammenhang zwischen dem Härtegrad bzw. dem Anspruch des Untergrundes und dem Energiebedarf: Je weicher der Untergrund, desto größer ist der Energiebedarf (HAISMAN und GOLDMAN 1974, HARDIN et al. 2004, GLASOW und MÜLLER 1951, KERDOK et al. 2002, LEJEUNE et al. 1998, PINNINGTON und DAWSON 2001, PINNINGTON et al. 2005, SOULE und GOLDMANN 1972, ZAMPARO et al. 1992, s. Kap. 2.3.3, S. 43). Für die Sportart Nordic Walking veröffentlichten SCHIFFER et al. (2009) die bisher einzige Studie zu diesem Thema mit ähnlichen Ergebnissen, wobei lediglich die Untergründe Beton, Polytan und Gras untersucht wurden und nicht die für Nordic Walking Strecken charakteristischen Wegearten wie Asphalt, Wirtschaftswege und Singletrails mit ihrer charakteristischen Oberflächenbeschaffenheit (s. Kap. 3.3, S. 55). Für das

Nordic Walking wurden diese Wegearten in der vorliegenden Studie erstmalig hinsichtlich ihres Einflusses auf die physiologischen Parameter Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme und die Fortbewegungsgeschwindigkeit untersucht.

Dabei ergeben sich bei positiven wie negativen Steigungen tendenziell positive Korrelationen zwischen den Werten der mittleren Herzfrequenzen und der relativen Sauerstoffaufnahmen mit dem Untergrund. Diese Zusammenhänge erweisen sich bei negativen Steigungen der Strecken 1 und 2 als signifikant, während bei positiven Steigungen die Ergebnisse der Strecken 1 und 3 signifikant sind (s. Kap 4.4.2.3, S. 117f.). Werden neben diesen Korrelationen die Werte der Herzfrequenzen und relativen Sauerstoffaufnahmen für die Untergründe betrachtet (s. Kap. 4.3.3, S. 102f.), folgt daraus, dass die physiologische Beanspruchung auf Wirtschaftswegen höher liegt als auf Asphalt. Der Korrelationskoeffizient zeigt zusätzlich, dass der Zusammenhang auf der leichteren Strecke 1 deutlich stärker ist ( $r_{\text{HF}} = 0,392$ ;  $r_{\text{VO}_2} = 0,332$ ) als auf der schwierigen Strecke 3 ( $r_{\text{HF}} = 0,077$ ;  $r_{\text{VO}_2} = 0,237$ ). Damit kann die in Kapitel 5.2.3.3 (S. 159) geäußerte Vermutung, dass der Einfluss des Untergrundes auf die Herzfrequenz und die relative Sauerstoffaufnahme mit steigendem Schwierigkeitsgrad der Strecke höher ausfällt, nicht aufrechterhalten werden. Der Einfluss des Untergrundes nimmt eher ab, was wiederum die Annahme stützt, dass andere Parameter wie die Steigung und die Fortbewegungsgeschwindigkeit wesentlich wichtigere Einflussfaktoren darstellen (s. Kap. 5.2.5).

Bei Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Untergrund und Geschwindigkeit kommt es bei positiven wie negativen Steigungen mit steigendem Anspruch des Untergrundes tendenziell zu einer Reduktion der Fortbewegungsgeschwindigkeit: Die Geschwindigkeiten lagen auf asphaltierten Wegen tendenziell höher als auf Wirtschaftswegen. Im Bereich positiver Steigungen ist dieser Zusammenhang für die Strecke 3 und für die Zusammenfassung aller Strecken signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Auch dies weist darauf hin, dass die Geschwindigkeitsreduktion in Zusammenhang

mit der Länge des Anstieges steht (s. Kap. 5.2.3.1, S. 149) und das Streckenprofil somit den größeren Einfluss nimmt.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse wird deutlich, dass der Anspruch des Untergrundes auch beim Nordic Walking im Feld und unter trainingsnahen Bedingungen durchaus einen Einfluss auf die individuellen Parameter (Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme, Geschwindigkeit) ausübt. Die eindeutigen Ergebnisse zahlreicher wissenschaftlicher Studien aus den Bereichen des Gehens (HAISMAN und GOLDMAN 1974), Laufens (KERDOK et al. 2002) und des Nordic Walkings (SCHIFFER et al. 2009) können in der dargestellten Größenordnung allerdings nicht bestätigt werden. Der Einfluss des Untergrundes beim Nordic Walking unter sportartspezifischen Voraussetzungen im Feld scheint bei den verglichenen Untergrundkategorien asphaltierte Wege, Wirtschaftswegen und Singletrails eine untergeordnete Rolle gegenüber anderer Streckenparameter zu spielen.

Die Korrelationsanalysen ergeben, dass die positive Steigung das Streckencharakteristikum mit dem größten Einfluss auf die erhobenen individuellen Parameter ist, wobei der Einfluss mit zunehmendem Anspruch der Strecke größer zu sein scheint. Außerdem kristallisiert sich die Steigungslänge als das ausschlaggebende Kriterium für eine Geschwindigkeitsreduktion heraus und sollte bei der Charakterisierung von Strecken bezüglich des gesundheitlichen Trainings stärker in den Vordergrund gestellt werden. Denkbar wäre z. B. eine Erweiterung der bestehenden Schwierigkeitseinteilung des DSV (ROTH et al. 2003, s. Tab. 3-1, S. 54), um den Parameter „Anzahl der Steigungen >XXX m Länge“. Die Festlegung der konkreten Steigungslänge muss im Rahmen weiterer Studien bestimmt werden.

### 5.2.5 Regressionsanalysen

Mit Hilfe der Regressionsanalysen soll herausgestellt werden, welchen Einfluss die Streckencharakteristika Steigung, Streckenlänge und Untergrund auf die individuellen Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit haben und welches Charakteristikum die wichtigste Einflussgröße für Nordic Walking im Allgemeinen und insbesondere aus gesundheitlicher Sicht darstellt. Außerdem wird die Art des Zusammenhangs zwischen der Herzfrequenz bzw. der relativen Sauerstoffaufnahme und der Geschwindigkeit näher untersucht, da die Vermutung bestand, dass die Fortbewegungsgeschwindigkeit (und der Stockeinsatz) als Regulativ gezielt eingesetzt wird, um die Belastungsintensität bei einer vorgegebenen Nordic Walking Strecke zu steuern.

Schon allein aufgrund der Tatsache, dass die Geschwindigkeiten bei positiven Steigungen sowohl bei der Korrelation mit der Herzfrequenz als auch mit der relativen Sauerstoffaufnahme einen negativen Korrelationskoeffizienten aufweisen, während dieser auf negativen Steigungen positiv ist, zeigt, dass eine Unterscheidung zwischen positiven und negativen Steigungen bei einer Analyse sinnvoll und begründet ist. Die durchgeführten Regressionsanalysen (s. Kap. 4.5) zeigen deutlich, dass sich nicht nur die Stärke des Einflusses der einzelnen Prädiktorvariablen auf die Kriteriumsvariablen unterscheidet, sondern auch deren Gewichtung.

Die Einordnung der Regressionsdaten in die Literatur ist nur eingeschränkt zu leisten: Für den Bereich des Nordic Walking gibt es keine adäquaten Studien, die diese Parameter in dieser Art miteinander in Beziehung gesetzt haben. Für Walking oder Laufen wurde bereits aufgezeigt, dass die metabolischen Vergleiche aufgrund der besonderen Technik des Nordic Walkings nur bedingt möglich sind. Trotzdem muss im Folgenden auf diese Studien zurückgegriffen werden.

## Negative Steigungen

Bei negativen Steigungen nimmt streckenübergreifend die Streckenlänge den größten Einfluss auf die Herzfrequenz vor Steigung, Untergrund und Geschwindigkeit. Wie die Übersichtstabelle 5-1 zeigt, variiert diese Rangfolge jedoch mit dem Schwierigkeitsgrad der Strecke. Auf Strecke 1 hat der Untergrund den größten Einfluss auf die Herzfrequenz, gefolgt von Geschwindigkeit und Steigung. Diese Tendenz bleibt auch bei der Betrachtung der einzelnen Probanden bestehen (s. Anlage B). Bei Strecke 2 kann bei negativen Steigungen ausschließlich für die Steigung ein Einfluss auf die Herzfrequenz nachgewiesen werden und bei Strecke 3 für die Streckenlänge (s. Tab. 5-1). Auch wenn vermeintlich die Streckenlänge für Strecke 3 als wichtigster Einflussfaktor auf die Herzfrequenz zählt, muss trotzdem das Streckenprofil beachtet werden, um die Daten richtig einordnen zu können (s. Kap. 5.2.3.2). Auf Strecke 3 sind die negativen Steigungen kumuliert auf der zweiten Hälfte zu finden und die körperliche Belastung durch das schon geleistete bergauf Gehen hat bereits ihren Einfluss genommen (TOWNSHEND et al. 2010). Diesbezüglich erweist sich bei Strecke 1 und 2 die Steigung, als ein Indikator für das Profil, als wichtigste Größe.

Mit der relativen Sauerstoffaufnahme als Kriteriumsvariable erweist sich bei negativen Steigungen für die Zusammenfassung aller Strecken die Geschwindigkeit als größter Einflussfaktor gefolgt vom Untergrund. Differenziert nach einzelnen Strecken zeigt sich, wie schon bei der Herzfrequenz, eine große Variation innerhalb des Einflusses der Streckencharakteristika und der Geschwindigkeit. Während bei Strecke 1 der Untergrund den größten Einfluss auf die relative Sauerstoffaufnahme nimmt, stellt der Untergrund bei Strecke 2 und 3 keine Einflussgröße dar. Die relative Sauerstoffaufnahme wird bei Strecke 2 beim Vergleich der Prädiktorvariablen am stärksten durch die Streckenlänge beeinflusst. Bei Strecke 3 erweist sich die Geschwindigkeit als Prädiktorvariable mit dem größten Einfluss vor der Streckenlänge und der Steigung (s. Tab. 5-1). Auch wenn die Geschwindigkeit der regulative Faktor für die persönliche

Einflussnahme auf die metabolischen Größen ist, wird dieses Regulatorisch bei negativen Steigungen nur bedingt eingesetzt. Die Geschwindigkeit bleibt insgesamt einigermaßen konstant und nimmt damit einen ähnlichen Einfluss wie beim bergauf Gehen. Dies wird auch in den Regressionsanalysen deutlich.

Bei der Fortbewegungsgeschwindigkeit als Kriteriumsvariable erweist sich bei negativen Steigungen die Steigung vor dem Untergrund als größter Einflussfaktor. Bei Strecke 1 wird die Geschwindigkeit ausschließlich von der Streckenlänge beeinflusst, bei Strecke 2 und 3 von der Steigung (s. Tab. 5-1). Dabei zeigt sich in der vorliegenden Studie genau wie bei PERRIN et al. (2000) und SUN et al. (1996) eine große interindividuelle Variationsbreite für die Probanden (s. Anlage B). Aus den hier so vielfältigen und konträren Regressionen für die Strecken wird deutlich, dass es kein wirklich einheitliches Muster bezüglich der Größen der Beeinflussungskomponenten gibt. Vielmehr müssen Einzelanalysen der Streckenprofile mehr in den Vordergrund gerückt werden. Zusätzlich gilt es für die Beurteilung von gesundheitlichem Training Gruppierungen von Nordic Walkern zu beschreiben, in der die körperliche Fitness genauso berücksichtigt wird wie die „Walking-Strategie“ auf der Strecke. Auch TOWNSHEND et al. (2010) beschreiben diese Strategien in Bezug auf das bergauf und bergab Laufen und ANDERSSON et al. (2010) in Bezug auf positive und negative Steigungen beim Skilanglauf.

Tab. 5-1: Übersicht der Einflussstärke der Streckenparameter auf die individuellen Parameter bei negativen Steigungen auf Grundlage der Regressionsanalysen

Strecke	Streckenlänge			Steigung			Untergrund			Geschwindigkeit	
	Hf	VO <sub>2</sub>	v	Hf	VO <sub>2</sub>	v	Hf	VO <sub>2</sub>	v	Hf	VO <sub>2</sub>
1	+	+	++++	++	++		++++	++++		+++	+++
2		++++		++++	+++	++++					++
3	++++	+++			++	++++					++++
<b>Gesamt</b>	++++			+++		++++	++	+++	+++	+	++++

(grau = negative Korrelation; weiß = positive Korrelation; ++++ stärkster Prädiktor bis + geringster Prädiktor)

## Positive Steigungen

Im Vergleich zu den Ergebnissen der Regressionsanalyse bei negativen Steigungen ergibt sich bei positiven Steigungen ein einheitlicheres Bild: Wie Übersichtstabelle 5-2 zeigt, zeichnet sich bei der Herzfrequenz als Kriteriumsvariable bei Strecke 2 und 3 sowie bei der gemeinsamen Analyse aller Strecken (Gesamt) die Steigung als wichtigster Prädiktor ab. An zweiter Stelle liegt bei der Zusammenfassung aller Strecken die Streckenlänge vor dem Untergrund. Vergleicht man die Teststrecken untereinander, so rangiert bei Strecke 1 der Untergrund vor der Geschwindigkeit und der Steigung als Prädiktorvariable mit dem größten Einfluss auf die Herzfrequenz auf Platz 1. Bei Strecke 2 folgt nach der Steigung die Streckenlänge und bei Strecke 3 die Geschwindigkeit. Die relative Sauerstoffaufnahme wird, genau wie die Herzfrequenz, bei positiven Steigungen der Strecken 2, 3 und streckenübergreifend am stärksten von der Steigung beeinflusst. An zweiter und dritter Position liegen bei der Gesamtdarstellung der Untergrund und die Streckenlänge. Genau wie bei dem Parameter Herzfrequenz stellt der Untergrund bei Strecke 1 die stärkste Einflussgröße vor Geschwindigkeit und Streckenlänge dar. Als zweitstärkste Einflussgröße folgt bei Strecke 2 und 3 die Streckenlänge (s. Tab. 5-2). Damit scheint die Geschwindigkeit eine untergeordnete Rolle in der Beeinflussung der Herzfrequenz und relativen Sauerstoffaufnahme zu spielen, was so im Feld nicht richtig ist. Die Geschwindigkeit ist der einzige Parameter, der von den Probanden als Regulativ benutzt werden kann und sehr stark beim bergauf Gehen in Form einer Geschwindigkeitsreduktion eingesetzt wird (HENKE und BLUMENBACH 2005, MINETTI et al. 2003, PERRIN et al. 2000, TOWNSHEND et al. 2010). Festzuhalten bleibt, dass der Untergrund in der Gesamtanalyse der positiven Steigungen eine relativ konstante Größe der metabolischen Beeinflussung ausmacht, analog wie dies auch von SOULE und GOLDMANN (1972) für das Gehen konstatiert wurde, wobei die Steigung jedoch die zentrale Einflussgröße darstellt.

Den größten Einfluss auf die Geschwindigkeit übt die Steigung aus. Dies gilt für Strecke 1, 3 und Gesamt, wobei es sich um eine negative Korrelation handelt, das heißt je größer die Steigung desto geringer die Geschwindigkeit. An zweiter Stelle der Gesamtwertung folgt der Untergrund, der auch bei Strecke 2 und 3 an zweiter Stelle steht. Bei Strecke 2 rangiert die Streckenlänge an erster Stelle, auch wenn sie insgesamt – wie bei Strecke 3 – an letzter Position der beeinflussenden Streckencharakteristika steht (s. Tab. 5-2). Der Untergrund als Regulativ für die Fortbewegungsgeschwindigkeit steht nie an erster Stelle, dennoch ist er ein nicht zu vernachlässigender Faktor.

Tab. 5-2: Übersicht der Einflussstärke der Streckenparameter auf die individuellen Parameter bei positiven Steigungen auf Grundlage der Regressionsanalysen

Strecke	Streckenlänge			Steigung			Untergrund			Geschwindigkeit	
	Hf	VO <sub>2</sub>	v	Hf	VO <sub>2</sub>	v	Hf	VO <sub>2</sub>	v	Hf	VO <sub>2</sub>
1		++	+++	++		++++	++++	++++		+++	+++
2	+++	+++	++++	++++	++++				+++		
3		+++	++	++++	++++	++++			+++	+++	
<b>Gesamt</b>	+++	++		++++	++++	++++	++	+++	+++		

(grau = negative Korrelation; weiß = positive Korrelation; +++++ stärkster Prädiktor bis + geringster Prädiktor)

Der Einfluss der einzelnen Streckencharakteristika auf die individuellen Parameter sowie der Einfluss der Geschwindigkeit auf die Herzfrequenz und die relative Sauerstoffaufnahme verändern sich nach den vorliegenden Ergebnissen mit dem Schwierigkeitsgrad der Strecke. Während bei der leichten Strecke 1 der Untergrund sowohl bei negativen als auch bei positiven Steigungen und auch in der Einzelbetrachtung der Probanden (s. Anlage B) den größten Einfluss auf die Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme nimmt, so verliert dieser Einfluss mit zunehmendem Anspruch der Strecke an Bedeutung. Dies weist darauf hin, dass ein kon-

stanter Terrainfaktor, wie er von SOULE und GOLDMAN (1972) für die Berechnung des Energieverbrauchs beim Gehen festgelegt wurde, nicht auf Nordic Walking im Feld übertragen werden kann. Während der Untergrund in der Ebene bzw. bei relativ flachen Strecken einen verhältnismäßig großen Einfluss auf energetische Faktoren nimmt, so vergrößert sich mit steigendem Anspruch der Nordic Walking Strecke der Einfluss der Steigung auf den Metabolismus und der Untergrund tritt in den Hintergrund. Mit einem konstanten Terrainfaktor kann damit keine Vorhersage über den Energieverbrauch im Feld gemacht werden. Je nach Geschwindigkeit, Steigung und Last muss der Terrainfaktor modifiziert werden (SANTEE et al. 2003).

Die Geschwindigkeit als Kriteriumsvariable wird sowohl von den Probanden selbst als auch direkt von der Steigung beeinflusst. Dies wird ebenfalls in der Einzelauswertung deutlich (s. Anlage B). Die Höhe der Einflussnahme durch die Steigung fällt mit zunehmendem Anstieg geringer aus, da die Probanden selbst mehr regulatorisch auf die Geschwindigkeit einwirkten. Einzige Ausnahme dabei bildet die Strecke 2. Wie bereits mehrfach erwähnt, ist das Streckenprofil dieses Rundkurses durch überwiegend kupiertes Gelände charakterisiert, in dem Anstiege und Gefälle einem stetigen Wechsel unterliegen. Auf den kürzeren Anstiegen mussten die Probanden insgesamt ihre Geschwindigkeit nicht entscheidend reduzieren, da nach kurzer Zeit eine Belastungsreduktion aufgrund von Gefälle oder ebenen Passagen folgte. Die Betrachtung der Regressionsanalysen für die einzelnen Strecken stützen erneut die Vermutung, dass eine Geschwindigkeitsreduktion nicht initial mit Beginn einer Steigung erfolgt, sondern in Abhängigkeit von der Länge des Anstieges (s. Kap. 5.2.3.1, S. 149). Im Umkehrschluss hielten die Probanden ihre Fortbewegungsgeschwindigkeit bei Strecken mit vornehmlich kupierten Gelände eher konstant: Damit folgen sie einer „Strategie“ (TOWNSHEND et al. 2010), die für Tipps zum gesundheitlichen Training in Gruppen geclustert werden sollten, um die Belastungssituation besser beschreiben zu können.

Bezüglich der Streckenlänge als Einflussfaktor auf die individuellen Parameter zeigt sich ein sehr inhomogenes Bild, das kritisch betrachtet werden muss. Die negative Korrelation zwischen Streckenlänge und relativer Sauerstoffaufnahme beschreibt, dass die Sauerstoffaufnahme mit zunehmender Streckenlänge geringer wird. Der erwartete Anstieg der metabolischen Beanspruchung mit zunehmender Streckenlänge aufgrund von Ermüdungserscheinungen (BRUECKNER et al. 1991, DE MARÉES 2003, DI PRAMPERO et al. 1986) scheint somit auszubleiben. Analysiert man allerdings das Profil der einzelnen Strecken genauer, so wird insbesondere bei Strecke 3 schnell deutlich, dass der Rückgang der relativen Sauerstoffaufnahme auf der zweiten Streckenhälfte wohl eher im stetigen bergab Gehen begründet sein dürfte (s. o.).

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Untersuchung:

- Der Einfluss der Streckencharakteristika auf die individuellen Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit verändert sich mit dem Anspruch der Strecke bzw. dem Streckenprofil.
- Mit steigendem Anspruch der Strecke bzw. des Streckenprofils verringert sich der direkte Einfluss des Untergrundes auf die Herzfrequenz und die relative Sauerstoffaufnahme und der Parameter Steigung beeinflusst den Metabolismus zunehmend mehr.
- Die Länge des Anstieges scheint neben dem Grad der Steigung und dem strategischen Moment des Nordic Walkers, wie die Situation zu meistern ist, der wichtigste Faktor für eine Geschwindigkeitsreduktion zu sein.
- Die Anpassung der Geschwindigkeit fällt geringer aus als es die Konstanterhaltung der Belastungsintensität ( $\% Hf_{\max}$  und  $\% VO_{2\max}$ ) verlangen würde: Als Folge verändern sich die metabolischen Parameter.

- Positive Anstiege bewirken trotz kompensatorischer Geschwindigkeitsreduktion eine Erhöhung der körperlichen und metabolischen Belastung.
- Die Probanden nutzen die Fortbewegungsgeschwindigkeit als Regulativ aufgrund ihres Fitnessgrades individuell unterschiedlich. Gleiches gilt für ihre Strategie der Belastungssituation zu begegnen.

### **5.2.6 Belastungsintensitäten und Geschwindigkeiten im gesundheitlichen Kontext**

Nordic Walking gehört zu den aus gesundheitlicher Sicht am häufigsten empfohlenen Sportarten. Es soll die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit fördern und gleichzeitig vor kardiovaskulären Problemen schützen (PARKATTI et al. 2012, PREUß et al. 2008). Um dies zu erreichen, existieren gesundheitliche Belastungskenngrößen, unter deren Blickwinkel trainiert werden sollte (s. Kap. 2.2, S. 25ff.). Zu den Kenngrößen zählen auch die Belastungsintensitäten bezogen auf die maximale Herzfrequenz bzw. die maximale Sauerstoffaufnahme. Diesbezüglich sind in Abbildung 5-1 die mittleren Belastungsintensitäten und die dazugehörigen Fortbewegungsgeschwindigkeiten der drei Teststrecken zusammengefasst. Auf die Darstellung der Standardabweichungen wurde zu Gunsten der Übersichtlichkeit verzichtet. Die Standardabweichungen können Kap. 4.6 (S. 131ff.) bzw. Abb. 4-32 bis 4-34 entnommen werden.

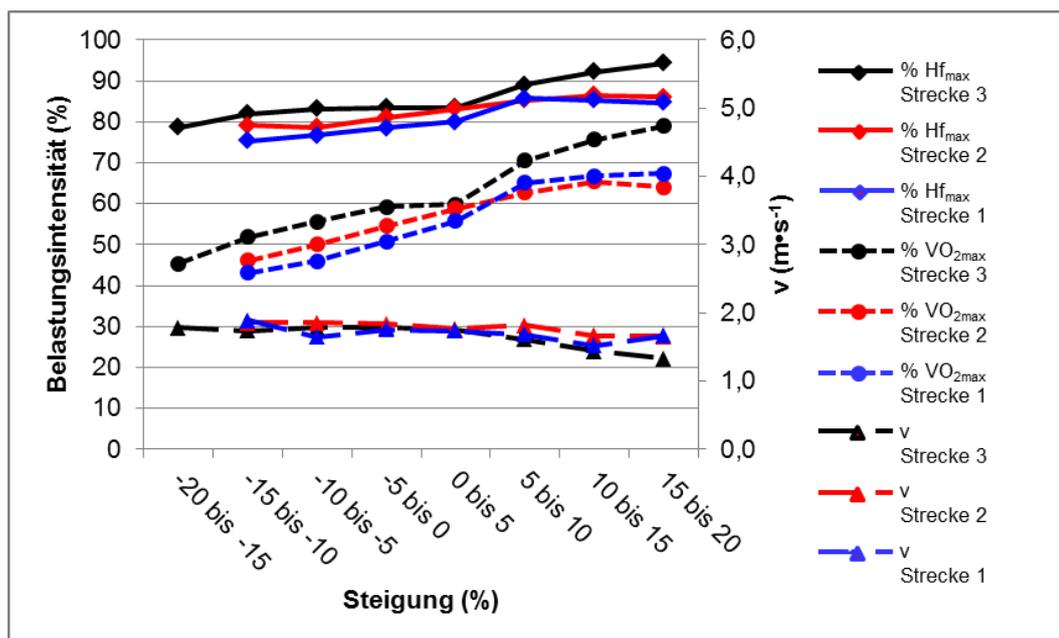


Abb. 5-1: Mittlere Belastungsintensitäten im Verhältnis zu der maximalen Herzfrequenz (% Hf<sub>max</sub>) und der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme (% VO<sub>2max</sub>) sowie der mittleren Geschwindigkeiten (v) innerhalb der definierten Steigungsabschnitte auf den drei Teststrecken, n=9

Legt man die Angaben des ACSM (1998) für ein gesundheitsorientiertes Training zu Grunde (s. Kap. 2.2, S. 28), so sollte ein solches Nordic Walking Training im Bereich von 55/65-70% der Hf<sub>max</sub> bzw. 40/50-60% der VO<sub>2max</sub> ausgeübt werden. Die Belastungsintensitäten in der vorliegenden Studie, abgeleitet von der errechneten maximalen Herzfrequenz, lagen bei Strecke 3 zwischen 79 und 94%, bei Strecke 2 zwischen 79 und 87% und bei Strecke 1 zwischen 75 und 86%. In Bezug auf die maximale relative Sauerstoffaufnahme wurden bei Strecke 3 zwischen 45 und 79%, bei Strecke 2 zwischen 46 und 65% und bei Strecke 1 zwischen 43 und 67% der VO<sub>2max</sub> ermittelt (s. Abb. 5-1). Somit liegen die Belastungsintensitäten zwar im Bereich der vom ACSM (1998) und AHA (2001) empfohlenen Trainingsintensität für Ausdauertraining von 40/50-85% der VO<sub>2max</sub> bzw. 55/65-90% der Hf<sub>max</sub>, überschreiten die für ein gesundheitsorientiertes Training propagierten Werte aber deutlich.

Diese zu hohe Intensität für das Gesundheitstraining auf Strecke 3 hat sich bereits durch das subjektive Belastungsempfinden angedeutet

(s. Kap. 5.2.2, S. 141). Andererseits zeigen sich im Bereich negativer Steigungen sehr niedrige Belastungsintensitäten für alle Strecken. Die Untersuchungsteilnehmer hielten ihre Fortbewegungsgeschwindigkeiten in diesen Abschnitten nahezu konstant, wobei die physiologischen Parameter (Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme) mit zunehmendem Gefälle kontinuierlich abnahmen. Die Belastungsintensitäten liegen damit an der unteren Grenze des empfohlenen Intensitätsbereiches. Neben der Steuerung der Belastung über die Geschwindigkeit wäre es ggf. sinnvoll eine neue Technik des Armeinsatzes zu entwickeln, um den Sportlern ein weiteres Regulativ an die Hand zu geben und dadurch einen noch größeren gesundheitlichen Benefit zu ermöglichen. Dafür wäre in Passagen negativer Steigung ein verstärkter und modifizierter Armeinsatz zu fordern. Im Bereich positiver Steigungen müsste dann der Armeinsatz vermindert werden, da die mittleren Belastungsintensitäten deutlich über der von ACSM (1998) und AHA (2001) propagierten Obergrenze von 70% der  $Hf_{max}$  bzw. 60% der  $VO_{2max}$  liegen (s. Abb. 5-1). Zusätzlich erscheint es für ein ideales Gesundheitstraining ebenfalls notwendig zu sein von außen regulierend auf die Belastungsintensitäten einzuwirken. Denkbar wäre es z. B. durch eine zusätzliche Beschilderung im Bereich von Anstiegen auf die richtige Belastungsintensität z. B. durch Angabe des geforderten RPEs von 12-13 (ACSM 1998) und ggf. auf eine Geschwindigkeitsreduktion hinzuweisen. Gleichzeitig müsste eine Differenzierung der Anstiege nach Länge und Steilheit erfolgen.

Beim Vergleich der vorliegenden prozentualen Daten mit der Literatur finden sich ähnliche Werte: SVOBODA et al. (2011) ermittelten in ihrem Laufbandtest mit einer mittleren Belastungsintensität von ca. 63% der  $VO_{2max}$  bei einer positiven Steigung von 10% entsprechende Werte wie in der vorliegenden Studie für Strecke 1 und 2. In der Einzelfallanalyse war der männliche Proband mit einer Geschwindigkeit von  $\sim 2,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  jedoch deutlich schneller unterwegs und das Alter (26 Jahre) deutlich geringer als bei dem vorliegenden Probandenklientel. Bei der Laufbandstudie von HANSEN und SMITH (2009) lagen die Belastungsintensitäten bei selbstge-

wählten Geschwindigkeiten bei einem Gefälle von ~21,3% bei 43,7% der  $VO_{2max}$ , in der Ebene bei 67,4% der  $VO_{2max}$  und bei einem Anstieg von ~21,3% bei 86,6% der  $VO_{2max}$ . Die Ergebnisse liegen somit in der Ebene und bei positiven Steigungen etwas höher als in der vorliegenden Studie. Eine mögliche Begründung könnte darin liegen, dass die Probanden bei HANSEN und SMITH (2009) zwar für jede Steigung ihre Geschwindigkeit selbst wählen konnten, sie aber aufgrund des Laufbandes dazu gezwungen waren, diese Geschwindigkeiten über die Dauer der Testeinheit konstant zu halten. Dagegen wurde die Geschwindigkeit in der vorliegenden Untersuchung als Regulatoriv benutzt und entsprechend individuell angepasst.

Die ermittelten Belastungsintensitäten im Verhältnis zu der  $Hf_{max}$  und der  $VO_{2max}$  weisen auf eine Veränderung des Verhältnisses zwischen den beiden Parametern mit zunehmender Steigung hin, wie es auch in der Literatur für unterschiedliche Grade körperlicher Aktivität beschrieben wird (BERNARD et al. 1997, SPURR et al. 1988). Mit ansteigender körperlicher Belastung nähern sich die prozentualen Anteile der Belastungsintensitäten an: So entsprechen im Bereich moderater Intensitäten 75% der  $Hf_{max}$  ungefähr 43% der  $VO_{2max}$ , während im Bereich höherer Intensitäten 94% der  $Hf_{max}$  ungefähr 79% der  $VO_{2max}$  entsprechen. Der Unterschied reduziert sich somit um 17%, was sich aber in den Belastungsempfehlungen aus trainings- als auch gesundheitsphysiologischer Sicht nicht widerspiegelt. Die Empfehlungen mögen zwar für die Ebene stimmig sein, sind aber im Gelände mit Steigungen nicht aussagekräftig. Demnach sollten die Angaben der maximalen Sauerstoffaufnahme für Geländeformen mit Steigungen aus gesundheitlicher Sicht überarbeitet werden.

Pauschale Angaben, wie z. B. von DISHMAN (1994), die Sportlern unabhängig von ihrer sportlichen Vergangenheit attestieren spontan eine Trainingsintensität von 60-65% der  $VO_{2max}$  zu wählen, treffen auf die Teilnehmer dieser Nordic Walking Studie nicht zu. Beim Einhalten der propagierten 60-65% der  $VO_{2max}$  müsste die Gehgeschwindigkeit bergab z. B. stark erhöht werden, was zum einen zu einem erhöhten Sturzrisiko

führen könnte und zum anderen die Herzfrequenz in ungesunde Bereiche steigern würde. Dieses Regulativ wird von den Sportlern nicht eingesetzt. Vielmehr zeigt sich, dass die Strecken die Belastungsintensitäten der Nordic Walker vorgeben und die Sportler selbst nur in geringem Maße durch eine Geschwindigkeitsanpassung regulierend einwirken. Als Konsequenz bleibt: Eine optimale gesundheitliche Steuerung der Belastungsintensität im Feld ist zurzeit für ungeübte Sportler über die Angaben der Herzfrequenzmessung nur sehr schwer zu realisieren. Vor diesem Hintergrund erscheint eine sorgfältige Auswahl geeigneter Nordic Walking Strecken essentiell, um ein gesundheitsorientiertes Training zu ermöglichen. Als wichtigster Parameter erweist sich in der vorliegenden Studie die Steigung. Gerade die Länge der einzelnen Steigungsabschnitte kristallisierte sich als entscheidender Faktor für ihre Einflussnahme auf die Belastungsintensitäten heraus (s. Kap. 5.2.4.2, S. 170).

Insgesamt gesehen zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Studie zu den mittleren Belastungsintensitäten aber auch, dass diese relativen physiologischen Daten den vom DSV festgelegten Schwierigkeitsgrad der Strecken widerspiegeln (s. Tab. 3-1, S. 54). Je anspruchsvoller die Strecken sind, desto höher fallen die Belastungsintensitäten in Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. der maximalen Herzfrequenz aus, obwohl die Fortbewegungsgeschwindigkeiten frei wählbar sind.

### 5.3 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Feldstudie zeigt erstmals das physiologische Anpassungsverhalten von Nordic Walkern auf spezifischen Nordic Walking Strecken unter trainingsnahen Bedingungen und in besonderem Bezug zu den Einflüssen der Streckenparameter Steigung, Streckenlänge und Untergrund. Erstmals wurden auch die für Nordic Walking Strecken typischen Untergrundkategorien asphaltierte Wege, Wirtschaftswege und Singletrail hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die individuellen Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Fortbewegungsgeschwindigkeit untersucht.

In dieser Studie wird deutlich, dass die Probanden im Feld unterschiedliche Strategien verfolgen, um differierenden äußeren Bedingungen zu begegnen. Als Parameter zur Steuerung der metabolischen Belastungssituation im Feld setzt sich für positive Steigungen grundsätzlich die Geschwindigkeit durch: Sie nimmt ab. Bezüglich der Stoffwechsellage konnte gezeigt werden, dass unter den untersuchten Streckencharakteristika die positive Steigung die bedeutendste Einflussgröße für die individuellen Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Fortbewegungsgeschwindigkeit darstellt.

Auch wenn die Geschwindigkeit auf flachen Strecken im Labor die metabolische Situation bestimmt, ist im Feld die Geschwindigkeit in der Ebene als Parameter zur Bestimmung der physiologischen Belastung eine konstant gehaltene Größe, so dass der Untergrund eine entscheidende Rolle im physiologischen Belastungsprofil der Nordic Walker einnimmt. Damit ist die Bewertung von Streckenuntergründen in Abhängigkeit vom Geländeprofil eine nicht zu vernachlässigende Größe zur Beschreibung bzw. Charakterisierung einer metabolischen Belastung, nicht nur aus gesundheitlicher Sicht. Diesbezüglich müssten noch weitere Untersuchungen folgen, die sich ganz spezifisch mit den für Nordic Walking Strecken typischen Untergründen auseinandersetzen, um so die Situation wissenschaftlich noch eindeutiger beschreiben zu können.

Negative Steigungen geben insgesamt ein eher heterogenes Bild ab: Zwar konnten unterschiedliche Korrelationen zwischen den Strecken, deren Charakteristika und den individuellen Parametern hergestellt werden, doch diesen Ergebnissen kann nur eine vage Verhaltensstrategie der Walker zugeordnet werden. In den flachen negativen Passagen wurde die Geschwindigkeit leicht erhöht, um ab -5% mehr oder minder konstant zu bleiben. Im negativen Steigungsbereich spielen Faktoren wie die Trittsicherheit auf den untersuchten Strecken und Untergründen keine entscheidende Rolle, da es zu keiner Geschwindigkeitsreduktion kam. Sowohl aus metabolischer Sicht als auch in Bezug auf die Untergründe ist die negative Steigung – ausgehend von dieser Studie – daher nicht zu vernachlässigen. Trotz der nahezu konstanten Geschwindigkeit sanken die metabolischen Werte stark ab, während die Herzfrequenzen hoch blieben. Sollten bei den Sportlern persönliche Sicherheits- oder Angaspekte bezogen auf das Terrain hinzukommen, müssten weitere Untersuchungen zeigen, ob diese zu einer Geschwindigkeitsreduktion führen würden und welche Konsequenzen dies in Bezug auf die metabolische Situation hätte.

Wie beschrieben verändern Nordic Walker ihre Fortbewegungsgeschwindigkeit aufgrund äußerer Bedingungen wie Steigung und Untergrundwechsel. Diese Geschwindigkeitsregulation erfolgt aber nicht in dem Maße wie es zur Konstanterhaltung der Belastungssituation notwendig wäre. Daraus folgt, dass die physiologische Beanspruchung bei selbständigem Training auf ausgewiesenen Strecken auch in direkter Abhängigkeit zum Streckenprofil steht und somit die Auswahl der geeigneten Nordic Walking Strecken eine wichtige Voraussetzung für ein gesundheitsorientiertes Nordic Walking Training darstellt. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Klassifizierung von Nordic Walking Strecken nach dem Vorbild des DSV nicht nur als richtig, sondern auch als sehr wichtig. Für das Streckencharakteristikum Streckenlänge konnte deutlich gemacht werden, dass sich dies eher aus Sicht der Trainingsorganisation

und -planung, als aus physiologischer Sicht als wichtiger Gesichtspunkt für den Entwurf neuer Nordic Walking Strecken erweist.

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass die Einflüsse der Steigung und des Untergrundes auf die individuellen Parameter abhängig von dieser spezifischen Konstellation sind und deshalb interindividuelle Unterschiede in der Regulierung der Belastungsintensität bestehen. Beispielhaft sei hier noch einmal auf den Einfluss des Untergrundes verwiesen, der die Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme auf flachen Strecken signifikant beeinflusst, während die Geschwindigkeit bei den untersuchten Untergrundkategorien auf flachen Strecken unabhängig von der Oberfläche des Weges ist. Mit zunehmender Steigung der Strecke erhöht sich die körperliche Belastung und der Geschwindigkeit kommt als Regulativ der Belastungsintensität eine zunehmend größere Bedeutung zu. Zwar reduzierten die Nordic Walker bei wechselnden Untergründen innerhalb größerer Steigungen ihre Geschwindigkeit, aber trotzdem überlagerte der physiologische Effekt der Steigung den des Untergrundes, so dass Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme den steigenden Anspruch des Untergrundes bei positiven Steigungen nicht widerspiegeln. Eine Geschwindigkeitsreduktion erfolgt jedoch nicht initial mit Beginn einer Steigung, sondern in Abhängigkeit von der Länge des Anstieges. Dies bedeutet, dass die Nordic Walker bei bekannten Strecken mit vornehmlich kupiertem Gelände ihre Fortbewegungsgeschwindigkeit eher konstant halten. Gerade in Bezug auf Streckenplanungen wären in diesem Zusammenhang weitere Untersuchungen sinnvoll. Diese sollten zum einen ermitteln, welche Länge eine Steigung in Abhängigkeit zu der Leistungsfähigkeit eines Probanden haben muss, damit es zu besagter Reduzierung der Geschwindigkeit kommt. Zum anderen müsste untersucht werden, inwiefern die Information über die Länge eines Anstieges die Geschwindigkeitsanpassung beeinflusst. Damit besteht nicht nur für die Sportart Nordic Walking, sondern auch für das Walking und Laufen ein großes Forschungsdefizit im Bereich trainingsnaher Feldstudien insbe-

sondere in Bezug auf diese individuellen Regulationsmechanismen zur Steuerung der Belastungsintensität.

Für die Absolvierung der Nordic Walking Strecken wählten die erfahrenen Nordic Walker der vorliegenden Untersuchung nicht die energetisch optimale Geschwindigkeit, sondern ein Tempo und damit eine physiologische Beanspruchung, die einen positiven Effekt auf die Leistungssteigerung verspricht. Dabei bewegten sie sich intuitiv in dem vom ACSM (1998) propagierten Intensitätsbereich zur Steigerung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit von 55/65-90% der  $Hf_{max}$  bzw. 40/50-85% der  $VO_{2max}$ . Aus der Sicht eines gesundheitsorientierten Trainings ist dies aber anders zu bewerten. Ein Training im Bereich von 55-70% der  $Hf_{max}$  und 40-60% der  $VO_{2max}$  bzw. eines RPEs von 12-13 wird zwar als ideal angesehen (ACSM 1998, AHA 2001), wurde auf den ausgewählten Nordic Walking Strecken aber nur auf der mittelschwierigen Strecke kontinuierlich erreicht. Diese bot in dieser Studie mit ihrer kupierten Geländeform aus gesundheitlicher Sicht die besten Bedingungen für ein Gesundheitstraining, auch wenn in den Steigungen zum Teil mehr als 60% der  $VO_{2max}$  erreicht wurden. Die Belastungsintensität auf der schweren Strecke lag trotz frei wählbarer Geschwindigkeit für ein gesundheitsorientiertes Training zu hoch. Auf der leichten Strecke hingegen bewegten sich die Nordic Walker an der Untergrenze des trainingswirksamen Bereichs und unterhalb des geforderten RPEs. Eine Streckenbeschilderung, die auf die richtigen Belastungsintensitäten hinweist, könnte sich positiv auf ein Training im gesundheitsförderlichen Bereich auswirken. In Anlehnung an die Erfahrungen an der Autobahn mit „Tempo 130“-Schildern müssten die Einflüsse von Beschilderungen in weiteren Studien z. B. unter dem Motto „Puls 180-LA“ überprüft werden. Dabei muss aber bedacht werden, wie schon von SCHIFFER et al. (2006) beschrieben, dass die Korrelation zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme beim Nordic Walking anscheinend anders verläuft als beim Walking. So werden die von ACSM (1998) und AHA (2001) propagierten Grenzen für ein gesundheitsorientiertes Training im Bereich der Sauerstoffaufnahme zwar bei Strecke 1 und 2 im Mittel

eingehalten, aber in Abhängigkeit von der Herzfrequenz deutlich überschritten. Da sich diese Parameter in den Steigungen nicht parallel entwickeln, sondern sich mit zunehmender Steigung annähern, sind die Angaben zum (gesundheitlichen) Training aus metabolischer Sicht zu überarbeiten.

Eine sorgfältige Auswahl geeigneter Nordic Walking Strecken oder eine bessere Schulung bzw. Sensibilisierung gesundheitsorientierter Nordic Walker für die Wahl einer geeigneten Belastungsintensität erscheint auf Grundlage der vorliegende Studie sinnvoll bzw. notwendig zu sein, um die Voraussetzungen für ein gesundheitsorientiertes Nordic Walking Training zu verbessern. Denkbare Möglichkeiten einer Umsetzung könnten zum einen eine Förderung der Körperwahrnehmung innerhalb eines spezifischen Kursangebotes sein oder durch das Tragen eines Herzfrequenzmessers mit integriertem Streckenprofil erfolgen. So wären lange Anstiege zu identifizieren und die Geschwindigkeit müsste entsprechend reguliert werden. Zum anderen wäre das Aufstellen zusätzlicher Hinweisschilder eine praktikable Möglichkeit. Diese könnten die Sportler zu Beginn längerer Steigungen darauf aufmerksam machen, eine Belastung entsprechend eines RPEs 12 bis 13 („etwas anstrengend“) zu wählen. Bei eher flachen Abschnitten oder Strecken sollte ein solches Hinweisschild die Sportler motivieren ihre Belastungsintensität und Geschwindigkeit zu überprüfen und gegebenenfalls so anzupassen, dass der geforderte RPE erreicht wird. Auch die Veränderung der Technik des Armeinsatzes zur weiteren Regulation der metabolischen Situation ist denkbar, würde aber eine Sensibilisierung für die Nordic Walking Technik erforderlich machen. Denkbar wäre es auch, die für ein gesundheitsorientiertes Training geeigneten Strecken mit einem besonderen Prädikat auszuzeichnen. Dazu müssten die Ergebnisse der vorliegenden Studie aber erst durch weitere Untersuchungen überprüft und gestützt werden.

## 6 Zusammenfassung

Nordic Walking hat sich als eine der beliebtesten Ausdauersportarten im gesundheits- und freizeitsportlichen Bereich in Deutschland etabliert. Die besten Voraussetzungen zur Ausübung dieser Sportart sollen speziell ausgewiesene Nordic Walking Strecken bieten, die nach Richtlinien des Deutschen Skiverbandes (DSV) in die Kategorien leicht, mittelschwierig und schwierig eingeteilt werden.

Auch wenn zahlreiche Studien im Labor zur physiologischen Beanspruchung des Nordic Walkings existieren, sind feldnahe Untersuchungen bisher nur wenig zu finden. In welchem Umfang Nordic Walking Strecken die physiologische Beanspruchung der Nordic Walker und deren Verhalten in Bezug auf die Geschwindigkeitsregulation beeinflussen und welche Bedeutung dies insbesondere für ein gesundheitsorientiertes Training hat, ist nicht bekannt und sollte in der vorliegenden Studie untersucht werden. Dazu wurden die Streckencharakteristika Steigung, Streckenlänge und Untergrund hinsichtlich ihrer Einflussnahme auf die Parameter Herzfrequenz und relative Sauerstoffaufnahme sowie die Fortbewegungsgeschwindigkeit überprüft.

Neun erfahrene Nordic Walker (7 Frauen und 2 Männer) mit einem mittleren Alter von 51,1 ( $\pm 8,6$ ) Jahren und einem mittleren Körpergewicht von 74,1 ( $\pm 11,3$ ) kg absolvierten jeweils drei vom DSV zertifizierte Nordic Walking Strecken unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades (leicht, mittelschwierig und schwer) in ihrer selbstgewählten Trainingsgeschwindigkeit. Während der Testphase wurden die Herzfrequenzen und die Sauerstoffaufnahmen kontinuierlich über ein portables Spirometrie-System (ZAN 600 Mobile) aufgezeichnet. Die Ermittlung der Lagedaten erfolgte durch ein differentielles GPS-Gerät mit Rover und Referenzstation. Zusätzlich wurde das subjektive Belastungsempfinden (RPE) nach Borg (Borgskala 6-20) im Anschluss eines jeden Testdurchlaufes festgehalten.

Das subjektive Belastungsempfinden unterschied sich signifikant zwischen den drei Teststrecken. Mit einem RPE von 10,7 ( $\pm 1,1$ ) auf der leichten

Strecke,  $12,3 (\pm 0,9)$  auf der mittelschwierigen Strecke und  $15,0 (\pm 1,2)$  auf der schwierigen Strecke spiegeln diese Ergebnisse die vom DSV ausgewiesenen Schwierigkeitsgrade der Strecke wider. Sie werden durch die mittleren Herzfrequenzen der einzelnen Strecken bestätigt: leichte Strecke  $138,5 (\pm 13,5) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$ , mittelschwierige Strecke  $142,2 (\pm 15,6) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$ , schwierige Strecke  $147,8 (\pm 17,0) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$ . Alle Strecken unterscheiden sich signifikant voneinander ( $p \leq 0,05$ ). Auch die Werte der relativen Sauerstoffaufnahme untermauern tendenziell die Einteilung der Schwierigkeitsgrade mit Mittelwerten von  $22,35 (\pm 5,07) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  bei der leichten,  $23,09 (\pm 3,22) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  bei der mittelschwierigen und  $25,13 (\pm 4,51) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  bei der schwierigen Strecke.

Die Differenzierung der individuellen Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Geschwindigkeit nach dem Streckencharakteristikum Steigung zeigte signifikante Unterschiede: Höhere Herzfrequenzen und gesteigerte Werte der relativen Sauerstoffaufnahme wurden in Abschnitten positiver Steigungen gegenüber negativen Steigungsbereichen gemessen ( $p \leq 0,05$ ), während die Fortbewegungsgeschwindigkeit bei negativen Steigungen tendenziell höher lag als bei positiven. Bei der schwierigen Strecke unterschieden sich die mittleren Fortbewegungsgeschwindigkeiten zwischen allen definierten positiven Steigungsabschnitten signifikant ( $p \leq 0,01$ ), die Steigung korreliert dabei höchst signifikant mit der Abnahme der Geschwindigkeit. Trotz dieser Geschwindigkeitsreduktion erhöhten sich die Mittelwerte der physiologischen Parameter zwischen den Steigungsabschnitten von 0 bis 15% signifikant ( $p \leq 0,01$ ); physiologische Parameter und Anstiege korrelieren positiv miteinander. Im Bereich der positiven Steigungen wurden mittlere Herzfrequenzen von bis zu  $163 (\pm 21,5) \text{ S}\cdot\text{min}^{-1}$  und relative Sauerstoffaufnahmen von bis zu  $32,25 (\pm 5,74) \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  erreicht. Diese Werte korrelieren positiv miteinander. Für das Probandenklientel entspricht dies gemittelten Belastungsintensitäten von ca. 94% der  $Hf_{\max}$  bzw. 79% der  $VO_{2\max}$ .

Durchschnittlich lagen die erreichten Belastungsintensitäten im von ACSM und AHA propagierten trainingswirksamen Intensitätsbereich. Für ein

gesundheitsorientiertes Training werden Trainingsbelastungen von maximal 70% der  $Hf_{max}$  bzw. 60% der  $VO_{2max}$  und ein RPE von 12-13 als ideal angesehen. Während die Werte der mittelschwierigen Strecke diesen Belastungsintensitäten in Abhängigkeit von RPE und relativer Sauerstoffaufnahme entsprechen, erweist sich das Training auf der leichten Strecke aus gesundheitlicher Sicht als zu wenig belastend und auf der schwierigen Strecke als zu intensiv. Obwohl den Probanden die Möglichkeit einer selbstständigen Regulation durch die Geschwindigkeit offen stand, resultierte eine aus gesundheitlicher Sicht nicht adäquate physiologische Beanspruchung. Zwar erfolgte eine Geschwindigkeitsregulation in Abhängigkeit von Steigung und Untergrundwechseln, aber nicht in ausreichendem Maße, um die physiologische Beanspruchung konstant bzw. im gewünschten gesundheitlichen Belastungsbereich zu halten. Die Streckenlänge erweist sich bei den vorliegenden Distanzen von maximal 8 km aus physiologischer Sicht nicht als entscheidende Einflussgröße. Bezüglich der Trainingsorganisation und -planung stellt sie dennoch ein wichtiges Kriterium für die Planung von Nordic Walking Strecken dar. Die auf Nordic Walking Strecken hauptsächlich auftretenden Untergrundformen (asphaltierte Wege, Wirtschaftswege und Singletrails) spielen im Bereich mittelschwieriger und schwieriger Strecken bzw. mittlerer und hoher Intensitätsbereiche gegenüber der Steigung nur eine untergeordnete Rolle. Lediglich bei der leichten Strecke bzw. bei geringen Belastungsintensitäten besteht ein Zusammenhang zwischen dem Anspruch des Untergrundes und der physiologischen Reaktion der Probanden.

Schlussfolgernd zeigt die vorliegende Studie, dass sich erfahrene Nordic Walker intuitiv in einem trainingswirksamen Bereich belasten, die Beanspruchung aus gesundheitlicher Sicht aber besonders im Bereich positiver Steigungen zu hoch gewählt wird. Nordic Walker setzen die Fortbewegungsgeschwindigkeit als Regulativ zur Anpassung an äußere Gegebenheiten wie Untergrund und Steigung ein, dies erweist sich aber als nicht ausreichend für ein gesundheitsorientiertes Training. Somit sollte

zum einen aus gesundheitlichen Gesichtspunkten eine stärkere Sensibilisierung der Sportler für die richtige Belastungsintensität erfolgen, zum anderen könnte eine zusätzliche Beschilderung mit Hinweisen auf eine adäquate Belastung, insbesondere zu Beginn einer längeren Steigung die Voraussetzungen für ein selbstständiges gesundheitsorientiertes Training auf bestehenden Nordic Walking Strecken weiter verbessern.

## 7 Literaturverzeichnis

ACSM (Hrsg.) (2009). *ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription* (8. Aufl.). Philadelphia, Baltimore, New York, etc.: Lippincott Williams & Wilkins.

ACSM, AHA written by. HASKELL, W. L., LEE, I., PATE, R. R., POWELL, K. E., BLAIR, S. N., FRANKLIN, B. A., MACERA, C. A., HEATH, G. W., THOMPSON, P. D., BAUMAN, A. (2007). Physical activity and public health: Updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1423-1434.

ACSM written by POLLOCK, M., GAESSER, G., BUTCHER, J., DESPRÉS, J.-P., DISHMAN, R., FRANKLIN, B., GARBER, C. E. (1998). ACSM position stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6), 975-991.

AHA written by FLETCHER, G. F., BALADY, G.J., AMSTERDAM, E.A., CHAITMAN, B., ECKEL, R., FLEG, J., FROELICHER, V.F., LEON, A.S., PINA, I.L., RODNEY, R., SIMONS-MORTON, D.A., WILLIAMS, M.A., BAZZARRE, T. (2001). Exercise standards for testing and training: a statement of healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation*, 104(14), 1694-1740.

AIGNER, A., LEDLL-KURKOWSKI, E., HÖL, S., SALZMANN, K. (2004). Effekte von Nordic Walking bzw. normalem Gehen auf Herzfrequenz und arterielle Laktatkonzentration. *Österreichisches Journal für Sportmedizin*, 34(3), 32-35.

AINSLIE, P. N., CAMPBELL, I. T., FRAYN, K.N., HUMPHREYS, S. M., MACLAREN, D. P. M., REILLY, T. (2002). Physiological and metabolic responses to a hill walk. *Journal of Applied Physiology*, 92(1), 179-187.

AINSLIE, P. N., CAMPBELL, I. T., FRAYN, K.N., HUMPHREYS, S. M., MACLAREN, D. P. M., REILLY, T. (2003a). Physiological, metabolic, and performance implications of a prolonged hill walk: influence to energy intake. *Journal of Applied Physiology*, 94(3), 1075-1083.

- AINSLIE, P. N., REILLY, T., WESTERTERP, K. R. (2003b). Estimating human energy expenditure. A review of techniques with particular reference to doubly labelled water. *Sports Medicine*, 33(9), 683-698.
- AINSLIE, P. N., CAMPBELL, I. T., LAMBERT, J. P., MACLAREN, D. P. M., REILLY, T. (2005). Physiological and metabolic aspects of very prolonged exercise with particular reference to hill walking. *Sports Medicine*, 35(7), 619-647.
- ALEXANDER, R. M. (2002). Energetics and optimization of human walking and running: the 2000 Raymond Pearl memorial lecture. *American Journal of Human Biology*, 14(5), 641-648.
- ANDERSSON, E., SUPEJ, M., SANDBAKK, O., SPERLICH, B., STÖGGL, T., HOLMBERG, H.-C. (2010). Analysis of sprint cross-country skiing using a differential global navigation satellite system. *European Journal of Applied Physiology*, 110(3), 585-595.
- APPELL, J.-J., GRAF, C., PLATEN, P., PREDEL, H.-G., ROST, R. (2001). Internistische und neurologisch-psychiatrische Krankheitsbilder. In R. ROST (Hrsg.), *Lehrbuch der Sportmedizin*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- ÅSTRAND, P. O., RYHMING, I. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *Journal of Applied Physiology*, 7(2), 218-221.
- ÅSTRAND, P. O., RODAHL, K., DAHL, H.K., STROMME, S. B. (2003). *Textbook of Work Physiology. Physiological Basis of Exercise* (4. Aufl.). Champaign: Human Kinetics.
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, WEIBER, R. (2008). *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung* (12. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- BASTIEN, G. J., WILLEMS, P.A., SCHEPENS, B., HEGLUND, N.C. (2005). Effect of load and speed on the energetic cost of human walking. *European Journal of Applied Physiology*, 94(1-2), 76-83.

- BERNARD, T., GAVARRY, O., BERMON, S., GIACOMONI, M., MARCONNET, P., FALGAIRETTE, G. (1997). Relationships between oxygen consumption and heart rate in transitory and steady states of exercise and during recovery: influence of type of exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(2), 170-176.
- BIRD, S. R., BAILEY, R. LEWIS, J. (1993). Heart rates during competitive orienteering. *British Journal of Sports Medicine*, 27(1), 53-57.
- BOBBERT, A. C. (1960). Energy expenditure in level and grade walking. *Journal of Applied Physiology*, 15(6), 1015-1021.
- BOHNE, M., ABENDROTH-SMITH. (2007). Effects of hiking downhill using trekking poles while carrying external loads. *Medicine and Science in Sports an Exercise*, 39(1), 177-183.
- BOOYENS, J., KEATINGE, W. R. (1957). The expenditure of energy by men and women walking. *The Journal of Physiology*, 138, 165-171.
- BOOYENS, J., HERVEY, G.R. (1960). The pulse rate as a means of measuring metabolic rate in man. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 38(11), 1301-1309.
- BORG, G. (1982). Psychological bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports an Exercise*, 14(5), 377-381.
- BØRSHEIM, E., BAHR, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Medicine*, 33(14), 1037-1060.
- BORTZ, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (6. Aufl.). Heidelberg: Springer Verlag.
- BÖS, K., HÄNSEL, F., SCHOTT, N. (2004). *Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft. Planung – Auswertung – Statistik* (2. Aufl.). Hamburg: Czwalina.
- BÖS, K., SCHOTT, N. (1997). Belastungsparameter beim Walking. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 48(4), 145-154.

- BOURDIN, M., PASTENE, J., GERMAIN, M., LACOUR, J. R. (1993). Influence of training, sex, age and body mass on the energy cost of running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66(5), 439-444.
- BREUER, H.-W. M. (2004). Spiroergometrie – Vorschläge zur Standardisierung und Interpretation. *Pneumologie*, 58(8), 553-565.
- BROSIUS, F. (2011). *SPSS 19*. Heidelberg, München, Landsberg: mitp.
- BROWNING, R. C., BAKER, E. A., HERRON, J. A., KRAM, R. (2006). Effects of obesity and sex on the energetic cost and preferred speed of walking. *Journal of Applied Physiology*, 100(2), 390-398.
- BROWNSON, R. C., HOUSEMANN, R.A., BROWN, D.R., JACKSON-THOMPSON, J., KING, A.C., MALONE, B.R., SALLIS, J.F. (2000). Promoting physical activity in rural communities. Walking trail access, use, and effects. *American Journal of Preventive Medicine*, 18(3), 235-241.
- BRUECKNER, J. C., ATCHOU, G., CAPELLI, C., DUVALLET, A., BARRAULT, D., JOUSSELIN, E., RIEU, M. DI PRAMPERO, P. E. (1991). The energy cost of running increases with the distance covered. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 62(6), 385-389.
- BÜHL, A. (2012). *SPSS 20. Einführung in die moderne Datenanalyse* (13 Aufl.). München: Pearson.
- BURGER, R. (2005). Biomechanische Betrachtung der Nordic Walking Technik. In E. GOLLNER, MARX, S. (Hrsg.), 3. *Internationaler Nordic – Walking Kongress „Nordic Walking eine Innovation mit Nachhaltigkeit“* (S. 40-52). Bad Tatzmannsdorf: Kongressband.
- BURGER, R. (2007). Eine Sportart, eine Technik. 13 Schritte zum richtigen Gehen. *Nordic Walker*, 4, 10-17.
- BUTTS, N. K., KNOX, K. M., FOLEY, T.S. (1995). Energy costs of walking on a dual-action treadmill in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(1), 121-125.

- CAVAGNA, G. A., SAIBENE, F. P., MARGARIA, R. (1964). Mechanical work in running. *Journal of Applied Physiology*, 19(2), 249-256.
- CAVAGNA, G. A., FRANZETTI, P. (1986). The determinants of the step frequency in walking in humans. *The Journal of Physiology*, 373(1), 235-242.
- CEESAY, S. M., PRENTICE, A.M., DAY, K.C., MURGATROYD, P.R., GOLDBERG, G.R., SCOTT, W. (1989). The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry. *British Journal of Nutrition*, 61(2), 175-186.
- CHRISTENSEN, C. C., FREY, H.M.M., FOENSTELIEN, E., AADLAND, E., REFSUM, H.E. (1983). A critical evaluation of energy expenditure estimates based on individual O<sub>2</sub> consumption/heart rate curves and average daily heart rate. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 37(3), 468-472.
- CHURCH, T. S., EARNEST, C.P., MORSS, G. M. (2002). Field Testing of Physiological Responses Associated with Nordic Walking. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 3, 296-300.
- COLLINS, E. G., LANGBEIN, W.E., OREBAUGH, C., BMMERT, C., HANSON, K., REDA, D., EDWARDS, L.C., LITTOY, F.N. (2005). Cardiovascular training effect associated with polestriding exercise in patients with peripheral arterial disease. *The Journal of Cardiovascular Nursing*, 20(3), 177-185.
- COTES, J. E., MEADE, F. (1960). The energy expenditure and mechanical energy demand in walking. *Ergonomics*, 3(2), 97-119.
- CREAGH, U., REILLY, T., LEES, A. (1998a). Kinematics of running on 'off-road' terrain. *Ergonomics*, 41(7), 1029-1033.
- CREAGH, U., REILLY, T., NEVILL, A.M. (1998b). Heart rate response to 'off road' running events in female athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 32(1), 34-38.
- DAL, U. T., ERDOGAN, T., RESITOGUL, B., BEYDAGI, H. (2010). Determination of preferred walking speed on treadmill may lead to high oxygen cost on treadmill walking. *Gait & Posture*, 31(3), 366-369.

- DAVIES, C. T. M. (1968). Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *Journal of Applied Physiology*, 24(5), 700-706.
- DAVIES, C. T. M. (1980). Effects of wind assistance and resistance on the forward motion of a runner. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 48(4), 702-709.
- DE MARÉES, H. (2003). *Sportphysiologie* (9. Aufl.). Köln: Sport und Buch Strauß.
- DECHMAN, G., APPLEBY, J., CARR, M., HAIRE, M. (2012). Comparison of treadmill and over-ground nordic walking. *European Journal of Sport Science*, 12(1), 36-42.
- DI PRAMPERO, P. E., ATCHOU, G., BRÜCKNER, J.-C., MOIA, C. (1986). The energetic of endurance running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(3), 259-266.
- DICK, R. W., CAVANAGH, P.R. (1987). An explanation of the upward drift in oxygen uptake during prolonged sub-maximal downhill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(3), 310-317.
- DICKHUTH, H.-H. (2000). *Einführung in die Sport- und Leistungsmedizin*. Schorndorf: Hofmann.
- DIETZ, P., KNIGGE, W., LÖFFLER, H. (1984). *Walderschließung*. Hamburg, Berlin: Paul Parey.
- DSV (2012). Das DSV nordic aktiv Strecken- und Lenkungs-konzept. Zugriff: 07.11.2012, unter [http://www.deutscherskiverband.de/breitensport\\_nordic-aktiv\\_zent-str\\_streckenkonzept\\_de.html](http://www.deutscherskiverband.de/breitensport_nordic-aktiv_zent-str_streckenkonzept_de.html)
- DUNCAN, M. J., BADLAND, H.M., MUMMERY, W.K. (2009a). Applying GPS to enhance understanding of transport-related physical activity. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(5), 549-556.

- DUNCAN, M. J., BADLAND, H.M., SCHOFIELD, G. (2009b). Combining GPS with heart rate monitoring to measure physical activity in children: a feasibility study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(5), 583-585.
- DUNCAN, M., LYONS, M. (2008). The effect of hiking poles on oxygen uptake, perceived exertion and mood state during a one hour uphill walk. *Journal of Exercise Physiology online*, 11(3), 20-25.
- DURNIN, J. V. G. A., EDWARDS, R.G. (1955). Pulmonary ventilation as an index of energy expenditure. *Quarterly Journal of experimental physiology and cognate medical sciences*, 40(4), 370-377.
- EDEL, K. (2008). Nordic Walking bei Diabetes. *E-Journal Erfahrungsheilkunde*, 57(1), 5-11.
- EPSTEIN, Y., ROSENBLUM, R., BURSTEIN, R., SAWKA, M.N. (1988). External load can alter the energy cost of prolonged exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57(2), 243-247.
- ESTON, R. G., ROWLANDS, A. V., INGLEDEW, D. K. (1998). Validity of heart rate, pedometry, and accelerometry for predicting the energy cost of children's activities. *Journal of Applied Physiology*, 84(1), 362-371.
- FAIRBARN, M. S., BLACKIE, S.P., MCELVANEY, N.G., WIGGS, B.R., PARÉ, P.D., PARDY, R.L. (1994). Prediction of heart rate and oxygen uptake during incremental and maximal exercise in healthy adults. *Chest*, 105(5), 1365-1369.
- FALKNER, G. (2008). Geschichte des Nordic Walking. In A. WÖRLE (Hrsg.), *Nordic Walking* (S. 14-18). Planegg: Deutscher Skiverband e.V.
- FIGARD-FABRE, H., FABRE, N., LEONARDI, A., SCHENA, F. (2010). Physiological and perceptual responses to Nordic Walking in obese middle-aged women in comparison with the normal walk. *European Journal of Applied Physiology*, 108(6), 1141-1151.
- FRANZ, A., ESSER, T., LÜCKE, S., ROTH, R., BRÜGGEMANN, G.P. (2006). Experimental comparison of the knee joint loading during Nordic walking and walking. *Journal of Biomechanics*, 39(1 Suppl.), 185f.

- GESELLSCHAFT FÜR KONSUMFORSCHUNG (2010). Fußballnation Deutschland: lieber schauen als spielen. Zugriff: 13.07.2012, unter [http://www.gfk.com/group/press\\_information/press\\_releases/006010/index.de.html](http://www.gfk.com/group/press_information/press_releases/006010/index.de.html)
- GESUNDHEITSBERICHTERSTATTUNG DES BUNDES (2009): Verteilung der Bevölkerung auf Body-Mass-Index-Gruppen in Prozent. Gliederungsmerkmale: Jahre, Deutschland, Alter, Geschlecht, Body-Mass-Index. Zugriff: 20.12.2012, unter [http://www.gbe-bund.de/oowa921-install/servlet/oowa/aw92/dboowasys921.xwdevkit/xwd\\_init?gbe.isgbetol/xs\\_start\\_neu/&p\\_aid=3&p\\_aid=69575002&nummer=434&p\\_sprache=D&p\\_indsp=-&p\\_aid=81192756](http://www.gbe-bund.de/oowa921-install/servlet/oowa/aw92/dboowasys921.xwdevkit/xwd_init?gbe.isgbetol/xs_start_neu/&p_aid=3&p_aid=69575002&nummer=434&p_sprache=D&p_indsp=-&p_aid=81192756)
- GEYER, C. (2005). Mit Stockeinsatz zum Ziel. *physiopraxis*, 3(4), 36-38.
- GILES-CORTI, B., BROOMHALL, M.H., KNUIMAN, M., COLLINS, C., DOUGLAS, K., NG, K., LANGE, A., DONOVA, R.J. (2005). Increasing walking: how important is distance to, attractiveness, and size of public open space. *American Journal of Preventive Medicine*, 28(2 Suppl.), 169-176.
- GIVONI, B., GOLDMAN, R. F. (1971). Predicting metabolic energy cost. *Journal of Applied Physiology*, 30(3), 429-433.
- GLASOW, W., MÜLLER, E.A. (1951). Das Gehen auf verschiedenen Böden. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 14(4), 319-321.
- GOODIE, J. L., LARKIN, K.T., SCHAUSS, S. (2000). Validation of Polar heart rate monitor for assessing heart rate during physical and mental stress. *Journal of Psychophysiology*, 14(3), 159-164.
- HAGEN, M., HENNIG, E.M., STIELDORF, P. (2011). Lower and upper extremity loading in nordic walking in comparison with walking and running. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(1), 22-31.
- HAISMAN, M. F., GOLDMAN, R. F. (1974). Effect of terrain on the energy cost of walking with back loads and handcart loads. *Journal of Applied Physiology*, 36(5), 545-548.

HAMMEL, H.-J., BACKHAUSEN, F., MIES, H., STRACKE, J. (1968). Über den Einfluss der Steigung auf Atmung und Stoffwechsel beim Lauf. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 26(4), 341-354.

HANSEN, E. A., SMITH, G. (2009). Energy expenditure and comfort during nordic walking with different pole length. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1187-1194.

HARDIN, E. C., van den BOGERT, A.J., HAMILL, J. (2004). Kinematic adaptations during running: effects of footwear, surface and duration. *Medicine and Science in Sports an Exercise*, 36(5), 838-844.

HASKELL, W. L. (1994). Health consequences of physical activity: understanding and challenges regarding dose-response. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(6), 619-660.

HELMRICH, S. P., RAGLAND, D.R., PAFFENBARGER, R.S. (1994). Prevention of non-insulin-dependent diabetes mellitus with physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(7), 824-830.

HENKE, T., BLUMENBACH, T. (2005). *Satellitennavigation – Anwendungen in der Sportwissenschaft*. Köln: Sport und Buch Strauß.

HENNIG, E. M., HAGEN, M., STIELDORF, P. (2007). Nordic Walking versus Walking - eine biomechanische Belastungsanalyse. In J. FREIWALD, JÖLLENBECK, T., OLIVIER, N. (Hrsg.), *Prävention und Rehabilitation - Symposiumsbericht Bad Sassendorf 2006* (BISP Bd 12, S. 393-398). Köln: Sport und Buch Strauß.

HETTINGER, T., MÜLLER, B.H., GEBHARDT, HJ. (1989). *Ermittlung des Arbeitsenergieumsatzes bei dynamisch-muskulärer Arbeit*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH.

HIMANN, J. E., CUNNINGHAM, D.A., RECHNITZER, P.A., PATERSON, D.H. . (1988). Age-related changes in speed of walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(2), 161-166.

HOLLMANN, W. (1963). *Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers*. München: Barth.

- HOLLMANN, W., STRÜDER, H.K. (2009). *Sportmedizin. Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin* (5. Aufl.). Stuttgart, New York: Schattauer.
- HOLLMANN, W., STRÜDER, H. K., PREDEL, H.-G., TAGARAKIS, C.V.M. (2006). *Spiroergometrie. Kardiopulmonale Leistungsdiagnostik des Gesunden und Kranken*. Stuttgart: Schattauer.
- HÖLTKE, V., STEUER, M., SCHNEIDER, U., KRAKOR, S., JAKOB, E. (2003). Walking vs. Nordic Walking – Belastungsparameter im Vergleich. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54(7/8), 91.
- HÖLTKE, V., STEUER, M., JÖNS, H., KRAKOR, S., STEINACKER, T., JAKOB, E. (2005). Vergleich von Walking und Nordic Walking im moderaten Intensitätsbereich. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56(7/8), 243.
- HOUSH, T. J., HOUSH, D.J., DE VRIES, H.A. (2003). *Applied Exercise and sport physiology*. Scottsdale: Holcomb Hathaway Publishers Inc.
- INWA (2013): INWA History. Zugriff: 12.03.2013, unter [http://inwa-nordicwalking.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=55&Itemid=127](http://inwa-nordicwalking.com/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=127)
- JACOBSON, B. H., WRIGHT, T., DUNGAN, B. (2000). Load carriage energy expenditure with and without hiking poles during inclined walking. *International Journal of Sports Medicine*, 21(5), 356-359.
- JAMES, D. V. B., SANDALS, L.E., WOOD, D.M., JONES, A.M. (2007). Pulmonary gas exchange. In E. M. WINTER, JONES, A.M., DAVISON, R.C.R., BROMLEY, P:D:, MERCER, T.H. (Hrsg.), *Sport and exercise physiology testing. Guidelines. The British Association of Sport and Exercise Sciences guide* (Aufl. 2, S. 101-111). Abingdon: Routledge.
- JÖLLENBECK, T., LEYSER, D., CLASSEN, C., MULL, M., GRÜNEBERG, C. (2007). Nordic Walking – Eine Feldstudie über den Mythos der Gelenkentlastung. In J. FREIWALD, JÖLLENBECK, T., OLIVIER, N. (Hrsg.), *Prävention und Rehabilitation - Symposiumsbericht Bad Sassendorf 2006* (BISP Bd 12, S. 399-405). Köln: Sport und Buch Strauß.

- JORDAN, A. N., OLSON, T. P., EARNEST, C. P., MORSS, G. M. CHURCH, T. S. (2001). Metabolic cost of high intensity poling while nordic walking versus normal walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(Suppl.), 86.
- KANTANEVA, M. (2005): *Nordic Walking – Das Original*. Aachen: Meyer & Meyer.
- KERDOK, A. E., BIEWENER, A. A. MCMAHON, T. A., WEYAND, P.G., HERR, H. M. (2002). Energetics and mechanics of human running on surfaces of different stiffnesses. *Journal of Applied Physiology*, 92(2), 469-478.
- KLEINDIENST, F. I., MICHEL, K. J., SCHWARZ, J., KRABBE, B. (2006). Vergleich von kinematischen und kinetischen Parametern zwischen den Bewegungsformen Nordic Walking, Walking und Laufen. *Sportverletzung, Sportschaden*, 20(1), 25-30.
- KLEINDIENST, F. I., MICHEL, K. J., STIEF, F., WEDEL, F., CAMPE, S., KRABBE, B. (2007). Vergleich der Gelenkbelastung der unteren Extremitäten zwischen den Bewegungsformen Nordic Walking, Walking und Laufen mittels Inverser Dynamik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58(4), 105-111.
- KLINE, G. M., PROCARI, J. P., HINTERMEISTER, R., FREEDSON, P. S., WARD, A., MCCARRON, R.F., ROSS, J., RIPPE, J.M. (1987). Estimation of  $VO_{2max}$  from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(3), 253-259.
- KNIGHT, C. A., CALDWELL, G. E. (2000). Muscular and metabolic costs of uphill backpacking: are hiking poles beneficial? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(12), 2093-2101.
- KNOBLOCH, K. (2007). No difference in the hemodynamic response to Nordic pole walking vs. conventional brisk walking- A randomized exercise field test using the ultrasonic cardiac output monitor (USCOM). *International Journal of Cardiology*, 132(1), 133-135.
- KOCUR, P., WILK, M. (2006). Nordic Walking - a new form of exercise in rehabilitation. *Medical Rehabilitation*, 10(2), 1-8.
- KREUZRIEGLER, F., GOLLNER, E., FICHTNER, H. (2002). *Das ist Nordic Walking*. München: Urban & Fischer.

- KUKKONEN-HARJULA, K., HIILLOSKORPT, H., MÄNTTÄRI, A., PASANEN, M., PARKKARI, J., SUNI, J., FOGELHOLM, M., LAUKKANEN, R. (2007). Self-guided brisk walking training with or without poles: a randomized-controlled trial in middle-aged women. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17(4), 316-323.
- LAMBRICK, D. M., FAULKNER, J. A., ROWLANDS, A. V., ESTON, R. G. (2009). Prediction of maximal oxygen uptake from submaximal ratings of perceived exertion and heart rate during a continuous exercise test: the efficacy of RPE 13. *European Journal of Applied Physiology*, 107(1), 1-9.
- LARSSON, P. (2003). Global Positioning System and sport-specific testing. *Sports Medicine*, 23(15), 1093-1101.
- LARSSON, P., HENRIKSSON-LARSÉN, K. (2001). The use of dGPS and simultaneous metabolic measurement during orienteering. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(11), 1919-1924.
- LARSSON, P., HENRIKSSON-LARSÉN, K. (2005). Combined metabolic gas analyser and dGPS analysis of performance in cross-country skiing. *Journal of Sports Sciences*, 23(8), 861-870.
- LAUKKANEN, R. M. T., VIRTANEN, P.K. (1998). Heart rate monitors: state of art. *Journal of Sports Sciences*, 16(S1), 3-7.
- LAURSEN, B., EKNER, D., SIMONSEN, E. B., VOIGT, M., SJOGAARD, G. (2000). Kinetics and energetics during uphill and downhill carrying of different weight. *Applied Ergonomics*, 31(2), 159-166.
- LEE, I.-M., PAFFENBERGER, R. S. (1998). Physical activity and stroke incidence: the Harvard alumni health study. *Stroke*, 29(10), 2049-2054.
- LEE, I.-M., SKERRETT, P. J. (2001). Physical activity and all-cause mortality: what is the dose-response relation? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(S6), S459-471.
- LÉGER, L. A., MERCIER, D., GADOURY, C., LAMBERT, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 93-101.

- LEJEUNE, T. M., WILLEMS, P. A., HEGLUND, N. C. (1998). Mechanics and energetics of human locomotion on sand. *The Journal of Experimental Biology*, 201(13), 2071-2080.
- LEONARDI, A., SCHENA, F. (2006). Energy cost of mountain walking: an index for prescribing trekking as rehabilitation tool. Turin: XV. International Congress on Sports Rehabilitation and Traumatology.
- LIEDTKE, G., LAGERSTRÖM, D. (2004). Nordic Walking - Megatrend, Gesundheitssport oder natürliche Bewegungsweise? *Bewegungstherapie und Gesundheitssport*, 20(5), 178-183.
- LONDEREE, B. R., AMES, S.A. (1976). Trend analysis of the %VO<sub>2</sub> max-HR regression. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 8(2), 122-125.
- LONDEREE, B. R., THOMAS, T.R., ZIOGAS, G., SMITH, T.D., ZHANG, Q. (1995). %VO<sub>2max</sub> versus %HR<sub>max</sub> regressions for six modes of exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(3), 458-461.
- LUTHE, T., ROTH, R. (2008). Interaktionen des Nordic Walkers mit der Natur. In A. WÖRLE (Hrsg.), *Nordic Walking*. Planegg: Deutscher Skiverband e.V.
- MACFARLANE, D. J. (2001). Automated metabolic gas analysis systems. *Sports Medicine*, 31(12), 841-861.
- MAIRBÄURL, H. (2009). Leistungsphysiologie. In R. KLINKE, PAPE, H.-C., KURTZ, A., SILBERNAGEL, S. (Hrsg.), *Physiologie*. Stuttgart: Thieme.
- MALATESTA, D., VISMARA, L., MENEGONI, F., GALLI, M., ROMEI, M., CAPODAGLIO, P. (2009). Mechanical external work and recovery at preferred walking speed in obese subjects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(2), 426-434.
- MARGARIA, R. (1938). Sulla fisiologia specialmente sul consumo energetico della marcia e della corsa a varia velocità ed inclinazione del terreno. *Atti Accademia Nazionale dei Lincei*, 7, 299-368.
- MARGARIA, R., CERRETELLI, P., AGHEMO, P., SASSI, G. (1963a). Energy cost of running. *Journal of Applied Physiology*, 18(2), 367-370.

- MARGARIA, R., CERRETELLI, P., DI PRAMPERO, P. E., MASSARI, C., TORELLI, G. (1963b). Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. *Journal of Applied Physiology*, 18(2), 371-377.
- MATTSSON, E., LARSSON, U.E., RÖSSNER, S. (1997). Is walking for exercise too exhausting for obese women? *International Journal of obesity and related metabolic disorders*, 21(5), 380-386.
- MAZZEO, R. S. (2008). Physiological responses to exercise at altitude. *Sports Medicine*, 38(1), 1-8.
- MCARDLE, W. D., KATCH, F. I., KATCH, V. L. (2010). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance* (7. Aufl.). Baltimore/Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- MILLER, C. C. (2001). Real-time GPS-based track and cross country training evaluation system. *Proceedings of the 14th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS 2001)*, 3086-3094.
- MILLER, J. F., STAMFORD, B: A. (1987). Intensity and energy cost of weighted walking vs. running for men and women. *Journal of Applied Physiology*, 62(4), 1497-1501.
- MINETTI, A. E. (1995). Optimum gradient of mountain paths. *Journal of Applied Physiology*, 79(5), 1698-1703.
- MINETTI, A. E., ARDIGÒ, L. P., SAIBENE, F. (1993). Mechanical determinants of gradient walking energetics in man. *The Journal of Physiology*, 472(1), 725-735.
- MINETTI, A. E., ARDIGÒ, L. P., SAIBENE, F. (1994). Mechanical determinants of the minimum energy cost of gradient running in humans. *The Journal of Experimental Biology*, 195(1), 211-225.
- MINETTI, A. E., BOLDRINI, L., BRUSAMOLIN, L., ZAMPARO, P. MCKEE, T. (2003). A feedback-controlled treadmill (treadmill-on-demand) and the spontaneous speed of walking and running in humans. *Journal of Applied Physiology*, 95(2), 838-843.

- MINETTI, A. E., MOIA, C., ROI, G. S., SUSTA, D., FERETTI, G. (2002). Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *Journal of Applied Physiology*, 93(3), 1039-1046.
- MINETTI, A. E., SAIBENE, F. (1992). Mechanical work rate minimization and freely chosen stride frequency of human walking: a mathematical model. *The Journal of Experimental Biology*, 170(1), 19-34.
- MOMMERT-JAUCH, P., BUTZ, M., EDEL, K., BÖS, K. (2007). *Nordic Walking bei Diabetes und Metabolischem Syndrom. Anleitung für 12 Trainingseinheiten*. Stuttgart: Karl F. Haug Verlag.
- MORGULEC-ADAMOWICZ, N., MARSZALEK, J., JAGUSTYN, P. (2011). Nordic Walking - A new form of adapted physical activity (a literature review). *Human Movement*, 12(2), 124-132.
- MORRIS, J. M., HARDMAN, A. E. (1997). Walking to health. *Sports Medicine*, 23(5), 307-332.
- MORSS, G. M., CHURCH, T.S., EARNEST, C. P., JORDAN, A. N. (2001). Field test comparing the metabolic cost of normal walking versus Nordic walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(5 Suppl.), 23.
- MÜLLER, M. J., BOSY-WESTPHAL, A., KLAUS, S., KREYMAN, G., LÜHRMANN, P. M., NEUHÄUSER-BERTHOLD, M., NOACK, R., PIRKE, K. M., PLATTE, P., SELBERG, O., STEININGER, J. (2004). World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80(5), 1379-1390.
- MÜLLER, M. J., BOSY-WESTPHAL, A., DILBA, B., BADER, N., KORTH, O. (2006). Energieverbrauch und Energiebedarf gesunder Menschen. *Aktuelle Ernährungsmedizin*, 31(3), 98-109.
- MURRAY, M. P., SPURR, G.B., SEPIC, S:B:, GARDENER, G.M., MOLLINGER, L.A. (1985). Treadmill vs. floor walking: kinematics, electromyogram, and heart rate. *Journal of Applied Physiology*, 59(1), 87-91.

- NEUMANN, G., HOTTENROTT, K. (2005). *Das große Buch vom Laufen* (2. Aufl.). Aachen: Meyer und Meyer.
- NEUMANN, G., PFÜTZNER, A., HOTTENROTT, K. (2010). *Das große Buch vom Triathlon* (2. Aufl.). Aachen: Meyer und Meyer.
- NIGG, B. M., DE BOER, R.W., FISCHER, V. (1995). A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(1), 98-105.
- NILSSON, J., THORSTENSSON, A., HALBERTSMA, J. (1985). Changes in leg movements and muscle activity with speed of locomotion and mode of progression in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 123(4), 457-475.
- OAKLEY, C., ZWIERSKA, I., TEW, G., BEARD, J.D., SAXTON, J.M. (2008). Nordic poles immediately improve walking distance in patients with intermittent claudication. *European Journal of Vascular & Endovascular Surgery*, 36(6), 689-694.
- OLESEN, H. L. (1992). Accumulated oxygen deficit increases with inclination of uphill running. *Journal of Applied Physiology*, 73(3), 1130-1134.
- OLGIATI, R., JACQUEST, J., DI PRAMPERO, P.E. (1986). Energy cost of walking and exertional dyspnea in multiple sclerosis. *American Review of Respiratory Diseases*, 134, 1005-1010.
- OWEN, N., HUMPEL, N., LESLIE, E., BAUMANN, A., SALLIS, J.F. (2004). Understanding environmental influences on walking. Review and Research Agenda. *American Journal of Preventive Medicine*, 27(1), 67-76.
- PAFFENBARGER, R. S., WING, A.L., HYDE, R.T. (1978). Physical activity as an index of heart attack risk in college alumni. *American Journal of Epidemiology*, 108(3), 161-175.
- PANDOLF, K. B., GIVONI, B., GOLDMAN, R.F. (1977). Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly. *Journal of Applied Physiology*, 43(4), 577-581.

- PARKATTI, T., PERTTUNEN, J., WACKER, P. (2012). Improvements in functional capacity from Nordic Walking: a randomized controlled trial among older adults. *Journal of aging and physical activity*, 20(1), 93-105.
- PASSMORE, R., DURNIN, J.V.G.A. (1955). Human energy expenditure. *Physiological Reviews*, 35(4), 801-840.
- PECK, G. (1990). Measuring heart rate as an indicator of physiological stress in relation to orienteering performance. *Scientific Journal of Orienteering*, 6(1), 26-42.
- PERREY, S., FABRE, N. (2008). Exertion during uphill, level and downhill walking with and without hiking poles. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7(1), 32-38.
- PERRIN, O. T., P., LADETTO, Q., MERMINOD, B., SCHUTZ, Y. (2000). Improvement of walking speed prediction by accelerometry and altimetry, validated by satellite positioning. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 38(2), 164-168.
- PICKENHAIN, L., NEUMANN, G., SCHARSCHMIDT, F. (1993). *Sportmedizin: Grundfragen, Methoden, Ziele*. Bern: Verlag Hans Huber.
- PINNINGTON, H. C., DAWSON, B. (2001). The energy cost of running on grass compared to soft and dry beach sand. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4(4), 416-430.
- PINNINGTON, H. C., LLOYD, D. G., BESIER, T. F., DAWSON, B. (2005). Kinematic and electromyography analysis of submaximal differences running on a firm surface compared with soft, dry sand. *European Journal of Applied Physiology*, 94(3), 242-253.
- PIVARNIK, J. M., SHERMAN, N. W. (1990). Responses of aerobically fit men and women to uphill/downhill walking and slow jogging. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(1), 127-130.
- PORCARI, J. P., HENDRICKSON, T. L., WALTER, P. R., TERRY, L., WALSKO, G. (1997). The physiological responses to walking with and without Power Poles on treadmill exercise. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 68(2), 161-166.

- PRAMANN, U., SCHÄUFLE, B. (2009). *Nordic Walking für Späteinsteiger: Praktische Übungen für einen leichten Einstieg in jedem Alter*. München: Südwest Verlag.
- PREUß, M., PREUß, P., MECHLING, H. (2008). Nordic Walking, Walking, Powerwalking und Jogging - Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz im Vergleich. *E-Journal Bewegung und Training*, 2, 1-16.
- PUGH, L. G. (1967). Cold stress and muscular exercise, with special reference to accidental hypothermia. *British Medical Journal*, 2(5548), 333-337.
- PUGH, L. G. (1971). The influence of wind resistance in running and walking and the mechanical efficiency of work against horizontal or vertical forces. *The Journal of Physiology*, 213(2), 255-276.
- RADTKE, U., CHILLA, T. (2002). Natursportarten und Ökologie. Untersuchungen zum Sportklettern im Rurtal (Nordeifel) und zum Mountainbiken im Siebengebirge. Ergebnisbericht. Zugriff: 23.11.2012, [uk-online.uni-koeln.de/remarks/d187/rm465.pdf](http://uk-online.uni-koeln.de/remarks/d187/rm465.pdf)
- RALSTON, H. J. (1958). Energy-speed relation and optimal speed during level walking. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie*, 17(4), 277-283.
- RIST, H. J., KÄLIN, X., HOFER, A. (2004). Nordic Walking- ein sportmedizinisches Konzept in Prävention und Rehabilitation. *Sportorthopädie-Sporttraumatologie*, 20, 1-5.
- RÖCKER, K. (2002). *Eine Neubewertung der zeitlichen Abläufe im Energiestoffwechsel. Anwendung eines neuentwickelten <sup>13</sup>C-Dilutionsverfahrens*. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann.
- RODGERS, C. D., VAN HEEST, J. L., SCHACHTER, C. L. (1995). Energy expenditure during submaximal walking with Exerstriders<sup>®</sup>. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(4), 607-611.
- ROTH, R., KRÄMER, A., SCHÄFER, A. (2003). *Nordic-Walking-Handbuch. Ein Leitfaden für Kommunen Sportorganisationen und touristische Leistungsträger* (2. Aufl.). Offenburg: Naturpark Südschwarzwald e.V.

- RUDACK, P., AHRENS, U., THORWESTEN, L., VÖLKER, K. (2005). Vergleich der kardiopulmonalen und metabolischen Belastungscharakteristik des Nordic Walkings und des Walkings - Konsequenzen für die Trainingssteuerung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56(7/8), 253.
- RÜHLE, K.-H. (2008). *Praxisleitfaden der Spiroergometrie* (2. Aufl.). Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer.
- SAMSON, M. M., CROWE, A., DE VREEDE, P.L., DESSENS, J.A., DUURSMA, J.A., VERHAAR, H.J. (2001). Differences in gait parameters at a preferred walking speed in healthy subjects due to age, height and body weight. *Aging*, 13(1), 16-21.
- SANTEE, W. R., ALLISON, W. F., BLANCHARD, L.A., SMALL, M.G. (2001). A proposed model for load carriage on slope terrain. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 72(6), 562-566.
- SANTEE, W. R., SMALL, M. G., BLANCHARD, L.A. (2003). Application of energy cost algorithms for load carriage to field data. *Journal of the Human-Environmental System*, 6(2), 69-76.
- SAUNDERS, M. J., HIPPEL, G.R., WENOS, D.L., DEATON, M.L. (2008). Trekking poles increase physiological responses to hiking without increased exertion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1468-1474.
- SCHIEBEL, F., HEITKAMP, H.C., THOMA, S., HIPPEL, A., HORSTMANN, T. (2003). Nordic Walking und Walking im Vergleich. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54(7-8), 43.
- SCHIFFER, T., KNICKER, A., HOFFMANN, U., HARWIG, B. HOLLMANN, W., STRÜDER, H. K. (2006). Physiological responses to nordic walking, walking and jogging. *European Journal of Applied Physiology*, 98(1), 56-61.
- SCHIFFER, T., KNICKER, A., DANNÖHL, R., STRÜDER, H. K. (2009). Energy cost and pole forces during nordic walking under different surface conditions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 663-668.

- SCHIFFER, T., KNICKER, A., MONTANARELLA, M., STRÜDER, H. K. (2011). Mechanical and physiological effects of varying pole weights during Nordic Walking compared to walking. *European Journal of Applied Physiology*, 111(6), 1121-1126.
- SCHMIDT, R. F., LANG F. (Hrsg.) (2007). *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie* (30. Aufl.). Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- SCHUTZ, Y., CHAMBAZ, A. (1997). Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth? *European Journal of Clinical Nutrition*, 51(5), 338-339.
- SCHWAMEDER, H., RING, S. (2006). Knee joint loading and metabolic energy demand in walking, nordic walking and running. *Journal of Biomechanics*, 39(S1), 185.
- SMOLLE, K. H. (1998). Kontroversen in der Katecholamintherapie bei kritisch kranken Patienten. *Austrian Journal of Cardiology*, 5(3), 116-127.
- SOULE, R. G., GOLDMAN, R. F. (1972). Terrain coefficients for energy cost prediction. *Journal of Applied Physiology*, 32(5), 706-708.
- SPURR, G. B., PRENTICE, A.M., MURGATROYD, P.R., GOLDBER, G.R., REINA, J.C., CHRISTMAN, N.T. (1988). Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirekt calorimetry. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 48(3), 522-559.
- STENGL, S., BARTOSCH, H. (2005). *Nordic Walking. Effektives Ganzkörpertraining mit dem sanften Ausdauersport* (3. Aufl.). München: Copress Verlag.
- STICK, C., MENDE, M. (2002). Vergleich der physischen Beanspruchung durch Gehen am Strand und auf einem windgeschützten, befestigten Weg. *Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin*, 12(2), 95-101.
- STIEF, F., KLEINDIENST, F., WIEMEYER, J., WEDEL, F., CAMPE, S., KRABBE, B. (2008). Inverse dynamic analysis of the lower extremities during nordic walking, walking and running. *Journal of Applied Biomechanics*, 24(4), 351-359.

- STROMBECK, B. E., THEANDER, E., JACOBSSON, L.T. (2007). Effects of exercise on aerobic capacity and fatigue in women with primary Sjogren's syndrome. *Rheumatology*, 46(5), 868-871.
- STRUNZ, U. (2005). *Das große Nordic Fitness Buch*. München: Wilhelm Heyne Verlag.
- STRYDOM, N. B., BREDELL, G. A. G., BENADE, A. J. S., MORRISON, J. F., VILJOEN, J. H., VAN GRAAN, C. H. (1966). The Metabolic Cost of Marching at 3 M.P.H. over firm and sandy surfaces. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 23(2), 166-171.
- SUN, J., WALTERS, M., SVENSSON, N., LLOYD, D. (1996). The influence of surface slope on human gait characteristics: a study of urban pedestrians walking on an inclined surface. *Ergonomics*, 39(4), 677-692.
- SVOBODA, Z., STEJSKAL, P., JAKUBEC, A. KREJCI, J. (2011). Kinematical analysis, pole forces and energy cost of nordic walking - slope influence. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis/Gymnica*, 41(2), 37-34.
- SWAIN, D. P., LEUTHOLTZ, B.C. (1997). Heart rate reserve is equivalent to %VO<sub>2</sub> reserve, not to %VO<sub>2</sub>max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(3), 410-414.
- SWAIN, D. P., LEUTHOLTZ, B. C., KING, M. E., HAAS, L. A., BRANCH, J. D. (1998). Relationship between % heart rate reserve and % VO<sub>2</sub>reserve in treadmill exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(2), 318-321.
- TERRIER, P., AMINIAN, K., SCHUTZ, Y. (2001a). Can accelerometry accurately predict the energy cost of uphill/downhill walking? *Ergonomics*, 44(1), 48-62.
- TERRIER, P., LADETTO, Q., MERMINOD, B., SCHUTZ, Y. (2001b). Measurement of the mechanical power of walking by satellite positioning system (GPS). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(11), 1912-1918.
- TERRIER, P., SCHUTZ, Y. (2005). How useful is satellite positioning system (GPS) to track gait parameters? A review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2(28).

- THOMPSON, R. L., HAYWARD, J. S. (1996). Wet-cold exposure and hypothermia: thermal and metabolic responses to prolonged exercise in rain. *Journal of Applied Physiology*, 81(3), 1128-1137.
- TODD, A., SCOTT, P.A. (2002). Metabolic responses to various combinations of gradient, load and marching speed. *Journal of the Ergonomics Society of South Africa*, 14(1), 37-45.
- TOWNSHEND, A. D., WORRINGHAM, C. J., STEWART, I. B. (2008). Assessment of speed and position during human locomotion using nondifferential GPS. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(1), 124-132.
- TOWNSHEND, A. D., WORRINGHAM, C. J., STEWART, I. B. (2010). Spontaneous pacing during overground hill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(1), 160-169.
- TSCHEMITSCHER, M., NIEDERSEER, D., NIEBAUER, J. (2013). Health benefits of nordic walking: a systematic review. *American Journal of Preventive Medicine*, 44(1), 76-84.
- VAN DER WALT, W. H., WYNDHAM, C. H. (1973). An equation for prediction of energy expenditure of walking and running. *Journal of Applied Physiology*, 34(5), 559-563.
- VAN EIJKEREN, F. J. M., REIJMERS, R.S.J., KLEINVELD, M.J., MINTEN, A., BRUGGEN, J.P., BLOEM, B.R. (2008). Nordic Walking improves mobility in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 23(15), 2239-2243.
- WALTER, P. R., PORCARI, J. P., BRICE, G., TERRY, L. (1996). Acute responses to using walking poles in patients with coronary artery disease. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*, 16(4), 245-250.
- WANK, V., FRICK, U., SCHMIDTBLEICHER, D. (1998). Kinematics and electromyography of lower limb muscles in overground and treadmill running. *International Journal of Sports Medicine*, 19.
- WANTA, D. M., NAGLE, F. J., WEBB, P. (1993). Metabolic response to graded downhill walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(1), 159-162.

WARBURTON, D. E. R., NICOL, C. W., BREDIN, S. S. D. (2006). Health benefits of physical activity: the evidence. *Canadian Medical Association Journal*, 174(6), 801-809.

WASSERMAN, K., HANSEN, J. E., SUE, D.Y. WHIPP, B. J. (1987). *Principles of exercise testing an interpretation*. Philadelphia Lea & Febiger.

WELLER, A. S., MILLARD, C. E., STROUD, M. A., GREENHAFF, P. L., MACDONALD, I. A. (1997a). Physiological responses to cold stress during prolonged intermittent low- and high-intensity walking. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 272(6), 2025-2033.

WELLER, A. S., MILLARD, C. E., STROUD, M. A., GREENHAFF, P. L., MACDONALD, I. A. (1997b). Physiological responses to a cold, wet, and windy environment during prolonged intermittent walking. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 272(1), 226-233.

WHO (2010). Global recommendations on physical activity for health. Zugriff: 30.10.2012, unter <http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/9789241599979/en/index.html>

WILLSON, J., TORRY, M. R., DECKER, M. J., KERNOZEK, T., STEADMAN, J. R. (2001). Effects of walking poles on lower extremity gait mechanics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(1), 142-147.

WILMORE, J. H., COSTILL, D. L., KENNEY, W. L. (2008). *Physiology of sport and Exercise* (4. Aufl.). Champaign: Human Kinetics.

WITTE, T. H., WILSON, A. M. (2005). Accuracy of WAAS-enabled GPS for the determination of position and speed over ground. *Journal of Biomechanics*, 38(8), 1717-1722.

WÖRLE, A. (2008). *Nordic Walking*. Planegg: Deutscher Skiverband e.V.

WÖRLE, A., FALKNER, G. (2008). Nordic Walking Techniken. In A. WÖRLE (Hrsg.), *Nordic Walking*. Planegg: Deutscher Skiverband, e.V.

- WÜPPER, C., SCHULTE, A., GEESE, R., HILLMER-VOGEL, U. (2005). Energieumsatz beim Walking im Feld-Test - Ein Vergleich zwischen Walking und Nordic Walking. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56(7/8), 249.
- XU, F., RHODES, E. (1999). Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Medicine*, 27(5), 313-327.
- ZAMPARO, P., PERINI, R., ORIZIO, C., SACHER, M., FERRETTI, G. (1992). The energy cost of walking or running on sand. *European Journal of Applied Physiology*, 65(2), 183-187.
- ZIRKLER, E. (2001). *Asphalt - Ein Werkstoff durch Jahrtausende*. Isernhagen: Giesel Verlag.
- ZISCHG, H., SPAZIER, G. (2004). *Kardiorespiratorische Parameter verglichen zwischen Nordic Walking und Walking in Höhen- und Tallage*. Universität Innsbruck. Zugriff: 25.11.11, unter [http://www.walkingportal.de/htdocs/linke\\_navi/Studien/Zisch-Abstract.pdf](http://www.walkingportal.de/htdocs/linke_navi/Studien/Zisch-Abstract.pdf)



## **Anhang A**

**Abb. A-1:      Anschreiben an die Untersuchungsteilnehmer**



**DEUTSCHE SPORHOCHSCHULE KÖLN**  
Institut für Natursport und Ökologie

Köln, 26.10.07

Liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer,

ich freue mich sehr, dass Sie sich bereit erklärt haben an meiner Studie zur „Untersuchung der metabolischen Beanspruchung auf Nordic Walking Strecken“ teilzunehmen. Der Start der ersten Messung (06.11.07) steht unmittelbar vor der Tür. Für einen reibungslosen Ablauf, habe ich Ihnen hier noch einmal einige Informationen zusammengestellt.

Für die Untersuchung werden pro Teilnehmer vier Tage benötigt, an denen jeweils eine Nordic Walking Strecke gelaufen werden soll (Zeitaufwand pro Test-Tag ca. 2-3 Stunden, je nach Streckenlänge). Es wurden die Strecken 3, 5 und 8 des DSV Nordic aktiv Walking Zentrums Ortenau ausgewählt. Die Reihenfolge wurde nach dem Zufallsprinzip festgelegt. Treffpunkt ist jeweils die Starttafel der zu laufenden Strecke.

Um die Testergebnisse nicht zu verfälschen, wäre es schön wenn Sie die folgenden Punkte beachten würden:

- Bitte vermeiden Sie ab 24 Stunden vor dem Test exzessiven Alkoholgenuss!
- Bitte vermeiden Sie ab 12 Stunden vor dem Test schwere Mahlzeiten in großen Mengen (z. B. Sauerbraten und Klöße)!
- Bitte rauchen Sie ab 6 Stunden vor dem Test keine Zigarette o.ä.!
- Bitte trinken Sie 2-3 Stunden vor dem Test keinen Kaffee oder schwarzen Tee!
- Bitte vermeiden Sie ab 48 Stunden erschöpfende Leistungen / Ausbelastungen
- Bitte kommen Sie rasiert, damit die Gesichtsmaske gut abdichtet!
- Bitte denken Sie daran vor dem Test ausreichend zu trinken!

Zur konkreten Terminabsprache werde ich mich in den nächsten Tagen mit Ihnen in Verbindung setzen.

Bei Fragen erreichen Sie mich unter 0179- 5246210.

Vielen Dank und viele Grüße Sara Lücke

**Abb. A-2: Einverständniserklärung****DEUTSCHE SPORHOCHSCHULE KÖLN**

Institut für Natursport und Ökologie

## Einverständniserklärung

Hiermit erkläre ich (Name) \_\_\_\_\_, dass ich freiwillig und auf eigene Verantwortung an dieser Studie“ teilnehme. Außerdem bestätige ich, dass meinerseits keine medizinischen Einwände (z. B. Herz- / Kreislauferkrankungen, akute Infekte etc.) gegen eine derartige Belastung bestehen und ich zurzeit keine Medikamente einnehme, die meine sportliche Leistungsfähigkeit beeinflussen.

Für Schäden an meiner Person, Gesundheit, Eigentum und sonstigen Sachen werde ich zu keiner Zeit Ansprüche stellen.

Außerdem erlaube ich ausdrücklich, dass die Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Natursport und Ökologie alle von mir erhobenen Daten, unter Beachtung des persönlichen Datenschutzes, zu wissenschaftlichen Zwecken speichern, auswerten und veröffentlichen darf.

Ort / Datum

Unterschrift

**Abb. A-3: Allgemeiner Fragebogen zur Erfassung der körperlichen Aktivität, des Gesundheitsstaus und der Essgewohnheiten**



**DEUTSCHE SPORHOCHSCHULE KÖLN**  
Institut für Natursport und Ökologie

ID

### Persönliche Angaben

**Geschlecht**  männlich  weiblich      **Geburtsdatum**       **Beruf**   
**Größe (cm)**

### Sport

Wie würden Sie Ihre sportliche Aktivität einstufen?

Gesundheitssport       Freizeitsport       Leistungssport

Welche Sportart betreiben Sie?

Sportart	Trainingseinheiten/Woche	Trainingsstunden/Woche

Sind Sie Nordic Walking Instruktor?  ja  nein

Wenn ja:

Wann haben Sie die Ausbildung gemacht?  (z.B. 2005)

Bei welchem Verband?

Wenn nein:

Wo haben Sie Nordic Walking gelernt?

**Gesundheit**

Bestehen aktuell **Beschwerden**?  ja  nein

Wenn ja, welche?

Bestehen **chronische Erkrankungen**?  ja  nein

Wenn ja, welche?

Bestehen **Allergien oder Unverträglichkeiten**?  ja  nein

Wenn ja, welche?

Nehmen Sie aktuell **Medikamente** ein?  ja  nein

Wenn ja, welche?

Sind Sie **Raucher**?  ja  nein

Wenn ja, wie viele Zigaretten rauchen Sie pro Tag?

Trinken Sie **Alkohol**?  ja  nein

Wenn ja, wie häufig?  selten  1-2 x pro Woche  3-4 x pro Woche  häufiger

**Ernährung**

Wie viele **Mahlzeiten** nehmen Sie pro Tag zu sich?

Wie viele **Portionen** (= 1 Hand voll) **Obst oder Gemüse** nehmen Sie pro Tag zu sich?

Wie viel **Liter** trinken Sie pro Tag?

Haben Sie besondere **Essgewohnheiten** oder halten Sie **Diät**?  ja  nein

Wenn ja, welche?

Tab. A-4: Ergebnisse des allgemeinen Fragebogens

<b>Anthropometrische Daten</b>	<b>Geschlecht</b>	m=2 w=7
	<b>Alter (Jahren)</b>	$\bar{x}=51,1$ SD=8,6
	<b>Körpergröße (m)</b>	$\bar{x}=1,67$ SD=0,07
	<b>Körpergewicht (kg)</b>	$\bar{x}=74,13$ SD=11,3
	<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	$\bar{x}=24,13$ SD=11,3
<b>Sport</b>	<b>sportliche Aktivität (Nennungen)</b>	Freizeitsport (9)
	<b>Trainingseinheiten (Nennungen)</b>	2-3 mal/Wo (9)
	<b>betriebene Sportarten (Nennungen)</b>	NW (9), Skifahren (6), Gymnastik/Fitness (6), Walking/Jogging (6), Mountainbiking (2), Schwimmen (2), Inline Skating (1), Tanzen (1), Tennis(1)
	<b>NW Instructor (ja/nein)</b>	ja=4 nein=5
	<b>Verband (Nennungen)</b>	DSV (4)
	<b>wo erlernt? (Nennungen)</b>	DSV-Instructor (5)
<b>Gesundheit</b>	<b>Beschwerden (ja/nein)</b>	ja=1 nein=8
	<b>Beschwerden</b>	Arthrose (Schulter)
	<b>chr. Erkrankungen (ja/nein)</b>	nein=9
	<b>Allergien (ja/nein)</b>	ja=3 nein=6
	<b>Allergien</b>	Medikamentenunverträglichkeit (1), Heuschnupfen (2)
	<b>Medikamente (ja/nein)</b>	nein=9
	<b>Raucher (ja/nein)</b>	nein=9
	<b>Alkohol (ja/nein)</b>	ja=7 nein=2
	<b>Alkohol (Frequenz)</b>	1-2 mal/Wo (4) 3-4 mal/Wo (3)
<b>Ernährung</b>	<b>Mahlzeiten pro Tag (Nennungen)</b>	3 (8), 4 (9)
	<b>Portionen Obst/Gemüse pro Tag (Nennungen)</b>	1 (2), 2 (4), 3(3)
	<b>Trinken (l)</b>	$\bar{x}=2,2$ SD=1,3
	<b>Diät (ja/nein)</b>	nein=9

Abb. A-5: Kurzfragebogen zur körperlichen Aktivität der letzten 48 Stunden sowie des Gesundheits- und Ernährungsstatus



Datum  ID

### Sport

Waren Sie in den letzten 48 Stunden sportlich aktiv?  ja  nein

Wenn ja:

Wie viele Stunden liegt es zurück?

Wie intensiv war die Belastung?  leicht  mittel  hoch  erschöpfend (Ausbelastung)

### Gesundheit

Wie viele Stunden liegt Ihre letzte Zigarette zurück?

Wie viele Stunden liegt Ihr letzter Alkoholgenuss zurück?

Wie viele Stunden haben Sie in der letzten Nacht geschlafen?

Wie fühlen Sie sich?  stark  mittelmäßig  wenig belastbar

### Ernährung

Wie viele Stunden liegt Ihre letzte Mahlzeit zurück?

Woraus bestand sie?

Vor wie vielen Stunden haben Sie den letzten Kaffee/schwarzen Tee getrunken?

## **Anhang B**

Tab. B-1: Strecke 1 negative Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der Herzfrequenz (Hf) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable Hf		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	v	R-Quadrat	p <sub>F</sub>
ID1	r	0,363	0,077	0,714	0,029	0,604	0,000***
	p	0,016*	0,330	0,000***	0,434		
	β	0,277	0,325	0,667	0,081		
	p <sub>t</sub>	0,053	0,019*	0,000***	0,499		
	Tol.	0,698	0,760	0,871	0,944		
	VIF	1,433	1,317	1,148	1,059		
ID2	r	-0,072	0,297	0,692	-0,042	0,717	0,000***
	p	0,345	0,047*	0,000***	0,407		
	β	-0,262	0,352	0,856	-0,033		
	p <sub>t</sub>	0,037*	0,004**	0,000***	0,752		
	Tol.	0,703	0,802	0,841	0,931		
	VIF	1,423	1,246	1,188	1,074		
ID3	r	-0,207	0,007	0,607	-0,156	0,628	0,000***
	p	0,073	0,482	0,000***	0,137		
	β	-0,522	0,067	0,782	-0,291		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,495	0,000***	0,005**		
	Tol.	0,824	0,862	0,883	0,847		
	VIF	1,213	1,160	1,132	1,180		
ID4	r	-0,183	0,296	0,562	0,140	0,573	0,000***
	p	0,123	0,028*	0,000***	0,188		
	β	-0,352	0,260	0,744	0,101		
	p <sub>t</sub>	0,009**	0,029	0,000***	0,376		
	Tol.	0,714	0,888	0,851	0,902		
	VIF	1,400	1,126	1,176	1,109		
ID5	r	-0,223	0,156	0,486	-0,298	0,535	0,000***
	p	0,066	0,148	0,000***	0,021*		
	β	-0,514	0,064	0,625	-0,358		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,567	0,000***	0,003**		
	Tol.	0,809	0,909	0,889	0,867		
	VIF	1,237	1,100	1,125	1,154		
ID6	r	0,279	0,247	0,790	0,190	0,771	0,000***
	p	0,045*	0,068	0,000***	0,126		
	β	0,111	0,325	0,798	0,154		
	p <sub>t</sub>	0,248	0,001***	0,000***	0,098		
	Tol.	0,785	0,865	0,861	0,855		
	VIF	1,274	1,156	1,161	1,170		
ID7	r	-0,078	0,007	0,343	-0,324	0,303	0,002**
	p	0,295	0,480	0,007**	0,011*		
	β	-0,234	0,196	0,430	-0,421		
	p <sub>t</sub>	0,089	0,170	0,002**	0,004**		
	Tol.	0,854	0,780	0,883	0,811		
	VIF	1,171	1,282	1,132	1,234		
ID8	r	0,373	-0,005	0,344	0,158	0,288	0,005**
	p	0,005**	0,487	0,008**	0,142		
	β	0,420	0,206	0,239	0,322		
	p <sub>t</sub>	0,007**	0,155	0,089	0,026*		
	Tol.	0,743	0,820	0,881	0,846		
	VIF	1,346	1,219	1,135	1,182		
ID9	r	0,100	0,227	0,618	-0,381	0,557	0,000***
	p	0,268	0,077	0,000***	0,007**		
	β	-0,231	0,133	0,689	-0,325		
	p <sub>t</sub>	0,068	0,356	0,000***	0,025*		
	Tol.	0,813	0,604	0,867	0,632		
	VIF	1,230	1,656	1,153	1,583		

Abhängige Variable Hf, Korrelationskoeffizient (r), einseitige Signifikanz (p), Beta-Koeffizient (β), Signifikanz des t-Tests (p<sub>t</sub>), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>), Signifikanz des F-Tests (p<sub>F</sub>);  
 (\* p ≤ 0,05; \*\* p ≤ 0,01; \*\*\* p ≤ 0,001)

Tab. B-2: Strecke 1 positive Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der Herzfrequenz (Hf) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable Hf		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	v	R-Quadrat	p <sub>F</sub>
ID1	r	0,690	0,246	0,623	-0,342	0,682	0,000***
	p	0,000***	0,051	0,000***	0,011*		
	β	0,495	0,175	0,350	-0,230		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,060	0,001***	0,015*		
	Tol.	0,795	0,974	0,783	0,975		
	VIF	1,258	1,027	1,278	1,026		
ID2	r	0,349	0,481	0,741	-0,173	0,679	0,000***
	p	0,011*	0,001***	0,000***	0,133		
	β	0,051	0,380	0,652	0,027		
	p <sub>t</sub>	0,627	0,001***	0,000***	0,799		
	Tol.	0,790	0,740	0,767	0,763		
	VIF	1,265	1,351	1,304	1,310		
ID3	r	0,241	0,290	0,833	-0,180	0,704	0,000***
	p	0,085	0,048*	0,000***	0,154		
	β	-0,167	0,113	0,876	-0,100		
	p <sub>t</sub>	0,148	0,289	0,000***	0,363		
	Tol.	0,714	0,818	0,780	0,761		
	VIF	1,400	1,222	1,281	1,314		
ID4	r	0,244	0,465	0,736	-0,380	0,681	0,000***
	p	0,062	0,001***	0,000***	0,007**		
	β	-0,030	0,279	0,701	-0,111		
	p <sub>t</sub>	0,781	0,061	0,000***	0,440		
	Tol.	0,779	0,425	0,769	0,436		
	VIF	1,283	2,355	1,300	2,292		
ID5	r	-0,123	0,216	0,456	0,269	0,394	0,000***
	p	0,191	0,060	0,000***	0,026*		
	β	-0,249	-0,135	0,679	0,307		
	p <sub>t</sub>	0,208	0,338	0,000***	0,067		
	Tol.	0,331	0,650	0,610	0,468		
	VIF	3,021	1,539	1,639	2,137		
ID6	r	0,369	0,366	0,750	-0,141	0,632	0,000***
	p	0,004**	0,004**	0,000***	0,161		
	β	0,103	0,259	0,665	-0,010		
	p <sub>t</sub>	0,332	0,016*	0,000***	0,923		
	Tol.	0,732	0,752	0,779	0,696		
	VIF	1,367	1,331	1,283	1,436		
ID7	r	0,152	0,567	0,494	-0,051	0,570	0,000***
	p	0,123	0,000***	0,000***	0,351		
	β	0,010	0,621	0,404	-0,329		
	p <sub>t</sub>	0,919	0,000***	0,000***	0,001***		
	Tol.	0,761	0,812	0,766	0,810		
	VIF	1,313	1,232	1,306	1,234		
ID8	r	0,188	0,357	0,402	-0,009	0,413	0,002**
	p	0,133	0,015*	0,007**	0,480		
	β	0,228	0,774	0,246	0,605		
	p <sub>t</sub>	0,181	0,001***	0,134	0,006**		
	Tol.	0,661	0,418	0,719	0,429		
	VIF	1,512	2,391	1,390	2,333		
ID9	r	0,063	0,208	0,615	-0,474	0,607	0,000***
	p	0,336	0,078	0,000***	0,000***		
	β	-0,291	-0,231	0,693	-0,520		
	p <sub>t</sub>	0,013*	0,068	0,000***	0,000***		
	Tol.	0,718	0,597	0,783	0,666		
	VIF	1,393	1,674	1,277	1,501		

Abhängige Variable Hf, Korrelationskoeffizient (r), einseitige Signifikanz (p), Beta-Koeffizient (β), Signifikanz des t-Tests (p<sub>t</sub>), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>), Signifikanz des F-Tests (p<sub>F</sub>);

(\* p ≤ 0,05; \*\* p ≤ 0,01; \*\*\* p ≤ 0,001)

Tab. B-3: Strecke 2 negative Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der Herzfrequenz (Hf) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable Hf		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	v	R-Quadrat	p <sub>F</sub>
ID1	r	0,018	0,447	0,063	-0,171	0,290	0,000***
	p	0,444	0,000***	0,309	0,086		
	β	0,368	0,593	-0,005	-0,107		
	p <sub>t</sub>	0,011**	0,000***	0,971	0,420		
	Tol.	0,603	0,703	0,722	0,684		
	VIF	1,659	1,423	1,384	1,461		
ID2	r	-0,356	-0,141	0,371	-0,495	0,337	0,000***
	p	0,004**	0,152	0,003**	0,000***		
	β	-0,223	-0,159	0,214	-0,315		
	p <sub>t</sub>	0,111	0,206	0,087	0,025*		
	Tol.	0,705	0,866	0,885	0,714		
	VIF	1,417	1,155	1,131	1,401		
ID3	r	0,251	-0,153	-0,213	-0,470	0,347	0,000***
	p	0,022*	0,112	0,044*	0,000***		
	β	0,290	-0,083	-0,071	-0,524		
	p <sub>t</sub>	0,019*	0,457	0,533	0,000***		
	Tol.	0,755	0,888	0,851	0,954		
	VIF	1,325	1,126	1,175	1,048		
ID4	r	0,032	-0,158	-0,093	0,427	0,203	0,021*
	p	0,410	0,125	0,251	0,001***		
	β	-0,101	-0,113	0,042	0,450		
	p <sub>t</sub>	0,447	0,388	0,750	0,000***		
	Tol.	0,914	0,951	0,905	0,858		
	VIF	1,094	1,051	1,105	1,166		
ID5	r	-0,063	-0,260	0,124	0,179	0,114	0,076
	p	0,296	0,013*	0,146	0,064		
	β	-0,070	-0,259	0,089	0,173		
	p <sub>t</sub>	0,579	0,026*	0,476	0,136		
	Tol.	0,811	0,990	0,827	0,977		
	VIF	1,233	1,010	1,209	1,024		
ID6	r	-0,008	0,063	-0,013	-0,113	0,061	0,422
	p	0,474	0,308	0,458	0,182		
	β	-0,033	0,306	-0,034	-0,359		
	p <sub>t</sub>	0,857	0,130	0,826	0,062		
	Tol.	0,458	0,387	0,671	0,431		
	VIF	2,182	2,582	1,490	2,321		
ID7	r	-0,247	0,537	0,230	0,205	0,327	0,000***
	p	0,016	0,000***	0,023*	0,038*		
	β	-0,033	0,486	0,103	0,167		
	p <sub>t</sub>	0,790	0,000***	0,382	0,094		
	Tol.	0,637	0,862	0,688	0,980		
	VIF	1,569	1,159	1,453	1,021		
ID8	r	0,024	0,443	0,009	0,219	0,282	0,001***
	p	0,429	0,000***	0,473	0,047*		
	β	0,274	0,561	-0,014	0,126		
	p <sub>t</sub>	0,058	0,000***	0,918	0,288		
	Tol.	0,650	0,737	0,749	0,941		
	VIF	1,539	1,357	1,335	1,063		
ID9	r	0,004	0,336	0,179	-0,200	0,211	0,004**
	p	0,487	0,002**	0,071	0,050*		
	β	0,309	0,410	0,207	-0,175		
	p <sub>t</sub>	0,028*	0,002**	0,107	0,126		
	Tol.	0,653	0,796	0,772	0,975		
	VIF	1,532	1,256	1,296	1,026		

Abhängige Variable Hf, Korrelationskoeffizient (r), einseitige Signifikanz (p), Beta-Koeffizient (β), Signifikanz des t-Tests (p<sub>t</sub>), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>), Signifikanz des F-Tests (p<sub>F</sub>):  
 (\* p ≤ 0,05; \*\* p ≤ 0,01; \*\*\* p ≤ 0,001)

Tab. B-4: Strecke 2 positive Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der Herzfrequenz (Hf) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable Hf		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	v	R-Quadrat	p <sub>F</sub>
ID1	r	0,236	0,286	0,190	-0,500	0,305	0,001***
	p	0,041*	0,017*	0,082	0,000***		
	β	0,234	0,025	-0,006	-0,488		
	p <sub>t</sub>	0,064	0,862	0,966	0,002**		
	Tol.	0,909	0,702	0,821	0,649		
	VIF	1,100	1,424	1,218	1,540		
ID2	r	-0,128	0,370	-0,186	-0,017	0,221	0,009**
	p	0,169	0,002**	0,081	0,450		
	β	-0,231	0,390	-0,250	-0,025		
	p <sub>t</sub>	0,129	0,002**	0,063	0,873		
	Tol.	0,654	0,983	0,846	0,611		
	VIF	1,529	1,018	1,182	1,636		
ID3	r	0,171	0,281	-0,057	-0,072	0,167	0,047*
	p	0,102	0,017**	0,337	0,298		
	β	0,305	0,387	-0,147	0,038		
	p <sub>t</sub>	0,029	0,008*	0,268	0,779		
	Tol.	0,873	0,815	0,932	0,888		
	VIF	1,145	1,227	1,073	1,126		
ID4	r	0,402	-0,154	-0,151	0,517	0,308	0,000***
	p	0,001***	0,120	0,125	0,000***		
	β	0,213	0,196	-0,067	0,469		
	p <sub>t</sub>	0,143	0,169	0,592	0,002**		
	Tol.	0,612	0,634	0,805	0,592		
	VIF	1,634	1,577	1,242	1,690		
ID5	r	-0,105	0,237	0,282	-0,048	0,135	0,082
	p	0,210	0,033*	0,014*	0,357		
	β	-0,139	0,200	0,259	0,000		
	p <sub>t</sub>	0,288	0,121	0,045*	0,998		
	Tol.	0,922	0,954	0,964	0,919		
	VIF	1,085	1,048	1,037	1,088		
ID6	r	0,363	0,399	0,203	-0,130	0,392	0,000***
	p	0,003**	0,001***	0,069	0,172		
	β	0,365	0,459	0,054	-0,506		
	p <sub>t</sub>	0,007**	0,001***	0,639	0,000***		
	Tol.	0,721	0,689	0,915	0,719		
	VIF	1,387	1,450	1,093	1,391		
ID7	r	0,002	0,471	0,007	-0,333	0,291	0,000***
	p	0,493	0,000***	0,475	0,002**		
	β	0,239	0,422	-0,143	-0,280		
	p <sub>t</sub>	0,042*	0,000***	0,196	0,025*		
	Tol.	0,747	0,821	0,833	0,670		
	VIF	1,338	1,218	1,201	1,493		
ID8	r	0,578	-0,248	0,233	0,060	0,382	0,000***
	p	0,000***	0,028*	0,036*	0,324		
	β	0,572	-0,261	0,008	-0,248		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,065	0,946	0,095		
	Tol.	0,769	0,588	0,773	0,527		
	VIF	1,301	1,700	1,294	1,899		
ID9	r	0,224	0,092	0,186	-0,240	0,213	0,008**
	p	0,040*	0,238	0,074	0,030**		
	β	0,448	-0,014	0,012	-0,466		
	p <sub>t</sub>	0,003**	0,919	0,924	0,003**		
	Tol.	0,649	0,742	0,827	0,590		
	VIF	1,541	1,348	1,209	1,694		

Abhängige Variable Hf, Korrelationskoeffizient (r), einseitige Signifikanz (p), Beta-Koeffizient (β), Signifikanz des t-Tests (p<sub>t</sub>), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>), Signifikanz des F-Tests (p<sub>F</sub>);

(\* p ≤ 0,05; \*\* p ≤ 0,01; \*\*\* p ≤ 0,001)

Tab. B-5: Strecke 3 negative Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der Herzfrequenz (Hf) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable Hf		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	v	R-Quadrat	p <sub>F</sub>
ID1	r	0,296	-0,146	-0,045	-0,015	0,134	0,000***
	p	0,002**	0,075	0,329	0,444		
	β	0,366	-0,201	0,091	-0,033		
	p <sub>t</sub>	0,001***	0,044**	0,393	0,738		
	Tol.	0,809	0,964	0,824	0,988		
	VIF	1,236	1,038	1,214	1,012		
ID2	r	0,373	0,464	-0,112	0,240	0,349	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,130	0,007**		
	β	0,356	0,426	0,100	0,125		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,000***	0,275	0,148		
	Tol.	0,808	0,976	0,797	0,908		
	VIF	1,238	1,024	1,254	1,102		
ID3	r	0,417	0,231	-0,152	-0,067	0,216	0,000***
	p	0,000***	0,008**	0,058	0,245		
	β	0,398	0,193	-0,002	-0,074		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,031*	0,981	0,398		
	Tol.	0,830	0,981	0,836	0,998		
	VIF	1,204	1,019	1,196	1,002		
ID4	r	0,172	0,211	0,003	0,147	0,076	0,103
	p	0,042*	0,016*	0,489	0,070		
	β	0,194	0,205	0,079	-0,008		
	p <sub>t</sub>	0,082	0,086	0,460	0,947		
	Tol.	0,779	0,684	0,830	0,623		
	VIF	1,283	1,461	1,205	1,605		
ID5	r	-0,132	0,209	0,165	-0,005	0,085	0,029*
	p	0,070	0,009**	0,032*	0,480		
	β	-0,071	0,247	0,142	-0,064		
	p <sub>t</sub>	0,464	0,010**	0,144	0,505		
	Tol.	0,809	0,852	0,806	0,825		
	VIF	1,236	1,173	1,241	1,212		
ID6	r	0,343	0,219	-0,264	-0,062	0,172	0,001***
	p	0,000***	0,015*	0,004**	0,271		
	β	0,259	0,181	-0,152	-0,048		
	p <sub>t</sub>	0,014*	0,060	0,143	0,609		
	Tol.	0,829	0,986	0,840	0,998		
	VIF	1,206	1,014	1,190	1,002		
ID7	r	0,048	0,088	0,196	0,000	0,072	0,054
	p	0,293	0,162	0,013*	0,498		
	β	0,119	0,158	0,266	-0,130		
	p <sub>t</sub>	0,218	0,170	0,006**	0,266		
	Tol.	0,809	0,572	0,828	0,557		
	VIF	1,236	1,747	1,207	1,796		
ID8	r	-0,132	0,186	0,111	-0,228	0,182	0,000***
	p	0,084	0,025*	0,123	0,008**		
	β	-0,263	0,327	-0,034	-0,394		
	p <sub>t</sub>	0,011*	0,001***	0,728	0,000***		
	Tol.	0,754	0,854	0,810	0,803		
	VIF	1,327	1,171	1,235	1,246		
ID9	r	0,327	-0,095	-0,064	-0,083	0,138	0,003**
	p	0,000***	0,159	0,250	0,192		
	β	0,381	-0,083	0,07	-0,117		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,410	0,469	0,252		
	Tol.	0,841	0,807	0,867	0,783		
	VIF	1,189	1,239	1,154	1,278		

Abhängige Variable Hf, Korrelationskoeffizient (r), einseitige Signifikanz (p), Beta-Koeffizient (β), Signifikanz des t-Tests (p<sub>t</sub>), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>), Signifikanz des F-Tests (p<sub>F</sub>);

(\* p ≤ 0,05; \*\* p ≤ 0,01; \*\*\* p ≤ 0,001)

Tab. B-6: Strecke 3 positive Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der Herzfrequenz (Hf) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable Hf		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	v	R-Quadrat	p <sub>F</sub>
ID1	r	0,173	0,487	-0,012	-0,028	0,303	0,000***
	p	0,028*	0,000***	0,447	0,380		
	β	0,185	0,544	-0,042	-0,169		
	p <sub>t</sub>	0,064	0,000***	0,681	0,036*		
	Tol.	0,610	0,865	0,872	0,937		
	VIF	1,639	1,156	1,748	1,068		
ID2	r	-0,168	0,616	0,216	-0,479	0,433	0,000***
	p	0,035	0,000***	0,010**	0,000***		
	β	-0,199	0,500	-0,074	-0,224		
	p <sub>t</sub>	0,031*	0,000***	0,433	0,011*		
	Tol.	0,612	0,667	0,577	0,666		
	VIF	1,633	1,500	1,734	1,500		
ID3	r	-0,009	0,371	0,108	-0,653	0,440	0,000***
	p	0,462	0,000***	0,114	0,000***		
	β	-0,088	-0,115	-0,085	-0,751		
	p <sub>t</sub>	0,342	0,214	0,376	0,000***		
	Tol.	0,541	0,544	0,511	0,533		
	VIF	1,849	1,840	1,957	1,875		
ID4	r	0,008	0,556	0,199	-0,622	0,419	0,000***
	p	0,467	0,000***	0,021*	0,000***		
	β	0,049	0,191	0,130	-0,461		
	p <sub>t</sub>	0,624	0,104	0,193	0,000***		
	Tol.	0,586	0,432	0,589	0,430		
	VIF	1,707	2,317	1,699	2,327		
ID5	r	-0,121	0,493	0,184	-0,564	0,331	0,000***
	p	0,073	0,000***	0,013*	0,000***		
	β	-0,099	0,088	0,003	-0,488		
	p <sub>t</sub>	0,262	0,483	0,976	0,000***		
	Tol.	0,604	0,302	0,554	0,321		
	VIF	1,655	3,315	1,805	3,111		
ID6	r	0,013	0,194	0,036	-0,349	0,160	0,000***
	p	0,439	0,013*	0,342	0,000***		
	β	-0,002	0,196	-0,045	-0,353		
	p <sub>t</sub>	0,980	0,020*	0,645	0,000***		
	Tol.	0,724	0,953	0,699	0,979		
	VIF	1,381	1,050	1,431	1,021		
ID7	r	-0,033	0,515	0,205	-0,609	0,430	0,000***
	p	0,341	0,000***	0,005**	0,000***		
	β	-0,049	0,238	0,072	-0,478		
	p <sub>t</sub>	0,552	0,002**	0,385	0,000***		
	Tol.	0,572	0,676	0,561	0,670		
	VIF	1,750	1,479	1,782	1,493		
ID8	r	-0,557	0,359	0,471	-0,446	0,551	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		
	β	-0,645	-0,095	-0,079	-0,590		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,421	0,379	0,000***		
	Tol.	0,502	0,272	0,471	0,266		
	VIF	1,994	3,678	2,122	3,753		
ID9	r	0,497	0,441	-0,115	-0,496	0,541	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,094	0,000***		
	β	0,581	0,273	0,153	-0,300		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,000***	0,069	0,000***		
	Tol.	0,542	0,740	0,516	0,743		
	VIF	1,843	1,352	1,936	1,346		

Abhängige Variable Hf, Korrelationskoeffizient (r), einseitige Signifikanz (p), Beta-Koeffizient (β), Signifikanz des t-Tests (p<sub>t</sub>), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>), Signifikanz des F-Tests (p<sub>F</sub>);  
 (\* p ≤ 0,05; \*\* p ≤ 0,01; \*\*\* p ≤ 0,001)

Tab. B-7: Strecke 1 negative Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der relativen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable $VO_2$		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	v	R-Quadrat	$p_F$
ID1	r	-0,167	0,381	0,533	0,118	0,572	0,000***
	p	0,170	0,012*	0,000***	0,250		
	$\beta$	-0,203	0,427	0,670	0,157		
	$p_t$	0,166	0,004**	0,000***	0,212		
	Tol.	0,698	0,760	0,871	0,944		
	VIF	1,433	1,317	1,148	1,059		
ID2	r	-0,248	0,411	0,513	0,020	0,625	
	p	0,082	0,009**	0,001***	0,456		
	$\beta$	-0,366	0,395	0,727	-0,023		
	$p_t$	0,013*	0,005**	0,000***	0,846		
	Tol.	0,703	0,802	0,841	0,931		
	VIF	1,423	1,246	1,188	1,074		
ID3	r	-0,424	0,162	0,388	-0,094	0,581	0,000***
	p	0,001***	0,128	0,002**	0,256		
	$\beta$	-0,665	0,183	0,621	-0,305		
	$p_t$	0,000***	0,082	0,000***	0,005**		
	Tol.	0,824	0,862	0,883	0,847		
	VIF	1,213	1,160	1,132	1,180		
ID4	r	-0,178	0,312	0,436	0,187	0,423	0,000***
	p	0,129	0,022*	0,002**	0,118		
	$\beta$	-0,268	0,279	0,595	0,152		
	$p_t$	0,078	0,042*	0,000***	0,256		
	Tol.	0,714	0,888	0,851	0,902		
	VIF	1,400	1,126	1,176	1,109		
ID5	r	-0,365	0,177	0,404	-0,256	0,573	0,000***
	p	0,006**	0,117	0,002**	0,041*		
	$\beta$	-0,642	0,064	0,586	-0,353		
	$p_t$	0,000***	0,549	0,000***	0,002**		
	Tol.	0,809	0,909	0,889	0,867		
	VIF	1,237	1,100	1,125	1,154		
ID6	r	-0,080	0,363	0,477	0,266	0,457	0,000***
	p	0,317	0,013*	0,001***	0,053		
	$\beta$	-0,170	0,350	0,589	0,135		
	$p_t$	0,247	0,016*	0,000***	0,336		
	Tol.	0,785	0,865	0,861	0,855		
	VIF	1,274	1,156	1,161	1,170		
ID7	r	-0,200	0,121	0,331	-0,279	0,382	0,000***
	p	0,082	0,201	0,009**	0,025*		
	$\beta$	-0,348	0,295	0,470	-0,433		
	$p_t$	0,009**	0,031*	0,000***	0,002**		
	Tol.	0,854	0,780	0,883	0,811		
	VIF	1,171	1,282	1,132	1,234		
ID8	r	0,036	0,076	0,409	0,282	0,304	0,003**
	p	0,403	0,304	0,002**	0,026*		
	$\beta$	0,024	0,201	0,444	0,375		
	$p_t$	0,873	0,159	0,002**	0,010**		
	Tol.	0,743	0,820	0,881	0,846		
	VIF	1,346	1,219	1,135	1,182		
ID9	r	0,059	0,160	0,514	-0,300	0,379	0,001***
	p	0,357	0,158	0,000***	0,029*		
	$\beta$	-0,211	0,087	0,577	-0,272		
	$p_t$	0,155	0,610	0,000***	0,108		
	Tol.	0,813	0,604	0,867	0,632		
	VIF	1,230	1,656	1,153	1,583		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des  $t$ -Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des  $F$ -Tests ( $p_F$ );

(\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Tab. B-8: Strecke 1 positive Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der relativen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable $VO_2$		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	v	R-Quadrat	$p_F$
ID1	r	0,415	0,335	0,664	-0,339	0,582	0,000***
	p	0,002**	0,012*	0,000***	0,011*		
	$\beta$	0,130	0,248	0,538	-0,259		
	$p_t$	0,264	0,021*	0,000***	0,016		
	Tol.	0,795	0,974	0,783	0,975		
	VIF	1,258	1,027	1,278	1,026		
ID2	r	0,428	0,472	0,726	-0,141	0,672	0,000***
	p	0,002**	0,001***	0,000***	0,183		
	$\beta$	0,157	0,397	0,587	0,060		
	$p_t$	0,141	0,001***	0,000***	0,579		
	Tol.	0,790	0,740	0,767	0,763		
	VIF	1,265	1,351	1,304	1,310		
ID3	r	0,028	0,294	0,701	-0,104	0,614	0,000***
	p	0,437	0,046*	0,000***	0,280		
	$\beta$	-0,350	0,135	0,821	-0,079		
	$p_t$	0,016*	0,297	0,000***	0,557		
	Tol.	0,714	0,818	0,780	0,761		
	VIF	1,400	1,222	1,281	1,314		
ID4	r	0,169	0,450	0,574	-0,351	0,471	0,000***
	p	0,146	0,002**	0,000***	0,012*		
	$\beta$	-0,034	0,324	0,538	-0,061		
	$p_t$	0,808	0,090	0,000***	0,740		
	Tol.	0,779	0,425	0,769	0,436		
	VIF	1,283	2,355	1,300	2,292		
ID5	r	-0,321	0,315	0,339	0,439	0,455	0,000***
	p	0,010**	0,011*	0,007**	0,001***		
	$\beta$	-0,350	-0,076	0,607	0,367		
	$p_t$	0,065	0,568	0,000***	0,023*		
	Tol.	0,331	0,650	0,610	0,468		
	VIF	3,021	1,539	1,639	2,137		
ID6	r	0,148	0,391	0,594	-0,194	0,449	0,000***
	p	0,150	0,002**	0,000***	0,086		
	$\beta$	-0,086	0,295	0,584	0,002		
	$p_t$	0,503	0,024*	0,000***	0,988		
	Tol.	0,732	0,752	0,779	0,696		
	VIF	1,367	1,331	1,283	1,436		
ID7	r	0,068	0,434	0,532	-0,113	0,512	0,000***
	p	0,304	0,000***	0,000***	0,195		
	$\beta$	-0,128	0,465	0,531	-0,314		
	$p_t$	0,241	0,000***	0,000***	0,004**		
	Tol.	0,761	0,812	0,766	0,810		
	VIF	1,313	1,232	1,306	1,234		
ID8	r	0,185	0,460	0,598	-0,084	0,632	0,000***
	p	0,137	0,002**	0,000***	0,311		
	$\beta$	0,099	0,790	0,495	0,547		
	$p_t$	0,459	0,000***	0,000***	0,002**		
	Tol.	0,661	0,418	0,719	0,429		
	VIF	1,512	2,391	1,390	2,333		
ID9	r	-0,142	0,316	0,352	-0,321	0,296	0,004**
	p	0,168	0,014*	0,007**	0,013*		
	$\beta$	-0,316	0,053	0,444	-0,242		
	$p_t$	0,042*	0,752	0,004**	0,130		
	Tol.	0,718	0,597	0,783	0,666		
	VIF	1,393	1,674	1,277	1,501		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des  $t$ -Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des  $F$ -Tests ( $p_F$ );

(\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Tab. B-9: Strecke 2 negative Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der relativen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable $VO_2$		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	v	R-Quadrat	$p_F$
ID1	r	-0,594	0,663	0,312	-0,384	0,529	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,006**	0,001***		
	$\beta$	-0,341	0,482	-0,014	-0,030		
	$p_t$	0,004**	0,000***	0,891	0,781		
	Tol.	0,603	0,703	0,722	0,684		
	VIF	1,659	1,423	1,384	1,461		
ID2	r	-0,539	-0,065	0,461	-0,557	0,511	0,000***
	p	0,000***	0,318	0,000***	0,000***		
	$\beta$	-0,400	-0,128	0,286	-0,278		
	$p_t$	0,001***	0,234	0,009**	0,021*		
	Tol.	0,705	0,866	0,885	0,714		
	VIF	1,417	1,155	1,131	1,401		
ID3	r	-0,439	0,130	0,220	-0,497	0,388	0,000***
	p	0,000***	0,150	0,039*	0,000***		
	$\beta$	-0,323	-0,027	0,124	-0,447		
	$p_t$	0,007**	0,799	0,261	0,000***		
	Tol.	0,755	0,888	0,851	0,954		
	VIF	1,325	1,126	1,175	1,048		
ID4	r	-0,612	-0,082	0,096	0,106	0,509	0,000***
	p	0,000***	0,277	0,243	0,220		
	$\beta$	-0,720	-0,143	0,219	0,335		
	$p_t$	0,000***	0,164	0,041*	0,003**		
	Tol.	0,914	0,951	0,905	0,858		
	VIF	1,094	1,051	1,105	1,166		
ID5	r	-0,631	-0,200	0,309	0,122	0,502	0,000***
	p	0,000***	0,044*	0,004**	0,149		
	$\beta$	-0,662	-0,250	0,034	0,189		
	$p_t$	0,000***	0,001***	0,719	0,031*		
	Tol.	0,811	0,990	0,827	0,977		
	VIF	1,233	1,010	1,209	1,024		
ID6	r	-0,467	0,211	0,272	0,070	0,264	0,001***
	p	0,000***	0,044*	0,014*	0,289		
	$\beta$	-0,510	0,149	0,053	-0,291		
	$p_t$	0,003**	0,400	0,694	0,087		
	Tol.	0,458	0,387	0,671	0,431		
	VIF	2,182	2,582	1,490	2,321		
ID7	r	-0,610	0,528	0,488	0,155	0,537	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,000***	0,090		
	$\beta$	-0,399	0,327	0,195	0,162		
	$p_t$	0,000***	0,000***	0,049*	0,051		
	Tol.	0,637	0,862	0,688	0,980		
	VIF	1,569	1,159	1,453	1,021		
ID8	r	-0,020	0,478	-0,196	0,282	0,390	0,000***
	p	0,439	0,000***	0,067	0,015*		
	$\beta$	0,100	0,605	-0,306	0,154		
	$p_t$	0,403	0,000***	0,015*	0,162		
	Tol.	0,650	0,737	0,749	0,941		
	VIF	1,539	1,357	1,335	1,063		
ID9	r	0,034	0,245	0,003	-0,285	0,165	0,020*
	p	0,391	0,021*	0,491	0,009**		
	$\beta$	0,209	0,313	-0,009	-0,284		
	$p_t$	0,145	0,017*	0,947	0,017*		
	Tol.	0,653	0,796	0,772	0,975		
	VIF	1,532	1,256	1,296	1,026		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des  $t$ -Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des  $F$ -Tests ( $p_F$ );

(\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Tab. B-10: Strecke 2 positive Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der relativen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable $VO_2$		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	v	R-Quadrat	$p_F$
ID1	r	-0,106	0,218	-0,067	-0,420	0,215	0,015*
	p	0,221	0,055	0,313	0,001***		
	$\beta$	-0,057	-0,034	-0,180	-0,486		
	$p_t$	0,665	0,823	0,199	0,003**		
	Tol.	0,909	0,702	0,821	0,649		
	VIF	1,100	1,424	1,218	1,540		
ID2	r	-0,365	0,312	-0,010	-0,210	0,277	0,002**
	p	0,002**	0,009**	0,472	0,057		
	$\beta$	-0,406	0,360	-0,144	-0,073		
	$p_t$	0,007**	0,003**	0,260	0,627		
	Tol.	0,654	0,983	0,846	0,611		
	VIF	1,529	1,018	1,182	1,636		
ID3	r	-0,163	0,355	-0,068	-0,115	0,137	0,099
	p	0,112	0,003**	0,307	0,196		
	$\beta$	-0,051	0,348	-0,081	0,006		
	$p_t$	0,712	0,018*	0,548	0,965		
	Tol.	0,873	0,815	0,932	0,888		
	VIF	1,145	1,227	1,073	1,126		
ID4	r	0,109	-0,094	-0,064	0,395	0,184	0,023*
	p	0,204	0,238	0,314	0,001***		
	$\beta$	-0,160	0,072	0,040	0,533		
	$p_t$	0,308	0,641	0,770	0,001***		
	Tol.	0,612	0,634	0,805	0,592		
	VIF	1,634	1,577	1,242	1,690		
ID5	r	-0,499	0,149	0,308	-0,091	0,390	0,000***
	p	0,000***	0,126	0,008**	0,243		
	$\beta$	-0,549	0,129	0,331	0,054		
	$p_t$	0,000***	0,231	0,003**	0,619		
	Tol.	0,922	0,954	0,964	0,919		
	VIF	1,085	1,048	0,964	0,919		
ID6	r	0,074	0,316	0,001	-0,183	0,247	0,006**
	p	0,295	0,009**	0,496	0,091		
	$\beta$	0,055	0,518	-0,096	-0,437		
	$p_t$	0,704	0,001***	0,460	0,004**		
	Tol.	0,721	0,689	0,915	0,719		
	VIF	1,387	1,450	1,093	1,391		
ID7	r	-0,172	0,526	-0,003	-0,429	0,343	0,000***
	p	0,068	0,000***	0,489	0,000***		
	$\beta$	0,070	0,425	-0,120	-0,306		
	$p_t$	0,529	0,000***	0,257	0,011		
	Tol.	0,747	0,821	0,833	0,670		
	VIF	1,338	1,218	1,201	1,493		
ID8	r	0,427	-0,027	0,123	-0,112	0,251	0,003**
	p	0,000***	0,420	0,174	0,196		
	$\beta$	0,529	-0,097	-0,126	-0,340		
	$p_t$	0,000***	0,528	0,348	0,039*		
	Tol.	0,769	0,588	0,773	0,527		
	VIF	1,301	1,700	1,294	1,899		
ID9	r	-0,018	0,114	0,086	-0,408	0,220	0,006**
	p	0,445	0,188	0,253	0,000***		
	$\beta$	0,256	-0,093	-0,043	-0,586		
	$p_t$	0,083	0,497	0,739	0,000***		
	Tol.	0,649	0,742	0,827	0,590		
	VIF	1,541	1,348	1,209	1,694		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des  $t$ -Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des  $F$ -Tests ( $p_F$ );

(\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Tab. B-11: Strecke 3 negative Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der relativen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable $VO_2$		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	v	R-Quadrat	$p_F$
ID1	r	-0,156	-0,108	0,206	-0,044	0,058	0,232
	p	0,062	0,144	0,021*	0,332		
	$\beta$	-0,072	-0,089	0,168	-0,050		
	$p_t$	0,522	0,390	0,133	0,623		
	Tol.	0,809	0,964	0,824	0,988		
	VIF	1,236	1,038	1,214	1,012		
ID2	r	-0,115	0,481	0,110	0,073	0,266	0,000***
	p	0,125	0,000***	0,134	0,231		
	$\beta$	-0,177	0,490	0,111	0,055		
	$p_t$	0,227	0,000***	0,255	0,545		
	Tol.	0,808	0,976	0,797	0,908		
	VIF	1,238	1,024	1,254	1,102		
ID3	r	-0,138	0,340	0,073	-0,038	0,148	0,002**
	p	0,078	0,000***	0,227	0,348		
	$\beta$	-0,178	0,360	-0,012	-0,047		
	$p_t$	0,078	0,000***	0,901	0,610		
	Tol.	0,830	0,981	0,836	0,998		
	VIF	1,204	1,019	1,196	1,002		
ID4	r	-0,167	0,245	-0,038	0,037	0,113	0,020*
	p	0,047*	0,007**	0,352	0,357		
	$\beta$	-0,213	0,308	-0,140	-0,094		
	$p_t$	0,052	0,009**	0,185	0,440		
	Tol.	0,779	0,684	0,830	0,623		
	VIF	1,283	1,461	1,205	1,605		
ID5	r	-0,313	0,235	0,234	-0,007	0,177	0,000***
	p	0,000***	0,004**	0,004**	0,467		
	$\beta$	-0,258	0,274	0,136	-0,049		
	$p_t$	0,006**	0,003**	0,142	0,589		
	Tol.	0,809	0,852	0,806	0,825		
	VIF	1,236	1,173	1,241	1,212		
ID6	r	0,189	0,364	-0,249	-0,076	0,194	0,000***
	p	0,031	0,000***	0,007**	0,228		
	$\beta$	0,063	0,346	-0,207	-0,067		
	$p_t$	0,539	0,000***	0,045*	0,471		
	Tol.	0,829	0,986	0,840	0,998		
	VIF	1,206	1,014	1,190	1,002		
ID7	r	-0,035	0,150	0,223	0,095	0,076	0,042*
	p	0,348	0,045*	0,005**	0,141		
	$\beta$	0,037	0,183	0,248	-0,058		
	$p_t$	0,702	0,112	0,010**	0,617		
	Tol.	0,809	0,572	0,828	0,557		
	VIF	1,236	1,747	1,207	1,796		
ID8	r	0,238	0,144	-0,179	-0,250	0,166	0,001***
	p	0,006**	0,066	0,030*	0,004**		
	$\beta$	0,072	0,253	-0,188	-0,316		
	$p_t$	0,481	0,010**	0,059	0,002**		
	Tol.	0,754	0,854	0,810	0,803		
	VIF	1,327	1,171	1,235	1,246		
ID9	r	-0,361	-0,151	-0,074	-0,135	0,188	0,000***
	p	0,000***	0,056	0,220	0,078		
	$\beta$	-0,428	-0,111	-0,227	-0,004		
	$p_t$	0,000***	0,257	0,017*	0,969		
	Tol.	0,841	0,807	0,867	0,783		
	VIF	1,189	1,239	1,154	1,278		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des  $t$ -Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des  $F$ -Tests ( $p_F$ );

(\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Tab. B-12: Strecke 3 positive Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der relativen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable $VO_2$		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	v	R-Quadrat	$p_F$
ID1	r	-0,429	0,440	0,288	-0,033	0,381	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,001***	0,360		
	$\beta$	-0,478	0,476	-0,128	-0,107		
	$p_t$	0,000***	0,000***	0,186	0,157		
	Tol.	0,610	0,865	0,572	0,937		
	VIF	1,639	1,156	1,748	1,068		
ID2	r	-0,633	0,464	0,421	-0,277	0,601	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,000***	0,001***		
	$\beta$	-0,686	0,396	-0,111	-0,112		
	$p_t$	0,000***	0,000***	0,160	0,128		
	Tol.	0,612	0,667	0,577	0,666		
	VIF	1,633	1,500	1,734	1,500		
ID3	r	-0,504	0,345	0,402	-0,479	0,498	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		
	$\beta$	-0,570	-0,015	-0,081	-0,520		
	$p_t$	0,000***	0,863	0,372	0,000***		
	Tol.	0,541	0,544	0,511	0,533		
	VIF	1,849	1,840	1,957	1,875		
ID4	r	-0,350	0,585	0,333	-0,583	0,535	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		
	$\beta$	-0,398	0,207	-0,014	-0,479		
	$p_t$	0,000***	0,049*	0,876	0,000***		
	Tol.	0,586	0,432	0,589	0,430		
	VIF	1,707	2,317	1,699	2,327		
ID5	r	-0,453	0,533	0,403	-0,599	0,551	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		
	$\beta$	-0,420	0,101	0,021	-0,498		
	$p_t$	0,000***	0,327	0,784	0,000***		
	Tol.	0,604	0,302	0,554	0,321		
	VIF	1,655	3,315	1,805	3,111		
ID6	r	-0,337	0,109	0,193	-0,304	0,213	0,000***
	p	0,000***	0,107	0,013*	0,000***		
	$\beta$	-0,354	0,133	-0,047	-0,290		
	$p_t$	0,000***	0,099	0,617	0,000***		
	Tol.	0,724	0,953	0,699	0,979		
	VIF	1,381	1,050	1,431	1,021		
ID7	r	-0,092	0,550	0,241	-0,619	0,471	0,000***
	p	0,128	0,000***	0,001***	0,000***		
	$\beta$	-0,115	0,274	0,059	-0,478		
	$p_t$	0,147	0,000***	0,459	0,000***		
	Tol.	0,572	0,676	0,561	0,670		
	VIF	1,750	1,479	1,782	1,493		
ID8	r	-0,207	0,478	0,258	-0,562	0,380	0,000***
	p	0,011	0,000***	0,002**	0,000***		
	$\beta$	-0,312	-0,003	-0,098	-0,609		
	$p_t$	0,003**	0,986	0,354	0,000***		
	Tol.	0,502	0,272	0,471	0,266		
	VIF	1,994	3,678	2,122	3,753		
ID9	r	-0,364	0,439	0,377	-0,372	0,367	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***		
	$\beta$	-0,347	0,307	0,042	-0,241		
	$p_t$	0,000***	0,000***	0,667	0,004**		
	Tol.	0,542	0,740	0,516	0,743		
	VIF	1,843	1,352	1,936	1,346		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des  $t$ -Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des  $F$ -Tests ( $p_F$ );

(\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Tab. B-13: Strecke 1 negative Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der Geschwindigkeit ( $v$ ) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable $v$		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	R-Quadrat	$p_F$
ID1	$r$	-0,062	-0,170	0,031	0,056	0,613
	$p$	0,361	0,165	0,430		
	$\beta$	-0,194	-0,247	0,059		
	$p_t$	0,354	0,215	0,754		
	Tol.	0,718	0,799	0,874		
	VIF	1,393	1,252	1,144		
ID2	$r$	-0,226	0,195	-0,160	0,069	0,553
	$p$	0,103	0,138	0,186		
	$\beta$	-0,143	0,118	-0,082		
	$p_t$	0,506	0,558	0,676		
	Tol.	0,714	0,812	0,847		
	VIF	1,401	1,231	1,181		
ID3	$r$	-0,236	0,345	-0,015	0,153	0,049*
	$p$	0,047*	0,007**	0,458		
	$\beta$	-0,198	0,311	0,078		
	$p_t$	0,180	0,028*	0,588		
	Tol.	0,857	0,956	0,889		
	VIF	1,167	1,046	1,125		
ID4	$r$	-0,313	0,123	-0,139	0,098	0,262
	$p$	0,022*	0,219	0,191		
	$\beta$	-0,297	0,021	-0,021		
	$p_t$	0,099	0,898	0,900		
	Tol.	0,768	0,889	0,851		
	VIF	1,302	1,125	1,175		
ID5	$r$	-0,264	-0,210	-0,100	0,133	0,101
	$p$	0,037*	0,078	0,253		
	$\beta$	-0,292	-0,256	-0,027		
	$p_t$	0,061	0,082	0,856		
	Tol.	0,878	0,976	0,890		
	VIF	1,139	1,024	1,124		
ID6	$r$	-0,270	0,321	-0,047	0,145	0,144
	$p$	0,051	0,025*	0,389		
	$\beta$	-0,227	0,273	0,070		
	$p_t$	0,204	0,105	0,686		
	Tol.	0,824	0,936	0,865		
	VIF	1,214	1,069	1,156		
ID7	$r$	-0,134	0,433	-0,043	0,189	0,021*
	$p$	0,177	0,001***	0,384		
	$\beta$	-0,049	0,426	0,032		
	$p_t$	0,735	0,003**	0,821		
	Tol.	0,856	0,945	0,884		
	VIF	1,168	1,058	1,131		
ID8	$r$	-0,223	-0,248	-0,084	0,154	0,059
	$p$	0,063	0,045*	0,286		
	$\beta$	-0,319	-0,336	0,006		
	$p_t$	0,044	0,025*	0,967		
	Tol.	0,816	0,921	0,881		
	VIF	1,226	1,085	1,135		
ID9	$r$	-0,221	-0,601	-0,038	0,368	0,001***
	$p$	0,083	0,000***	0,406		
	$\beta$	-0,047	-0,592	-0,059		
	$p_t$	0,748	0,000***	0,678		
	Tol.	0,815	0,908	0,872		
	VIF	1,227	1,101	1,147		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des  $t$ -Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des  $F$ -Tests ( $p_F$ );  
 (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Tab. B-14: Strecke 1 positive Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der Geschwindigkeit ( $v$ ) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable $v$		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	R-Quadrat	$p_F$
ID1	$r$	-0,147	0,009	-0,116	0,025	0,786
	$p$	0,168	0,477	0,223		
	$\beta$	-0,117	0,024	-0,068		
	$p_t$	0,499	0,880	0,697		
	Tol.	0,804	0,974	0,786		
	VIF	1,244	1,026	1,273		
ID2	$r$	0,057	-0,482	-0,031	0,237	0,014*
	$p$	0,358	0,001***	0,422		
	$\beta$	0,045	-0,488	0,034		
	$p_t$	0,774	0,001***	0,832		
	Tol.	0,792	0,963	0,768		
	VIF	1,263	1,038	1,302		
ID3	$r$	-0,312	-0,365	-0,103	0,239	0,040*
	$p$	0,036*	0,017*	0,281		
	$\beta$	-0,357	-0,381	0,112		
	$p_t$	0,052	0,025*	0,538		
	Tol.	0,812	0,969	0,791		
	VIF	1,232	1,032	1,265		
ID4	$r$	0,085	-0,750	-0,080	0,564	0,000***
	$p$	0,299	0,000***	0,309		
	$\beta$	0,003	-0,754	0,026		
	$p_t$	0,982	0,000***	0,836		
	Tol.	0,779	0,949	0,770		
	VIF	1,283	1,053	1,298		
ID5	$r$	-0,727	0,308	-0,263	0,532	0,000***
	$p$	0,000***	0,012*	0,029*		
	$\beta$	-0,756	0,003	0,069		
	$p_t$	0,000***	0,983	0,583		
	Tol.	0,556	0,650	0,614		
	VIF	1,799	1,539	1,629		
ID6	$r$	0,275	-0,479	-0,053	0,304	0,001***
	$p$	0,025*	0,000***	0,355		
	$\beta$	0,302	-0,448	-0,109		
	$p_t$	0,030*	0,001***	0,429		
	Tol.	0,809	0,960	0,790		
	VIF	1,236	1,042	1,266		
ID7	$r$	0,193	0,390	0,083	0,190	0,008**
	$p$	0,069	0,001***	0,264		
	$\beta$	0,217	0,398	-0,087		
	$p_t$	0,113	0,002**	0,530		
	Tol.	0,797	0,964	0,771		
	VIF	1,255	1,037	1,296		
ID8	$r$	-0,154	-0,715	-0,102	0,571	0,000***
	$p$	0,181	0,000***	0,273		
	$\beta$	-0,281	-0,758	0,138		
	$p_t$	0,040	0,000***	0,303		
	Tol.	0,753	0,951	0,743		
	VIF	1,327	1,051	1,346		
ID9	$r$	-0,023	-0,553	-0,129	0,334	0,000***
	$p$	0,438	0,000***	0,192		
	$\beta$	-0,179	-0,599	0,013		
	$p_t$	0,217	0,000***	0,928		
	Tol.	0,743	0,881	0,783		
	VIF	1,345	1,135	1,277		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des  $t$ -Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des  $F$ -Tests ( $p_F$ );  
 (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Tab. B-15: Strecke 2 negative Steigung; Einzelauswertung der multiplen Regression mit der Geschwindigkeit (v) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable v		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	R-Quadrat	p <sub>F</sub>
ID1	r	0,478	-0,409	-0,438	0,316	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,000***		
	β	0,261	-0,194	-0,255		
	p <sub>t</sub>	0,053	0,122	0,038*		
	Tol.	0,641	0,731	0,776		
	VIF	1,559	1,368	1,289		
ID2	r	0,439	0,080	-0,327	0,286	0,001***
	p	0,000***	0,280	0,007**		
	β	0,448	0,184	-0,229		
	p <sub>t</sub>	0,001***	0,146	0,066		
	Tol.	0,880	0,903	0,946		
	VIF	1,136	1,107	1,057		
ID3	r	0,178	-0,071	0,043	0,046	0,412
	p	0,078	0,287	0,366		
	β	0,219	-0,017	0,127		
	p <sub>t</sub>	0,126	0,899	0,350		
	Tol.	0,785	0,888	0,863		
	VIF	1,275	1,126	1,159		
ID4	r	0,270	-0,139	-0,250	0,142	0,048*
	p	0,023*	0,155	0,033*		
	β	0,267	-0,069	-0,242		
	p <sub>t</sub>	0,045*	0,603	0,073		
	Tol.	0,990	0,956	0,965		
	VIF	1,010	1,046	1,036		
ID5	r	0,119	-0,043	0,033	0,023	0,651
	p	0,156	0,359	0,389		
	β	0,156	-0,029	0,096		
	p <sub>t</sub>	0,235	0,807	0,459		
	Tol.	0,827	0,991	0,834		
	VIF	1,209	1,009	1,199		
ID6	r	-0,503	0,737	-0,108	0,569	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,195		
	β	-0,227	0,597	-0,136		
	p <sub>t</sub>	0,062	0,000***	0,179		
	Tol.	0,485	0,570	0,691		
	VIF	2,061	1,754	1,447		
ID7	r	0,069	0,092	-0,046	0,020	0,683
	p	0,276	0,215	0,346		
	β	0,105	0,133	-0,020		
	p <sub>t</sub>	0,475	0,289	0,889		
	Tol.	0,642	0,876	0,688		
	VIF	1,558	1,141	1,453		
ID8	r	0,072	0,126	-0,144	0,059	0,328
	p	0,291	0,169	0,136		
	β	0,100	0,224	-0,165		
	p <sub>t</sub>	0,535	0,136	0,270		
	Tol.	0,654	0,767	0,766		
	VIF	1,528	1,304	1,306		
ID9	r	0,134	-0,097	-0,130	0,025	0,643
	p	0,136	0,213	0,144		
	β	0,075	-0,044	-0,084		
	p <sub>t</sub>	0,623	0,748	0,549		
	Tol.	0,655	0,798	0,776		
	VIF	1,526	1,254	1,289		

Abhängige Variable Hf, Korrelationskoeffizient (r), einseitige Signifikanz (p), Beta-Koeffizient (β), Signifikanz des t-Tests (p<sub>t</sub>), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>), Signifikanz des F-Tests (p<sub>F</sub>);  
 (\* p ≤ 0,05; \*\* p ≤ 0,01; \*\*\* p ≤ 0,001)

Tab. B-16: Strecke 2 positive Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der Geschwindigkeit (v) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable v		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	R-Quadrat	p <sub>F</sub>
ID1	r	-0,006	-0,521	-0,266	0,351	0,000***
	p	0,482	0,000***	0,025*		
	β	0,092	-0,524	-0,292		
	p <sub>t</sub>	0,439	0,000***	0,016*		
	Tol.	0,920	0,999	0,921		
	VIF	1,087	1,001	1,086		
ID2	r	0,581	0,120	-0,381	0,389	0,000***
	p	0,000***	0,184	0,002**		
	β	0,507	0,056	-0,229		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,605	0,044*		
	Tol.	0,902	0,988	0,912		
	VIF	1,108	1,013	1,096		
ID3	r	0,081	-0,320	0,073	0,112	0,096
	p	0,274	0,008**	0,296		
	β	-0,032	-0,335	0,101		
	p <sub>t</sub>	0,818	0,017**	0,453		
	Tol.	0,874	0,908	0,942		
	VIF	1,144	1,101	1,061		
ID4	r	0,577	-0,480	-0,289	0,408	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,012*		
	β	0,462	-0,209	-0,144		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,103	0,209		
	Tol.	0,785	0,665	0,829		
	VIF	1,273	1,503	1,207		
ID5	r	0,259	-0,100	0,030	0,081	0,182
	p	0,022*	0,222	0,410		
	β	0,264	-0,120	0,028		
	p <sub>t</sub>	0,043*	0,357	0,828		
	Tol.	0,991	0,969	0,965		
	VIF	1,009	1,032	1,036		
ID6	r	0,431	0,464	0,104	0,281	0,001***
	p	0,001***	0,000***	0,225		
	β	0,288	0,350	-0,052		
	p <sub>t</sub>	0,036*	0,012*	0,679		
	Tol.	0,786	0,781	0,918		
	VIF	1,272	1,280	1,089		
ID7	r	0,375	-0,414	-0,225	0,330	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,026*		
	β	0,370	-0,306	-0,288		
	p <sub>t</sub>	0,001***	0,003**	0,005**		
	Tol.	0,882	0,927	0,928		
	VIF	1,134	1,078	1,077		
ID8	r	0,254	-0,633	-0,255	0,473	0,000***
	p	0,025*	0,000***	0,025*		
	β	0,199	-0,559	-0,271		
	p <sub>t</sub>	0,069	0,000***	0,012*		
	Tol.	0,816	0,904	0,866		
	VIF	1,225	1,107	1,155		
ID9	r	0,494	-0,487	-0,143	0,410	0,000***
	p	0,000***	0,000***	0,133		
	β	0,450	-0,328	-1,930		
	p <sub>t</sub>	0,000***	0,004**	0,080		
	Tol.	0,835	0,857	0,872		
	VIF	1,198	1,166	1,146		

Abhängige Variable Hf, Korrelationskoeffizient (r), einseitige Signifikanz (p), Beta-Koeffizient (β), Signifikanz des t-Tests (p<sub>t</sub>), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>), Signifikanz des F-Tests (p<sub>F</sub>);  
 (\* p ≤ 0,05; \*\* p ≤ 0,01; \*\*\* p ≤ 0,001)

Tab. B-17: Strecke 3 negative Steigung; Einzelauswertung der multiplen Regression mit der Geschwindigkeit ( $v$ ) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable $v$		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	R-Quadrat	$p_F$
ID1	$r$	-0,002	-0,104	-0,023	0,012	0,769
	$p$	0,492	0,153	0,410		
	$\beta$	0,002	-0,107	-0,031		
	$p_t$	0,986	0,305	0,784		
	Tol.	0,809	0,974	0,824		
	VIF	1,236	1,026	1,213		
ID2	$r$	0,220	0,146	-0,247	0,092	0,022*
	$p$	0,013*	0,071	0,006**		
	$\beta$	0,134	0,122	-0,182		
	$p_t$	0,207	0,207	0,089		
	Tol.	0,821	0,992	0,821		
	VIF	1,218	1,008	1,218		
ID3	$r$	0,005	0,027	0,038	0,002	0,968
	$p$	0,481	0,389	0,348		
	$\beta$	0,020	0,023	0,045		
	$p_t$	0,852	0,813	0,677		
	Tol.	0,831	0,981	0,837		
	VIF	1,204	1,019	1,194		
ID4	$r$	0,298	0,547	-0,182	0,377	0,000***
	$p$	0,001***	0,000***	0,033*		
	$\beta$	0,232	0,534	-0,088		
	$p_t$	0,009**	0,000***	0,312		
	Tol.	0,836	0,996	0,838		
	VIF	1,197	1,004	1,193		
ID5	$r$	0,156	0,383	-0,170	0,175	0,000***
	$p$	0,040*	0,000***	0,029		
	$\beta$	0,099	0,372	-0,100		
	$p_t$	0,277	0,000***	0,276		
	Tol.	0,817	0,994	0,814		
	VIF	1,224	1,006	1,229		
ID6	$r$	-0,040	-0,016	0,004	0,002	0,981
	$p$	0,348	0,440	0,485		
	$\beta$	-0,044	-0,011	-0,014		
	$p_t$	0,695	0,916	0,898		
	Tol.	0,831	0,986	0,840		
	VIF	1,204	1,014	1,190		
ID7	$r$	-0,139	0,626	0,177	0,443	0,000***
	$p$	0,058	0,000***	0,022*		
	$\beta$	-0,154	0,641	0,118		
	$p_t$	0,037*	0,000***	0,106		
	Tol.	0,838	0,989	0,846		
	VIF	1,193	1,011	1,182		
ID8	$r$	-0,246	0,303	-0,039	0,197	0,000***
	$p$	0,005**	0,001***	0,344		
	$\beta$	-0,345	0,346	-0,201		
	$p_t$	0,000***	0,000***	0,035*		
	Tol.	0,848	0,979	0,844		
	VIF	1,179	1,022	1,184		
ID9	$r$	0,178	0,437	0,030	0,217	0,000***
	$p$	0,030	0,000***	0,378		
	$\beta$	0,169	0,422	0,102		
	$p_t$	0,068	0,000***	0,262		
	Tol.	0,868	0,988	0,877		
	VIF	1,152	1,012	1,140		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des  $t$ -Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des  $F$ -Tests ( $p_F$ );

(\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

Tab. B-18: Strecke 3 positive Steigung: Einzelauswertung der multiplen Regression mit der Geschwindigkeit ( $v$ ) als Kriteriumsvariable

Abhängige Variable $v$		Streckenlänge	Steigung	Untergrund	R-Quadrat	$p_F$
ID1	$r$	0,082	0,228	-0,039	0,063	0,051
	$p$	0,184	0,006**	0,336		
	$\beta$	0,050	0,248	-0,071		
	$p$	0,663	0,009**	0,550		
	Tol.	0,611	0,917	0,574		
	VIF	1,636	1,090	1,743		
ID2	$r$	-0,049	-0,558	-0,195	0,334	0,000***
	$p$	0,299	0,000***	0,018**		
	$\beta$	-0,175	-0,524	-0,167		
	$p$	0,073	0,000***	0,098		
	Tol.	0,630	0,919	0,591		
	VIF	1,587	1,088	1,692		
ID3	$r$	-0,023	-0,668	-0,217	0,467	0,000***
	$p$	0,399	0,000***	0,007**		
	$\beta$	-0,176	-0,635	-0,178		
	$p$	0,049*	0,000***	0,054		
	Tol.	0,558	0,922	0,527		
	VIF	1,791	1,085	1,898		
ID4	$r$	-0,115	-0,733	-0,116	0,570	0,000***
	$p$	0,122	0,000***	0,119		
	$\beta$	-0,214	-0,733	-0,072		
	$p$	0,011*	0,000***	0,399		
	Tol.	0,625	0,936	0,593		
	VIF	1,600	1,069	1,687		
ID5	$r$	0,033	-0,822	-0,195	0,679	0,000***
	$p$	0,346	0,000***	0,009**		
	$\beta$	0,041	-0,840	0,067		
	$p$	0,500	0,000***	0,290		
	Tol.	0,606	0,891	0,558		
	VIF	1,650	1,122	1,791		
ID6	$r$	0,053	-0,013	-0,142	0,021	0,437
	$p$	0,270	0,439	0,051		
	$\beta$	-0,027	0,012	-0,157		
	$p$	0,793	0,896	0,130		
	Tol.	0,725	0,953	0,711		
	VIF	1,380	1,049	1,406		
ID7	$r$	-0,134	-0,547	-0,108	0,330	0,000***
	$p$	0,049*	0,000***	0,090		
	$\beta$	-0,228	-0,521	-0,137		
	$p$	0,009**	0,000***	0,121		
	Tol.	0,598	0,931	0,570		
	VIF	1,672	1,074	1,753		
ID8	$r$	-0,067	-0,852	-0,246	0,734	0,000***
	$p$	0,232	0,000***	0,003**		
	$\beta$	-0,107	-0,819	-0,116		
	$p$	0,110	0,000***	0,092		
	Tol.	0,512	0,862	0,483		
	VIF	1,951	1,160	2,072		
ID9	$r$	-0,068	-0,481	-0,161	0,257	0,000***
	$p$	0,218	0,000***	0,032*		
	$\beta$	-0,200	-0,442	-0,190		
	$p_t$	0,051	0,000***	0,071		
	Tol.	0,559	0,918	0,530		
	VIF	1,789	1,089	1,888		

Abhängige Variable  $H_f$ , Korrelationskoeffizient ( $r$ ), einseitige Signifikanz ( $p$ ), Beta-Koeffizient ( $\beta$ ), Signifikanz des  $t$ -Tests ( $p_t$ ), Varianzinflationsfaktor (VIF), Toleranz (Tol.), Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), Signifikanz des  $F$ -Tests ( $p_F$ );  
 (\*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Geburtsdatum Sara Schulz geb. Lücke  
02.06.1980  
Geburtsort Hannover  
Familienstand verheiratet, 1 Kind  
Staatsangehörigkeit deutsch

### Beruflicher Werdegang

01.2012 – heute Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Studiendekanat, Fakultät für Sport- und  
Gesundheitswissenschaft, Technische Universität  
München  
01.2010 – 12.2011 Elternzeit  
04.2010 – 04.2011 Lehrbeauftragte  
Fachgebiet Prävention und Rehabilitation,  
Technische Universität München  
07.2005 – 12.2009 Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Institut für Natursport und Ökologie,  
Deutsche Sporthochschule Köln  
10.2004 – 06.2005 Wissenschaftliche Hilfskraft  
Institut für Natursport und Ökologie,  
Deutsche Sporthochschule Köln  
2005 - heute Referentin  
Universitäre Weiterbildung,  
Deutsche Sporthochschule Köln  
09.2001 – 06.2005 Trainerin  
Gesundheitsorientiertes Fitnessstudio „Medifit“,  
Erfstadt

### Berufliche Ausbildung

10.2005 – heute Abschluss: Diplom Sportwissenschaftlerin  
Promotionsstudium, Deutsche Sporthochschule Köln  
04.2004 – 10.2004 Zusatzzertifikat „Sport und Umweltmanagement“  
10.2000 – 07.2004 Studium der Sportwissenschaft (Prävention und  
Rehabilitation), Deutsche Sporthochschule Köln

### Schulische Bildung

1992 – 1999 Abschluss: Abitur  
Gymnasium am Spalterhals, Barsinghausen  
1990 – 1992 Orientierungsstufe am Spalterhals, Barsinghausen  
1986 – 1990 Grundschule Kirchdorf, Barsinghausen

## **Abstract**

*Hintergrund:* Nordic Walking hat sich im gesundheits- und freizeitsportlichen Bereich als Ausdauersportart etabliert. Erstmals wurde der Einfluss von Nordic Walking Strecken mit ihren charakteristischen Eigenschaften Steigung, Länge und Untergrund auf die individuellen Parameter Herzfrequenz, relative Sauerstoffaufnahme und Fortbewegungsgeschwindigkeit im Hinblick auf ein gesundheitsorientiertes Nordic Walking Training unter Feldbedingungen untersucht.

*Methodik:* 9 erfahrene Nordic Walker (w=7, m=2; Alter:  $51,1 \pm 8,6$  J; Gewicht:  $74,1 \pm 11,3$  kg) absolvierten drei verschiedene Nordic Walking Strecken (DSV-zertifiziert) mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden (leicht, mittelschwierig und schwierig) in ihrer selbstgewählten Trainingsgeschwindigkeit. Ein portables Spirometrie-System mit Herzfrequenzmesser sowie ein dGPS-Gerät wurden zur Aufnahme von physiologischen und topographischen Daten sowie der Fortbewegungsgeschwindigkeit eingesetzt.

*Ergebnisse:* Die physiologischen Daten und das subjektive Belastungsempfinden repräsentieren den spezifischen Schwierigkeitsgrad der jeweiligen Strecke. Die selbstgewählten Trainingsintensitäten lagen auf der leichten Strecke zwischen  $43,2 (\pm 8,4) \%$  und  $67,3 (\pm 17,4) \%$   $VO_{2max}$ , auf der mittelschwierigen zwischen  $46,1 (\pm 10,9) \%$  und  $65,5 (\pm 12,6) \%$   $VO_{2max}$  und auf der schwierigen Strecke zwischen  $45,3 (\pm 13,4) \%$   $VO_{2max}$  und  $79 (\pm 19,5) \%$   $VO_{2max}$ . Steigungen und Untergründe erwiesen sich als die größten Einflussfaktoren auf die individuellen Parameter.

*Diskussion:* Die Nordic Walker wählten ihre Belastungsintensität intuitiv im trainingswirksamen Belastungsbereich. Für ein gesundheitsorientiertes Ausdauertraining wurde die empfohlene maximale Intensität von  $60\% VO_{2max}$  auf allen Strecken überschritten.

*Schlussfolgerung:* Nordic Walker müssen besser für einen gesundheitsförderlichen Intensitätsbereich sensibilisiert werden. Eine zusätzliche Beschilderung der Strecke an kritischen Abschnitten könnte die Auswahl der geeigneten Trainingsintensität unterstützen.

*Background:* In health and leisure time sports Nordic Walking has become an established discipline among endurance sports. For the first time the influence of nordic walking trail characteristics (distance, slope, surface) on the individual parameters heart rate, relative oxygen uptake and movement speed was examined in relation to a health-oriented nordic walking training under field-testing conditions.

*Methods:* 9 experienced Nordic Walkers (7 female and 2 male; age:  $51.1 \pm 8.6$  years; weight:  $74.1 \pm 11.3$  kg) completed three different Nordic Walking trails (certified by DSV) with different levels of difficulty (easy, moderate, and difficult) in their freely chosen training speed. A portable gas analyzer with a heart rate monitor was used in combination with a dGPS device to collect physiological and topographic data as well as movement speed.

*Results:* Physiological data and the ratings of perceived exertion represented the specific difficulty of each trail. Self-selected training intensities ranged between  $43.2 (\pm 8.4) \%$  and  $67.3 (\pm 17.4) \% \text{VO}_{2\text{max}}$  on the light path, between  $46.1 (\pm 10.9) \%$  and  $65.5 (\pm 12.6) \% \text{VO}_{2\text{max}}$  on the medium difficult path and on the difficult path between  $45.3 (\pm 13.4) \% \text{VO}_{2\text{max}}$  and  $79 (\pm 19.5) \% \text{VO}_{2\text{max}}$ . Slopes and surfaces proved to be the most influential factors on individual parameters.

*Discussion:* Nordic Walkers chose their exercise intensity intuitive to training-effective stress range. With respect to a health-oriented endurance training the recommended maximum intensity of  $60\% \text{VO}_{2\text{max}}$  was exceeded on all routes.

*Conclusions:* Nordic Walkers need to be sensitized for a better health-promoting intensity range. Additional signage at critical sections of the route could support the selection of appropriate training intensity.



## VERÖFFENTLICHUNGEN

### Bestellformular Schriftenreihe „Naturesport und Ökologie“

Band	Titel	Verfügbarkeit	Preis €
1	Ökologisches Risikopotential von Wintersport-Großveranstaltungen. ROTH, R.; KOMMERSCHIED, M.; TÜRK, S. (1999)	vergriffen	xxx
2	Entwicklungskonzeption Sporttourismus im Naturpark Südschwarzwald. ROTH, R.; KRÄMER, A. (2000)	pdf-Datei	10,-
3	Mountainbiking im Naturpark Südschwarzwald. Perspektiven einer für den Südschwarzwald bedeutenden Natursportart. NÖLL, N.; ROTH, R. (2000)	pdf-Datei	10,-
4	Wandern im Naturpark Südschwarzwald. Eine Studie zur Raumnutzung der Feldbergregion. POLENZ, R.; ROTH, R. (2000)	pdf-Datei	10,-
5	Schwarzwald Vertikal. Klettern im Naturpark Südschwarzwald, Chancen und Möglichkeiten einer Natursportart. PRINZ, N.; ROTH, R. (2000)	pdf-Datei	10,-
6	Masterplan Wintersport im Sauerland und Siegerland-Wittgenstein. Stufe I: Räumliche Entwicklungskonzeption und Marktanalyse. ROTH, R.; TÜRK, S.; ARMBRUSTER, F.; POLENZ, R.; VELTEN, A.; SCHRAHE, C. (2001)	pdf-Datei	10,-
7	Ökologisch bewusste Durchführung von Großveranstaltungen, Teilbereich Mountainbiken (hrsg. unter Texte des Umweltbundesamtes 21/02). ROTH, R.; JAKOB, E.; KRÄMER, A. (2002)	beziehbar über das UBA Berlin	xxx
8	Handbücher für den Naturpark Südschwarzwald (Handbuch Wandern/ Handbuch Mountainbiking/ Handbuch Nordic-Walking/ Handbuch Winterwandern). (hrsg. vom Naturpark Südschwarzwald e.V.). ROTH, R.; KRÄMER, A.; SCHÄFER, A. (2002)	vergriffen	xxx
9	Masterplan Wintersport im Sauerland und Siegerland-Wittgenstein. Stufe II: Zukunftsfähige Entwicklungskonzeption für den Schneesport in NRW. Roth, R.; Türk, S.; Kretschmer, H.; Schrahe, C. (2002)	pdf-Datei	10,-
10	Kongressbericht „Umwelt, Naturschutz und Sport im Dialog“. Deutsche Sporthochschule Köln vom 09.-10. Juli 2002. 82 S. INSTITUT FÜR NATURSPORT UND ÖKOLOGIE; BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT; BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg.) (2002)	Druckfassung	10,-
11	Erfahrungsbericht „Sport erleben – Natur bewahren“. Modellprojekt Rohrhardsberg, Jugendzeltplatz Weißenbacher Höhe. 40 S. ROTH, R.; TÜRK, S.; HENGHER, K.; KLOS, G.; UNGER, M. (2003)	Druckfassung	8,-
12	Umweltbildung im Schulsport. Situation und Entwicklung. 30 S. SEGETS, M.; SCHMIDT, H.; TÜRK, S. (2003)	Druckfassung	10,-
13	Leitfaden für Diplomarbeiten am Institut für Naturesport und Ökologie. 32 S. ROTH, R.; TÜRK, S. (2003)	Druckfassung	5,-
14	Fachbegriffe aus Naturesport und Ökologie. 98 S. ROTH, R.; TÜRK, S.; KLOS, G. (2003)	Druckfassung	14,-

Band	Titel	Verfügbarkeit	Preis €
15	Neue Entwicklungen bei Natursportarten Konfliktpotentiale und Lösungsmöglichkeiten. 110 S. ROTH, R.; JAKOB, E.; KRÄMER, A. (2004)	Druckfassung	10,-
16	Integration von Umweltmanagementsystemen in den Sport. 110 S. KLOS, G.; TÜRK, S. (2004)	Druckfassung	14,-
17	Kongressbericht „Umwelt, Naturschutz und Sport im Dialog“. Sport in Schutzgebieten. 2. Kongress an der Deutschen Sporthochschule Köln, 13.-14. September 2004. 86 S. INSTITUT FÜR NATURSPOURT UND ÖKOLOGIE; BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT; BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg.) (2005)	Druckfassung	10,-
18	Die Bedeutung von Natur im Bereich der Outdooraktivitäten. 202 S. LIEDTKE, G. (2005)	Druckfassung	25,-
19	Klimatologische Analyse der Schneesicherheit und Beschneibarkeit von Wintersportgebieten in deutschen Mittelgebirgen. 111 S. SCHNEIDER, C.; SCHÖNBEIN, J. (2006)	Druckfassung	14,-
20	Sportgeographie – Entwurf einer Systematik von Sport und Raum. 105 S. PETERS, C.; ROTH, R. (2006)	Druckfassung	14,-
21	Kongressbericht „Umwelt, Naturschutz und Sport im Dialog“. Sport in Schutzgebieten. Sportgroßveranstaltungen – Neue Wege – 3. Kongress an der Deutschen Sporthochschule Köln, 20.-21. November 2006. 93 S. INSTITUT FÜR NATURSPOURT UND ÖKOLOGIE; BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT; BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg.) (2007)	Druckfassung	10,-
22	Sport und Natur erleben: Aktive Bildung für eine nachhaltige Entwicklung im Naturpark Südschwarzwald. 97 S. ROTH, R.; JACOBY, T.; MÜLLER, S. (2007)	Druckfassung	14,-
23	Congress Report „Environment, Conservation and Sport in Dialogue. Biodiversity and Sport – Prospects of Sustainable Development – 4.th Congress at the German Sport University Cologne on 4 and 5 March 2008. 100 S. INSTITUT FÜR NATURSPOURT UND ÖKOLOGIE; BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT; BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg.) (2008)	Druckfassung	10,-
24	Kongressbericht „Umwelt, Naturschutz und Sport im Dialog“. Sport in Schutzgebieten. Biologische Vielfalt und Sport – Chancen einer nachhaltigen Entwicklung. 4. Kongress an der Deutschen Sporthochschule Köln, 4.-5. März 2008. 104 S. INSTITUT FÜR NATURSPOURT UND ÖKOLOGIE; BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT; BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg.) (2008)	Druckfassung	10,-
25	<i>SkiSustain</i> . Vulnerability to global change and sustainable adaptation of ski tourism. 342 S. LUTHE, T. (2009)	Druckfassung	25,-
26	Grundlagenstudie Wintersport Deutschland. 78 S. ROTH, R.; KRÄMER, A. & GÖRTZ, M. (2012)	Druckfassung	38,50
27	Broschüre Ticket 2 Nature	Druckfassung	kostenlos
28	Aktuelle Studien zu Entwicklung und Praxis der Trendsportart Slackline ROTH, R. & THOMANN, A. (Hrsg.) (2012)	Druckfassung	15,-
29	Rad-Destination Upper Rhine Valley ROTH, R., SCHMIDT, A. & KRÄMER, A. (2012)	vergriffen	

Band	Titel	Verfügbarkeit	Preis €
30	Effektivität von Erlebnisinszenierung bei infrastrukturebundenen Outdooraktivitäten - Qualitative Studie am Beispiel des Fernwanderwegs Rothaarsteig GERLACH J. (2012)	Druckfassung	30,-
31	Masterplan 2.0 - Wintersport-Arena Sauerland. ROTH, R., KRÄMER, A. & SCHRAHE, CH. (2013)	Druckfassung	30,-
32	Rahmenplan "Feldberg 2020" - Studie zur nachhaltigen Entwicklung der Sporttourismus-Destination Roth R., Faas H.-P., Armbruster, F & Förschner, P. (2013)	Druckfassung	30,-
33	Feldstudie zur Untersuchung von Nordic Walking Strecken hinsichtlich ihrer Kategorisierung unter Berücksichtigung gesundheitlicher Aspekte. Einfluss von Steigung, Streckenlänge und Untergrund auf die relative Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und Fortbewegungsgeschwindigkeit beim Nordic Walking. SCHULZ, S. (2013)	Druckfassung	30,-

### Kontakt

Deutsche Sporthochschule Köln  
 Institut für Natursport und Ökologie  
 Carl-Diem-Weg 6  
 D-50933 Köln

Tel: +49 (0)221/4982-4240

Fax: +49 (0)221/4982-8480

E-Mail: [natursport@dshs-koeln.de](mailto:natursport@dshs-koeln.de)

Internet: [www.dshs-koeln-natursport.de](http://www.dshs-koeln-natursport.de)







Deutsche  
Sporthochschule  
Köln

ISSN 1612-2437

Am Sportpark  
Müngersdorf 6  
D-50933 Köln

Tel.: +49 22 1 49 82 4240  
Fax: +49 22 1 49 82 8480



[www.dshs-koeln-natursport.de](http://www.dshs-koeln-natursport.de)  
[natursport@dshs-koeln.de](mailto:natursport@dshs-koeln.de)