

Spirografische und metabolische Belastungscharakteristika
des Trainings auf den Cardiofitnessgeräten
Moonwalker, Crosstrainer und Indoor-Cycling Bike
im Vergleich zu standardisierten
fahrrad- bzw. laufbandergometrischen Belastungen

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
des Doktors der Philosophie
im Fachbereich 16
Musik, Kunst, Textilgestaltung, Sport und Geographie
an der Universität Dortmund

vorgelegt von
Pia Rudack
aus Dortmund

im Mai 2001

Gutachter: Prof. Dr. Stephan Starischka Universität Dortmund
Prof. Dr. Klaus Völker Westfälische Wilhelms Universität Münster

Wie so oft haben viele Hände und Köpfe zum Gelingen dieser Arbeit beitragen.

Nennen möchte ich Eva Machazek, Sarah Bovet und Bia Köhne, die durch ihre Staatsarbeiten wertvolle Vorarbeiten geleistet haben.

Für ihre Korrekturarbeiten und Unterstützung danke ich herzlich Heinfried Lichte und Anke Abraham sowie ganz besonders Christina Reichenbach. Allen anderen Freunden sei Dank für die Geduld und Entlastungen in den vergangenen Monaten.

Dr. Lothar Thorwesten stand mir jeder Zeit mit Rat und vor allem Tat zur Seite. Herzlichen Dank dafür.

Prof. Dr. Stephan Starischka ermöglichte mir, die Arbeit nach meinen Vorstellungen zu verwirklichen. Herzlichen Dank für die fachliche Unterstützung und die ständigen Ermutigungen - gerade in Krisenzeiten.

Mein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. Klaus Völker, der Tag und Nacht ein offenes und geduldiges Ohr hatte. Eine bessere Betreuung wäre nicht möglich gewesen, fachlich sowie vor allem menschlich.

Schließlich möchte ich meinen Eltern und meiner Schwester im besonderen Maße danken. Ihre Unterstützung, Aufmunterungen und ihr Glaube an mich bedeuten mir sehr viel.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Methodik	4
2.1	Untersuchungskonzeption	4
2.2	Untersuchungsgut	4
2.3	Untersuchungsverlauf	5
2.3.1	Fragebogen	5
2.3.2	Klinische Untersuchung	6
2.3.3	Vortest	6
2.3.4	Haupttest	6
2.3.4.1	Moonwalker	6
2.3.4.2	Crosstrainer	9
2.3.4.3	Indoor-Cycling Bike	11
2.4	Untersuchungsverfahren	15
2.4.1	Bestimmung der spirometrischen Parameter	15
2.4.2	Bestimmung der Herzfrequenz	17
2.4.3	Bestimmung des Laktats	18
2.4.4	Bestimmung des subjektiven Belastungsempfinden	18
2.4.5	Bestimmung der Wattleistung und Tretfrequenz	19
2.5	Eingesetzte Trainingsgeräte	21
2.5.1	Moonwalker	21
2.5.2	Laufband	22
2.5.3	Fahrradergometer	22
2.5.4	Crosstrainer	22
2.5.5	Indoor-Cycling Bike Cytech	23
2.5.6	Indoor-Cycling Bike Schwinn	25
2.6	Auswertung der Rohdaten	25
2.7	Angewendete statistische Verfahren	25
3	Ergebnisse	27
3.1	Untersuchung Moonwalker	27
3.1.1	Spirometrische und metabolische Belastungscharakteristika während der einzelnen Belastungsstufen und im Belastungs- vergleich	27
3.1.1.1	Atemzugvolumen	27
3.1.1.2	Atemminutenvolumen	30

3.1.1.3	Absolute Sauerstoffaufnahme	33
3.1.1.4	Relative Sauerstoffaufnahme	35
3.1.1.5	Sauerstoffpuls	38
3.1.1.6	Respiratorischer Quotient	40
3.1.1.7	Kalorienverbrauch	43
3.1.1.8	Herzfrequenz	45
3.1.1.9	Laktat	48
3.1.2	Subjektives Belastungsempfinden auf den einzelnen Geräten	50
3.1.2.1	Gerät Moonwalker ohne Armeinsatz	50
3.1.2.2	Gerät Moonwalker mit Armeinsatz	52
3.1.2.3	Gerät Laufband	54
3.1.2.4	Vergleich der RPE-Werte auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz	56
3.1.2.5	Vergleich der RPE-Werte auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband	56
3.1.3	Vergleich der Belastungscharakteristika auf dem Laufband bei vorgegebener und individuell wählbarer Schrittfrequenz ...	57
3.2	Untersuchung Crosstrainer	59
3.2.1	Spirometrische und metabolische Belastungscharakteristika während der einzelnen Belastungsstufen und im Belastungs- vergleich	59
3.2.1.1	Atemzugvolumen	59
3.2.1.2	Atemminutenvolumen	62
3.2.1.3	Absolute Sauerstoffaufnahme	64
3.2.1.4	Relative Sauerstoffaufnahme	67
3.2.1.5	Sauerstoffpuls	69
3.2.1.6	Respiratorischer Quotient	72
3.2.1.7	Kalorienverbrauch	74
3.2.1.8	Herzfrequenz	77
3.2.1.9	Laktat	80
3.2.2	Subjektives Belastungsempfinden auf den einzelnen Geräten	82
3.2.2.1	Gerät Crosstrainer ohne Armeinsatz	82
3.2.2.2	Gerät Crosstrainer mit Armeinsatz	84
3.2.2.3	Gerät Fahrradergometer	86
3.2.2.4	Vergleich der RPE-Werte auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz	88
3.2.2.5	Vergleich der RPE-Werte auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer	89

3.3	Feldtest Indoor-Cycling Bike	90
3.3.1	Deskription der Gesamtverläufe	90
3.3.1.1	Verteilung der Belastungsformen	90
3.3.1.2	Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungs- empfinden während der einzelnen Trainings- einheiten	91
3.3.2	Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei den einzelnen Belastungsformen	92
3.3.2.1	Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand	92
3.3.2.2	Fahren im Stehen mit geringem Widerstand	93
3.3.2.3	Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand	94
3.3.2.4	Fahren im Stehen mit hohem Widerstand	95
3.3.2.5	Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel mit geringem Widerstand	96
3.3.2.6	Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel mit hohem Widerstand	97
3.3.3	Verteilung der Herzfrequenzen innerhalb der einzelnen Belastungsformen	98
3.4	Laboruntersuchung Indoor-Cycling Bike	100
3.4.1	Spirometrische und metabolische Belastungscharakteristika während der einzelnen Belastungsformen	100
3.4.1.1	Atemzugvolumen	100
3.4.1.2	Atemminutenvolumen	101
3.4.1.3	Absolute Sauerstoffaufnahme	102
3.4.1.4	Relative Sauerstoffaufnahme	103
3.4.1.5	Sauerstoffpuls	105
3.4.1.6	Respiratorischer Quotient	106
3.4.1.7	Kalorienverbrauch	107
3.4.1.8	Laktat	108
3.4.2	Subjektives Belastungsempfinden auf dem Indoor-Cycling Bike	110
3.4.3	Spirometrische und metabolische Belastungscharakteristika während der einzelnen Belastungsstufen auf dem Fahrrad- ergometer	111
3.4.3.1	Atemzugvolumen	111
3.4.3.2	Atemminutenvolumen	112
3.4.3.3	Absolute Sauerstoffaufnahme	112
3.4.3.4	Relative Sauerstoffaufnahme	112
3.4.3.5	Sauerstoffpuls	113
3.4.3.6	Respiratorischer Quotient	114

3.4.3.7	Kalorienverbrauch	115
3.4.3.8	Herzfrequenz	115
3.4.3.9	Laktat	116
3.4.4	Vergleich der Sauerstoffaufnahme und des Laktats sowie der Wattleistung auf dem Indoor-Cycling Bike und dem Fahrradergometer bei normativer Herzfrequenz	116
3.4.4.1	Sauerstoffaufnahme	116
3.4.4.2	Laktat	117
3.4.4.3	Wattleistung	119
3.4.5	Vergleich der Sauerstoffaufnahme und des Laktats auf dem Indoor-Cycling Bike und dem Fahrradergometer bei indivi- duell ermittelter Herzfrequenz	120
3.4.5.1	Sauerstoffaufnahme	120
3.4.5.2	Laktat	121
4	Diskussion	123
4.1	Methodenkritische Anmerkungen	123
4.1.1	Validität und Reliabilität der ausgewählten Parameter und Messverfahren	123
4.1.2	Wahl der Belastungsstufen	124
4.1.2.1	Belastungsstufen auf dem Moonwalker	124
4.1.2.2	Belastungsstufen auf dem Crosstrainer	124
4.1.2.3	Belastungsstufen auf dem Indoor-Cycling Bike	124
4.2	Verlauf der physiologischen Parameter	125
4.2.1	Untersuchung Moonwalker	125
4.2.1.1	Beschreibung und Einordnung des gesamten Verlaufs	125
4.2.1.2	Einfluss der Armarbeit auf die physiologischen Parameter	128
4.2.1.3	Vergleich der Belastung auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und auf dem Laufband	129
4.2.2	Untersuchung Crosstrainer	130
4.2.2.1	Beschreibung und Einordnung des gesamten Verlaufs	130
4.2.2.2	Einfluss der Armarbeit auf die physiologischen Parameter	131
4.2.2.3	Vergleich der Belastung auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und auf dem Fahrradergometer	132
4.2.3	Felduntersuchung Indoor-Cycling Bike	133
4.2.3.1	Auswahl der Belastungsformen	133
4.2.3.2	Belastungssteuerung im Fitnessstudio	133

4.2.4	Laboruntersuchung Indoor-Cycling Bike	135
4.2.4.1	Steuerung der Belastungsintensität über den Widerstand und die Umdrehungszahl	140
4.2.4.2	Auswirkungen der Körperposition auf die Belastungsintensität	141
4.2.4.3	Normative und individuelle Herzfrequenz	141
4.3	Steuerung der Belastungsintensität über das subjektive Belastungs- empfinden	142
4.4	Trainingswirkung der einzelnen Geräte auf fitness- und gesundheits- relevante Faktoren	143
4.4.1	Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit	144
4.4.2	Senkung des Blutdrucks	146
4.4.3	Beeinflussung des Lipidmetabolismus	147
4.4.4	Möglichkeiten der Gewichtsreduktion	149
4.4.5	Verbesserung des Immunsystems	152
	Zusammenfassung	154
	Literaturverzeichnis	156
	Anhang	169
7.1	Anhang A	169
7.2	Anhang B	170
7.3	Anhang C	175

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Berechnung der Belastungsstufen auf dem Laufband	7
Abb. 2:	Untersuchungsverlauf Moonwalker / Laufband	8
Abb. 3:	Untersuchungsverlauf Crosstrainer / Fahrradergometer	10
Abb. 4:	Untersuchungsverlauf des Feldtests	12
Abb. 5:	Untersuchungsverlauf auf dem Fahrradergometer	14
Abb. 6:	Untersuchungsverlauf für das Gerät Indoor-Cycling Bike	15
Abb. 7:	Telemetrisches Spirometriesystem K4 b ² der Firma Cosmed	16
Abb. 8:	SchobererRadMesstechnik-Trainingssystem	19
Abb. 9:	Trainingsgerät Moonwalker	21
Abb. 10:	Trainingsgerät Crosstrainer	23
Abb. 11:	Indoor-Cycling Bike Tomahawk	24
Abb. 12:	Atemzugvolumen während der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz und dem Laufband	28
Abb. 13:	Vergleich des Atemzugvolumens bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband	29
Abb. 14:	Atemminutenvolumen während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband	31
Abb. 15:	Vergleich des Atemminutenvolumens bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband	32
Abb. 16:	Absolute Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband	33
Abb. 17:	Vergleich der absoluten Sauerstoffaufnahme bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband	34
Abb. 18:	Relative Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband	36
Abb. 19:	Vergleich der relativen Sauerstoffaufnahme bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband	37
Abb. 20:	Sauerstoffpuls während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband	38

Abb. 21:	Vergleich des Sauerstoffpulses bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband	39
Abb. 22:	Respiratorischer Quotient während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband	41
Abb. 23:	Vergleich des respiratorischen Quotienten bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband	42
Abb. 24:	Kalorienverbrauch während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband	43
Abb. 25:	Vergleich des Kalorienverbrauchs bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband	44
Abb. 26:	Herzfrequenz während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband	46
Abb. 27:	Vergleich der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband	47
Abb. 28:	Laktat während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband	48
Abb. 29:	Vergleich des Laktats bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband	49
Abb. 30:	Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne Armeinsatz	50
Abb. 31:	Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Moonwalker mit Armeinsatz	53
Abb. 32:	Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Laufband	54
Abb. 33:	Atemzugvolumen während der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz und auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer	60
Abb. 34:	Vergleich des Atemzugvolumens bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer	61
Abb. 35:	Atemminutenvolumen während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer ...	62

Abb. 36:	Vergleich des Atemminutenvolumens bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer	63
Abb. 37:	Absolute Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer ...	65
Abb. 38:	Vergleich der absoluten Sauerstoffaufnahme bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer	66
Abb. 39:	Relative Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer ...	67
Abb. 40:	Vergleich der relativen Sauerstoffaufnahme bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer	68
Abb. 41:	Sauerstoffpuls während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer	70
Abb. 42:	Vergleich des Sauerstoffpulses bei der Belastung auf dem Cross-trainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer	71
Abb. 43:	Respiratorischer Quotient während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer ...	72
Abb. 44:	Vergleich des respiratorischen Quotienten bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer	73
Abb. 45:	Kalorienverbrauch während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer ...	75
Abb. 46:	Vergleich des Kalorienverbrauchs bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer	76
Abb. 47:	Herzfrequenz während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer	78
Abb. 48:	Vergleich der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Cross-trainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer	79
Abb. 49:	Laktat während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer	80
Abb. 50:	Vergleich des Laktats bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer	81

Abb. 51:	Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz	83
Abb. 52:	Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Crosstrainer mit Armeinsatz	85
Abb. 53:	Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Fahrradergometer	87
Abb. 54:	Atemzugvolumen während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike	100
Abb. 55:	Atemminutenvolumen während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike	101
Abb. 56:	Absolute Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike	103
Abb. 57:	Relative Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike	104
Abb. 58:	Sauerstoffpuls während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike	105
Abb. 59:	Respiratorischer Quotient während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike	106
Abb. 60:	Kalorienverbrauch während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike	108
Abb. 61:	Laktat während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike	109
Abb. 62:	Atemzugvolumen während der Belastung auf dem Fahrrad-ergometer	111
Abb. 63:	Atemminutenvolumen während der Belastung auf dem Fahrrad-ergometer	112
Abb. 64:	Absolute Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Fahrradergometer	113
Abb. 65:	Relative Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Fahrradergometer	113
Abb. 66:	Sauerstoffpuls während der Belastung auf dem Fahrrad-ergometer	114
Abb. 67:	Respiratorischer Quotient während der Belastung auf dem Fahrradergometer	114
Abb. 68:	Kalorienverbrauch während der Belastung auf dem Fahrrad-ergometer	115
Abb. 69:	Herzfrequenz während der Belastung auf dem Fahrrad-ergometer	115

Abb. 70:	Laktat während der Belastung auf dem Fahrradergometer	116
Abb. 71:	Vergleich der Sauerstoffaufnahme beim Indoor-Cycling Bike und beim Fahrradergometer	117
Abb. 72:	Vergleich des Laktats beim Indoor-Cycling Bike und beim Fahrradergometer	118
Abb. 73:	Vergleich der Wattleistung beim Indoor-Cycling Bike und beim Fahrradergometer	119
Abb. 74:	Vergleich der Sauerstoffaufnahme bei normierter und individueller maximaler Herzfrequenz auf dem Indoor-Cycling Bike	120
Abb. 75:	Vergleich des Laktats bei normierter und individueller maximaler Herzfrequenz auf dem Indoor-Cycling Bike	121

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Anthropometrische Daten des gesamten Untersuchungsguts	4
Tab. 2:	Anthropometrische Daten des Untersuchungsguts bei den einzelnen Untersuchungen	5
Tab. 3:	Ausgewählte Belastungsstufen auf dem Gerät Moonwalker	6
Tab. 4:	Belastungsstufen auf dem Vergleichsgerät Laufband	7
Tab. 5:	Belastungsstufen auf dem Gerät Crosstrainer und dem Vergleichsgerät Fahrradergometer	9
Tab. 6:	Energy Zones nach GOLDING	11
Tab. 7:	Belastungsstufen auf dem Indoor-Cycling Bike	13
Tab. 8:	Belastungsschema auf dem Fahrradergometer	13
Tab. 9:	Borg-Skala	18
Tab. 10:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf das Atemzugvolumen	29
Tab. 11:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf das Atemzugvolumen	30
Tab. 12:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf das Atemminutenvolumen	31
Tab. 13:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf das Atemminutenvolumen	32
Tab. 14:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf die absolute Sauerstoffaufnahme	34
Tab. 15:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf die absolute Sauerstoffaufnahme	35
Tab. 16:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf die relative Sauerstoffaufnahme	36
Tab. 17:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf die relative Sauerstoffaufnahme	37

Tab. 18:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf den Sauerstoffpuls ...	39
Tab. 19:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf den Sauerstoffpuls	40
Tab. 20:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf den respiratorischen Quotienten	41
Tab. 21:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf den respiratorischen Quotienten	42
Tab. 22:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf den Kalorienverbrauch	44
Tab. 23:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf den Kalorienverbrauch	45
Tab. 24:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf die Herzfrequenz	46
Tab. 25:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf die Herzfrequenz	47
Tab. 26:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf das Laktat	49
Tab. 27:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf das Laktat	50
Tab. 28:	RPE-Wert und Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Moonwalker ohne Armeinsatz	51
Tab. 29:	Ergebnisse der t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Moonwalker ohne Armeinsatz	51
Tab. 30:	Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Moonwalker ohne Armeinsatz	52
Tab. 31:	RPE-Wert und Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Moonwalker mit Armeinsatz	52

Tab. 32:	Ergebnisse der t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Moonwalker mit Armeinsatz	53
Tab. 33:	Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Moonwalker mit Armeinsatz	54
Tab. 34:	RPE-Wert und Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Laufband	55
Tab. 35:	Ergebnisse der t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Laufband	55
Tab. 36:	Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Laufband	55
Tab. 37:	Vergleich der RPE-Werte auf den einzelnen Belastungsstufen beim Moonwalker mit und ohne Armeinsatz	56
Tab. 38:	Vergleich der RPE-Werte auf den einzelnen Belastungsstufen beim Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband	57
Tab. 39:	Vergleich der Belastungscharakteristika bei der Belastung mit vorgegebener und individuell gewählter Schrittfrequenz	57
Tab. 40:	Vergleich des subjektiven Belastungsempfinden bei der Belastung mit vorgegebener und individuell gewählter Schrittfrequenz	58
Tab. 41:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf das Atemzugvolumen	60
Tab. 42:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf das Atemzugvolumen	61
Tab. 43:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf das Atemminutenvolumen	63
Tab. 44:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf das Atemminutenvolumen	64
Tab. 45:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf die absolute Sauerstoffaufnahme	65
Tab. 46:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf die absolute Sauerstoffaufnahme	66

Tab. 47:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf die relative Sauerstoffaufnahme	68
Tab. 48:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf die relative Sauerstoffaufnahme	69
Tab. 49:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf den Sauerstoffpuls	70
Tab. 50:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf den Sauerstoffpuls	71
Tab. 51:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf den respiratorischen Quotienten	73
Tab. 52:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf den respiratorischen Quotienten	74
Tab. 53:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf den Kalorienverbrauch	75
Tab. 54:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf den Kalorienverbrauch	77
Tab. 55:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf die Herzfrequenz	78
Tab. 56:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf die Herzfrequenz	79
Tab. 57:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf das Laktat	81
Tab. 58:	Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf das Laktat	82
Tab. 59:	RPE-Wert und Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Crosstrainer ohne Armeinsatz	83

Tab. 60:	Ergebnisse der t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Crosstrainer ohne Armeinsatz	84
Tab. 61:	Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Crosstrainer ohne Armeinsatz	84
Tab. 62:	RPE-Wert und Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Crosstrainer mit Armeinsatz	85
Tab. 63:	Ergebnisse der t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Crosstrainer mit Armeinsatz	86
Tab. 64:	Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Crosstrainer mit Armeinsatz	86
Tab. 65:	RPE-Wert und Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Fahrradergometer	87
Tab. 66:	Ergebnisse der t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Fahrradergometer	88
Tab. 67:	Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Fahrradergometer	88
Tab. 68:	Vergleich der RPE-Werte auf den einzelnen Belastungsstufen beim Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz	89
Tab. 69:	Vergleich der RPE-Werte auf den einzelnen Belastungsstufen beim Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer	89
Tab. 70:	Einsatz der Belastungsformen in den einzelnen Trainingseinheiten	90
Tab. 71:	Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden während der einzelnen Trainingseinheiten	91
Tab. 72:	Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei der Belastungsform Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand ...	92
Tab. 73:	Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Belastungsform Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand	93
Tab. 74:	Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei der Belastungsform Fahren im Stehen mit geringem Widerstand ..	93
Tab. 75:	Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Belastungsform Fahren im Stehen mit geringem Widerstand	94
Tab. 76:	Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei der Belastungsform Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand	94

Tab. 77:	Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Belastungsform Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand	95
Tab. 78:	Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei der Belastungsform Fahren im Stehen mit hohem Widerstand	95
Tab. 79:	Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Belastungsform Fahren im Stehen mit hohem Widerstand	96
Tab. 80:	Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei der Belastungsform Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei geringem Widerstand	96
Tab. 81:	Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Belastungsform Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei geringem Widerstand	97
Tab. 82:	Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei der Belastungsform Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei hohem Widerstand	97
Tab. 83:	Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Belastungsform Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei hohem Widerstand	98
Tab. 84:	Verteilung der Herzfrequenzbereiche in Bezug auf die einzelnen Belastungsformen sowie auf die gesamten Belastungseinheiten ...	99
Tab. 85:	Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen beim Atemzugvolumen auf dem Indoor-Cycling Bike	101
Tab. 86:	Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen beim Atemminutenvolumen auf dem Indoor-Cycling Bike	102
Tab. 87:	Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen bei der absoluten Sauerstoffaufnahme auf dem Indoor-Cycling Bike	103
Tab. 88:	Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen bei der relativen Sauerstoffaufnahme auf dem Indoor-Cycling Bike	104
Tab. 89:	Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen beim Sauerstoffpuls auf dem Indoor-Cycling Bike	106
Tab. 90:	Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen beim respiratorischen Quotienten auf dem Indoor-Cycling Bike	107
Tab. 91:	Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen beim Kalorienverbrauch auf dem Indoor-Cycling Bike	108
Tab. 92:	Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen beim Laktat auf dem Indoor-Cycling Bike	109
Tab. 93:	RPE-Wert und Herzfrequenz bei den einzelnen Belastungsformen auf dem Indoor-Cycling Bike	110

Tab. 94:	Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsformen beim Indoor-Cycling Bike	110
Tab. 95:	Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Indoor-Cycling Bike	111
Tab. 96:	Ergebnisse der Inferenzstatistik beim Vergleich der Sauerstoffaufnahme auf dem Indoor-Cycling Bike und dem Fahrradergometer	117
Tab. 97:	Ergebnisse der Inferenzstatistik beim Vergleich des Laktats auf dem Indoor-Cycling Bike und dem Fahrradergometer	118
Tab. 98:	Ergebnisse der Inferenzstatistik beim Vergleich der Wattleistung auf dem Indoor-Cycling Bike und dem Fahrradergometer	119
Tab. 99:	Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Sauerstoffaufnahme bei normierter und individueller maximaler Herzfrequenz auf dem Indoor-Cycling Bike	121
Tab. 100:	Ergebnisse der Inferenzstatistik beim Vergleich des Laktats bei normierter und individueller maximaler Herzfrequenz auf dem Indoor-Cycling Bike	122
Tab. 101:	Prozentualer Anteil der ermittelten Sauerstoffaufnahme- und Herzfrequenzwerte an normativen Maximalwerten	126
Tab. 102:	Intensitätseinteilung bei körperlicher Aktivität	127
Tab. 103:	Prozentualer Anteil der ermittelten Sauerstoffaufnahme- und Herzfrequenzwerte an normativen Maximalwerten	131
Tab. 104:	Intervalltraining mit Mittel- und Langzeitintervallen	138
Tab. 105:	Kalorienverbrauch und resultierende Belastungsdauer sowie Anteil der Fettverbrennung bei den einzelnen Belastungsstufen auf dem Moonwalker	149
Tab. 106:	Kalorienverbrauch sowie Anteil der Fettverbrennung bei einer Belastungsdauer von 30 Minuten auf dem Crosstrainer	150
Tab. 107:	Kalorienverbrauch sowie Anteil der Fettverbrennung bei einer Belastungsdauer von 30 Minuten beim Indoor-Cycling	151

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent	mmol/l	Millimol pro Liter
μl	Mikroliter	Mo	Moonwalker ohne
Abb.	Abbildung		Armeinsatz
ACSM	American College of Sports Medicine	n	Anzahl
BTPS	Body Temperature Pressure Standard	p	Irrtumswahrscheinlichkeit
bzw.	beziehungsweise	r	Korrelationskoeffizient
ca.	zirka	RQ	Respiratorischer Quotient
cm	Zentimeter	S.	Seite
Cm	Crosstrainer mit Armeinsatz	S/min	Schläge pro Minute
Co	Crosstrainer ohne Armeinsatz	STPD	Standard Temperature Pressure Dry
d.h.	das heißt	Tab.	Tabelle
Ergo	Fahrradergometer	u.a.	unter anderem
h	Stunde	U/min	Umdrehungen pro Minute
Hf	Herzfrequenz	VA	Varianzanalyse
Kcal	Kilokalorien	VE	Atemminutenvolumen
kg	Kilogramm	vgl.	vergleiche
l	Liter	VO ₂	Sauerstoffaufnahme
La	Laktat	VO ₂ /Hf	Sauerstoffpuls
Lb	Laufband	VO ₂ /kg KG	Sauerstoffaufnahme pro Kilogramm Körpergewicht
m/min	Meter pro Minute	VT	Atemzugvolumen
m/s	Meter pro Sekunde	W/kg KG	Watt pro Kilogramm Körpergewicht
max	maximal	z.B.	zum Beispiel
med	Median		
min	minimal		
Misch	Mischform		
ml	Milliliter		
ml/S	Milliliter pro Schlag		
Mm	Moonwalker mit Armeinsatz		
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule		

1 Einleitung

In einer Vielzahl von Studien konnte die positive Wirkung des Ausdauertrainings auf fitness- und gesundheitsrelevante Faktoren nachgewiesen werden [1, 9, 11, 22, 31, 36, 37, 38, 66, 68, 82, 92, 113, 118, 134, 137, 149]. Neben einer positiven Beeinflussung vorhandener Risikofaktoren, wie beispielsweise Hypertonie, Adipositas und Lipidstoffwechselstörungen, sowie deren Vermeidung verbessert ein effektives, dosiertes Ausdauertraining die Organkapazität und wirkt dem physiologischen Alterungsprozess entgegen [2, 3, 5, 19, 20, 44, 67, 116, 121, 136, 138].

Entscheidend für die Trainingswirksamkeit ist die Intensität und Dauer. Ein dreimal wöchentliches mindestens zwanzigminütiges Ausdauertraining bei etwa 50 bis 85 % der maximalen Sauerstoffaufnahme führt in Abhängigkeit vom Fitnesszustand des Trainierenden zu einer Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit [1, 9, 31, 78, 82, 99, 113, 134, 137, 149, 159]. Bei einer geringeren Belastungsintensität und -dauer aber häufigeren Trainingsfrequenz (fünfmal pro Woche) sind eher Adaptationen im gesundheitsrelevanten Bereich, wie z.B. Minderung von Risikofaktoren oder deren Vermeidung, zu erwarten [11, 22, 36, 37, 38, 66, 68, 92, 118]. Dabei sollte eine möglichst große Muskelmasse an der Bewegung involviert sein sowie zur besseren Steuerung der Belastung eine zyklische Bewegung gewählt werden [78, 99].

Zu den klassischen Ausdauersportarten zählen Laufen, Radfahren, Schilanglauf und Rudern. Häufig ist die Compliance bei diesen Sportarten - gerade bei bisher inaktiven Teilnehmern - sehr gering. Als Gründe werden am häufigsten Zeitmangel und Aufwand sowie ein geringer Motivationsfaktor angegeben [30, 109]. Entsprechend diesen Anforderungen hat das Angebot an Heimtrainingsgeräten und ausdauerorientierten Kursen im Fitnessstudio - unter dem Begriff Cardiofitness - deutlich zugenommen. Während die Heimtrainingsgeräte ein zeitlich und räumlich unabhängiges Training ermöglichen, ist im Fitnessstudio der Motivationseffekt bei einem Training in der Gruppe und bei Musik wesentlich höher als beim Einzeltraining.

Die Heimtrainingsgeräte Moonwalker und Crosstrainer gehören zu den neuentwickelten Trainingsgeräten, die ein Ganzkörpertraining sowohl im Ausdauer- als auch im Kraftbereich versprechen. Beim Moonwalker handelt es sich dabei um eine Pendelbewegung aus dem Hüftgelenk, die Arme können seitengleich am Körper vor- und zurückgeführt oder ruhig auf einem Holm gehalten werden. Die Bewegung auf dem Crosstrainer gleicht einem Fahrradfahren im Stehen, wobei die Tretbahn elliptisch ist. Auch hier kann die Bewegung mit oder ohne Armeinsatz erfolgen. Die Belastungsintensität lässt sich bei beiden Geräten über die Größe des Widerstandes und die Höhe der Tretfrequenz bzw. Umdrehungszahl variieren. Dabei ist die jeweils aktuelle Tretfrequenz bzw. Umdrehungszahl auf einem Display abzulesen, weitere

Trainings- und Belastungshinweise werden jedoch in den verfügbaren Begleitbrochüren nicht gegeben.

Ein Beispiel für Cardiofitness-Training im Studiobereich stellt das Indoor-Cycling dar, das seit 1997 in deutschen Fitnessstudios angeboten wird. Ursprünglich als Wintertraining für Profiradrennfahrer konzipiert, entwickelte sich das Programm bereits Anfang der neunziger Jahre zu einem festen Bestandteil der amerikanischen Fitnessszene [125]. Das Training findet auf Standfahrrädern statt, über eine Bremsvorrichtung kann der Tretwiderstand am Schwungrad eingestellt werden. Eine Trainingseinheit - auch Kurs - genannt dauert mindestens 45 Minuten und besteht aus einzelnen Belastungsformen zwischen denen eine ein- bis zweiminütige Pause liegt. Die unterschiedlichen Belastungsformen variieren in der Höhe des gewählten Widerstandes und in der Umdrehungszahl und können sowohl im Sitzen als auch im Stehen durchgeführt werden. Die Wahl der jeweiligen Belastungsform wird vom Instruktor vorgegeben, wobei sich die Umdrehungszahl nach dem Takt der obligaten Begleitmusik richtet, jedoch die Größe des Widerstandes dem Teilnehmer überlassen wird.

Im Ausbildungsmanual zum Spinning[®]-Instructor von GOLDING¹ (1997) findet die Steuerung der Belastungsintensität - und damit die Einstellung des Widerstandes - über eine altersabhängige normative Herzfrequenz statt. Je nach Trainingsziel (Ausdauer, Kraftausdauer oder Erholung) wird für alle Belastungsformen ein bestimmter Herzfrequenzbereich vorgegeben, bei dem das Training erfolgen soll. Diese Art der Intensitätssteuerung wird jedoch nur in wenigen Kursen praktiziert, viel mehr vertrauen die meisten Teilnehmer auf ihr subjektives Belastungsempfinden [125] oder es wird gar nicht diese Möglichkeit der Belastungssteuerung angeboten.

Innerhalb der vorliegenden Arbeit sollen die Belastungscharakteristika auf den Heimtrainingsgeräten Moonwalker und Crosstrainer im Vergleich zu konservativen Ausdauersportarten wie Laufen und Radfahren sowie beim Indoor-Cycling überprüft werden.

Die Untersuchungen zum Moonwalker und Crosstrainer beinhalten einen gerätspezifischen Stufentest, dabei wird die physikalische Belastung auf dem Vergleichsgerät (Laufband bzw. Fahrradergometer) gleichgehalten. Zur Beurteilung der physiologischen Belastung werden als kardiopulmonale Parameter kontinuierlich Atemvolumina, Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe sowie die Herzfrequenz bestimmt. Zusätzlich wird Laktat als metabolischer Parameter nach jeder Belastungsstufe erhoben sowie das subjektive Belastungsempfinden abgefragt.

¹ Spinning[®] - eingetragenes Warenzeichen der Mad Dogg Athletics Inc., J. Golding ist der Begründer der Indoor-Cycling Bewegung in Amerika

Folgende Fragenstellungen sollen untersucht werden:

- Welche metabolischen und spirometrischen Belastungscharakteristika finden sich auf den einzelnen Belastungsstufen der einzelnen Untersuchungsgeräte?
- Wie wirkt sich der Einsatz der Arme auf die Belastungscharakteristika aus?
- Finden sich Unterschiede zwischen den Untersuchungsgeräten und den Vergleichsgeräten?
- Stimmt das subjektive Belastungsempfinden mit der tatsächlichen Belastung überein?
- Sind bei einem Training auf den Geräten fitness- und / oder gesundheitsrelevante Adaptationen zu erwarten?

Die Untersuchungen zum Indoor-Cycling umfassen zwei Querschnittsuntersuchungen. Innerhalb eines Feldtests soll zunächst die Belastungsstruktur eines Indoor-Cycling-Angebots in einem Fitnessstudio ermittelt werden. Parameter der Untersuchung sind eine kontinuierliche Aufzeichnung der Herzfrequenz und die Ermittlung der Laktatkonzentration und Abfrage des subjektiven Belastungsempfindens nach jeder Belastungsform. Ein Labortest beinhaltet die Abprüfung einer Auswahl der von GOLDING (1997) für das Indoor-Cycling vorgegebenen Belastungsformen. Hier werden als kardiopulmonale Parameter Atemvolumina, Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe sowie die Herzfrequenz und als metabolischer Parameter Laktat sowie das subjektive Belastungsempfinden bestimmt.

Folgende Fragestellungen sollen untersucht werden:

- Welche metabolischen und kardiopulmonalen Belastungen finden sich im Rahmen eines Indoor-Cycling-Angebots im Fitnessstudio?
- Wie suffizient ist eine Belastungssteuerung über die Wahl der Belastungsform bzw. das subjektive Belastungsempfinden im Rahmen eines Kursangebots?
- Welche Belastungscharakteristika liegen bei der Vereinzelung der Belastungsformen im Labor vor?
- Welches belastungssteuernde Kriterium hat welchen Einfluss?
- Findet sich ein Unterschied zwischen der Belastungssteuerung mit normativer und individueller maximaler Herzfrequenz?
- Sind beim Indoor-Cycling fitness- und / oder gesundheitsrelevante Adaptationen zu erwarten?

2 Methodik

2.1 Untersuchungskonzeption

Im Rahmen von vier Querschnittsuntersuchungen sollte die Belastung und physiologische Beanspruchung sowie die energetische und kalorische Bilanz des Trainings auf den Ausdauertrainingsgeräten Moonwalker, Crosstrainer und Indoor-Cycling Bike (vgl. Kapitel 2.5) untersucht und mit einer bewegungsverwandten, einfachen Ausdauersportart (Laufen bzw. Radfahren) verglichen werden. Hierzu wurden vier Labortests und zwei Feldtests durchgeführt.

2.2 Untersuchungsgut

An den vier Teilstudien nahmen insgesamt 83 Sportstudierende der Universitäten Dortmund und Münster sowie Teilnehmer an Indoor-Cycling Kursen aus zwei Fitnessstudios in Dortmund und Münster teil. Dabei handelte es sich um 39 weibliche Probanden und 44 männliche Probanden. Das mittlere Alter betrug 26 Jahre, die weiblichen Probanden waren 25 Jahre alt, die männlichen Probanden 27 Jahre. Die mittlere Körperhöhe lag bei 178 cm, das mittlere Gewicht zeigte sich bei 70 kg. Dabei waren die weiblichen Probanden im Mittel 171 cm groß sowie 70 kg schwer, die männlichen Probanden 184 cm groß und 77 kg schwer. Die folgenden Tabellen zeigen die Verteilung der Probanden auf die einzelnen Teilstudien sowie deren anthropometrische Angaben (vgl. Tab.1 und 2).

Tab. 1: Anthropometrische Daten des gesamten Untersuchungsguts

Angegeben ist jeweils der Mittelwerte \pm Standardabweichung.

	gesamt	weiblich	männlich
Anzahl	83	39	44
Alter in Jahren	26,4 \pm 2,0	25,2 \pm 2,5	27,1 \pm 2,1
Körperhöhe in cm	177,8 \pm 1,8	171,0 \pm 3,6	183,5 \pm 2,1
Körpergewicht in kg	69,7 \pm 2,4	62,8 \pm 5,0	76,6 \pm 1,8

Tab. 2: Anthropometrische Daten des Untersuchungsguts bei den einzelnen Untersuchungen

Angegeben ist jeweils der Mittelwerte \pm Standardabweichung.

Moonwalker	gesamt	weiblich	männlich
Anzahl	21	8	13
Alter in Jahren	25,1 \pm 2,7	23,9 \pm 3,1	25,9 \pm 2,3
Körperhöhe in cm	175,7 \pm 9,0	166,8 \pm 4,6	181,2 \pm 6,1
Körpergewicht in kg	67,1 \pm 12,1	55,4 \pm 5,3	74,3 \pm 8,8

Crosstrainer	gesamt	weiblich	männlich
Anzahl	20	8	12
Alter in Jahren	26,9 \pm 5,8	24,5 \pm 1,9	28,5 \pm 6,8
Körperhöhe in cm	179,4 \pm 6,9	173,5 \pm 4,2	183,3 \pm 5,5
Körpergewicht in kg	72,7 \pm 9,7	65,5 \pm 6,9	77,4 \pm 8,3

Indoor-Cycling Feldtest	gesamt	weiblich	männlich
Anzahl	22	13	9
Alter in Jahren	29,0 \pm 5,9	28,9 \pm 5,5	29,1 \pm 7,2
Körperhöhe in cm	179,2 \pm 8,5	174,3 \pm 6,5	186,3 \pm 6,1
Körpergewicht in kg	70,2 \pm 9,9	64,2 \pm 8,0	78,9 \pm 5,3

Indoor-Cycling Labortest	gesamt	weiblich	männlich
Anzahl	20	10	10
Alter in Jahren	24,6 \pm 1,4	23,5 \pm 1,5	24,7 \pm 1,3
Körperhöhe in cm	176,7 \pm 9,0	169,2 \pm 6,5	183,3 \pm 5,5
Körpergewicht in kg	68,6 \pm 10,1	66,2 \pm 5,3	76,1 \pm 7,8

2.3 Untersuchungsverlauf

2.3.1 Fragebogen

In einem Fragebogen (vgl. Anhang A, S. 168) gaben alle Probanden – neben anthropometrischen Daten und Angaben zur sportlichen Aktivität – Auskunft über ein Vorhandensein von orthopädischen Beschwerden. Bei der Angabe von Beschwerden im Knie- und Hüftbereich wurden die Probanden auf die mögliche Überbelastung durch die jeweilige Untersuchung aufmerksam gemacht.

Des Weiteren wurde nach den Vorerfahrungen der Probanden auf dem jeweiligen Untersuchungsgerät gefragt.

2.3.2 Klinische Untersuchung

Da es während der Belastungstests zu einer Ausbelastung der Probanden kam, wurde in einer sportmedizinischen Untersuchung zunächst der Gesundheitszustand der Probanden überprüft.

Neben einem Ruhe-EKG und einer Blutuntersuchung fand während der Belastung auf dem Vergleichsgerät ebenfalls eine EKG-Aufzeichnung statt. Nur bei unauffälligem Befund wurden die weiteren Tests auf den Untersuchungsgeräten durchgeführt.

2.3.3 Vortest

Die Geräte und die ausgewählte Belastungsstruktur waren den meisten Probanden nicht bekannt. Um eine sichere und gleichmäßige Bewegungsausführung auf den einzelnen Belastungsstufen bzw. Belastungsformen zu gewährleisten, führte jeder Proband eine ca. 30 minütige Eingewöhnungsphase auf dem jeweiligen Gerät durch.

2.3.4 Haupttests

2.3.4.1 Moonwalker

Die Untersuchung zum Gerät Moonwalker beinhaltete eine Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Vergleichsgerät Laufband.

Hierzu wurde ein gerätespezifischer Stufentest entwickelt, der so angelegt war, dass möglichst viele physikalische Belastungscharakteristika auf den beiden Geräten übereinstimmten.

Wahl der Belastungsstufen

Auf dem Gerät Moonwalker war die Bewegungsamplitude durch eine Begrenzung vor und hinter dem Gerät vorgegeben, eine Abstufung der Intensität ließ sich nur über die Bewegungsfrequenz erreichen. Die Steuerung der Bewegungsfrequenz erfolgte durch ein Metronom. In zehn Vortests stellten sich die angegebenen Schrittfrequenzen (vgl. Tab. 3) als spürbar unterschiedlich und durchführbar heraus. Die langsamste und schnellste Taktfrequenz ergab sich dabei durch das koordinative Anforderungsprofil, das eine langsamere bzw. schnellere Bewegung nicht zuließ.

Tab. 3: Ausgewählte Belastungsstufen auf dem Gerät Moonwalker

Angegeben sind die Schritte pro Minute auf den einzelnen Belastungsstufen.

	Belastungsstufen (S/min)					
Moonwalker mit Armeinsatz	108	120	132	144	160	176
Moonwalker ohne Armeinsatz	108	120	132	144	160	176

Um die annähernd gleiche physikalische Belastung auf dem Laufband zu erreichen, wurde zunächst mit Hilfe der festgelegten Bewegungsamplitude und der Taktfrequenz die auf dem Gerät Moonwalker zurückgelegte Strecke pro Minute berechnet. Hieraus ergab sich die Geschwindigkeit in Meter pro Sekunde (vgl. Abb. 1). Die Schrittfrequenz wurde durch das mitlaufende Metronom festgelegt.

$$\begin{aligned} \text{Schrittfrequenz (S/min)} \times \text{Schrittlänge (m)} &= \text{Laufstrecke (m/min)} \\ \text{Laufstrecke (m/min)} / 60 &= \text{Laufstrecke (m/s)} \end{aligned}$$

Abb. 1: Berechnung der Belastungsstufen auf dem Laufband

Mit Hilfe der vorgegebenen Taktfrequenz und der festgelegten Bewegungsamplitude ließen sich auch die Belastungsstufen für das Laufband berechnen.

Da die vorgegebene Taktfrequenz die Gehbewegung der Probanden stark veränderte, wurde im Anschluss an die letzte – für den Probanden maximale – Belastungsstufe eine zusätzliche Belastung bei gleicher Geschwindigkeit jedoch mit individuell wählbarer Schrittfrequenz angehängt (vgl. Tab. 4).

Tab. 4 Belastungsstufen auf dem Vergleichsgerät Laufband

Angegeben sind die Schritte pro Minute und die resultierende Geschwindigkeit auf den einzelnen Belastungsstufen.

	Belastungsstufen						
Taktfrequenz (S/min)	108	120	132	144	160	176	-
Geschwindigkeit (m/s)	1,18	1,32	1,45	1,58	1,76	1,93	max

Belastungsschema

Die Einzelbelastungen wurden an verschiedenen Untersuchungstagen vorgenommen. Die erste Untersuchung erfolgte auf dem Laufband, die Untersuchungen auf dem Moonwalker wurden in randomisierter Reihenfolge durchgeführt.

Um aussagekräftige Ruhewerte der physiologischen Größen zu registrieren, fand vor Beginn der Messung eine einminütige Aufzeichnung der Messdaten statt. Zusätzlich wurde der Laktatwert in Ruhe bestimmt.

Im anschließenden Stufentest begann die kontinuierliche Registrierung der stufen-spezifischen Messwerte erst, als der Proband die vorgegebene Belastungsstruktur

sicher und kontinuierlich halten konnte. Beginn und Ende der fünfminütigen Belastung wurden jeweils mit einem Marker in der Aufzeichnung gekennzeichnet. Direkt im Anschluss an die Belastungsstufe sollte der Proband sein subjektives Belastungsempfinden anhand der Borg-Skala wiedergeben, zudem erfolgte eine Laktatabnahme. Die Anzahl der Belastungsstufen richtete sich nach der individuellen Leistungsfähigkeit des Probanden.

Die abschließende Erholungsphase dauerte acht Minuten, in zwei Minuten Abständen wurde Laktat bestimmt (vgl. Abb. 2).

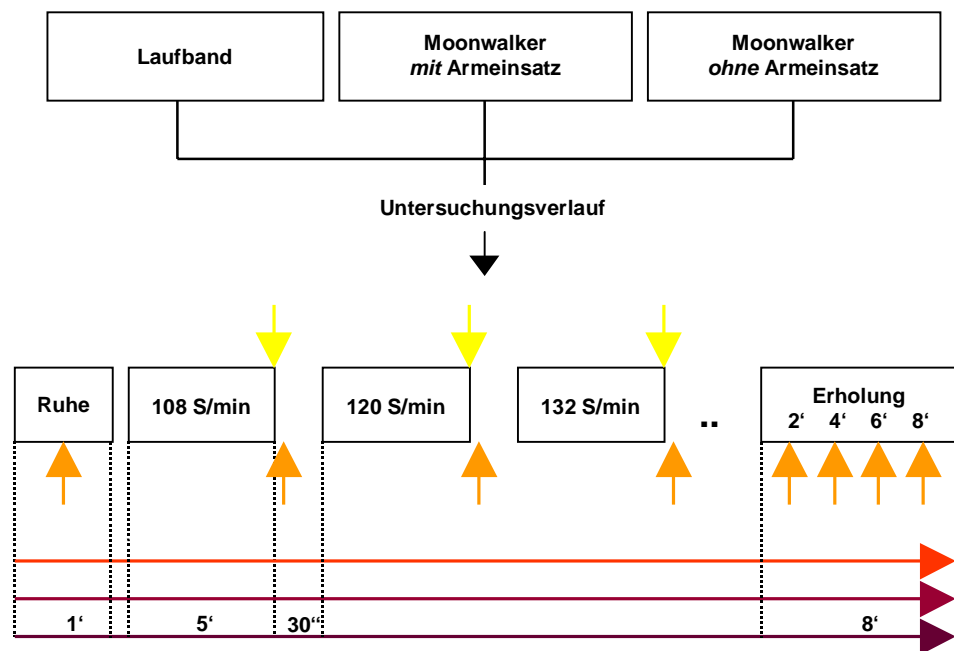


Abb. 2: Untersuchungsverlauf Moonwalker / Laufband

Die Geschwindigkeit wurde durch das Metronom vorgegeben.

- Abfrage subjektives Belastungsempfinden
- Laktatabnahme
- Herzfrequenzaufzeichnung
- Spirografische Aufzeichnung
- Zeitleiste

Parameter

Bei der beschriebenen Untersuchung wurden folgende Parameter bestimmt:

- Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe (kontinuierlich während der gesamten Untersuchung)
- Herzfrequenz (kontinuierlich während der gesamten Untersuchung)
- Laktat (nach jeder Belastungsstufe und während der Erholung)
- Subjektives Belastungsempfinden (unmittelbar nach jeder Belastungsstufe)

2.3.4.2 Crosstrainer

Die Untersuchung auf dem Gerät Crosstrainer unterteilte sich in drei Belastungstests, davon erfolgten zwei auf dem Crosstrainer jeweils ohne und mit Armeinsatz und einer auf dem Fahrradergometer.

Wahl der Belastungsstufen

Die Einstellung der Belastungsstufen auf dem Gerät Crosstrainer erfolgte über eine Stellschraube am vorderen Holm des Gerätes. Es standen acht Einstellungsmöglichkeiten zur Verfügung, eine Angabe über die Höhe der jeweiligen Belastung war nicht vorhanden.

Um die Belastung auf den einzelnen Stufen zu bestimmen, wurde ein Kraftaufnehmer in Höhe der Magnetbremse montiert, zudem registrierte eine eingebaute Photozelle die Umdrehungen pro Minute. In zehn Vortests wurde so die Leistung auf den einzelnen Stufen bei gleichbleibender Umdrehungen pro Minute (50 U/min) kontinuierlich gemessen und über die Mittlung der Werte eine durchschnittliche Leistung in Watt ermittelt. Hieraus ergaben sich auch die Belastungsstufen auf dem Fahrradergometer (vgl. Tab. 5).

Tab. 5: Belastungsstufen auf dem Gerät Crosstrainer und dem Vergleichsgerät Fahrradergometer

Alle Belastungsstufen erfolgten bei 50 Umdrehungen pro Minute.

	Belastungsstufen (Watt)							
	90	90	105	130	140	140	140	140
Crosstrainer mit Armeinsatz	90	90	105	130	140	140	140	140
Crosstrainer ohne Armeinsatz	90	90	105	130	140	140	140	140
Fahrradergometer	90	90	105	130	140	140	140	140

Belastungsschema

Die Einzelbelastungen wurden an drei Untersuchungstagen vorgenommen, die erste Belastung erfolgte auf dem Fahrradergometer, die Belastungen auf dem Crosstrainer wurden in randomisierter Reihenfolge durchgeführt.

Vor Belastungsbeginn wurden zunächst die Ruhewerte der spirometrischen und metabolischen Parameter bestimmt.

Die Belastungsdauer im anschließenden Stufentest dauerte jeweils fünf Minuten, die Aufzeichnung der Messwerte begann mit Erreichen der geforderten Bewegungsgeschwindigkeit von 50 U/min, Beginn und Ende der Belastung wurden jeweils mit einem Marker gekennzeichnet. Im Anschluss an die jeweilige Belastung gab der Proband sein subjektives Belastungsempfinden anhand der Borg-Skala an, des

Weiteren wurde der Laktatwert bestimmt. Die Anzahl der Belastungsstufen richtete sich nach der subjektiven Ausbelastung des Probanden.

Die abschließende Erholungsphase dauerte acht Minuten, in zwei Minuten Abständen wurde Laktat bestimmt (vgl. Abb. 3).

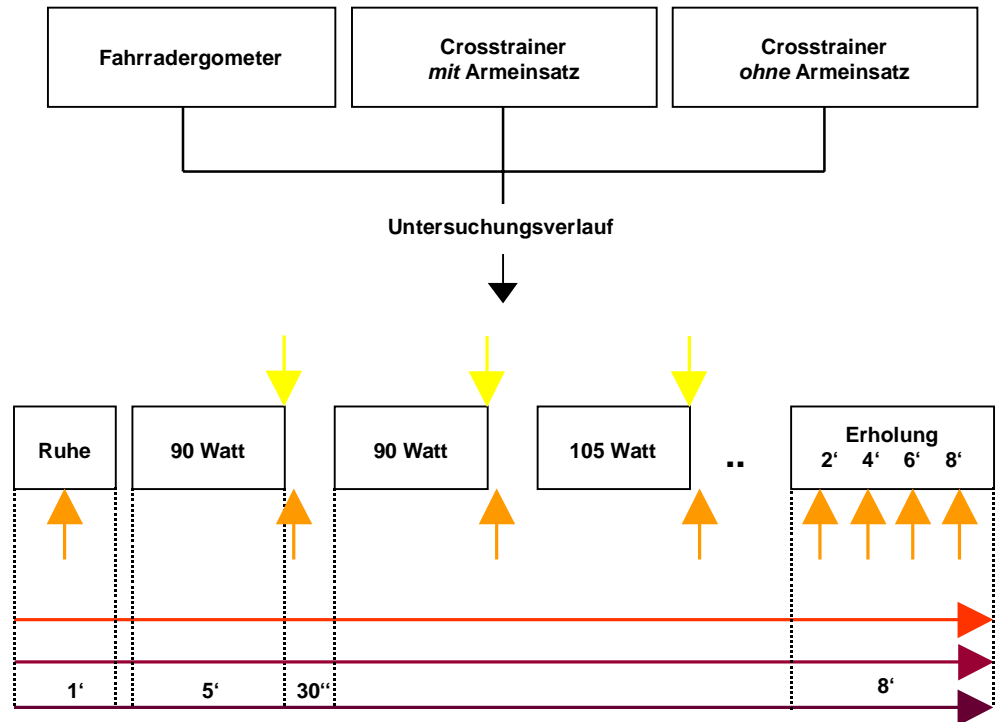


Abb. 3: Untersuchungsverlauf Crosstrainer / Fahrradergometer

- Abfrage subjektives Belastungsempfinden
- Laktatabnahme
- Herzfrequenzaufzeichnung
- Spirografische Aufzeichnung
- Zeitleiste

Parameter

Folgende Parameter wurden in den drei Untersuchungen bestimmt:

- Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe (kontinuierlich während der gesamten Untersuchung)
- Herzfrequenz (kontinuierlich während der gesamten Untersuchung)
- Laktat (nach jeder Belastungsstufe und während der Erholung)
- Subjektives Belastungsempfinden (unmittelbar nach jeder Belastungsstufe)

2.3.4.3 Indoor-Cycling Bike

Die Untersuchung des Gerätes Indoor-Cycling Bike bestand aus einem Feld- und Labortest.

Feldtest


Innerhalb des ersten Feldtests wurde zunächst die Beanspruchung während verschiedener Indoor-Cycling Kurse im Fitnessstudio untersucht.













Belastungsschema

Das Indoor-Cycling-Training setzte sich aus einer Variation von Belastungsformen zusammen, die durch die Wahl des Widerstands, die Umdrehungszahl und die Position des Fahrers (sitzend oder stehend) gekennzeichnet waren und entsprechend der Zielsetzung des Kurses ausgewählt wurden (vgl. Tab. 6).

Tab. 6: Energy Zones nach GOLDING

Dargestellt sind die genannten Energy Zones sowie deren Charakteristika.

Nährstoffe:	F	= Fette	K	= Kohlenhydrate
Profiles:		= Seated Flat		– Fahren im Sitzen (Flachland)
		= Running		– Rennen (Flachland im Stehen)
		= Seated Sprinting		– Sprinten im Sitzen
		= Standing Sprinting		– Sprinten im Stehen
		= Seated Climbing		– Klettern im Sitzen (Berge)
		= Standing Climbing		– Klettern im Stehen (Berge)

	Recovery	Endurance	Strength	All Terrain
% Hf _{max}	50 – 65	65 – 75	75 – 85	65 – 92
Nährstoff	F	F / K	K	F / K
Gelände	Ebene	Ebene	Berg	Ebene / Berg
Widerstand	gering	gering - mäßig	hoch	gering - hoch
U / min	niedrig	niedrig - hoch	niedrig	niedrig - maximal
Position	sitzend / stehend	sitzend	sitzend / stehend	sitzend / stehend
Profiles	 	 	 	     

Nach jeder Belastungsform wurde sowohl der Laktatwert als auch das subjektive Belastungsempfinden gemessen. Es fand eine kontinuierliche Aufzeichnung der Herzfrequenz statt (vgl. Abb. 4).

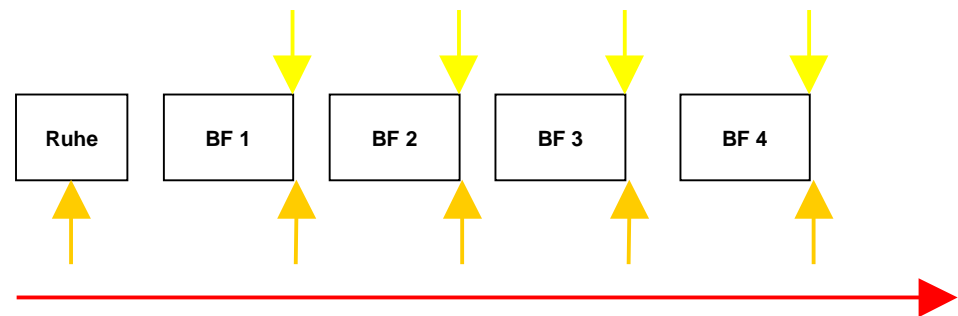


Abb. 4: Untersuchungsverlauf des Feldtests I

- BF Belastungsform
- Abfrage subjektives Belastungsempfinden
- Laktatabnahme
- Herzfrequenzaufzeichnung

Parameter

Die Beanspruchung wurde durch die folgenden Parameter bestimmt:

- Herzfrequenz (kontinuierlich während der gesamten Untersuchung)
- Laktat (nach jeder Belastungsform)
- Subjektives Belastungsempfinden (unmittelbar nach jeder Belastungsform)

Labortest

Der Labortest zum Indoor-Cycling Bike umfasste sechs Untersuchungen auf dem Indoor-Cycling Bike und eine Fahrradergometrie zur Bestimmung der individuellen Leistungsfähigkeit.

Wahl der Belastungsstufen










Die Auswahl der Belastungsstufen auf dem Indoor-Cycling Bike richtete sich nach den Vorgaben des Spinning®-Ausbildungsmanuals von GOLDING (1997) [57]. GOLDING unterscheidet vier Energy Zones mit bestimmten Herzfrequenzbereichen und entsprechenden Zielsetzungen, denen wiederum verschiedene Belastungsformen zugeordnet sind (vgl. Tab. 7).

Die Belastungsformen wurden so gewählt, dass alle Energy Zones und die resultierenden Belastungsformen berücksichtigt wurden.

Tab. 7: Belastungsstufen auf dem Indoor-Cycling Bike

Die Belastungsstufen wurden paarweise an drei Untersuchungstagen durchgeführt.

Energy Zone: E = Erholung
 A = Ausdauer
 K = Kraft / Stehvermögen
 S = Sprint / Schnelligkeit

Belastungsstufen						
Energy Zone	A – K	K	E – A	K	E	S
% Hf _{max}	75	85	65	85	50	92
U / min	70	80	individuell	60 – 70	individuell	max
Widerstand	individuell	individuell	ohne	individuell	ohne	ohne
Position	sitzend	sitzend	sitzend	stehend	sitzend	stehend
Profiles			 			  
	1. Untersuchungstag		2. Untersuchungstag		3. Untersuchungstag	

Mittels der Fahrradergometrie sollten die individuelle Leistungsfähigkeit der Probanden überprüft und in einem zweiten Schritt Bezüge zu den Belastungsstufen auf dem Indoor-Cycling Bike hergestellt werden. Die Belastung richtete sich nach dem BaL-Schema², damit begann der Stufentest bei 50 Watt und wurde nach fünf Minuten um jeweils 50 Watt erhöht. Die Geschwindigkeit lag zwischen 60 und 80 Umdrehungen pro Minute (vgl. Tab. 8).

Tab. 8: Belastungsschema auf dem Fahrradergometer

Die Anzahl der Belastungsstufen richtete sich nach der individuellen Ausbelastung der Probanden.

Die Geschwindigkeit lag zwischen 60 und 80 Umdrehungen pro Minute.

Belastungsstufen				
Leistung (Watt)	50	100	...	Ausbelastung

Belastungsschemata

Die Untersuchung auf dem Indoor-Cycling Bike umfasste vier Tage, die Belastung auf dem Fahrradergometer erfolgte am ersten Tag, die weiteren Untersuchungen auf dem Indoor-Cycling Bike wurden in angegebener Reihenfolge durchgeführt.

² Untersuchungsschema des Bundesanschlusses für Leistungssport

Die Fahrradergometrie richtete sich nach dem BaL-Schema mit einer Belastungsdauer von jeweils fünf Minuten. Die spirometrischen Parameter und die Herzfrequenz wurden kontinuierlich registriert, die Stufenerhöhung wurde durch Marker gekennzeichnet. Am Ende der Belastungsstufe erfolgten eine Laktatabnahme und die Bestimmung des subjektiven Belastungsempfindens (vgl. Abb. 5).

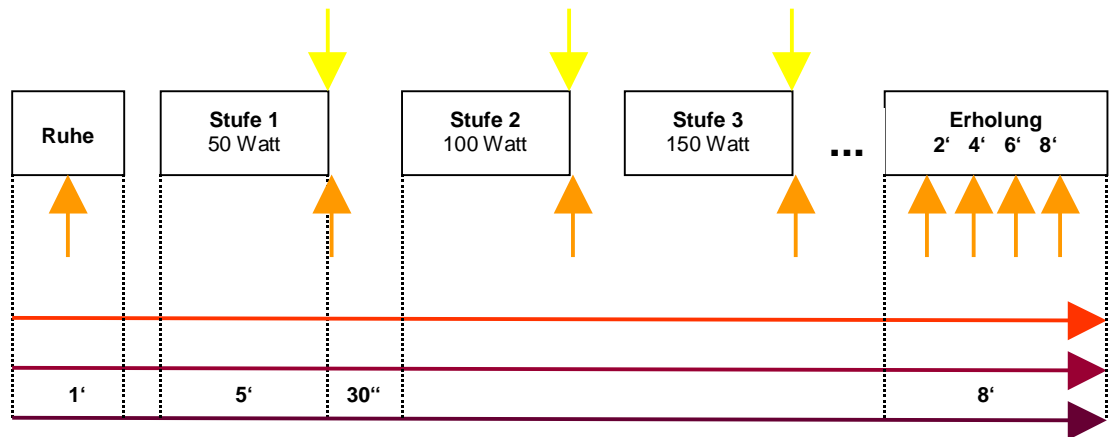


Abb. 5: Untersuchungsverlauf auf dem Fahrradergometer

Die Geschwindigkeit lag bei allen Stufen zwischen 60 und 80 U/min.

- Abfrage subjektives Belastungsempfinden
- Laktatabnahme
- Herzfrequenzaufzeichnung
- Spirografische Aufzeichnung
- Zeitleiste

Während die Stufentests auf den Geräten Moonwalker und Crosstrainer mehrere Belastungsstufen hintereinander vorsahen und die Erholungsphase erst am Ende der gesamten Belastung erfolgte, wurde beim Indoor-Cycling nach jeder Belastungsstufe eine achtminütige Erholungsphase vorgenommen und erst dann die weitere Belastung angeschlossen. Innerhalb der ein- bis zweiminütigen Vorphase sollte die zur Steuerung der Belastung dienende Herzfrequenz erreicht werden. Die eigentliche Belastungszeit wurde aufgrund der Vorphase auf vier Minuten reduziert. Während der gesamten Untersuchung fand eine kontinuierliche Aufzeichnung der spirometrischen Größen sowie der Herzfrequenz statt. Am Ende der Belastung wurde das subjektive Belastungsempfinden und der Laktatwert bestimmt. Es folgten vier Laktatabnahmen in der jeweiligen Erholungsphase (vgl. Abb. 6).

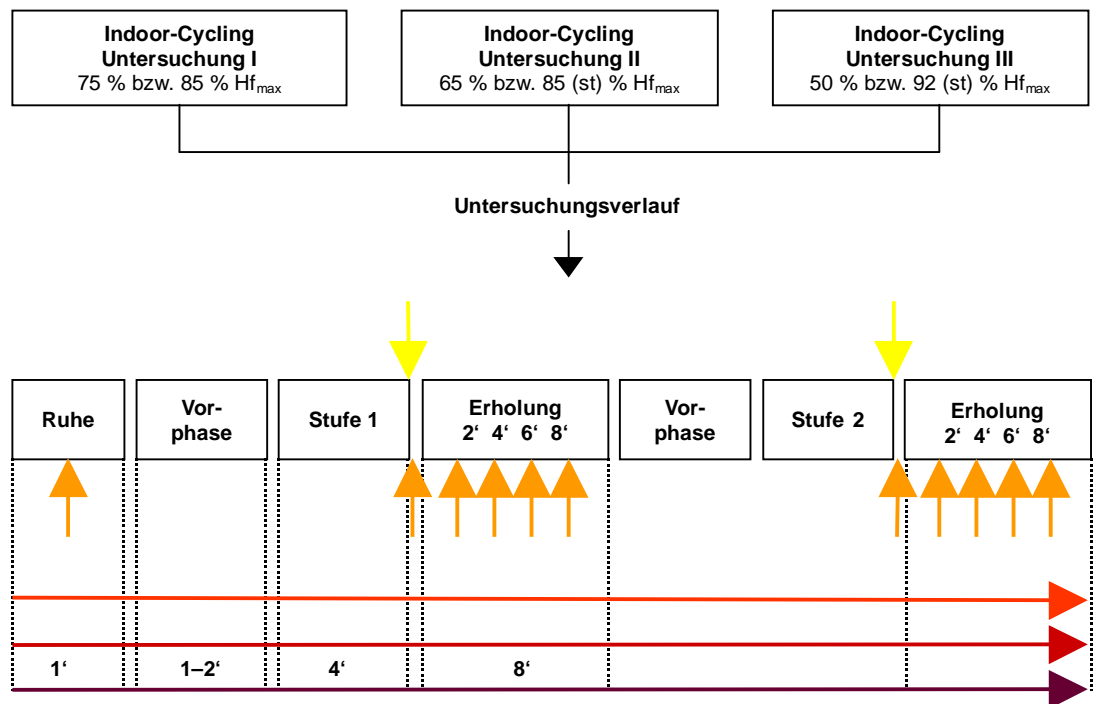


Abb. 6: Untersuchungsverlauf für das Gerät Indoor-Cycling Bike

- Abfrage subjektives Belastungsempfinden
- Laktatabnahme
- Herzfrequenzaufzeichnung
- Spirografische Aufzeichnung
- Zeitleiste

2.4 Untersuchungsverfahren

2.4.1 Bestimmung der spirometrischen Parameter

In den Untersuchungen wurde das offene telemetrische Spirometriesystem „K4 b²“ der Firma Cosmed³ verwendet, mit dem eine kontinuierliche Einzelatemzuganalyse möglich ist.

Das Gerät besteht aus einer portablen Übertragungs- und Batterieeinheit, die mit Hilfe eines Gurtsystems am Rumpf des Probanden befestigt wird. Auf dem Display der Übertragungseinheit können Einzeldaten der Messung wie z.B. Aufnahmezeit, Sauerstoffaufnahme und Respiratorischer Quotient zeitgleich abgelesen werden. Über die Funktion „Marker“ ist es möglich, einzelne Messzeitpunkte zu kennzeichnen (vgl. Abb. 7).

³ Cosmed Ltd. Rom, Italien



Abb. 7: Telemetrisches Spirometriesystem K4 b² der Firma Cosmed

- ❶ Übertragungseinheit
- ❷ Batterieeinheit
- ❸ Display
- ❹ Turbine
- ❺ Samplingschlauch
- ❻ Maske

Alle Messdaten werden automatisch in der Einheit gespeichert. Zudem besteht die Möglichkeit, die Daten telemetrisch an eine angeschlossene Computereinheit mit entsprechender Software⁴ zu senden. Über die Diagramm- und Tabellenfunktion des Programms kann so eine detaillierte Online-Darstellung der Messergebnisse erfolgen.

Die Turbine am Messkopf ist durch das Turbinenkabel und den Samplingschlauch mit der Übertragungseinheit verbunden. Die Maske soll luftdicht an der Gesichtshaut anliegen, hierfür stehen drei Maskengrößen zur Verfügung. Zur Befestigung dient ein Kopfnetz, das individuell angepasst wird (vgl. Abb. 7).

Mit dem telemetrischen Spirometriesystem „Cosmed K4 b²“ wird sowohl die Sauerstoffaufnahme als auch die Kohlendioxidabgabe gemessen, wodurch neben der leistungsphysiologischen Analyse auch eine substratbestimmende und kalorische Bilanzierung der Beanspruchung möglich wird.

Die Sauerstoffaufnahme wird durch die Differenz des Sauerstoffgehaltes in der In- und Expirationsluft bestimmt. Hierzu wird vor jeder Messung eine Analyse der Raumluft vorgenommen, die den Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt der Inspirationsluft ermittelt. Die Messung des Sauerstoffgehaltes der Expirationsluft erfolgt polarometrisch.

⁴ Cosmed Data Management Software Version 5.4a

Proportional zum Gesamtvolumen wird ein Teil der Expirationsluft in eine Mikro-Mischzelle, die sich in der Übertragungseinheit des Messsystems befindet, abgeleitet und dort elektrochemisch analysiert.

Eine Photozelle im Messkopf registriert die Umdrehungen der Turbinenrotorenblätter und ermittelt so die Anzahl der Atemzüge pro Minute, mit deren Hilfe die Sauerstoffaufnahme pro Minute berechnet werden kann.

Der Kohlendioxidanteil in der Expirationsluft wird über eine Infrarotsonde im Messkopf gemessen, um anschließend ebenfalls mit den gemessenen Atemzügen verrechnet zu werden.

Da das Volumen eines Gases von der Temperatur und dem einwirkenden Druck abhängig ist, muss eine standardisierte Umrechnung (STPD- bzw. BTPS-Bedingungen) der erhobenen Werte vorgenommen werden, damit der Vergleich mit anderen Messungen möglich wird. Hierzu findet vor Beginn der Untersuchung eine automatische Messung der Raumluft und -temperatur und des Barodrucks statt, die Angabe der Luftfeuchtigkeit erfolgt manuell über die Messeinheit. Die Umrechnung der eingegangenen Werte geschieht zeitgleich während der Messung.

Neben der Raumluftkalibrierung sind folgende Kalibrierungen für eine valide Messung notwendig:

- Reference-Gas-Calibration vor jeder Messung
- Delay-Calibration einmal wöchentlich
- Turbine-Calibration einmal monatlich.

Eine Überprüfung aller Kalibrierungsdaten ist jeweils am Ende der Kalibrierung möglich, kann aber auch zu einem späteren Zeitpunkt in Form eines Protokolls aufgerufen werden.

2.4.2 Bestimmung der Herzfrequenz

Die Herzfrequenzbestimmung erfolgte mit Hilfe des Herzfrequenz-Messgerätes der Firma Polar Electro⁵. Der in Herznähe angebrachte Brustgurt überträgt mittels einer Sonde die Herzfrequenz direkt an die Übertragungseinheit des Spirometriesystems (vgl. Kapitel 2.4.1) sowie an das Powercontrol des SRM-Trainingssystems (vgl. Kapitel 2.4.5), wodurch eine zeitgleiche Speicherung gewährleistet wird. Die Herzfrequenz wurde über 5 Schläge integriert.

⁵ Polar Electro Oy Kempele, Finnland

2.4.3 Bestimmung des Laktats

Die Bestimmung des Laktats wurde über ein enzymatisch-amperometrisches Messprinzip mit dem Gerät EBIO plus der Firma Eppendorf⁶ vorgenommen. Das mittels einer 20 µl Kapillare aus dem Ohrläppchen entnommene Blut wird zur Messvorbereitung in eine Systemlösung (Firma Eppendorf) gegeben, um anschließend im Messsystem ausgewertet zu werden.

2.4.4 Bestimmung des subjektiven Belastungsempfindens

Das subjektive Belastungsempfinden des Probanden wurde mit Hilfe der BORG-SKALA dokumentiert (vgl. Tab. 8). Auf dieser Skala werden den Belastungsstufen von sehr sehr leicht bis sehr sehr schwer Zahlen – sogenannte RPE-Werte (Received Percived Exertion) – zugeordnet. Durch die Multiplikation des RPE-Wertes mit 10 ergibt sich die der subjektiven Belastungseinschätzung entsprechende Herzfrequenz.

Tab. 9: Borg-Skala

RPE-Werte mit verbaler Zuordnung

RPE-Wert	verbale Zuordnung
6	
7	sehr sehr leicht
8	
9	sehr leicht
10	
11	leicht
12	
13	etwas anstrengend
14	
15	schwer
16	
17	sehr schwer
18	
19	sehr sehr schwer
20	

⁶ Eppendorf AG Hamburg, Deutschland

2.4.5 Bestimmung der Wattleistung und Tretfrequenz

Das SchobererRadMesstechnik-Trainingssystem (SRM-System) der Firma Schoberer⁷ ermöglicht eine kontinuierliche Messung der fahrradspezifischen Größen Leistung, Tretfrequenz und Geschwindigkeit sowie eine zeitgleiche Aufzeichnung der Herzfrequenz des Probanden.

Das SRM-Trainingssystem besteht aus dem SRM-Powermeter, der die Leistung misst, zwei Reedkontakten, die die Messung der Tretfrequenz und der Geschwindigkeit vornehmen, und dem SRM-Powercontrol, das die eingehenden Daten verrechnet und speichert. Alle Messeinheiten sind über entsprechende Kabel mit dem Powercontrol verbunden. Die Herzfrequenzaufzeichnung erfolgt über den Brustgurt der Firma Polar, wobei die gemessene Herzfrequenz telemetrisch an das Powercontrol weitergeleitet wird (vgl. Abb. 8).

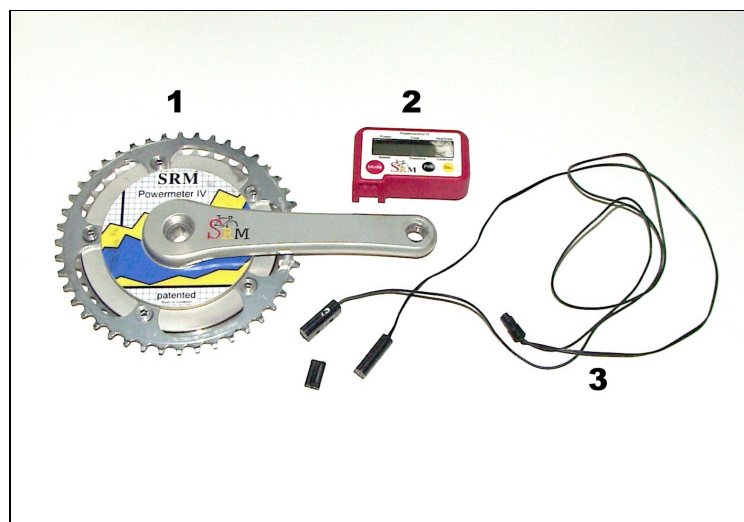


Abb. 8: SchobererRadMesstechnik-Trainingssystem

- ❶ Powermeter
- ❷ Powercontrol
- ❸ Reedkontakte

Das SRM-Powermeter besteht aus einer Tretlagerscheibe mit 4 bis 20 runden Vertiefungen, an deren Rändern Drehmessstreifen angebracht sind. Die Stege zwischen den Vertiefungen sind die eigentlichen Biegeelemente, deren Veränderung bei Tretkurbelarbeit über die Dehnmessstreifen wahrgenommen wird und so das Drehmoment der einwirkenden Kraft wiedergibt. Eine integrierte Lithium-Batterie ermöglicht eine Betriebsdauer von ca. 2000 h.

⁷ Ingenieurbüro Schoberer Jülich, Deutschland

Zur Berechnung der Leistung muss neben dem Drehmoment auch die Tretfrequenz aufgenommen werden. Hierzu wird ein Reedkontakt verwendet, der über ein in die Tretlagerscheibe eingebautes Relais und ein am Radrahmen befestigtes Magnet die jeweilige Tretfrequenz aufnimmt.

Ein zweiter Reedkontakt an der Gabel bzw. am Vorderrad des Rads überträgt die gefahrene Geschwindigkeit.

Die gemessenen Daten werden im Powercontrol gespeichert. Auf dem Display des Powercontrols sind über verschiedene Anzeigemodi die eingehenden Werte direkt verfügbar, je nach Wahl des Programms ist die Darstellung der aktuellen Werte, der Durchschnittswerte oder der bisher erreichten Maximalwerte möglich. Über die Tastatur des Minicomputers können einzelne Trainingssequenzen markiert werden, welches die spätere Ergebnisanalyse erleichtert. Mit Hilfe des Powercontrols wird auch die Nullstellenkalibrierung des Powermeters durchgeführt, die bei jeder Neumontage oder Änderung der Messbedingungen vorgenommen werden muss. Die Nullstelle des Powermeters stellt die Ruhestellung des SRM-Systems dar, in der keine äußeren Kräfte auf die Tretlagerscheibe einwirken. Die Stromversorgung erfolgt über NiCD-Akkumulatoren, die regelmäßig aufgeladen werden müssen.

Die Messung der Tretleistung erfolgt durch das Powermeter. Durch die Krafteinwirkung über die Tretkurbel verändern sich die biegsamen Stege zwischen den Vertiefungen der Tretlagerscheibe. Diese Veränderung wird von den Dehnmessstreifen wahrgenommen und als verstärktes elektrisches Signal an einen Frequenzumwandler weitergeleitet. Über die eingehenden Werte der Tretfrequenzmessung kann nun die Berechnung der Leistung erfolgen. Neben der berechneten Leistung wird auch die Tretfrequenz als weitere Größe an das Powercontrol weitergegeben.

Der Reedkontakt an der Gabel des Vorderrades ist über eine Kabelverbindung direkt mit dem Powercontrol verbunden.

2.5 Eingesetzte Trainingsgeräte

2.5.1 Moonwalker

Das Ausdauertrainingsgerät „Moonwalker“ der Firma Bremshey⁸ besteht aus zwei Schwungelementen, die eine freischwebende Vor- und Rückwärtsbewegung ermöglichen. Die individuell und stufenlos wählbare Bewegungsamplitude kann in beide Richtungen maximal 70 cm betragen. Die fixierte Aufhängung befindet sich in ca. 120 cm Höhe, hierdurch wird vornehmlich das Hüftgelenk als Bewegungsachse der Beine an der Bewegung beteiligt. Die Bewegung kann mit und ohne Armeinsatz ausgeführt werden, seitlich angebrachte Griffe bewegen sich gleichseitig mit den Schwungelementen. Der Computer am vorderen Holm des Gerätes zeigt auf dem Display belastungsbeschreibende Daten wie Bewegungszeit, Anzahl der Schritte sowie den summierten Kalorienverbrauch an (vgl. Abb. 9).

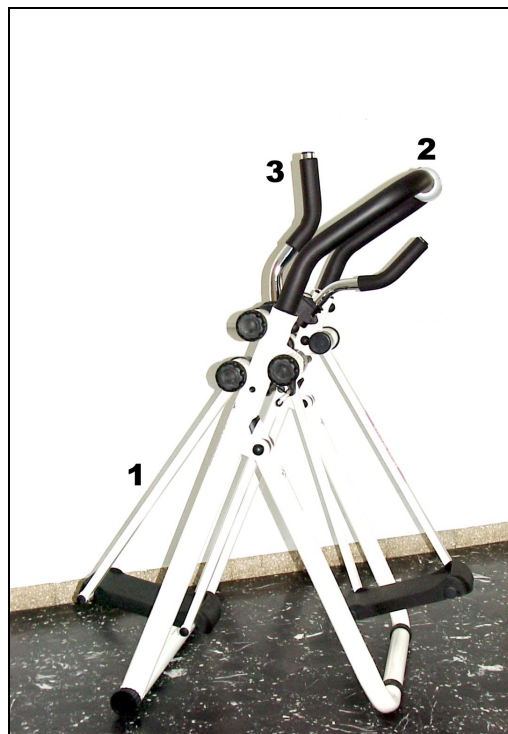


Abb. 9: Trainingsgerät Moonwalker

- ❶ Schwungelemente
- ❷ Haltegriff
- ❸ Griffe für Armbewegung

⁸ Bremshey Vertriebs GmbH Solingen, Deutschland

Die Bewegungsintensität kann individuell durch die Wahl der Bewegungsamplitude und Schrittfrequenz festgelegt werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, den Bewegungswiderstand der Schwungelemente durch stufenlos einstellbare Schrauben an der Aufhängungsachse zu variieren.

Da die Bewegungsamplitude auf dem Gerät Moonwalker frei wählbar ist, wurden vorne und hinten Begrenzungen eingerichtet, die ein bestimmtes Bewegungsausmaß (66 cm) vorgaben, das vom Probanden eingehalten werden sollte. Der Bewegungswiderstand wurde durch maximales Anziehen der Schrauben bei allen Tests gleich gehalten.

2.5.2 Laufband

In der Untersuchung wurde das Laufband Ergo ELG2 der Firma Woodway⁹ eingesetzt. Die Steigung des Laufbands betrug während der gesamten Tests 1,5 %.

2.5.3 Fahrradergometer

In der Untersuchung wurde das Fahrradergometer ergo-metrics 900 der Firma ergo-line¹⁰ eingesetzt. Das Bremsprinzip des Ergometers beruht auf einer computer-gesteuerten Wirbelstrombremse, wodurch eine drehzahlunabhängige Steuerung des Widerstands ermöglicht wird.

2.5.4 Crosstrainer

Das Trainingsgerät Crosstrainer der Firma Bremshey¹¹ verfügt über zwei Tretpedale und zwei in Oberkörperhöhe liegende Handgriffe, die untereinander so verbunden sind, dass eine gegengleiche Bewegung der Arme und Beine stattfindet. Die Bewegung der Beine folgt dabei einer elliptischen Bahn und ist sowohl vorwärts als auch rückwärts möglich (vgl. Abb. 10).

Die Magnetbremse erlaubt eine achtstufige Widerstandsregulierung, die an der Stellschraube am vorderen Holm des Gerätes eingestellt werden kann.

Ein Computer oberhalb der Stellschraube gibt Auskunft über die Belastungsdauer, die momentane Umdrehungszahl und den erreichten Kalorienverbrauch.

Neben den Handgriffen, die eine aktive Armarbeit erfordern, besteht auch die Möglichkeit, einen starren Griff – ebenfalls in Oberkörperhöhe – zu nutzen.

⁹ Woodway GmbH, Weil / Rhein, Deutschland

¹⁰ ergo-line Ergometriesysteme GmbH & Co. KG Bitz, Deutschland

¹¹ Bremshey Vertriebs GmbH Solingen, Deutschland



Abb. 10: Trainingsgerät Crosstrainer

- ❶ Tretpedale
- ❷ Haltegriff
- ❸ Griffe für Armbewegung

2.5.5 Indoor-Cycling Bike Cytech

Das Indoor-Cycling Bike Tomahawk der Firma Cytech¹² ist mit einem Oversize Rahmen (6 x 4 cm) und einem 25 kg schweren Stahlschwungrad ausgestattet. Der Antrieb des Schwungrades erfolgt über einen Starrlauf, das Schwungrad wird mit Hilfe einer speziell entwickelten Bremse, die am oberen Teil des Längsholms angebracht ist, gebremst. Über einen farbig gekennzeichneten Griff kann in Notfällen eine schnelle Bremsung des Schwungrades erfolgen (vgl. Abb. 11).

Die Tretkurbel des Rades ist 170 mm lang, an den Pedalen befinden sich Käfige, um eine gesicherte Fußposition zu erreichen, sowie eine Rückholbewegung zu ermöglichen. Der Lenker ist gummibeschichtet und bietet durch seine Form verschiedene Griffpositionen. Sowohl der Lenker als auch der Sattel sind höhenverstellbar, zusätzlich kann der Abstand zwischen Sattel und Lenker individuell eingestellt werden.

¹² Cytech GmbH R Röthenbach a. d. Pegnitz, Deutschland



Abb. 11: Indoor-Cycling Bike Tomahawk

- ❶ Stahlschwungrad
- ❷ Bremsgriff

An allen vier Füßen befinden sich höhenregulierbare Schrauben, die einen sicheren Stand des Indoor-Cycling Bikes ermöglichen.

Zur Messung der Wattleistung und der Umdrehungen pro Minute wurde das SRM-Trainingssystem montiert. Hierzu wurde das Kettenblatt und die auf der Seite des Kettenblatts befindliche Tretkurbel ausgewechselt (vgl. Kapitel 2.4.5).

Während die Länge der Tretkurbel des SRM-Trainingssystems mit der des Indoor-Cycling Bikes übereinstimmte, musste das Kettenblatt des SRM-Powermeters entsprechend der Zahnanzahl ausgetauscht werden.

Die gegebene Konstruktion des Indoor-Cycling Bikes (Kettenkasten und Schwungrad ohne Speichen) erforderte die Befestigung Reed-Kontakt-Magnete auf Holzplättchen bzw. Kunststoffplättchen, nur so konnten die geforderten Abstände zwischen den Aufnehmern erreicht werden.

2.5.6 Indoor-Cycling Bike Schwinn

Das Spin Bike der Firma Schwinn¹³ ist in etwa baugleich mit dem zuvor beschriebenen Rad der Firma Cytech. Das Stahlschwungrad, dessen Antrieb ebenfalls über einen Starrlauf erfolgt, wiegt 20 kg.

2.6 Auswertung der Rohdaten

Da es sich bei der Spirometrie um eine kontinuierliche Datenaufzeichnung handelte, mussten repräsentative Werte zu drei Messzeitpunkten ermittelt werden: in Ruhe, während der einzelnen Belastungsstufen und in der Erholung.

Hierzu wurde der Ruhewert aus der einminütigen Vorbelastungsphase berechnet. Die endliche Anpassung aller physiologischen Größen erfolgt vollständig erst nach vier Minuten gleicher Belastung. Demnach musste die Auswahl der Werte in den Belastungsstufen möglichst am Ende der Stufe vorgenommen werden. Hierzu wurde der Mittelwert aus 30 Sekunden der Belastung 15 Sekunden vor Belastungsende gebildet, die letzten 15 Sekunden fanden in der Berechnung keine Berücksichtigung, da hier ein psychischer Einfluss auf die Werte (Ankündigung des Belastungsende) nicht ausgeschlossen werden konnte.

In der Erholung bildete sich der repräsentative Wert aus den letzten 15 Sekunden der jeweiligen Erholungsphase.

2.7 Angewendete statistische Verfahren

In der vorliegenden Untersuchung fanden folgende statistische Verfahren Anwendung:

deskriptive Statistik:

- Median und Interquartilbereiche 25 bzw. 75 %
- Arithmetisches Mittel und Standardabweichung

analytische Statistik:

- KRUSKAL-WALLIS-Test für unabhängige Stichproben
- MANN-WHITNEY-U-Test für unabhängige Stichproben
- FRIEDMAN-Test für abhängige Stichproben mit Messwiederholung
- WILCOXON-Test für abhängige Stichproben
- Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung
- Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung
- t-Test für unabhängige Stichproben

¹³ Schwinn Boulder – Colorado, USA

- t-Test für abhängige Stichproben
- Korrekturverfahren bei Mehrfachtestung
- Korrelationsberechnung nach SPEARMAN

Eine Beschreibung der eingesetzten Verfahren findet sich im Anhang B (S. 168).

3 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden in Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen dargestellt. Im Text werden nur Mittelwerte angegeben, Standardabweichungen können den entsprechenden Tabellen im Anhang C (S. 174) entnommen werden.

3.1 Untersuchung Moonwalker

Ausgehend von den in Kapitel 1 dargestellten Fragestellungen der Teilstudie wurden folgende Untersuchungsschwerpunkte gesetzt:

- Spirometrische und metabolische Belastungscharakteristika während der einzelnen Belastungsstufen auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie auf dem Laufband (vgl. Kapitel 3.1.1)
- Vergleich der Belastungscharakteristika auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz (vgl. Kapitel 3.1.1)
- Vergleich der Belastungscharakteristika auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband (vgl. Kapitel 3.1.1)
- Subjektives Belastungsempfinden auf den Geräten Moonwalker und Laufband einzeln und im Vergleich sowie in Beziehung zur Herzfrequenz (vgl. Kapitel 3.1.2)
- Vergleich der Laufbelastung mit vorgegebener und individuell wählbarer Schrittfrequenz (vgl. Kapitel 3.1.3).

Da die Belastungsdauer von der subjektiven Ausbelastung des Probanden abhängig war, ergab sich für die einzelnen Untersuchungen eine unterschiedliche Anzahl von Probanden. Aus diesem Grund stimmen die gemittelten Werte der Belastungsvergleiche nicht immer mit denen der Einzelvergleiche überein.

3.1.1 Spirometrische und metabolische Belastungscharakteristika während der einzelnen Belastungsstufen und im Belastungsvergleich

3.1.1.1 Atemzugvolumen

Nach einem initialen Anstieg in der ersten Belastungsstufe (relativer Anstieg von 0,28 l bis 0,46 l) war während der folgenden drei Stufen bei allen Einzelbelastungen ein nur geringer Anstieg bzw. leichter Abfall des Atemzugvolumens zu beobachten (relativer Anstieg bzw. Abfall zwischen 0,06 l und -0,05). Die Stufen 4 bis 6 zeigten einen deutlichen Anstieg, dabei erhöhte sich bei den Belastungen auf dem Moonwalker ohne Armeinsatz der relative Anstieg von Stufe zu Stufe (maximaler Wert bei Stufe 6 1,63 l). Bei der Belastung mit Armeinsatz ließ sich auf den Stufen 4 und 5 ein in etwa gleich hoher Anstieg erkennen (0,12 und 0,10 l, maximaler Wert bei Stufe 6 mit 1,58 l). Der

relative Anstieg bei der Belastung auf dem Laufband lag mit 0,13 bis 0,16 l auf allen drei Stufen gleich (maximaler Wert bei Stufe 6 mit 1,60 l).

In der Erholung fiel das Atemzugvolumen in den Bereich des Ruhewertes ab (vgl. Abb. 12).

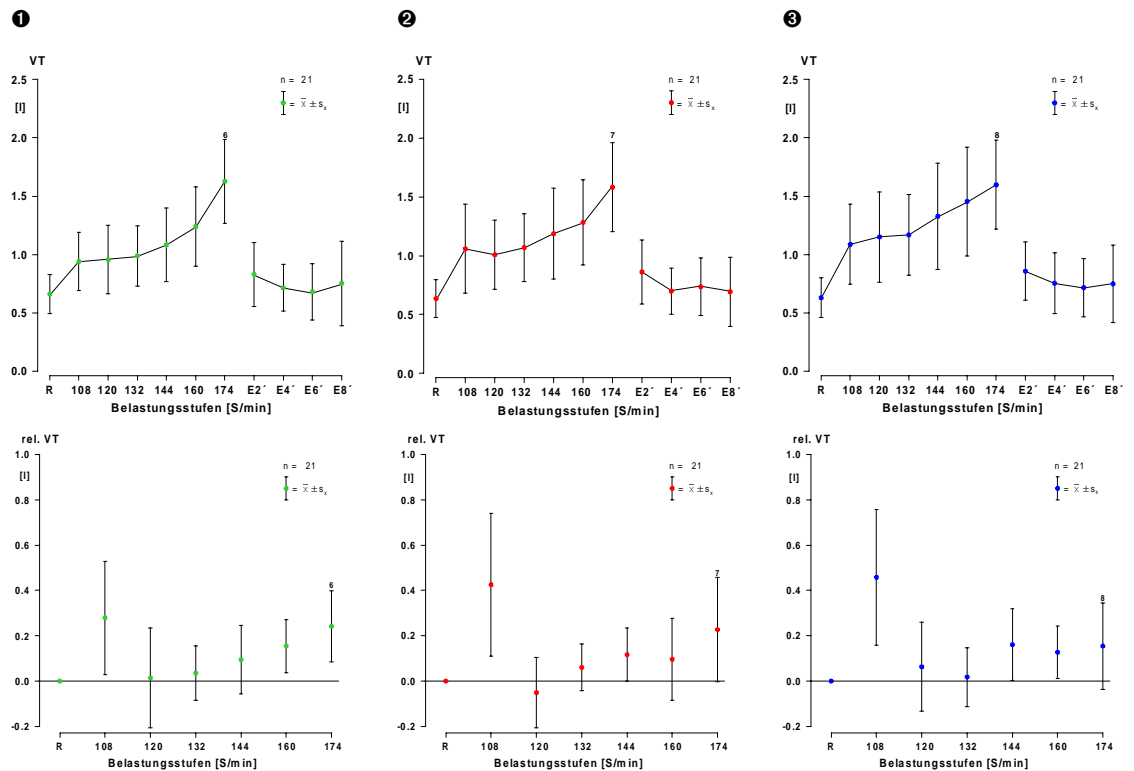


Abb. 12: Atemzugvolumen während der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz und dem Laufband

Ordinate: Atemzugvolumen in l bzw. Δ l

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung des absoluten Atemzugvolumens und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Moonwalker ohne Armeinsatz
- ❷ Moonwalker mit Armeinsatz
- ❸ Laufband

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte bei allen Belastungen ein signifikantes Ergebnis in der Messwiederholung. Signifikante Unterschiede ließen sich in den anschließenden t-Tests zwischen Ruhe und Stufe 1 bei allen Belastungen, zwischen Stufe 3 und 4 bei der Belastung auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband und zwischen Stufe 4 und 5 bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne Armeinsatz und dem Laufband erkennen (vgl. Tab. 10).

Tab. 10: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf das Atemzugvolumen

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6
Mo	0,000	0,000	0,744	0,214	0,011	0,000	0,013
Mm	0,000	0,000	0,150	0,013	0,000	0,023	0,046
Lb	0,000	0,000	0,162	0,537	0,000	0,000	0,075

Das Atemzugvolumen auf dem Moonwalker ohne Armeinsatz lag bei allen Stufen unterhalb des Atemzugvolumens bei der Belastung mit Armeinsatz. Die Differenzen lagen zwischen 0,05 und 0,19 l (vgl. Abb. 13).

Bei der Belastung auf dem Laufband wurde durchgehend ein höheres Atemzugvolumen gemessen als beim Moonwalker mit Armeinsatz (Differenzen zwischen 0,03 l und 0,17 l) (vgl. Abb. 13).

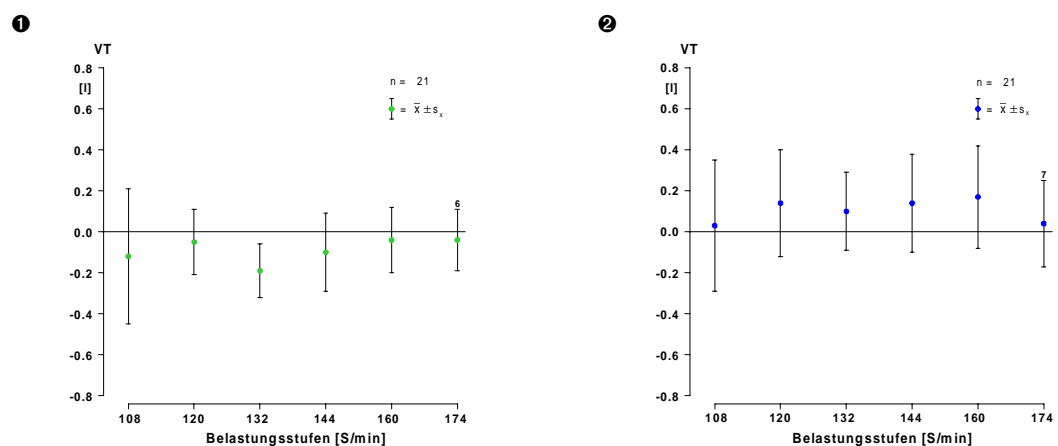


Abb. 13: Vergleich des Atemzugvolumens bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband

Ordinate: Atemzugvolumen in l

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

① Moonwalker ohne und mit Armeinsatz

② Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband

Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis bei den Belastungsvergleichen (vgl. Tab 11).

Tab. 11: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf das Atemzugvolumen

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den Vergleichen Moonwalker ohne und mit Armeinsatz (Mo – Mm) bzw. Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband (Mm – Lb).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6
Mo – Mm	0,734	-	-	-	-	-	-
Mm – Lb	0,193	-	-	-	-	-	-

3.1.1.2 Atemminutenvolumen

Es ließ sich bei allen Belastungen ein initialer Anstieg des Atemminutenvolumens während der ersten Belastungsstufe erkennen (Anstieg auf 22,59 bis 26,40 l/min). Während der folgenden vier Stufen war kein bis ein eher geringer Anstieg zu beobachten (relativer Anstieg zwischen 0,14 und 7,35 ml/min). Eine deutliche Zunahme des Atemminutenvolumens zeigte sich bei Stufe 6. Das maximale Atemminutenvolumen lag bei 54,70 ml/min (Mo), 62,20 ml/min (Mm) und 58,18 ml/min (Lb).

Die Erholungsphasen waren durch ein sofortigen starken Abfall des Atemminutenvolumens gekennzeichnet. Bei allen Belastungen lag das Atemminutenvolumen nach vier Minuten Erholung unterhalb des Ruhewertes (vgl. Abb. 14).

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte bei allen Belastungen signifikante Unterschiede im Messverlauf. Signifikante Ergebnisse im Stufenvergleichen ließen sich bei allen Belastungen zwischen Ruhe und Stufe 1, Stufe 2 und 3, Stufe 3 und 4 sowie Stufe 4 und 5 feststellen. Weiterhin zeigte sich bei der Belastung auf dem Moonwalker mit Armeinsatz ein signifikanter Unterschied zwischen Stufe 5 und 6 sowie bei der Belastung auf dem Laufband zwischen Stufe 1 und 2 sowie 5 und 6 (vgl. Tab. 12).

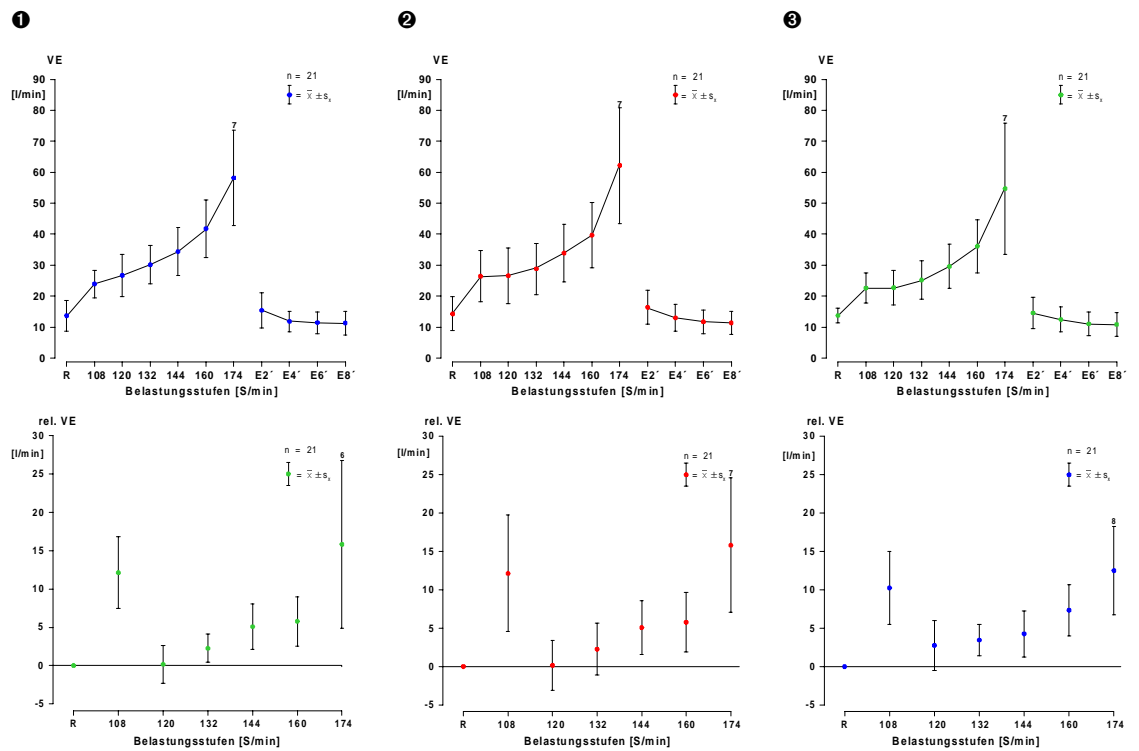


Abb. 14: Atemminutenvolumen während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband

Ordinate: Atemzugvolumen in l/min bzw. Δ l/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte ± Standardabweichung des absoluten Atemminutenvolumens und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Moonwalker ohne Armeinsatz
- ❷ Moonwalker mit Armeinsatz
- ❸ Laufband

Tab. 12: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf das Atemminutenvolumen

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
Mo	0,010	0,000	0,801	0,000	0,000	0,000	0,066
Mm	0,010	0,000	0,826	0,006	0,000	0,000	0,004
Lb	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002

Die Belastung auf dem Moonwalker ohne Armeinsatz zeigte auf allen Stufen ein niedrigeres Atemminutenvolumen als die Belastung mit Armeinsatz. Es ließen sich Differenzen zwischen 3,56 und 10,54 ml/min berechnen (vgl. Abb. 15).

Im Vergleich der Belastung Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband zeigte sich bei den Belastungsstufen 1 und 6 ein höheres Atemminutenvolumen beim Moonwalker. (Differenz von 2,48 bzw. 2,04 l/min). In etwa gleich hohe Werte ließen sich bei Stufe 2 und 4 erkennen (Differenz von 0,12 bzw. 0,51 l/min) (vgl. Abb. 15).

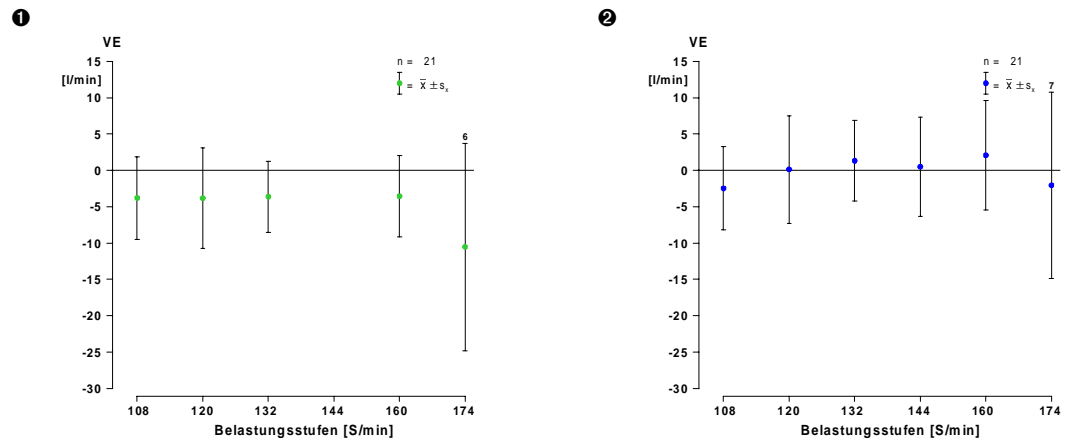


Abb. 15: Vergleich des Atemminutenvolumens bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband

Ordinate: Atemminutenvolumen in l/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

❶ Moonwalker ohne und mit Armeinsatz

❷ Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband

In der zweifaktoriellen Varianzanalyse konnten keine signifikanten Unterschiede in der Messwiederholung nachgewiesen werden (vgl. Tab. 13).

Tab. 13: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf das Atemminutenvolumen

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen Moonwalker ohne und mit Armeinsatz (Mo – Mm) bzw. Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband (Mm – Lb).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6
Mo – Mm	0,521	-	-	-	-	-	-
Mm – Lb	0,423	-	-	-	-	-	-

3.1.1.3 Absolute Sauerstoffaufnahme

Nach einem deutlichen Anstieg zeigte sich bei Belastung auf dem Moonwalker auf der zweiten Belastungsstufe eine ähnlich hohe Sauerstoffaufnahme (relativer Anstieg von 21,44 bzw. 18,57 ml/min). Beim Laufband ließ sich eine deutlichere Zunahme erkennen, die Sauerstoffaufnahme stieg hier von 975,55 auf 1112,56 ml/min. Die Anstiege zu den weiteren Belastungsstufen nahm von Stufe zu Stufe zu. Der höchste relative Anstieg ließ sich bei allen Belastungen während der sechsten Belastungsstufe beobachten (relativer Anstieg zwischen 344,56 bis 499,25 ml/min). Hier zeigte sich auch die höchste Sauerstoffaufnahme mit 2153,83 ml/min (Mo), 2469,90 ml/min (Mm) und 2353,06 ml/min (Lb).

Nach vier Minuten Erholung lag die absolute Sauerstoffaufnahme unterhalb des Ruhewertes (vgl. Abb. 16).

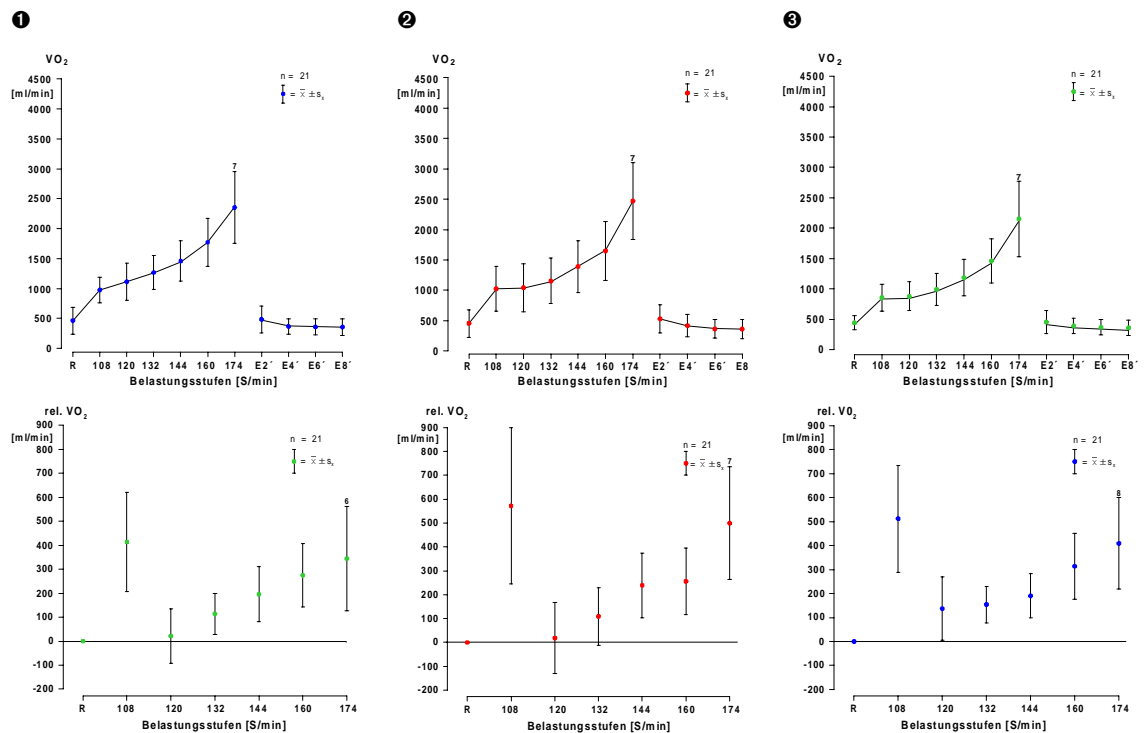


Abb. 16: Absolute Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband

Ordinate: Absolute Sauerstoffaufnahme in ml/min bzw. Δ ml/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der absoluten Sauerstoffaufnahme und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Moonwalker ohne Armeinsatz
- ❷ Moonwalker mit Armeinsatz
- ❸ Laufband

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte für alle Belastungen einen signifikanten Unterschied in der Messwiederholung. Die anschließenden t-Tests wiesen nur bei den Stufenvergleichen Moonwalker ohne Arme Stufe 1 und 2 sowie 5 und 6 Moonwalker mit Armeinsatz Stufe 1 und 2 keine signifikanten Ergebnisse aus (vgl. Tab. 14).

Tab. 14: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf die absolute Sauerstoffaufnahme

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
Mo	0,000	0,000	0,395	0,000	0,000	0,000	0,012
Mm	0,000	0,000	0,571	0,001	0,000	0,000	0,003
Lb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003

Die absolute Sauerstoffaufnahme beim Moonwalker ohne Armeinsatz lag bei allen Belastungsstufen unter der beim Moonwalker mit Armeinsatz. Die Differenzen lagen mit 162,37 bis 204,15 ml/min in ähnlichem Bereich (vgl. Abb. 17).

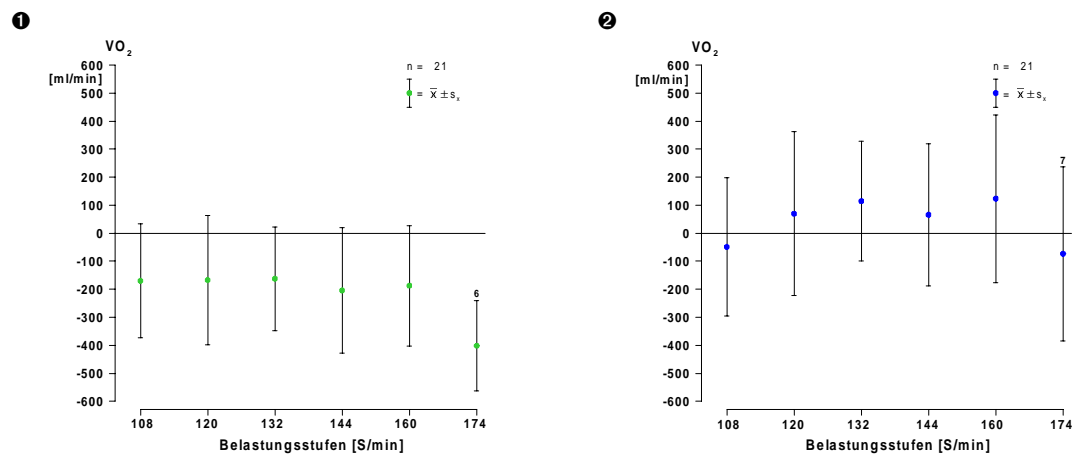


Abb. 17: Vergleich der absoluten Sauerstoffaufnahme bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband

Ordinate: Absolute Sauerstoffaufnahme in ml/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

① Moonwalker ohne und mit Armeinsatz

② Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband

Beim Vergleich Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband zeigte sich bei den Stufen 1 und 6 eine höhere Sauerstoffaufnahme auf dem Moonwalker mit Armeinsatz (Differenz 48,86 bzw. 73,61 ml/min). Auf den übrigen Stufen ließen sich höhere Werte auf dem Laufband erkennen. Die Differenzen lagen zwischen 65,72 und 123,30 ml/min (vgl. Abb. 17).

Es zeigten sich bei beiden Vergleichen keine signifikanten Unterschiede im Messverlauf (vgl. Tab. 15).

Tab. 15: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf die absolute Sauerstoffaufnahme

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen Moonwalker ohne und mit Armeinsatz (Mo – Mm) bzw. Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband (Mm – Lb).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6
Mo – Mm	0,514	-	-	-	-	-	-
Mm – Lb	0,590	-	-	-	-	-	-

3.1.1.4 Relative Sauerstoffaufnahme

Nach einem initialen Anstieg der relativen Sauerstoffaufnahme folgte auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz bei Stufe 2 ein nur geringer Anstieg (jeweils 0,32 ml/min). Deutlicher war der Anstieg auf dem Laufband zu erkennen (1,85 ml/min). Während der folgenden Stufen war eine Zunahme des relativen Anstieges von Stufe zu Stufe zu beobachten. Der deutlichste Anstieg zeigte sich mit 4,36 ml/min (Mo), 6,79 ml/min (Mm) und 5,38 ml/min (Lb) auf Stufe 6. Daraus resultierte eine maximale relative Sauerstoffaufnahme von 28,25 ml/min, 32,98 ml/min und 32,09 ml/min (vgl. Abb. 18).

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte für alle Belastungen ein signifikantes Ergebnis im Messverlauf. Die t-Tests wiesen nur für den Stufenvergleich 1 und 2 für die Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz keinen signifikanten Unterschied nach (vgl. Tab. 16).

Der Vergleich der relativen Sauerstoffaufnahme bei den Belastungen auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz zeigte bei allen Stufen eine höhere relative Sauerstoffaufnahme bei der Belastung mit Armeinsatz. Die Differenzen lagen zwischen 2,32 und 5,50 ml/min (vgl. Abb. 19).

Ein uneinheitliches Bild ließ sich beim Vergleich Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband erkennen. Auf den Stufen 1 und 6 zeigte sich eine höhere relative Sauerstoffaufnahme auf dem Moonwalker (Differenzen von 0,40 und 1,21 ml/min). Auf den übrigen Stufen war die relative Sauerstoffaufnahme auf dem Laufband höher (Differenzen zwischen 1,05 und 1,85 ml/min) (vgl. Abb. 19).

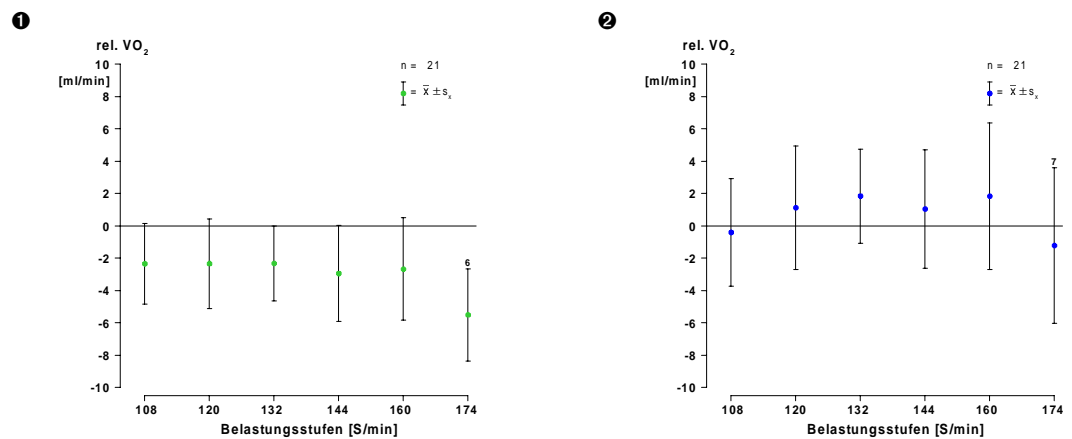


Abb. 19: Vergleich der relativen Sauerstoffaufnahme bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband

Ordinate: Relative Sauerstoffaufnahme in ml/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

① Moonwalker ohne und mit Armeinsatz

② Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte bei beiden Vergleichen keine signifikanten Unterschiede im Messverlauf (vgl. Tab. 17).

Tab. 17: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf die relative Sauerstoffaufnahme

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen Moonwalker ohne und mit Armeinsatz (Mo – Mm) bzw. Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband (Mm – Lb).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6
Mo – Mm	0,392	-	-	-	-	-	-
Mm – Lb	0,609	-	-	-	-	-	-

3.1.1.5 Sauerstoffpuls

Der Sauerstoffpuls auf dem Moonwalker blieb nach einem deutlichen Anstieg zur ersten Belastungsstufe während der zweiten Belastungsstufe auf einem ähnlichen Niveau (relativer Anstieg bzw. Abfall von -0,07 und 0,11 ml/S). Ein deutlicher Anstieg war hingegen bei der Belastung auf dem Laufband zu erkennen (0,72 ml/S). Auf den folgenden Stufen sind bei allen Belastungen relativ gleich hohe Anstiege zu beobachten, sie liegen zwischen 0,78 und 1,77 ml/S. Der höchste Sauerstoffpuls zeigte sich mit 15,11 ml/S (Mo), 16,13 ml/S (Mm) und 16,81 ml/S (Lb) auf Stufe 6.

In der Erholungsphase fiel der Sauerstoffpuls nach zwei (Mo/Lb) bzw. vier Minuten (Mm) unterhalb des Ruhewertes (vgl. Abb. 20).

Die t-Tests zeigten keine signifikanten Unterschiede beim Stufenvergleichen 1 und 2 und 5 und 6 bei allen Belastungen sowie zwischen 2 und 3 bei der Belastung auf dem Moonwalker mit Armeinsatz (vgl. Tab. 18).

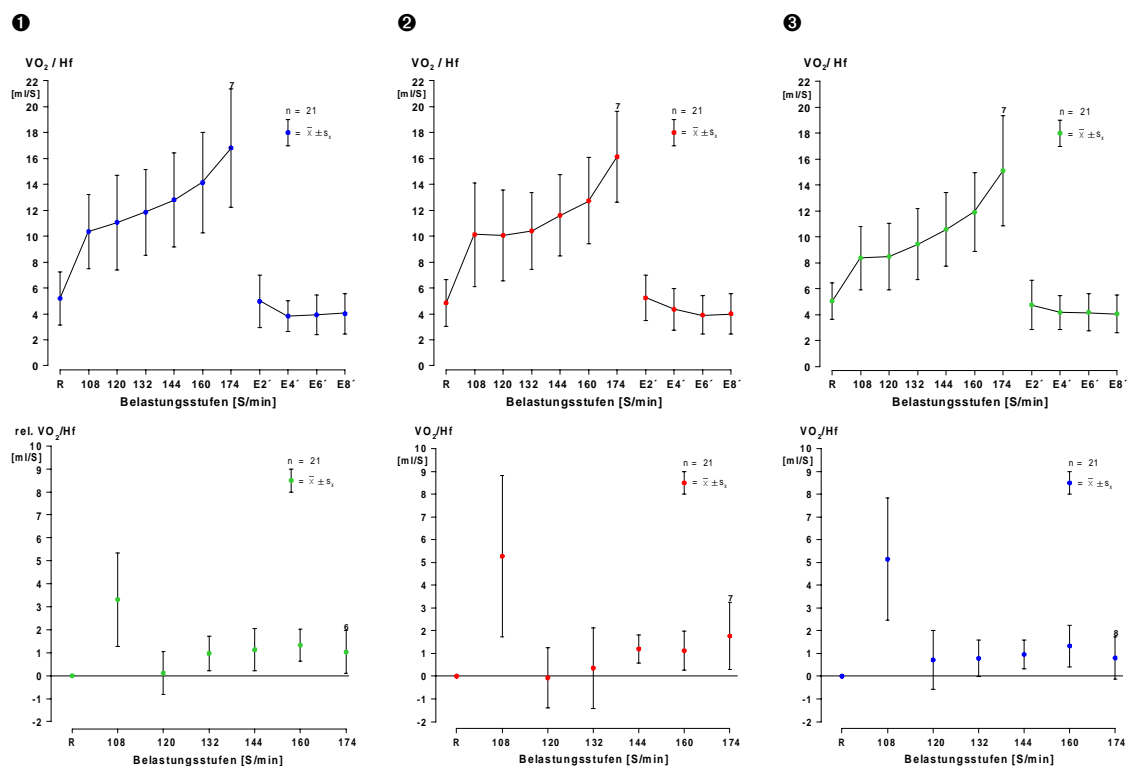


Abb. 20: Sauerstoffpuls während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband

Ordinate: Sauerstoffpuls in ml/S bzw. Δ ml/S

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung des absoluten Sauerstoffpulses und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Moonwalker ohne Armeinsatz
- ❷ Moonwalker mit Armeinsatz
- ❸ Laufband

Tab. 18: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf den Sauerstoffpuls

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
Mo	0,000	0,000	0,587	0,000	0,000	0,000	0,043
Mm	0,000	0,000	0,816	0,375	0,000	0,000	0,015
Lb	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,073

Der Sauerstoffpuls lag auf allen Belastungsstufen beim Moonwalker mit Armeinsatz über den Werten der Belastung auf dem Moonwalker ohne Armeinsatz. Es ließen sich Differenzen zwischen 0,83 und 1,75 ml/S berechnen (vgl. Abb. 21).

Bei der Belastung auf dem Laufband zeigten sich ebenfalls auf allen Belastungsstufen höhere Werte als bei der Belastung auf dem Moonwalker mit Armeinsatz (Differenzen zwischen 0,23 und 1,44 ml/S) (vgl. Abb. 21).

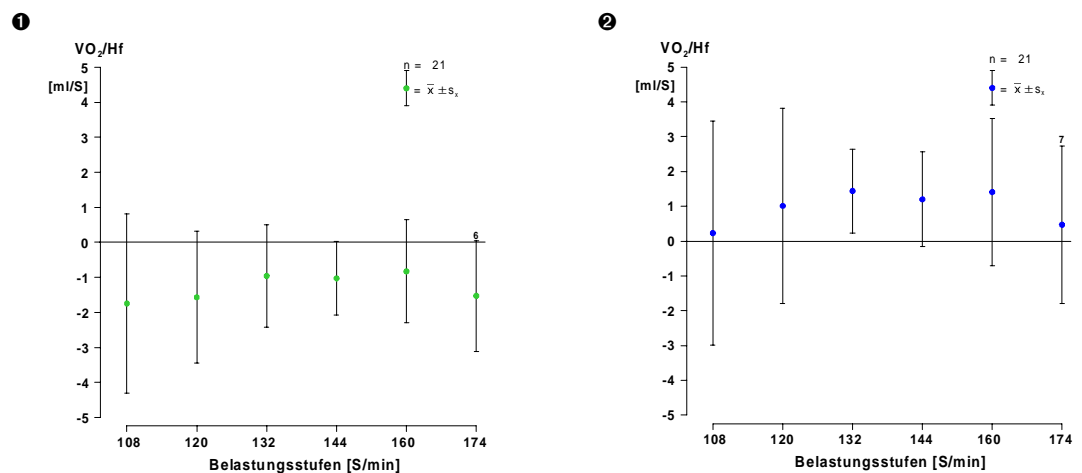


Abb. 21: Vergleich des Sauerstoffpulses bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband

Ordinate: Sauerstoffpuls in ml/S

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

❶ Moonwalker ohne und mit Armeinsatz

❷ Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte bei beiden Vergleichen keine signifikanten Unterschiede im Messverlauf (vgl. Tab 19).

Tab. 19: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf den Sauerstoffpuls

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen Moonwalker ohne und mit Armeinsatz (Mo – Mm) bzw. Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband (Mm – Lb).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6
Mo – Mm	0,364	-	-	-	-	-	-
Mm – Lb	0,620	-	-	-	-	-	-

3.1.1.6 Respiratorischer Quotient

Während bei der Belastung auf dem Moonwalker mit Armeinsatz im gesamten Belastungsverlauf nur geringfügige Änderungen im respiratorischen Quotienten zu erkennen waren (relativer Anstieg bzw. Abfall bei 0,01, absoluter Wert bei Stufe 6 0,78), zeigten sich bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne Armeinsatz deutlichere Anstiege bei Stufe 5 und 6 (relativer Anstieg von 0,02, absoluter Wert bei Stufe 6: 0,84). Auf dem Laufband lag der respiratorische Quotient zwischen 0,77 und 0,83.

Nach zwei Minuten Erholung ließ sich ein leicht erhöhter respiratorischer Quotient beim Moonwalker mit Armeinsatz erkennen. Dieser sank im Anschluss – wie bei den anderen Belastungen – wieder auf den Ruhewert (vgl. Abb. 22).

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte nur beim Moonwalker ohne Armeinsatz und beim Laufband signifikante Unterschiede im Messverlauf. Die t-Tests wiesen im Anschluss jeweils ein signifikantes Ergebnis für den Stufenvergleich 4 und 5 (Mo) sowie Ruhe und Stufe 1 (Lb) nach (vgl. Tab. 20).

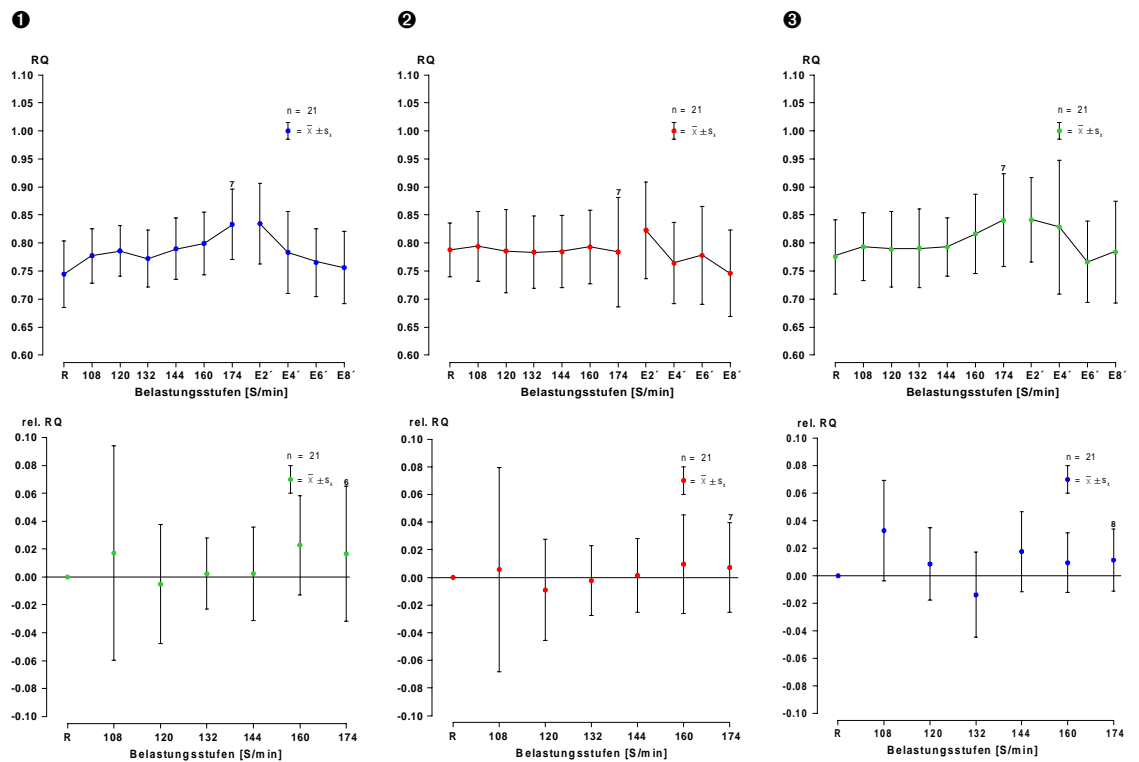


Abb. 22: Respiratorischer Quotient während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband

Ordinate: Respiratorischer Quotient bzw. Δ des respiratorischen Quotienten

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung des absoluten respiratorischen Quotienten und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ① Moonwalker ohne Armeinsatz
- ② Moonwalker mit Armeinsatz
- ③ Laufband

Tab. 20: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf den respiratorischen Quotienten

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
Mo	0,007	0,298	0,658	0,757	0,736	0,007	0,416
Mm	0,618	-	-	-	-	-	-
Lb	0,007	0,000	0,152	0,054	0,010	0,057	0,333

Der Vergleich des respiratorischen Quotient bei der Belastung ohne und mit Arm-einsatz ließ nur sehr geringe Differenzen von -0,001 bis 0,045 erkennen (vgl. Abb. 23).

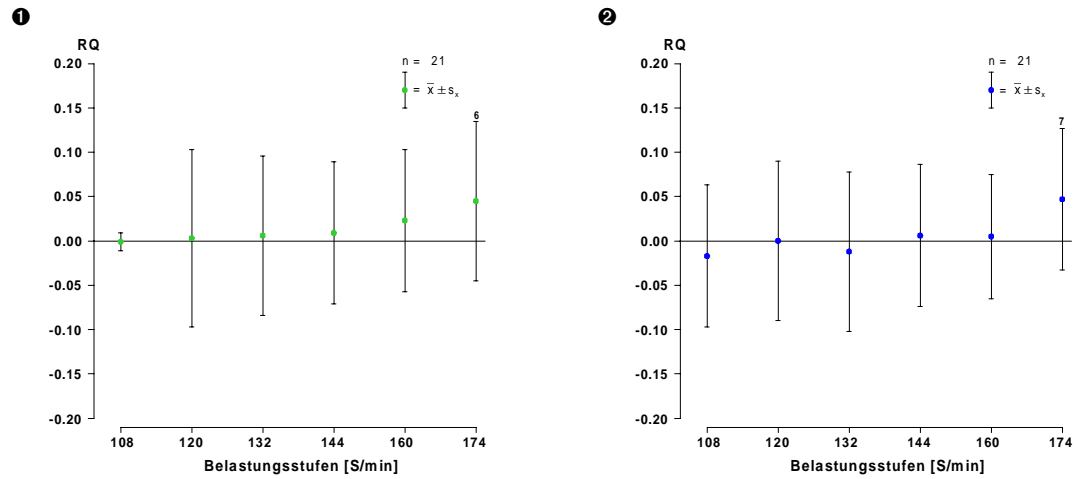


Abb. 23: Vergleich des respiratorischen Quotienten bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband

Ordinate: Respiratorischer Quotient

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

❶ Moonwalker ohne und mit Armeinsatz

❷ Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband

Ähnliches zeigte sich auch beim Vergleich Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband. Hier ließen sich die Differenzen zwischen -0,017 und 0,047 berechnen, wobei auf den Stufen 1 und 3 die Werte des Moonwalkers über denen des Laufbandes lagen (vgl. Abb. 23).

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Belastungsvergleiche (vgl. Tab. 21).

Tab. 21: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf den respiratorischen Quotienten

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen Moonwalker ohne und mit Armeinsatz (Mo – Mm) bzw. Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband (Mm – Lb).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6
Mo – Mm	0,778	-	-	-	-	-	-
Mm – Lb	0,574	-	-	-	-	-	-

3.1.1.7 Kalorienverbrauch

Bei den Belastungen auf dem Moonwalker zeigten sich nach einem initialen Anstieg in der ersten Belastungsstufe ein gleichbleibender Kalorienverbrauch auf der zweiten Stufe (relativer Anstieg von 0,10 bzw. 0,09 kcal/min). Auf dem Laufband nahm der Kalorienverbrauch auch in der zweiten Stufe zu (relativer Anstieg von 0,66 kcal/min). Die folgenden Anstiege wurden von Stufe zu Stufe größer, es zeigte sich auf Stufe 6 jeweils ein Kalorienverbrauch von 10,48 kcal/min (Mo), 11,85 kcal/min (Mm) und 11,35 kcal/min (Lb).

Der Kalorienverbrauch sank in der Erholungsphase nach zwei bzw. vier Minuten unterhalb des Ruhewertes (vgl. Abb. 24).

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte bei allen Belastungen einen signifikanten Unterschied im Messverlauf. Die anschließenden t-Tests konnten für die Stufenvergleiche 1 und 2 Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie 5 und 6 Moonwalker ohne Armeinsatz kein signifikantes Ergebnis nachweisen (vgl. Tab. 22).

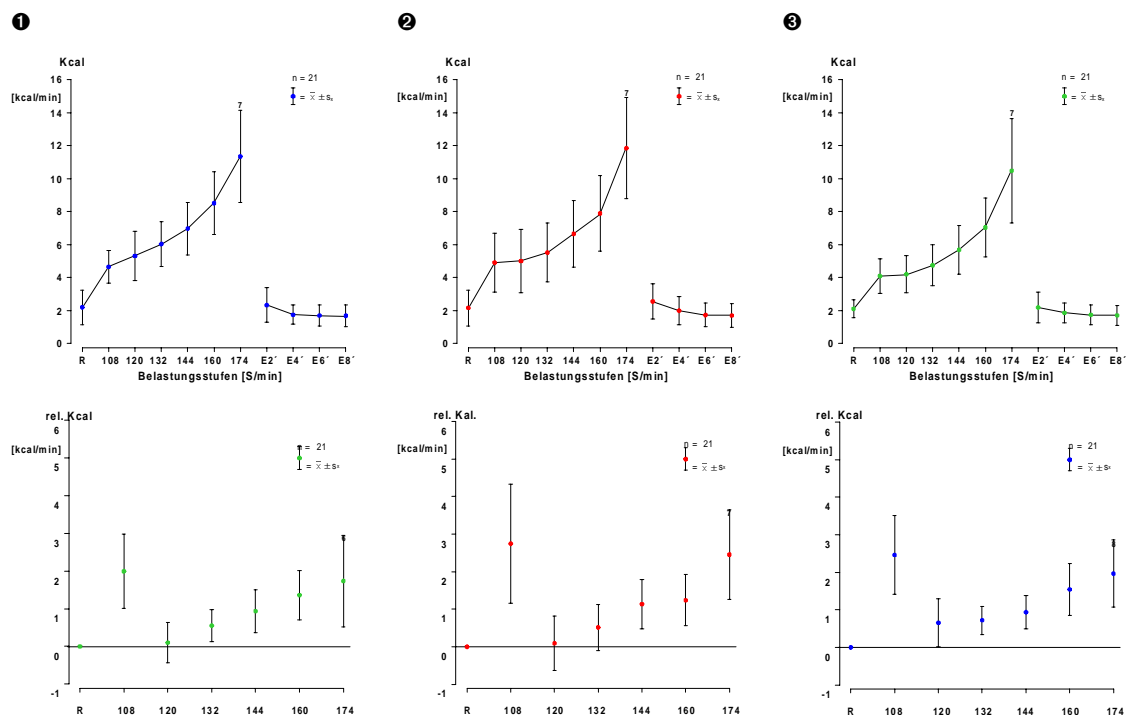


Abb. 24: Kalorienverbrauch während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband

Ordinate: Kalorienverbrauch in kcal/min bzw. Δ kcal/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung des absoluten Kalorienverbrauchs und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Moonwalker ohne Armeinsatz
- ❷ Moonwalker mit Armeinsatz
- ❸ Laufband

Tab. 22: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf den Kalorienverbrauch

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
Mo	0,000	0,000	0,400	0,000	0,000	0,000	0,017
Mm	0,000	0,000	0,573	0,001	0,000	0,000	0,003
Lb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003

Die Belastung ohne Armeinsatz ließ auf allen Belastungsstufen einen niedrigeren Kalorienverbrauch erkennen, die Differenzen lagen zwischen 0,77 und 1,81 kcal/min (vgl. Abb. 25).

Auf den Stufen 1 und 6 wurden auf dem Moonwalker mit Armeinsatz mehr Kalorien verbraucht als auf dem Laufband (Differenz 0,25 bzw. 0,31 kcal/min). Die übrigen Stufen ließen einen höheren Kalorienverbrauch auf dem Laufband erkennen (Differenzen zwischen 0,32 und 0,63 kcal/min) (vgl. Abb. 25).

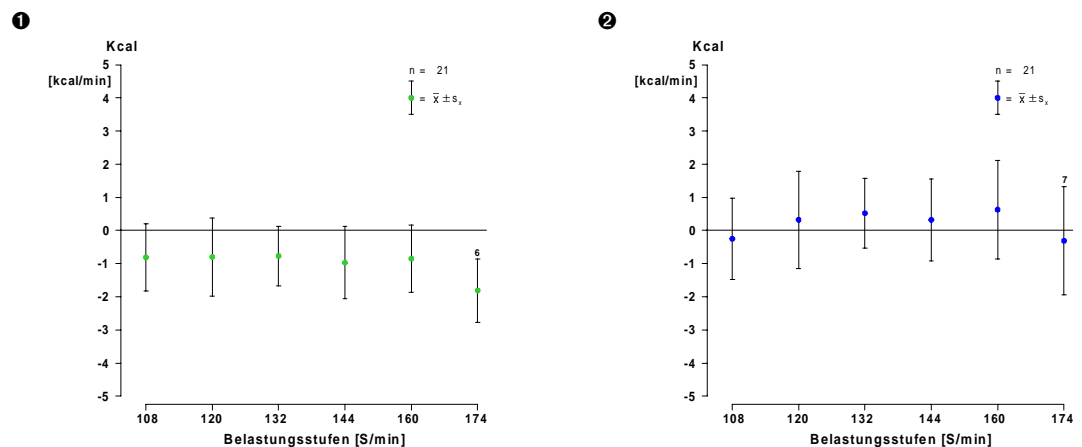


Abb. 25: Vergleich des Kalorienverbrauchs bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband

Ordinate: Kalorienverbrauch in kcal/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

- ① Moonwalker ohne und mit Armeinsatz
- ② Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte bei beiden Vergleichen keinen signifikanten Unterschied im Kalorienverbrauch (vgl. Tab. 23).

Tab. 23: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf den Kalorienverbrauch

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen Moonwalker ohne und mit Armeinsatz (Mo – Mm) bzw. Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband (Mm – Lb).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6
Mo – Mm	0,610	-	-	-	-	-	-
Mm – Lb	0,554	-	-	-	-	-	-

3.1.1.8 Herzfrequenz

Nach einem initialen Anstieg der Herzfrequenz in der ersten Belastungsstufe zeigte sich beim Moonwalker ohne und mit Armeinsatz eine geringfügige Änderung zur zweiten Belastungsstufe (relativer Anstieg von 0,72 bzw. 1,26 S/min). Deutlicher war der Anstieg bei der Belastung auf dem Laufband zu erkennen (6,68 S/min). In den folgenden Stufen ließ sich bei allen Belastungen ein deutlicher Anstieg der Herzfrequenz beobachten, der relative Anstieg war bei Stufe 6 am größten (12,91 S/min, 16,19 S/min bzw. 17,48 S/min). Die maximale Herzfrequenz betrug damit 145,47 S/min (Mo), 153,98 S/min (Mm) und 142,44 S/min (Lb).

In der Erholungsphase lag die Herzfrequenz nach acht Minuten noch leicht über (Mo und Lb) bzw. unter (Mm) dem Ruhewert (vgl. Abb. 26).

Die einfaktorielle Varianzanalyse wies für alle Belastungen einen signifikanten Unterschied im Messverlauf in Bezug auf die Herzfrequenz nach. Die t-Tests zeigten nur bei den Stufenvergleichen 1 und 2 sowie 2 und 3 bei der Belastung Moonwalker ohne und mit Armeinsatz keine signifikanten Ergebnisse an (vgl. Tab. 24).

Während bei den Stufen 1 und 2 in etwa die gleiche Herzfrequenz bei den Belastungen auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz erkennbar war (Differenz von 0,93 bzw. 0,38 S/min), lag die Herzfrequenz beim Moonwalker ohne Armeinsatz auf den folgenden Stufen niedriger (Differenzen zwischen 4,02 bis 9,22 S/min) (vgl. Abb. 27).

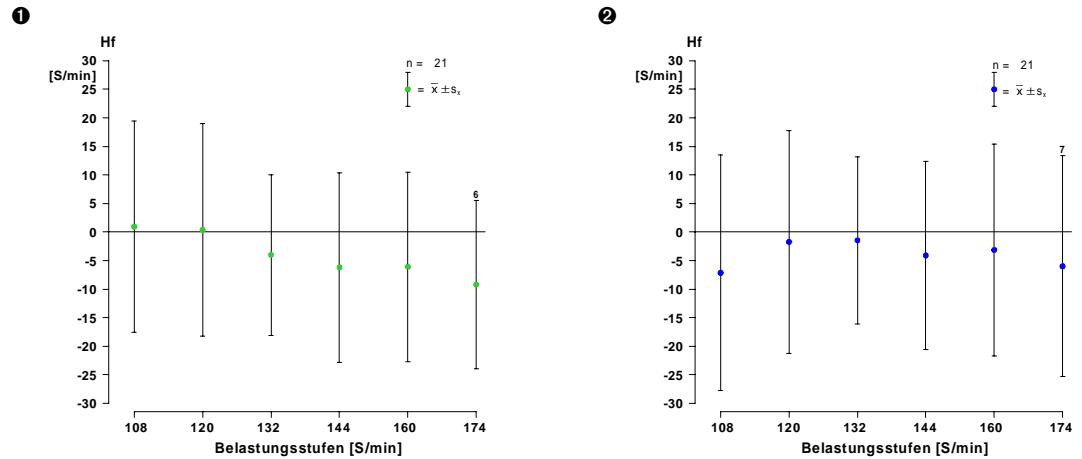


Abb. 27: Vergleich der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband

Ordinate: Herzfrequenz in S/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

❶ Moonwalker ohne und mit Armeinsatz

❷ Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband

Beim Vergleich Laufband und Moonwalker mit Armeinsatz ließ sich durchgehend eine höhere Herzfrequenz auf dem Moonwalker beobachten, die Differenzen lagen zwischen 1,47 und 7,16 S/min (vgl. Abb. 27).

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Herzfrequenz bei beiden Vergleichen an (vgl. Tab. 25).

Tab. 25: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf die Herzfrequenz

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen Moonwalker ohne und mit Armeinsatz (Mo – Mm) bzw. Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband (Mm – Lb).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6
Mo – Mm	0,621	-	-	-	-	-	-
Mm – Lb	0,249	-	-	-	-	-	-

3.1.1.9 Laktat

Bei allen Belastungen zeigte sich nach Belastungsbeginn ein Abfall des Laktats. Erst bei Stufe 4 stieg der Laktatwert wieder leicht an (relativer Anstieg von 0,09 mmol/l, 0,06 mmol/l und 0,10 mmol/l). Ein deutlicher Anstieg war zu Stufe 6 erkennbar, der maximale Laktatwert betrug 2,62 mmol/l (Mo), 2,78 mmol/l (Mm) bzw. 2,00 mmol/l (Lb).

In der Erholungsphase sank der Laktatwert bereits nach zwei Minuten in den Bereich des Ausgangswertes ab (vgl. Abb. 28).

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte nur für die Belastung auf dem Laufband ein signifikantes Ergebnis. Die anschließenden t-Tests ließen beim Stufenvergleich Ruhe zu Stufe 1 sowie Stufe 4 zu 5 einen signifikanten Unterschied erkennen (vgl. Tab. 26).

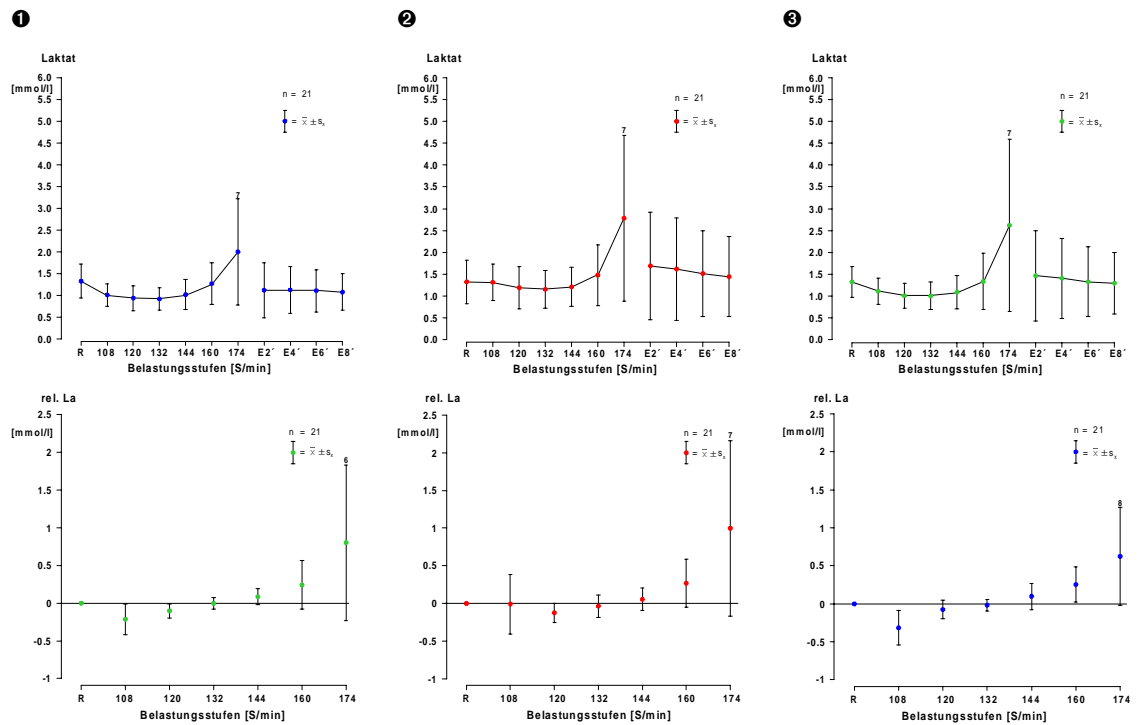


Abb. 28: Laktat während der Belastung auf dem Moonwalker mit und ohne Armeinsatz sowie Laufband

Ordinate: Laktat in mmol/l bzw. Δ mmol/l

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung des absoluten Laktats und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Moonwalker ohne Armeinsatz
- ❷ Moonwalker mit Armeinsatz
- ❸ Laufband

Tab. 26: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Moonwalker in Bezug auf das Laktat

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
Mo	0,083	-	-	-	-	-	-
Mm	0,057	-	-	-	-	-	-
Lb	0,029	0,000	0,011	0,328	0,017	0,000	0,057

Beim Vergleich der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz ließen sich geringe Unterschiede in den Laktatwerten erkennen. Die Werte bei der Belastung mit Armeinsatz waren zwischen 0,12 und 0,30 mmol/l höher als bei der Belastung ohne Armeinsatz (vgl. Abb. 29).

Ein ähnliches Bild zeigte sich auch beim Vergleich Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband. Hier lagen die Laktatwerte beim Moonwalker mit Armeinsatz um 0,20 bis 0,74 mmol/l über denen der Laufbandbelastung (vgl. Abb. 29).

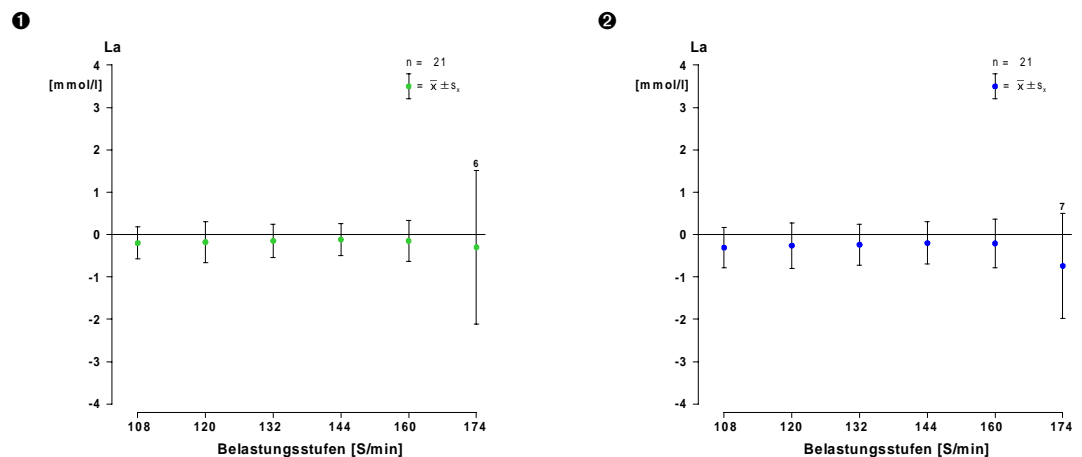


Abb. 29: Vergleich des Laktats bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und dem Laufband

Ordinate: Laktat in mmol/l

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

❶ Moonwalker ohne und mit Armeinsatz

❷ Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte keine signifikanten Unterschiede bei beiden Belastungsvergleichen (vgl. Tab. 27).

Tab. 27: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf das Laktat

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen Moonwalker ohne und mit Armeinsatz (Mo – Mm) bzw. Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband (Mm – Lb).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6
Mo – Mm	0,712	-	-	-	-	-	-
Mm – Lb	0,385	-	-	-	-	-	-

3.1.2 Subjektives Belastungsempfinden auf den einzelnen Geräten

3.1.2.1 Gerät Moonwalker ohne Armeinsatz

Auf dem Gerät Moonwalker ohne Armeinsatz lag die Belastung auf den Stufen 1 bis 6 zwischen sehr sehr leicht/leicht und schwer/sehr schwer. Ein starker subjektiver Belastungsanstieg war bei den Stufen 1 und 2, 3 und 4 sowie 5 und 6 zu erkennen (Anstieg des RPE-Wertes im Mittel um 2 bzw. 2,5).

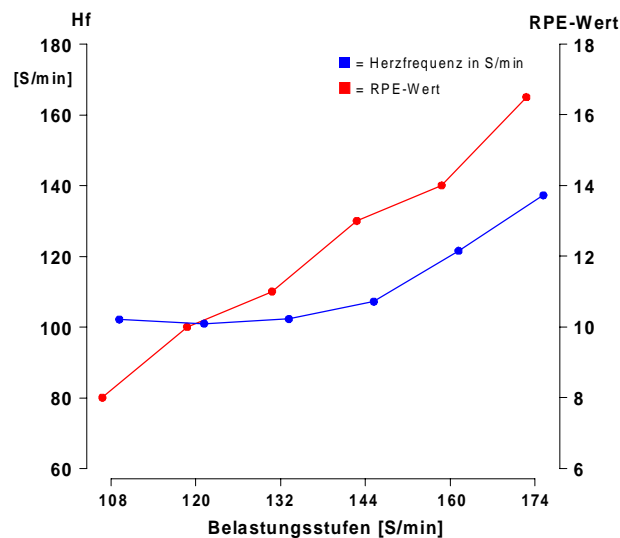


Abb. 30: Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Moonwalker ohne Armeinsatz

Ordinate 1: Herzfrequenz in S/min

Ordinate 2: RPE-Wert

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mediane der einzelnen Belastungsstufen

- RPE-Wert
- Herzfrequenz

Wurden den genannten RPE-Werten die entsprechende Herzfrequenz zugeordnet, so zeigte sich bei der ersten Stufe eine subjektiv niedrigere Einschätzung der Belastung (RPE-Wert von 8 bei einer Herzfrequenz von 102 S/min). Auf Stufe 2 entsprach das subjektive Belastungsempfinden der ermittelten Herzfrequenz (RPE-Wert von 10 bei einer Herzfrequenz von 101 S/min). Die weiteren Belastungsstufen wurden als subjektiv anstrengender bewertet, als die ermittelte Herzfrequenz anzeigte (vgl. Tab. 28 und Abb. 30).

Tab. 28: RPE-Wert und Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Moonwalker ohne Armeinsatz

Angegeben sind jeweils der Median und die Percentile 25 und 75 %.

	Median		Percentil 25 %		Percentil 75 %	
	RPE	HF	RPE	HF	RPE	HF
Stufe 1	8,00	102,18	8,00	96,00	9,00	115,00
Stufe 2	10,00	101,00	9,00	96,48	11,00	116,50
Stufe 3	11,00	102,33	10,50	97,10	12,00	115,60
Stufe 4	13,00	107,25	12,00	103,69	13,00	127,65
Stufe 5	14,00	121,61	13,00	110,82	15,00	143,35
Stufe 6	16,50	137,32	14,75	120,90	18,00	171,75

Tab. 29: Ergebnisse der t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Moonwalker ohne Armeinsatz

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6
0,001	0,015	0,217	0,006	0,002	0,046

Die Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz zeigte einen von Stufe zu Stufe ansteigenden Korrelationskoeffizienten, der jedoch erst ab Stufe 3 einen mittleren Zusammenhang ($r = 0,508$ bis $r = 0,613$) und bei Stufe 6 einen hohen Zusammenhang ($r = 0,812$) zwischen den beiden Werten erkennen ließ (vgl. Tab. 30).

Tab. 30: Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Moonwalker ohne Armeinsatz

Angegeben sind der Korrelationskoeffizient r und p -Wert der Signifikanzberechnung. Signifikanzen sind grau unterlegt.

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6
r-Wert	0,198	0,272	0,508	0,518	0,613	0,812
p-Wert	0,391	0,232	0,019	0,016	0,003	0,050

3.1.2.2 Gerät Moonwalker mit Armeinsatz

Das subjektive Belastungsempfinden lag bei dem Gerät Moonwalker mit Armeinsatz zwischen sehr sehr leicht / sehr leicht und sehr schwer. Der Anstieg der Belastung war von Stufe 1 zu 2 im Vergleich zu den anderen subjektiv geringer, hier stieg der RPE-Wert von 8 auf 9, die anderen Stufen zeigten jeweils einen Anstieg von 2 Werten.

Die Belastung während der ersten beiden Stufen wurde subjektiv niedriger eingeschätzt, als es die gemessene Herzfrequenz widerspiegelte. Auf Stufe 3 stimmte das subjektive Belastungsempfinden in etwa mit der objektiven Beanspruchung überein (RPE-Wert von 10 bei einer Herzfrequenz im Mittel von 113,21 S/min). Während der letzten drei Stufen lag die subjektive Einschätzung gering bis deutlich über der ermittelten Herzfrequenz (vgl. Tab. 31 und Abb. 31).

Tab. 31: RPE-Wert und Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Moonwalker mit Armeinsatz

Angegeben sind jeweils der Median und die Percentile 25 und 75 %.

	Median		Percentil 25 %		Percentil 75 %	
	RPE	HF	RPE	HF	RPE	HF
Stufe 1	8,00	108,60	8,00	94,58	10,50	114,31
Stufe 2	9,00	107,70	9,00	92,07	11,50	114,75
Stufe 3	11,00	113,21	11,00	97,65	12,50	120,08
Stufe 4	13,00	125,50	12,00	105,29	14,50	134,61
Stufe 5	15,00	131,41	13,00	109,66	16,00	153,31
Stufe 6	17,00	149,86	15,00	125,88	18,00	172,50

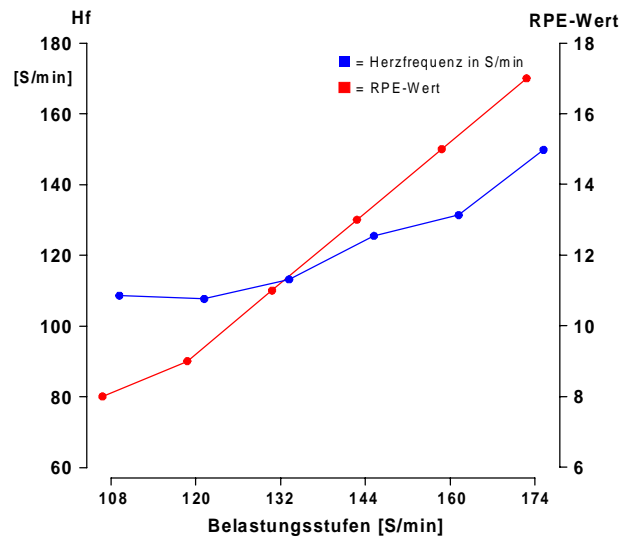


Abb. 31: Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Moonwalker mit Armeinsatz

Ordinate 1: Herzfrequenz in S/min

Ordinate 2: RPE-Wert

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mediane der einzelnen Belastungsstufen

- RPE-Wert
- Herzfrequenz

Der Vergleich der subjektiven Herzfrequenz (als Konsequenz der angegebenen RPE-Werte) und der objektiv ermittelten Herzfrequenz zeigte lediglich bei den Stufen 1 und 5 signifikante Ergebnisse (vgl. Tab. 32).

Tab. 32: Ergebnisse der t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Moonwalker mit Armeinsatz

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6
0,004	0,230	0,167	0,025	0,004	0,063

Es ließ sich bei der Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz ein mittlerer Zusammenhang bei den Stufen 1 bis 5 erkennen ($r=0,435$ bis $r=0,685$). Ein hoher Zusammenhang zeigte sich bei Stufe 6 ($r = 0,917$) (vgl. Tab. 33).

Tab. 33: Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Moonwalker mit Armeinsatz

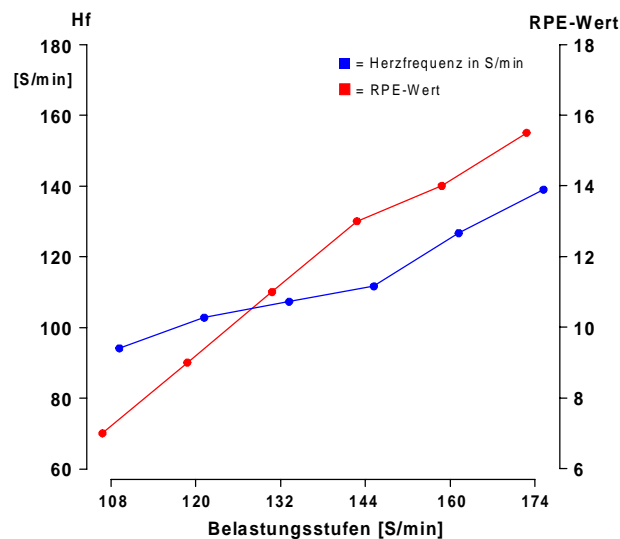
Angegeben sind der Korrelationskoeffizient r und p -Wert der Signifikanzberechnung. Signifikanzen sind grau unterlegt.

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6
r-Wert	0,465	0,626	0,610	0,435	0,685	0,917
p-Wert	0,034	0,002	0,003	0,049	0,001	0,004

3.1.2.3 Gerät Laufband

Die Belastung auf den einzelnen Stufen lag subjektiv zwischen sehr sehr leicht und schwer/ sehr schwer. Dabei schien die Belastungssteigerung zu den Stufen 2, 3 und 4 deutlicher zu sein als zu den höheren Stufen (jeweils Anstieg um zwei Werte zu Anstiegen zwischen 1 und 1,5).

Die ermittelte Herzfrequenz lag während der ersten beiden Stufen oberhalb des subjektiven Belastungsempfindens (94 bzw. 103 S/min zu RPE-Wert 7 bzw. 9). Auf Stufe 3 stimmte das subjektive Belastungsempfinden mit dem RPE-Wert 11 in etwa mit der objektiven Herzfrequenz von 107 S/min überein. Die folgenden Belastungsstufen wurden als deutlich anstrengender empfunden als mittels der Herzfrequenz nachgewiesen werden konnte (vgl. Tab. 34 und Abb. 32).

**Abb. 32: Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Laufband**

Ordinate 1: Herzfrequenz in S/min

Ordinate 2: RPE-Wert

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mediane der einzelnen Belastungsstufen

- RPE-Wert
- Herzfrequenz

Tab. 34: RPE-Wert und Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Laufband

Angegeben sind jeweils der Median und die Percentile 25 und 75 %.

	Median		Percentil 25 %		Percentil 75 %	
	RPE	HF	RPE	HF	RPE	HF
Stufe 1	7,00	94,13	7,00	83,99	8,00	111,56
Stufe 2	9,00	102,82	8,00	89,64	10,00	119,38
Stufe 3	11,00	107,29	10,00	96,32	12,00	123,66
Stufe 4	13,00	111,67	11,50	103,93	14,00	131,07
Stufe 5	14,00	126,70	13,00	115,10	15,00	142,17
Stufe 6	15,50	139,01	14,25	131,58	16,75	148,11

Es ließen sich signifikante Ergebnisse für die Vergleiche der subjektiv und objektiv ermittelten Herzfrequenz bei Stufe 1 und 2 feststellen (vgl. Tab. 35).

Tab. 35: Ergebnisse der t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Laufband

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6
0,000	0,002	0,394	0,025	0,033	0,069

Es ließ sich ein hoher Zusammenhang zwischen den RPE-Werten und der Herzfrequenz bei der Belastungsstufe 3 erkennen ($r=0,721$). Auf den Belastungsstufen 1, 2, 4 und 6 zeigte sich ein mittlerer Zusammenhang zwischen den beiden Parametern (vgl. Tab. 36).

Tab. 36: Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Laufband

Angegeben sind der Korrelationskoeffizient r und p -Wert der Signifikanzberechnung.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6
r-Wert	0,641	0,610	0,721	0,567	0,371	0,691
p-Wert	0,002	0,003	0,000	0,007	0,097	0,058

3.1.2.4 Vergleich der RPE-Werte auf dem Moonwalker ohne und mit Armeinsatz

Beim Vergleich der RPE-Werte auf dem Gerät Moonwalker mit Armeinsatz und ohne Armeinsatz zeigte sich auf den Stufen 1, 3 und 4 mit den RPE-Werten 8, 11 und 13 die gleiche Belastungseinschätzung. Während bei Stufe 2 die Belastung mit Armeinsatz niedriger eingeschätzt wurde, lagen die RPE-Werte bei den Stufen 5 und 6 höher als bei der Belastung ohne Armeinsatz. Der MANN-WHITNEY-U-Test zeigte keine signifikanten Ergebnisse, sodass die beschriebenen Werte nur als Tendenzen beurteilt werden können (vgl. Tab. 37).

Tab. 37: Vergleich der RPE-Werte beim Moonwalker mit und ohne Armeinsatz auf den einzelnen Belastungsstufen

Angegeben ist jeweils der Median und der p-Wert für den Paarvergleich.
Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha=0,009$.

	Moonwalker		p-Wert
	mit Armeinsatz	ohne Armeinsatz	
Stufe 1	8,00	8,00	0,513
Stufe 2	9,00	10,00	0,606
Stufe 3	11,00	11,00	0,693
Stufe 4	13,00	13,00	0,178
Stufe 5	15,00	14,00	0,119
Stufe 6	17,00	16,50	0,657

3.1.2.5 Vergleich der RPE-Werte auf den Geräten Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband

Die Belastungsstufen 2, 3 und 4 wurden auf beiden Geräten subjektiv gleich eingeschätzt (RPE-Werte von 9, 11 und 13). Die übrigen RPE-Werte lagen bei der Belastung auf dem Moonwalker immer leicht über denen des Laufbands. Auch hier konnten keine signifikanten Ergebnisse ermittelt werden, sodass die Vergleiche der beiden Werte nur tendenzielle Aussagen zulassen (vgl. Tab. 38).

Tab. 38: Vergleich der RPE-Werte beim Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband

Angegeben ist jeweils der Median und der p-Wert für den Paarvergleich.
Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha=0,009$.

	MW mit Armeinsatz	Laufband	p-Wert
Stufe 1	8,00	7,00	0,513
Stufe 2	9,00	9,00	0,606
Stufe 3	11,00	11,00	0,693
Stufe 4	13,00	13,00	0,178
Stufe 5	15,00	14,00	0,119
Stufe 6	17,00	16,00	0,657

3.1.3 Vergleich der Belastungscharakteristika auf dem Laufband bei vorgegebener und individuell wählbarer Schrittfrequenz

Bei allen Parametern konnten höhere Werte bei der Belastung mit vorgegebener Schrittfrequenz registriert werden. Die Differenzen zwischen den Belastungen waren bei den Parametern Atemzugvolumen, Respiratorischer Quotient und Sauerstoffpuls nicht signifikant (vgl. Tab. 39).

Tab. 39: Vergleich der Belastungscharakteristika bei der Belastung mit vorgegebener und individuell gewählter Schrittfrequenz

Angegeben sind Mittelwerte \pm Standardabweichungen der beiden Belastungen und deren Differenz sowie die ermittelten p-Werte beim Paarvergleich.
Signifikanzen sind grau unterlegt.

	Schrittfrequenz			p-Wert
	vorgegeben	individuell	Differenz	
VT	1,51 \pm 0,50	1,48 \pm 0,39	0,03 \pm 0,17	0,449
VE	46,23 \pm 14,32	38,51 \pm 9,27	7,72 \pm 7,99	0,000
VO ₂	1921,05 \pm 559,63	1649,09 \pm 416,35	271,96 \pm 254,21	0,000
VO ₂ /kg KG	28,31 \pm 4,65	24,45 \pm 3,30	3,86 \pm 3,23	0,000
RQ	0,80 \pm 0,06	0,79 \pm 0,05	0,01 \pm 0,03	0,180
Kcal	9,24 \pm 2,67	7,91 \pm 1,97	1,33 \pm 1,26	0,000
HF	134,64 \pm 19,38	120,95 \pm 19,83	13,69 \pm 17,38	0,002
VO ₂ /HF	14,44 \pm 4,19	13,95 \pm 3,82	0,50 \pm 1,52	0,150
LA	1,48 \pm 0,87	1,30 \pm 0,76	0,18 \pm 0,29	0,011

Entsprechend der oben angeführten Werte wurde die Belastung auch subjektiv leicht höher eingeschätzt, lag jedoch mit den gemittelten RPE-Werten 13 und 14 in etwa auf dem gleichen Niveau (vgl. Tab. 40).

Tab. 40: Vergleich des subjektiven Belastungsempfinden bei der Belastung mit vorgegebener und individuell gewählter Schrittfrequenz

Angegeben sind jeweils der Median und die Percentile 25 und 75 % sowie der p-Wert des Paarvergleiches.

Signifikanz ist grau unterlegt.

Median		Percentil 25 %		Percentil 75 %		p-Wert
vorgegeben	individuell	vorgegeben	individuell	vorgegeben	individuell	
14,00	13,00	13,00	11,50	15,00	13,50	0,000

3.2 Untersuchung Crosstrainer

Ausgehend von den in Kapitel 1 dargestellten Fragestellungen der Teilstudie wurden folgende Untersuchungsschwerpunkte gesetzt:

- Spirometrische und metabolische Belastungscharakteristika während der einzelnen Belastungsstufen auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie auf dem Fahrradergometer (vgl. Kapitel 3.2.1)
- Vergleich der Belastungscharakteristika auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz (vgl. Kapitel 3.2.1)
- Vergleich der Belastungscharakteristika auf dem Crosstrainer mit Armeinsatz und dem Fahrradergometer (vgl. Kapitel 3.2.1)
- Subjektives Belastungsempfinden auf den Geräten Crosstrainer und Fahrradergometer einzeln und im Vergleich sowie in Beziehung zur Herzfrequenz (vgl. Kapitel 3.2.2).

Da die Belastungsdauer von der subjektiven Ausbelastung des Probanden abhängig war, ergab sich für die einzelnen Untersuchungen eine unterschiedliche Anzahl von Probanden. Aus diesem Grund stimmen auch die gemittelten Werte der Belastungsvergleiche nicht immer mit denen der Einzelvergleiche überein.

3.2.1 Spirometrische und metabolische Belastungscharakteristika während der einzelnen Belastungsstufen

3.2.1.1 Atemzugvolumen

Während der gesamten Belastung ließ sich bei allen Untersuchungen nur eine geringe Änderung des Atemzugvolumens feststellen. Es zeigten sich beim Crosstrainer ohne Armeinsatz relative Abfälle von - 0,04 bis 0,13 l, beim Crosstrainer mit Armeinsatz von - 0,18 bis 0,18 l und beim Fahrradergometer von - 0,10 bis 0,18 l. Das maximale Atemzugvolumen konnte bei Stufe 8 (Co und Ergo) bzw. 7 (Cm) verzeichnet werden (Crosstrainer ohne Armeinsatz 2,74 l, Crosstrainer mit Armeinsatz 2,48 l und Fahrradergometer 1,93 l).

In der Erholungsphase lag das Atemzugvolumen nach acht Minuten noch über den Ruhewerten (vgl. Abb. 33).

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte bei allen Belastungen einen signifikanten Unterschied im Messverlauf. Im anschließenden t-Tests konnte für die Stufenvergleiche Ruhe zu Stufe 1 für alle Belastungen und Stufe 2 zu 3 für die Belastung auf dem Crosstrainer mit Armeinsatz ein signifikantes Ergebnis ermittelt werden (vgl. Tab. 41).

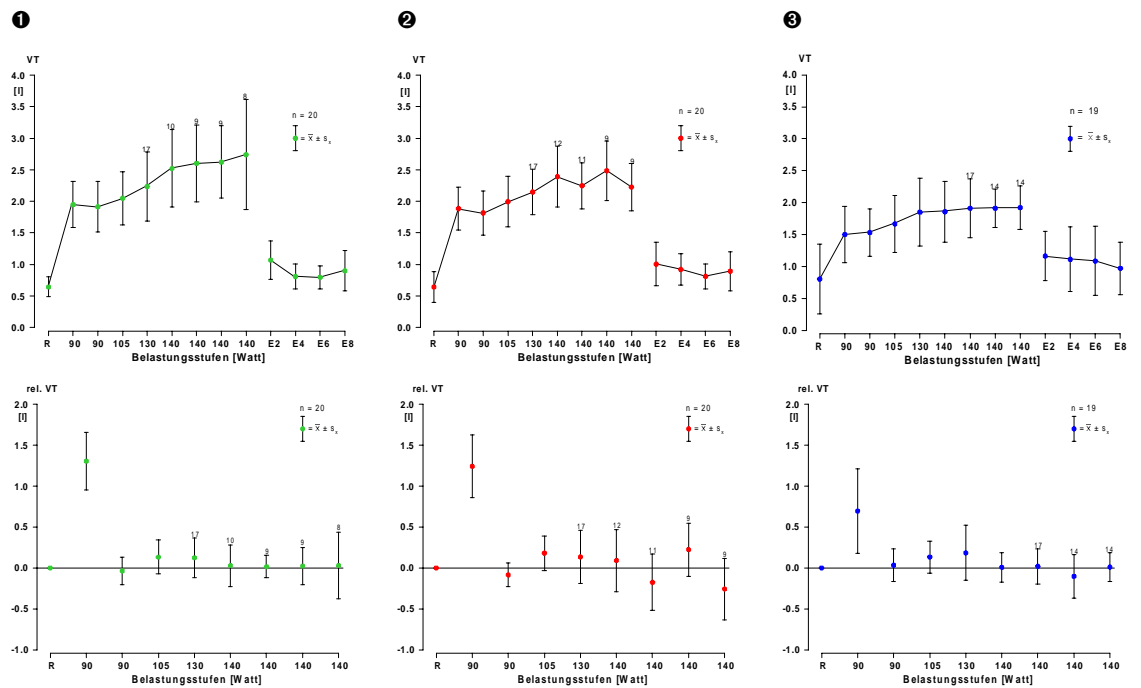


Abb. 33: Atemzugvolumen während der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz und auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer

Ordinate: Atemzugvolumen in l bzw. Δ l

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung des absoluten Atemzugvolumens und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Crosstrainer ohne Armeinsatz
- ❷ Crosstrainer mit Armeinsatz
- ❸ Fahrradergometer

Tab. 41: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf das Atemzugvolumen

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanz sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8
Co	0,000	0,000	0,463	0,015	0,032	0,764	0,745	0,775	0,083
Cm	0,000	0,000	0,022	0,002	0,124	0,524	0,255	0,072	0,104
Ergo	0,000	0,000	0,513	0,008	0,069	0,567	0,580	0,053	0,525

3.2.1.2 Atemminutenvolumen

Nach einem initialen Anstieg des Atemminutenvolumens in der ersten Belastungsstufe zeigte sich zur zweiten Stufe ein in etwa gleich hoher Wert (relativer Anstieg von 1,85 bis 3,92 l/min). Die Anstiege nahmen zu den beiden folgenden Stufen leicht zu, auf den Stufen 5 bis 8 ließ sich wiederum nur eine geringe Änderung des Atemminutenvolumens erkennen (relative Anstiege von -1,26 bis 3,66 l/min). Beim Crosstrainer ohne Armeinsatz und beim Fahrradergometer zeigte sich das maximale Atemminutenvolumen mit 77,27 bzw. 55,98 l/min bei Stufe 8. Beim Crosstrainer mit Armeinsatz war der maximale Wert bei Stufe 6 zu beobachten (75,17 l/min).

Die Erholungsphase zeigte nach acht Minuten ein höheres Atemminutenvolumen bei allen Belastungen (vgl. Abb. 35).

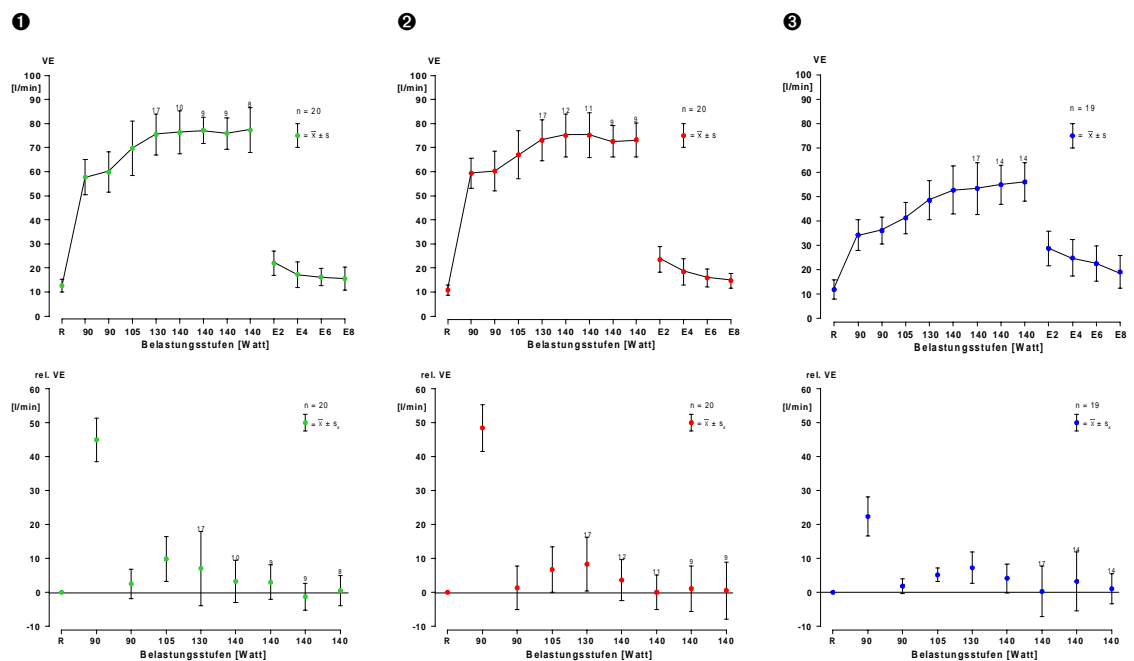


Abb. 35: Atemminutenvolumen während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer

Ordinate: Atemzugvolumen in l/min bzw. Δ l/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung des absoluten Atemminutenvolumens und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Crosstrainer ohne Armeinsatz
- ❷ Crosstrainer mit Armeinsatz
- ❸ Fahrradergometer

Die einfaktorielle Varianzanalyse ließ bei allen Belastungen einen signifikanten Unterschied in der Messwiederholung erkennen. Die t-Tests zeigten signifikante Ergebnisse

beim Stufenvergleich Ruhe zu 1 und 2 zu 3 bei allen Belastungen sowie 1 zu 2 bei der Belastung auf dem Fahrradergometer und 3 zu 4 beim Crosstrainer mit Armeinsatz und beim Fahrradergometer (vgl. Tab. 43).

Tab. 43: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf das Atemminutenvolumen

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8
Co	0,000	0,000	0,014	0,000	0,033	0,247	0,116	0,366	0,748
Cm	0,000	0,000	0,377	0,000	0,000	0,315	0,874	0,634	0,957
Ergo	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,233	0,056	0,802	0,596

Auf den Stufen 1 und 2 war ein leicht höheres Atemminutenvolumen bei der Belastung auf dem Crosstrainer mit Armeinsatz im Vergleich zum Crosstrainer ohne Armeinsatz zu beobachten (Differenz von 1,22 bzw. 0,43 l/min). Auf den folgenden Stufen ließen sich höhere Werte bei der Belastung ohne Armeinsatz erkennen (Differenz von 2,70 bis 5,68 l/min) (vgl. Abb. 36).

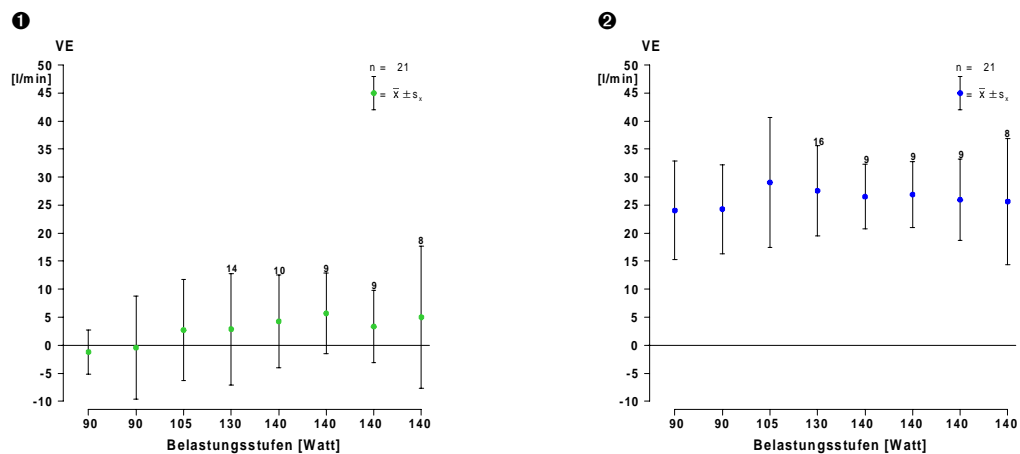


Abb. 36: Vergleich des Atemminutenvolumens bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer

Ordinate: Atemminutenvolumen in l/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

❶ Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz

❷ Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer

Im Vergleich der Belastungen Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer zeigte sich bei allen Belastungsstufen ein höheres Atemminutenvolumen beim Crosstrainer, die Differenzen lagen zwischen 24,04 und 29,04 l/min (vgl. Abb. 36).

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte für den Vergleich Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer einen signifikanten Unterschied im Messverlauf an. Die anschließenden t-Tests wiesen für alle Vergleiche ein signifikantes Ergebnis nach (vgl. Tab. 44).

Tab. 44: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf das Atemminutenvolumen

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen

Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz (Co – Cm) bzw.

Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer (Co – Ergo).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6	7 – 7	8 – 8
Co – Cm	0,394	-	-	-	-	-	-	-	-
Co – Ergo	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

3.2.1.3 Absolute Sauerstoffaufnahme

Es ließen sich bei allen Belastungen deutliche Anstiege der Sauerstoffaufnahme von Stufe 2 zu 3 und 3 zu 4 erkennen (relative Anstiege von 200,00 bis 291,55 ml/min). Auf allen übrigen Stufen zeigte sich nur ein geringer Anstieg bzw. Abfall, die maximale Sauerstoffaufnahme betrug 3384,60 ml/min (Co bei Stufe 6), 3177,38 ml/min (Cm bei Stufe 7) und 2177,37 ml/min (Ergo bei Stufe 8).

Die absolute Sauerstoffaufnahme lag in der Erholungsphase über dem Ruhewert (vgl. Abb. 37).

Es ließen sich signifikante Unterschiede im Messverlauf bei allen Belastungen nachweisen. Die anschließenden t-Tests zeigten signifikante Unterschiede zwischen Ruhe und Stufe 1 sowie Stufe 2 und 3 bei allen Belastungen sowie zwischen Stufe 3 und 4 bei den Belastungen auf dem Crosstrainer mit Armeinsatz und dem Fahrradergometer (vgl. Tab. 45).

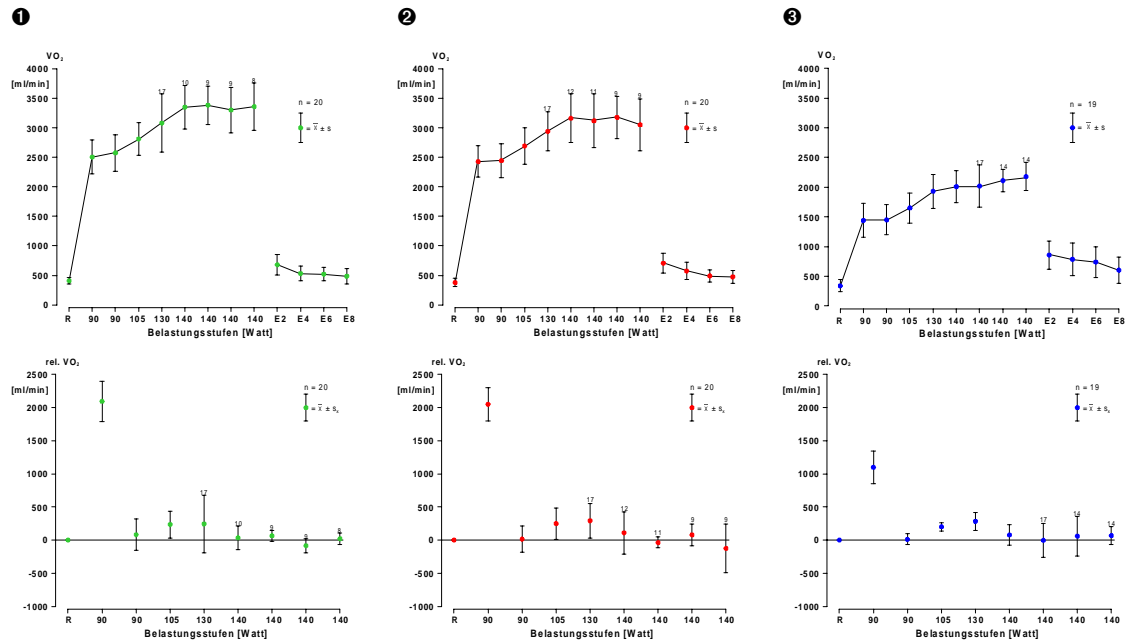


Abb. 37: Absolute Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer

Ordinate: Absolute Sauerstoffaufnahme in ml/min bzw. Δ ml/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der absoluten Sauerstoffaufnahme und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Crosstrainer ohne Armeinsatz
- ❷ Crosstrainer mit Armeinsatz
- ❸ Fahrradergometer

Tab. 45: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf die absolute Sauerstoffaufnahme

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8
Co	0,000	0,000	0,130	0,000	0,025	0,849	0,044	0,044	0,484
Cm	0,000	0,000	0,715	0,000	0,000	0,586	0,262	0,191	0,309
Ergo	0,000	0,000	0,560	0,000	0,000	0,489	0,360	0,580	0,157

Auf allen Belastungsstufen zeigte sich beim Crosstrainer ohne Armeinsatz eine höhere Sauerstoffaufnahme als beim Crosstrainer mit Armeinsatz. Die Differenzen lagen zwischen 81,74 und 302,41 ml/min (vgl. Abb. 38).

3.2.1.4 Relative Sauerstoffaufnahme

Auch hier ließen sich bei allen Belastungen deutliche Änderungen bei den Stufen 3 und 4 erkennen. Die relative Sauerstoffaufnahme stieg um 2,71 bis 4,02 ml/min an. Auf den übrigen Stufen waren kaum Änderungen zu erkennen. Die maximale relative Sauerstoffaufnahme fand sich beim Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz mit 42,75 bzw. 40,95 ml/min auf Stufe 5 und beim Fahrradergometer mit 29,34 ml/min auf Stufe 8.

In der Erholungsphase lag die relative Sauerstoffaufnahme über den Ruhewerten (vgl. Abb. 39).

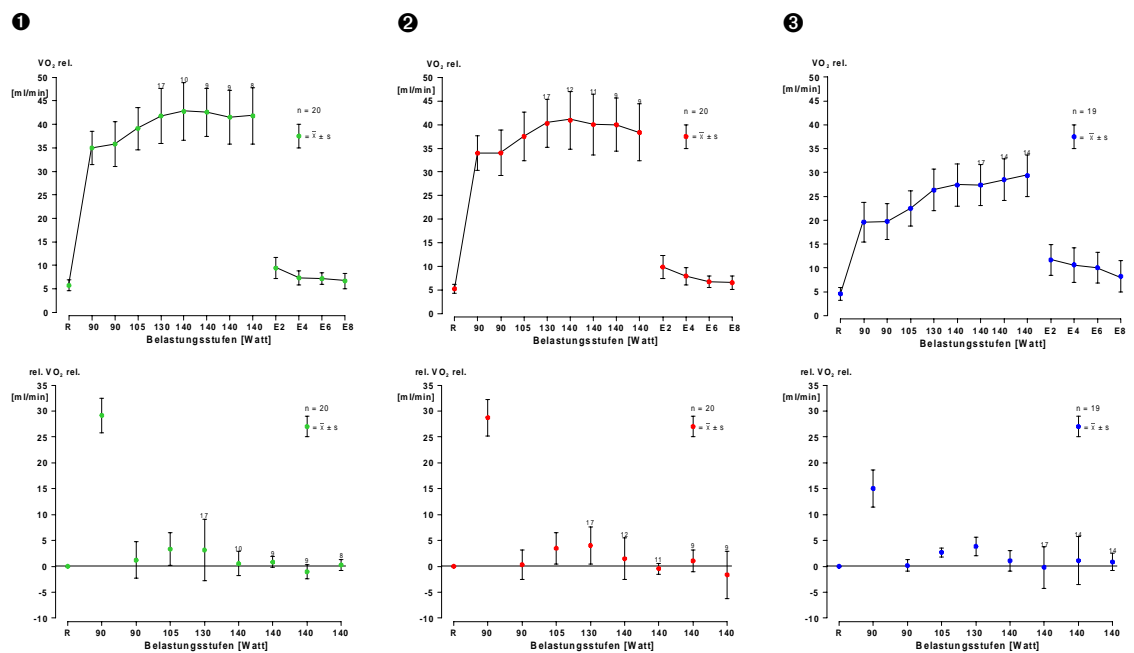


Abb. 39: Relative Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer

Ordinate: Relative Sauerstoffaufnahme in ml bzw. Δl

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung absoluten relativen Sauerstoffaufnahme und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Crosstrainer ohne Armeinsatz
- ❷ Crosstrainer mit Armeinsatz
- ❸ Fahrradergometer

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte bei allen Belastungen einen signifikanten Unterschied im Messverlauf. Die anschließenden t-Tests wiesen signifikante Ergebnisse für die Stufenvergleiche Ruhe zu 1 und Stufe 2 zu 3 bei allen Belastungen sowie für Stufe 3 zu 4 bei der Belastung auf dem Crosstrainer mit Armeinsatz und Fahrradergometer aus (vgl. Tab. 47).

Tab. 47: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf die relative Sauerstoffaufnahme

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8
Co	0,000	0,000	0,143	0,000	0,029	0,795	0,049	0,045	0,546
Cm	0,000	0,000	0,636	0,000	0,000	0,591	0,285	0,169	0,281
Ergo	0,000	0,000	0,592	0,000	0,000	0,495	0,289	0,580	0,148

Die Differenzen zwischen der Belastung auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Crosstrainer mit Armeinsatz lagen zwischen 1,11 und 3,64 ml/min. Auf allen Stufen zeigten sich dabei die höheren Werte bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz (vgl. Abb. 40).

Der Vergleich Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer zeigte auf allen Belastungsstufen eine höhere relative Sauerstoffaufnahme auf dem Crosstrainer. Die Differenzen betragen zwischen 13,70 und 16,65 ml/min (vgl. Abb. 40).

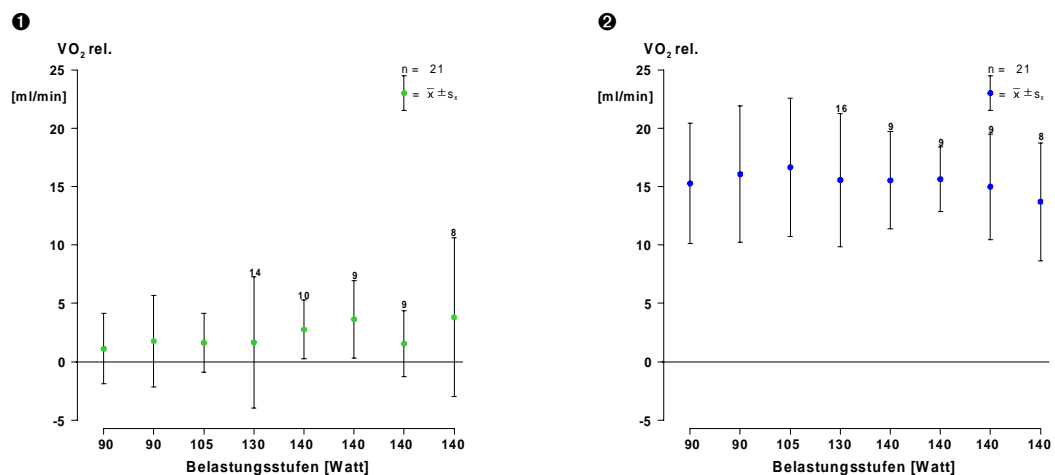


Abb. 40: Vergleich der relativen Sauerstoffaufnahme bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer

Ordinate: Relative Sauerstoffaufnahme in ml/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

❶ Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz

❷ Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte einen signifikanten Unterschied beim Vergleich Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer. In den anschließenden t-Tests ließen sich signifikante Ergebnisse auf allen Stufen nachweisen (vgl. Tab. 48).

Tab. 48: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf die relative Sauerstoffaufnahme

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen

Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz (Co – Cm) bzw.

Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer (Co – Ergo).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 - 1	2 - 2	3 - 3	4 - 4	5 - 5	6 - 6	7 - 7	8 - 8
Co - Cm	0,740	-	-	-	-	-	-	-	-
Co - Ergo	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

3.2.1.5 Sauerstoffpuls

Nach einem initialen Anstieg in der ersten Belastungsstufe zeigte sich auf den folgenden Stufen kaum eine Änderung des Sauerstoffpulses bei allen Belastungen. Die relativen Anstiege lagen zwischen -0,84 und 0,89 ml/S. Es ergab sich ein maximaler Sauerstoffpuls von 20,58 ml/S (Co Stufe 5), 19,97 ml/S (Cm Stufe 5) und 14,95 ml/S (Ergo Stufe 8).

In der Erholungsphase sank der Sauerstoffpuls bei den Belastungen auf dem Crosstrainer nach acht Minuten unter den Ruhewert. Beim Laufband wurde auch nach acht Minuten nicht der Ausgangswert erreicht (vgl. Abb. 41).

Die einfaktorielle Varianzanalyse ließ bei allen Belastungen einen signifikanten Unterschied im Messverlauf erkennen. Die anschließenden t-Tests zeigten beim Stufenvergleich Ruhe zu Stufe 1 bei allen Belastungen und Stufe 2 zu 3 bei der Belastung auf dem Fahrradergometer einen signifikanten Unterschied (vgl. Tab. 49).

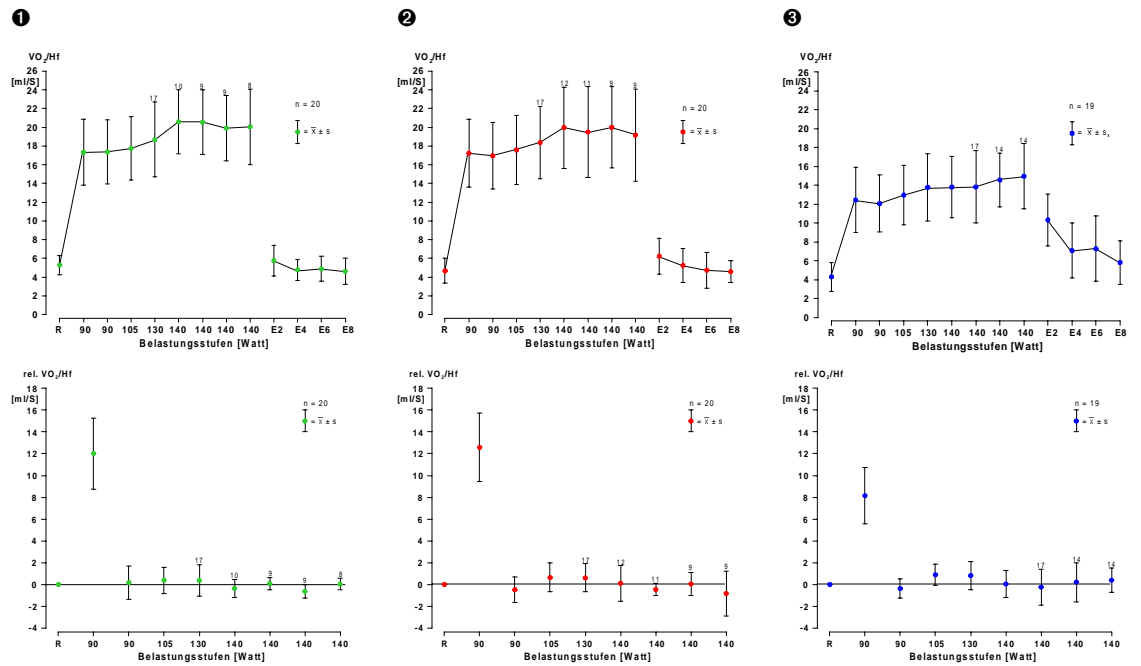


Abb. 41: Sauerstoffpuls während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer

Ordinate: Sauerstoffpuls in ml/S bzw. Δ ml/S

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung des absoluten Sauerstoffpulses und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Crosstrainer ohne Armeinsatz
- ❷ Crosstrainer mit Armeinsatz
- ❸ Fahrradergometer

Tab. 49: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf den Sauerstoffpuls

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8
Co	0,000	0,000	0,512	0,269	0,287	0,182	0,678	0,013	0,897
Cm	0,000	0,000	0,111	0,061	0,077	0,954	0,045	0,899	0,253
Ergo	0,000	0,000	0,079	0,001	0,036	0,821	0,859	0,528	0,302

3.2.1.6 Respiratorischer Quotient

Beim respiratorischen Quotienten zeigten sich nach einem deutlichen Anstieg (Belastung Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz 0,12 bzw. 0,07) nur noch geringe Veränderungen während der folgenden Belastungsstufen. Es ließen sich Differenzen zwischen - 0,03 und 0,03 ermitteln.

In der Erholungsphase stieg der respiratorische Quotient zunächst leicht an, im weiteren Verlauf näherte er sich dem Ausgangswert wieder an (vgl. Abb. 43).

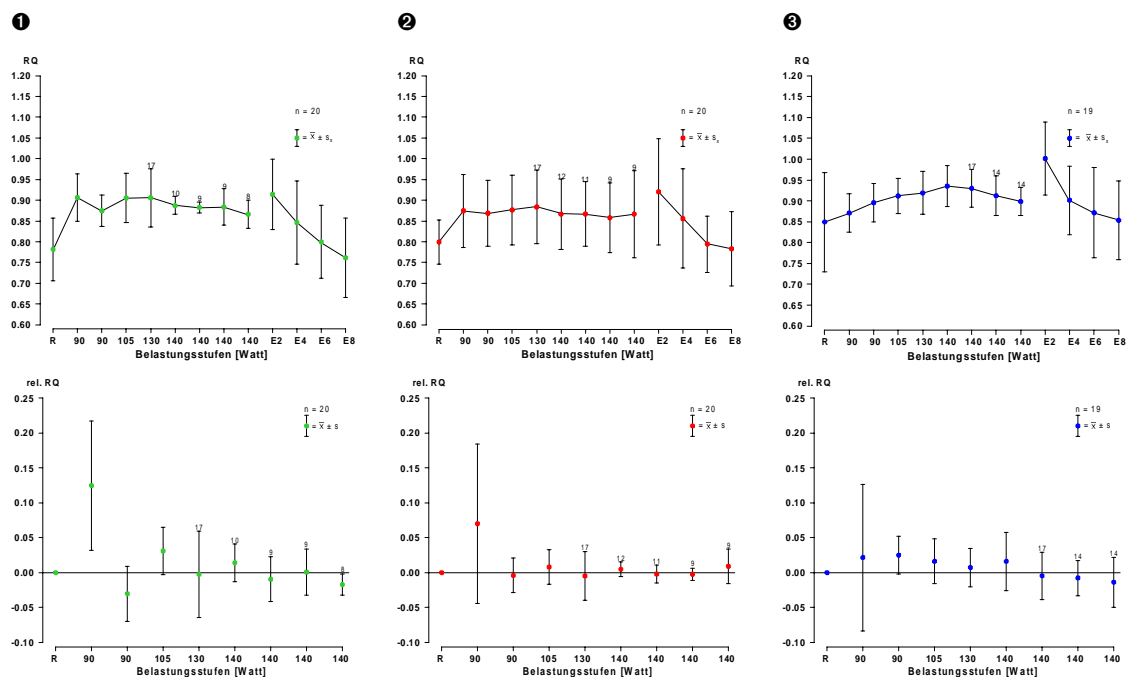


Abb. 43: Respiratorischer Quotient während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer

Ordinate: Respiratorischer Quotient bzw. Δ des respiratorischen Quotienten

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung des absoluten respiratorischen Quotienten und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Crosstrainer ohne Armeinsatz
- ❷ Crosstrainer mit Armeinsatz
- ❸ Fahrradergometer

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte ein signifikantes Ergebnis bei der Belastung ohne Armeinsatz an. Die anschließenden t-Tests ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen Ruhe und Stufe 1 (vgl. Tab. 51).

Tab. 51: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf den respiratorischen Quotienten

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8
Co	0,000	0,000	0,042	0,009	0,666	0,428	0,590	0,966	0,110
Cm	0,517	-	-	-	-	-	-	-	-
Ergo	0,221	-	-	-	-	-	-	-	-

Der Vergleich Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz zeigte bei den Stufen 4 bis 7 einen höheren respiratorischen Quotienten bei der Belastung ohne Armeinsatz an (Differenzen zwischen 0,01 und 0,05). Auf den übrigen Stufen lag der respiratorische Quotient bei der Belastung mit Armeinsatz höher (Differenzen von 0,01 bzw. 0,02) (vgl. Abb. 44).

Auf den Stufen 1 und 7 lag der respiratorische Quotient bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz höher als bei der Belastung auf dem Laufband. Die übrigen Stufen zeigten Differenzen zwischen 0,01 und 0,03 (vgl. Abb. 44).

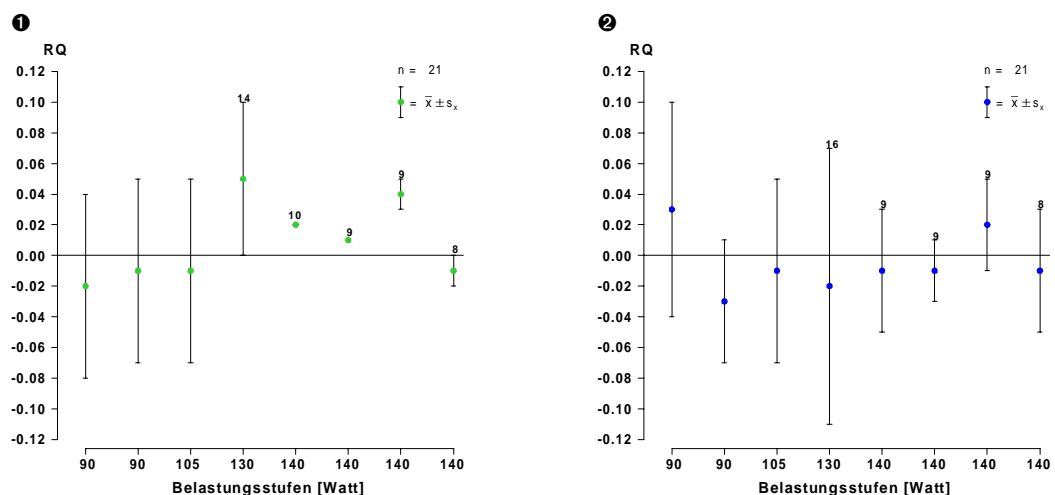


Abb. 44: Vergleich des respiratorischen Quotienten bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer

Ordinate: Respiratorischer Quotient

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

① Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz

② Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer

Es konnten bei beiden Vergleichen keine signifikanten Unterschiede im Messverlauf nachgewiesen werden (vgl. Tab. 52).

Tab. 52: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf den respiratorischen Quotienten

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen

Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz (Co – Cm) bzw.

Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer (Co – Ergo).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6	7 – 7	8 – 8
Co – Cm	0,493	-	-	-	-	-	-	-	-
Co – Ergo	0,704	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2.1.7 Kalorienverbrauch

Nach einem initialen Anstieg während der ersten Belastungsstufe zeigte sich auf der zweiten Stufe annähernd der gleiche Kalorienverbrauch (relativer Anstieg 0,18 bis 1,00 kcal/min). Auf den folgenden drei Stufen ließ sich bei allen Belastungen eine leichte Zunahme des Kalorienverbrauch erkennen, auf den letzten drei Stufen veränderte sich der Kalorienverbrauch geringfügig (relativer Anstieg von -0,55 bis 0,30 kcal/min). Der höchste Kalorienverbrauch betrug beim Crosstrainer ohne Armeinsatz 16,09 kcal/min (Stufe 5), beim Crosstrainer mit Armeinsatz 16,12 kcal/min (Stufe 7) und beim Fahrradergometer 10,72 kcal/min (Stufe 8).

Nach Belastung kam es zu einem deutlichen Abfall des Kalorienverbrauches, er lag jedoch auch nach acht Minuten noch leicht über dem Ausgangswert (vgl. Abb. 45).

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte bei allen Belastungen einen signifikanten Unterschied im Messverlauf. In den anschließenden t-Tests konnten für die Stufenvergleiche Ruhe zu Stufe 1 und Stufe 2 zu 3 bei allen Belastungen und für Stufe 3 zu 4 bei der Belastung auf dem Crosstrainer mit Armeinsatz und auf dem Fahrradergometer signifikante Ergebnisse ermittelt werden (vgl. Tab. 53).

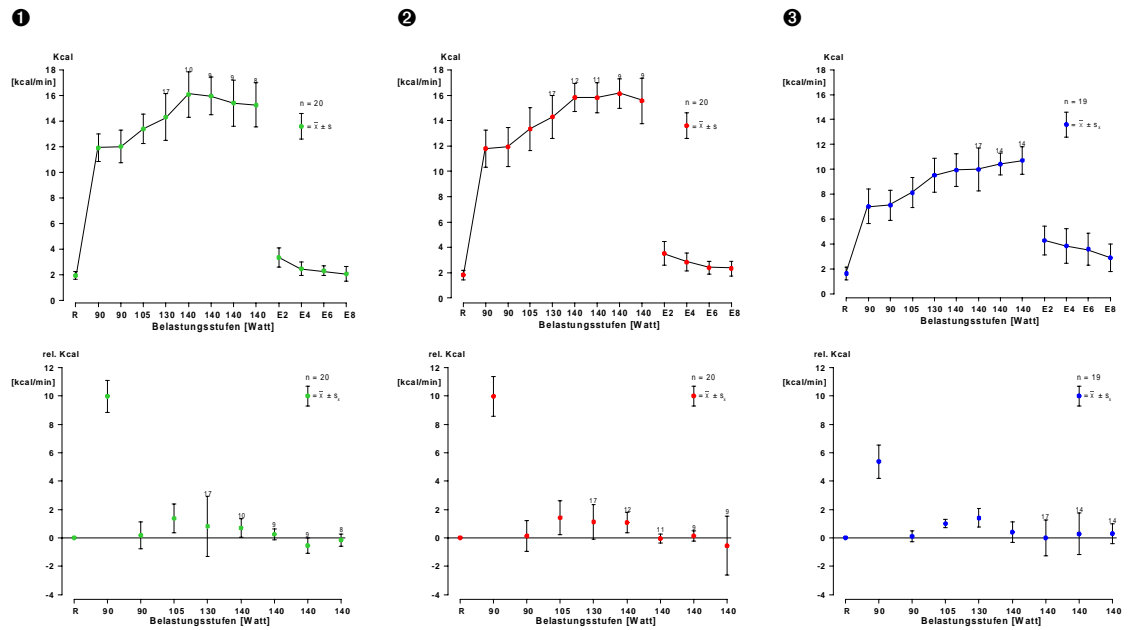


Abb. 45: Kalorienverbrauch während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer

Ordinate: Kalorienverbrauch in kcal/min bzw. Δ kcal/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung des absoluten Kalorienverbrauchs und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Crosstrainer ohne Armeinsatz
- ❷ Crosstrainer mit Armeinsatz
- ❸ Fahrradergometer

Tab. 53: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf den Kalorienverbrauch

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanz sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8
Co	0,000	0,000	0,457	0,001	0,535	0,206	0,295	0,133	0,537
Cm	0,000	0,000	0,652	0,001	0,005	0,011	0,740	0,348	0,475
Ergo	0,000	0,000	0,247	0,000	0,000	0,432	0,234	0,452	0,192

Im Vergleich der Belastungen auf dem Crosstrainer zeigten sich nur bei den Stufen 5 und 6 leicht höhere Werte beim Crosstrainer mit Armeinsatz (Differenzen bei 0,41 bzw. 0,11 kcal/min). Auf den übrigen Stufen ließ sich ein höherer Kalorienverbrauch bei der Belastung ohne Armeinsatz erkennen, die Differenzen lagen hier zwischen 0,45 und 1,29 kcal/min (vgl. Abb. 46).

Deutlichere Differenzen waren beim Vergleich Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer zu beobachten. Der Kalorienverbrauch beim Crosstrainer ohne Armeinsatz lag mit 5,12 bis 6,23 kcal/min über dem beim Fahrradergometer (vgl. Abb. 46).

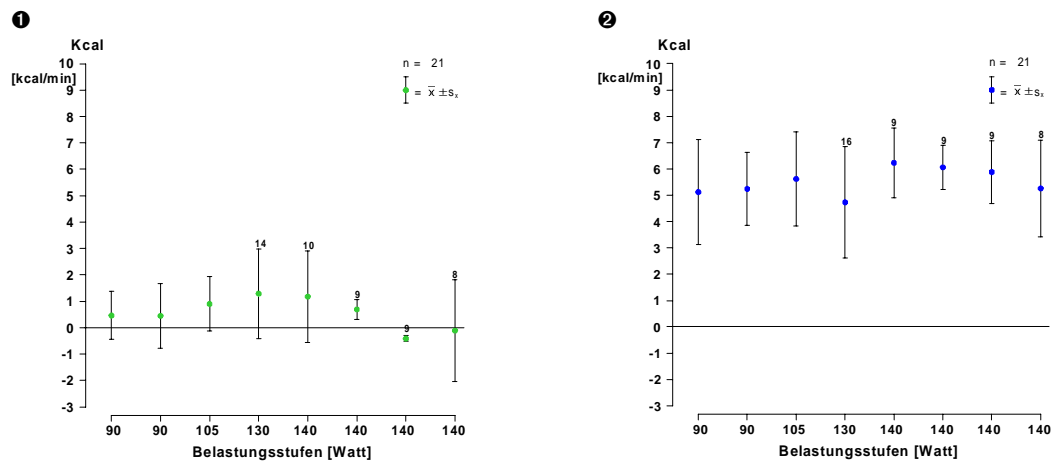


Abb. 46: Vergleich des Kalorienverbrauchs bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer

Ordinate: Kalorienverbrauch in kcal/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

❶ Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz

❷ Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer

Es konnte ein signifikanter Unterschied im Messverlauf beim Vergleich Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer ermittelt werden. Die t-Tests zeigten keine signifikanten Unterschiede auf den Stufen 7 und 8 (vgl. Tab. 54).

Tab. 54: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf den Kalorienverbrauch

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen

Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz (Co – Cm) bzw.

Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer (Co – Ergo).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6	7 – 7	8 – 8
Co – Cm	0,386	-	-	-	-	-	-	-	-
Co – Ergo	0,008	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005	0,002	0,017	0,023

3.2.1.8 Herzfrequenz

Bei allen Belastungen waren die höchsten Anstiege bei den Stufen 3 und 4 zu erkennen (relativer Anstieg von 7,68 bis 13,63 S/min). Die übrigen Anstiege lagen mit 0,91 bis 5,81 S/min deutlicher darunter. Die maximale Herzfrequenz zeigte sich beim Crosstrainer ohne Armeinsatz bei Stufe 8 (170,35 S/min), beim Crosstrainer mit Armeinsatz und beim Fahrradergometer bei Stufe 6 (164,36 bzw. 150,94 S/min).

Die Herzfrequenz blieb auch nach acht Minuten Erholung deutlich über dem zuvor gemessenen Ruhewert (vgl. Abb. 47).

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte bei allen Belastungen einen signifikanten Unterschied im Messverlauf. Signifikante Ergebnisse ließen sich im Anschluss bei den folgenden Stufenvergleichen erkennen: bei allen Belastungen zwischen Ruhe und Stufe 1, Stufe 2 und 3 und Stufe 3 und 4, sowie beim Crosstrainer ohne Armeinsatz bei Stufe 5 und 6, beim Crosstrainer mit Armeinsatz bei Stufe 4 und 5 und beim Fahrradergometer bei Stufe 4 und 5 sowie 5 und 6 (vgl. Tab. 55).

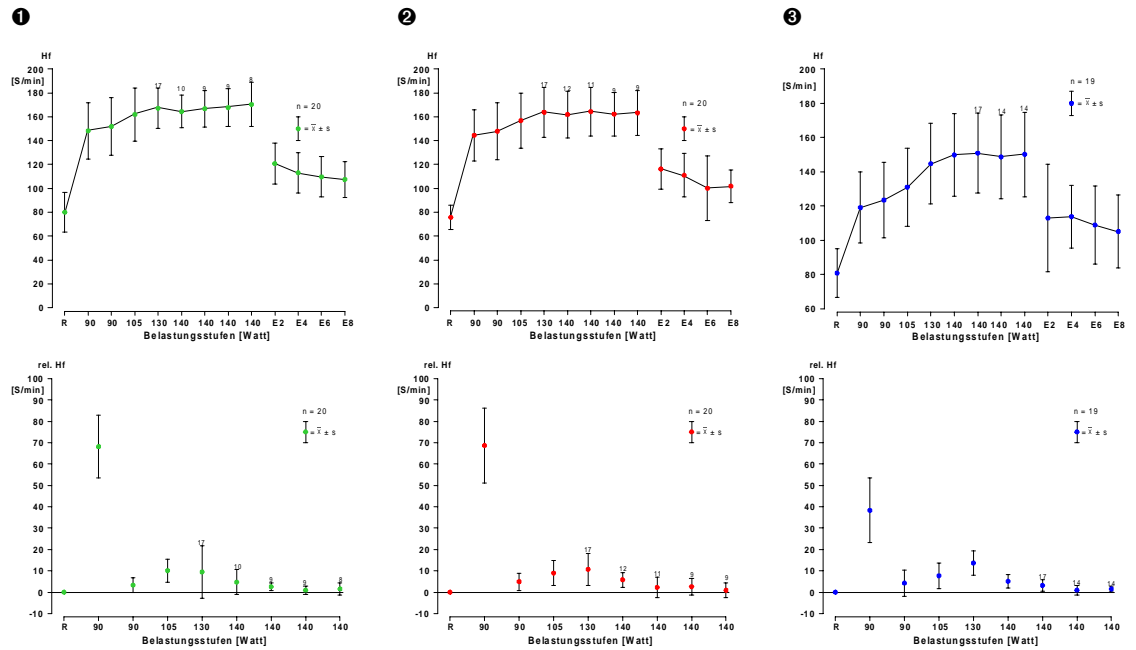


Abb. 47: Herzfrequenz während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer

Ordinate: Herzfrequenz in S/min bzw. Δ S/min

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der absoluten Herzfrequenz und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Crosstrainer ohne Armeinsatz
- ❷ Crosstrainer mit Armeinsatz
- ❸ Fahrradergometer

Tab. 55: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf die Herzfrequenz

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8
Co	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,065	0,003	0,185	0,180
Cm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,197	0,074	0,640
Ergo	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,003	0,001	0,855	0,024

Die Herzfrequenz beim Crosstrainer ohne Armeinsatz lag bei allen Stufen über der beim Crosstrainer mit Armeinsatz. Die Differenzen betragen 3,96 bis 8,71 S/min (vgl. Abb. 48).

3.2.1.9 Laktat

Auf dem Crosstrainer waren bei beiden Belastungen deutliche Anstiege des Laktats während der ersten Belastungsstufe zu beobachten (relative Anstiege von 1,55 bzw. 1,09 mmol/l). Zur zweiten Stufe fand ein leichter Abfall bzw. Anstieg statt, auf den folgenden drei Stufen ließ sich wiederum ein deutlicherer Anstieg erkennen (relative Anstiege von 0,20 bis 0,86 mmol/l). Die letzten drei Stufen waren durch einen gleichbleibenden Laktatwert gekennzeichnet.

Nach zwei Minuten Erholung zeigte sich bei allen Belastungen ein leicht erhöhter Laktatwert (vgl. Abb. 49).

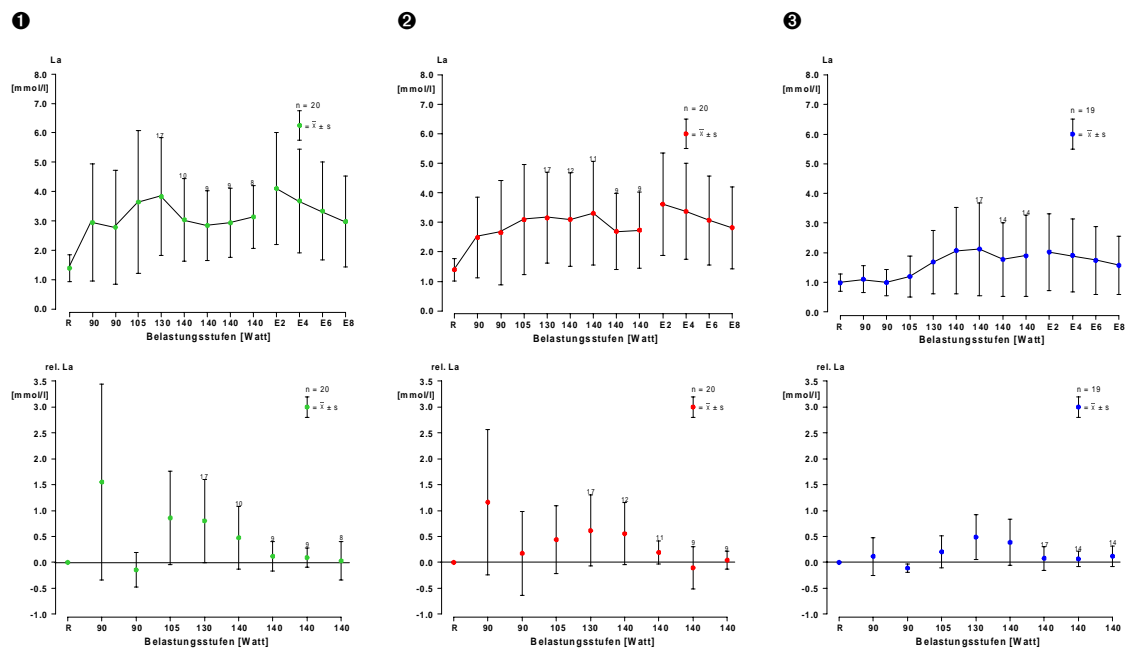


Abb. 49: Laktat während der Belastung auf dem Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz sowie Fahrradergometer

Ordinate: Laktat in mmol/l bzw. Δ mmol/l

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung des absoluten Laktats und des relativen Anstiegs von Belastungsstufe zu Belastungsstufe:

- ❶ Crosstrainer ohne Armeinsatz
- ❷ Crosstrainer mit Armeinsatz
- ❸ Fahrradergometer

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte signifikante Unterschiede im Messverlauf bei den Belastungen auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz. Die t-Tests wiesen signifikante Ergebnisse für die Vergleiche Ruhe zu Stufe 1 bei beiden Belastungen sowie zwischen Stufe 2 und 3 sowie 3 und 4 beim Crosstrainer ohne Armeinsatz aus (vgl. Tab. 57).

Tab. 57: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests bei der Untersuchung Crosstrainer in Bezug auf das Laktat

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Geräten und Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	Ruhe – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8
Co	0,000	0,002	0,064	0,000	0,005	0,077	0,240	0,179	0,840
Cm	0,012	0,002	0,385	0,008	0,011	0,055	0,049	0,465	0,653
Ergo	0,098	-	-	-	-	-	-	-	-

Die Differenzen zwischen der Belastung auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und mit Armeinsatz lagen zwischen 0,14 und 0,58 mmol/l, dabei zeigten sich auf allen Belastungsstufen höhere Laktatwerte auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz (vgl. Abb. 50).

Ebenfalls durchgängig höhere Laktatwerte zeigten sich auch beim Crosstrainer ohne Armeinsatz im Vergleich mit dem Fahrradergometer. Die Differenzen betragen hier 1,76 bis 2,51 mmol/l (vgl. Abb. 50).

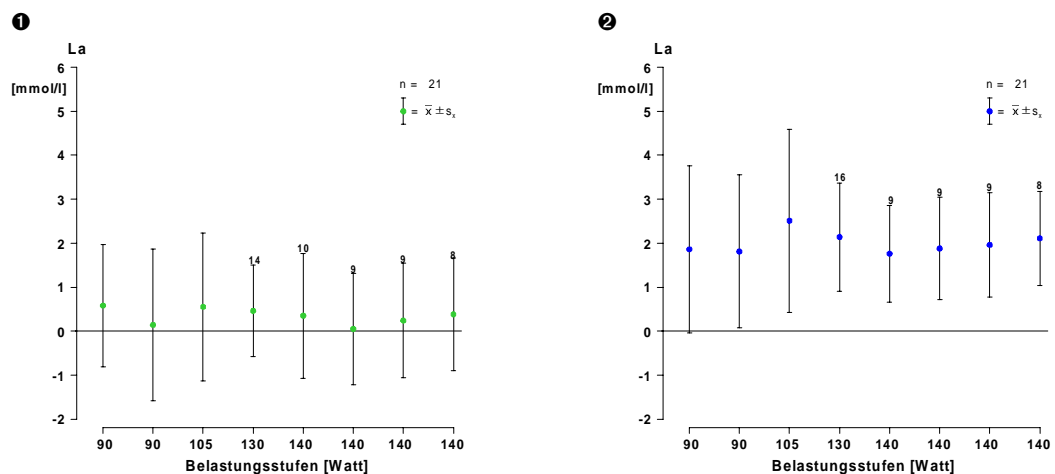


Abb. 50: Vergleich des Laktats bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz sowie auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und dem Fahrradergometer

Ordinate: Laktat in mmol/l

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung der Differenzen zwischen

① Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz

② Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer

Mit der zweifaktoriellen Varianzanalyse konnten signifikante Unterschiede bei dem Vergleich Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer ermittelt werden. Dieses signifikante Ergebnis wurde auch in den anschließenden t-Tests bestätigt (vgl. Tab. 58).

Tab. 58: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und der t-Tests beim Vergleich der verschiedenen Belastungen in Bezug auf das Laktat

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei Vergleichen

Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz (Co – Cm) bzw.

Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer (Co – Ergo).

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 1	2 – 2	3 – 3	4 – 4	5 – 5	6 – 6	7 – 7	8 – 8
Co – Cm	0,012	0,093	0,729	0,157	0,123	0,453	0,915	0,587	0,425
Co – Ergo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001

3.2.2 Subjektives Belastungsempfinden auf den einzelnen Geräten

3.2.2.1 Gerät Crosstrainer ohne Armeinsatz

Die Belastung auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz wurde subjektiv als leicht bis sehr schwer empfunden (RPE-Werte zwischen 11,00 und 16,50). Während sich bei den Belastungsstufen 1 bis 4 relativ deutliche Unterschiede feststellen ließen, zeigte sich bei den Stufen 4 bis 8 eine eher geringe Unterscheidung in der Belastungseinschätzung.

Im Vergleich mit der Herzfrequenz auf den einzelnen Stufen zeigte sich zunächst eine deutliche Unterschätzung der körperlichen Belastung, so wurde beispielsweise auf Stufe 1 der Herzfrequenz von 143,26 S/min ein RPE-Wert von 11,00 zugeordnet. Ähnliche Differenzen zeigten sich auch bei den Stufen 2, 3 und 4. Im weiteren Verlauf näherte sich die subjektive Einschätzung der tatsächlichen Belastung weiter an (Stufe 8 RPE-Wert von 16,50 zu einer Herzfrequenz von 173,12 S/min), lag jedoch weiterhin über den objektiven Herzfrequenzwerten (vgl. Tab. 59 und Abb. 51).

Tab. 59: RPE-Wert und Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Crosstrainer ohne Armeinsatz

Angegeben sind jeweils der Median und die Percentile 25 und 75 %.

	Median		Percentil 25 %		Percentil 75 %	
	RPE	HF	RPE	HF	RPE	HF
Stufe 1	11,00	143,26	10,00	127,31	13,00	172,73
Stufe 2	12,00	148,63	11,00	131,55	13,00	172,39
Stufe 3	14,00	162,13	13,00	140,32	15,00	182,85
Stufe 4	15,00	168,94	14,50	151,48	16,00	182,62
Stufe 5	15,50	166,81	15,00	155,17	16,25	173,07
Stufe 6	16,00	168,89	15,00	155,05	17,00	180,10
Stufe 7	16,00	169,20	15,50	156,30	17,50	181,03
Stufe 8	16,50	173,12	15,25	157,11	18,00	188,07

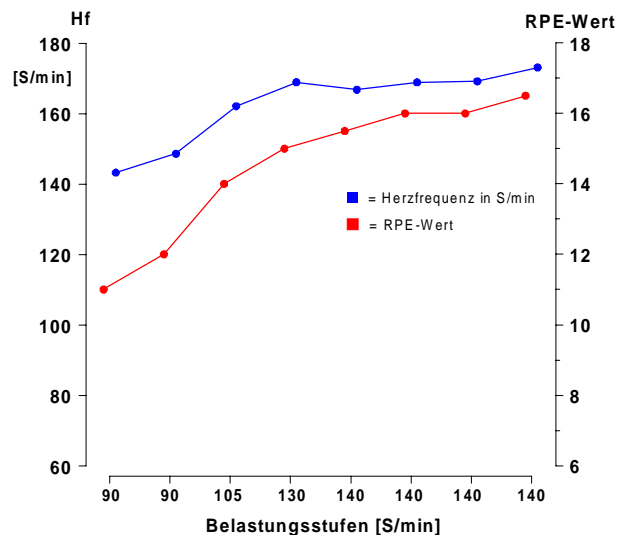


Abb. 51: Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz

Ordinate 1: Herzfrequenz in S/min

Ordinate 2: RPE-Wert

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mediane der einzelnen Belastungsstufen

- RPE-Wert
- Herzfrequenz

Wurden die entsprechenden Herzfrequenzen für die genannten RPE-Werte eingesetzt, so ließ sich im Stufenvergleich die Signifikanz der Ergebnisse überprüfen. Es konnten dabei signifikante Unterschiede für die ersten vier Stufen berechnet werden (vgl. Tab. 60).

Tab. 60: Ergebnisse der t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Crosstrainer ohne Armeinsatz

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6	Stufe 7	Stufe 8
0,000	0,000	0,000	0,006	0,169	0,314	0,767	0,779

Die Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz zeigte ein uneinheitliches Bild. Es ließ sich ein hoher Zusammenhang bei den Stufen 2 und 3 erkennen, ein mittlerer Zusammenhang war bei Stufe 1 und 4 zu beobachten. Ein geringer negativer Zusammenhang zeigte sich bei den Stufen 5 und 6 (vgl. Tab. 61).

Tab. 61: Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Crosstrainer ohne Armeinsatz

Angegeben sind der Korrelationskoeffizient r und p -Wert der Signifikanzberechnung.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6	Stufe 7	Stufe 8
r-Wert	0,604	0,722	0,743	0,441	-0,135	-0,118	0,046	0,091
p-Wert	0,006	0,000	0,000	0,076	0,709	0,762	0,906	0,831

3.2.2.2 Gerät Crosstrainer mit Armeinsatz

Die Belastungsstufen auf dem Crosstrainer mit Armeinsatz wurden als leicht bis schwer bezeichnet (RPE-Werte zwischen 11,00 und 15,50). Kein großer Unterschied wurde bei den Stufen 1 und 2 empfunden (RPE-Wert 11,00 bzw. 11,50). Auffällig war auch, dass Stufe 6 mit einem RPE-Wert von 16 als anstrengender eingeschätzt wurde als die beiden folgenden Stufen.

Wurden die genannten RPE-Werte mit der ermittelten Herzfrequenz verglichen, so fiel auf, dass das subjektive Belastungsempfinden bei allen Stufen unterhalb der objektiven Belastung lag. Lediglich bei Stufe 6 näherte sich der RPE-Wert der entsprechenden Herzfrequenz an (RPE-Wert von 16 zu einer Herzfrequenz von 166,81 S/min) (vgl. Tab. 62 und Abb. 52).

Tab. 62: RPE-Wert und Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Crosstrainer mit Armeinsatz

Angegeben sind jeweils der Median und die Percentile 25 und 75 %.

	Median		Percentil 25 %		Percentil 75 %	
	RPE	HF	RPE	HF	RPE	HF
Stufe 1	11,00	141,06	9,00	128,56	12,00	165,44
Stufe 2	11,50	145,53	11,00	129,04	13,00	167,25
Stufe 3	13,00	156,02	13,00	139,05	14,75	178,56
Stufe 4	14,00	162,38	13,00	154,45	16,50	182,08
Stufe 5	14,50	161,34	13,25	149,05	16,50	179,59
Stufe 6	16,00	166,81	13,00	149,71	16,00	184,75
Stufe 7	15,00	165,93	13,50	155,92	17,00	170,88
Stufe 8	15,50	168,88	13,50	151,66	17,00	174,32

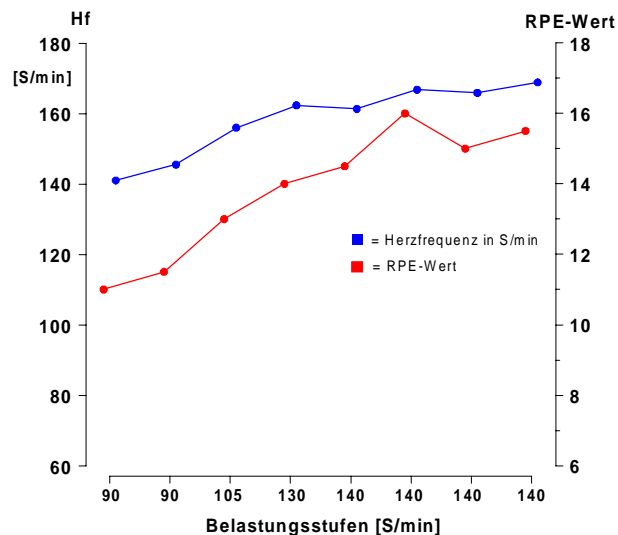


Abb. 52: Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Crosstrainer mit Armeinsatz

Ordinate 1: Herzfrequenz in S/min

Ordinate 2: RPE-Wert

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mediane der einzelnen Belastungsstufen

- RPE-Wert
- Herzfrequenz

Zum Vergleich der RPE-Werte mit der Herzfrequenz wurden zunächst die RPE-Werte der Herzfrequenz entsprechend ersetzt. Mit Hilfe der t-Tests konnten signifikante Unterschiede bei den ersten vier Stufen nachgewiesen werden. Die Werte der übrigen Stufen stellen somit nur Tendenzen dar (vgl. Tab. 63).

Tab. 63: Ergebnisse der t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Crosstrainer mit Armeinsatz

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6	Stufe 7	Stufe 8
0,000	0,000	0,000	0,002	0,034	0,050	0,173	0,237

Es zeigte sich bei der Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz auf allen Stufen ein mittlerer Zusammenhang (vgl. Tab. 64).

Tab. 64: Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Crosstrainer mit Armeinsatz

Angegeben sind der Korrelationskoeffizient r und p -Wert der Signifikanzberechnung.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6	Stufe 6	Stufe 6
r-Wert	0,650	0,665	0,647	0,637	0,468	0,562	0,494	0,599
p-Wert	0,003	0,001	0,002	0,006	0,125	0,072	0,177	0,117

3.2.2.3 Gerät Fahrradergometer

Die Belastung auf dem Fahrradergometer wurde als sehr leicht bis schwer bezeichnet (RPE-Werte zwischen 9,50 und 15,00). Während zwischen den ersten vier Stufen ein Belastungsunterschied bemerkt wurde, zeigte sich bei den Stufen 5 bis 8 mit den RPE-Werten 15 bzw. 14,50 eine gleiche Einschätzung der Belastung.

Der Vergleich der objektiv ermittelten Herzfrequenz ließ bei der ersten und zweiten Stufe ein leichtes Abweichen der subjektiven Belastungseinschätzung erkennen. Bei allen übrigen Stufen lagen die Werte auf einem Niveau (vgl. Tab. 65 und Abb. 53).

Tab. 65: RPE-Wert und Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Fahrradergometer

Angegeben sind jeweils der Median und die Percentile 25 und 75 %.

	Median		Percentil 25 %		Percentil 75 %	
	RPE	HF	RPE	HF	RPE	HF
Stufe 1	9,50	113,00	8,75	102,50	11,00	132,50
Stufe 2	11,00	119,00	8,75	105,75	12,00	141,00
Stufe 3	12,00	124,00	10,00	110,75	13,00	148,75
Stufe 4	14,00	142,00	12,00	120,75	15,00	168,25
Stufe 5	15,00	148,00	13,00	123,75	17,00	173,00
Stufe 6	15,00	150,50	13,00	124,25	17,00	175,50
Stufe 7	14,50	146,50	13,75	123,50	15,50	174,75
Stufe 8	15,00	149,00	14,00	125,00	16,50	175,50

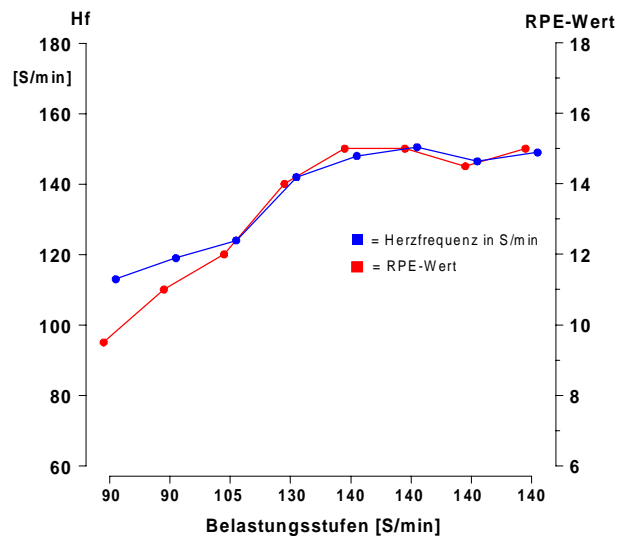


Abb. 53: Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz bei der Belastung auf dem Fahrradergometer

Ordinate 1: Herzfrequenz in S/min

Ordinate 2: RPE-Wert

Abszisse: Belastungsstufen in S/min

Dargestellt sind jeweils die Mediane der einzelnen Belastungsstufen

- RPE-Wert
- Herzfrequenz

Der Vergleich der objektiv ermittelten Herzfrequenz und der subjektiven Einschätzung der Belastung ergab bei den Stufen 1 und 2 signifikante Unterschiede (vgl. Tab. 66).

Tab. 66: Ergebnisse der t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsstufen beim Fahrradergometer

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,006$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsstufenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6	Stufe 7	Stufe 8
0,000	0,001	0,008	0,120	0,974	0,989	0,861	0,444

Die Korrelation der Herzfrequenz und der angegebenen RPE-Werte zeigte bei den Stufen 1, 2, 4, 5 und 7 einen mittleren positiven Zusammenhang. Bei den Stufen 3, 6 und 8 konnte ein hoher Zusammenhang verzeichnet werden. Die Korrelationswerte waren auf allen Stufen signifikant (vgl. Tab. 67).

Tab. 67: Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Fahrradergometer

Angegeben sind der Korrelationskoeffizient r und p -Wert der Signifikanzberechnung.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6	Stufe 7	Stufe 8
r-Wert	0,645	0,497	0,728	0,637	0,619	0,730	0,667	0,754
p-Wert	0,004	0,036	0,001	0,004	0,006	0,001	0,009	0,002

3.2.2.4 Vergleich der RPE-Werte auf dem Gerät Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz

Während die Belastungsstufe 1 bei beiden Belastungsformen gleich eingeschätzt wurde, zeigten sich bei den folgenden Stufen höhere RPE-Werte bei der Belastung ohne Armeinsatz. Der größte Unterschied wurde mit RPE-Werten von 14 und 16 bei Stufe 6 angegebenen.

Die Signifikanzprüfung ergab ein signifikantes Ergebnis bei Stufe 4 (vgl. Tab. 68).

Tab. 68: Vergleich der RPE-Werte beim Crosstrainer mit und ohne Armeinsatz auf den einzelnen Belastungsstufen

Angegeben ist jeweils der Median und der p-Wert für den Paarvergleich.
Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha=0,006$.

	Crosstrainer		p-Wert
	mit Armeinsatz	ohne Armeinsatz	
Stufe 1	11,00	11,00	0,020
Stufe 2	11,50	12,00	0,227
Stufe 3	13,00	14,00	0,009
Stufe 4	14,00	15,50	0,003
Stufe 5	14,00	15,50	0,026
Stufe 6	14,00	16,00	0,010
Stufe 7	15,00	16,00	0,009
Stufe 8	16,00	17,00	0,024

3.2.2.5 Vergleich der RPE-Werte auf den Geräten Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer

Bei allen Belastungsstufen konnte eine höhere Belastungseinschätzung auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz beobachtet werden. Der größte Unterschied zeigte sich bei den RPE-Werten von 16 bzw. 13 bei der Belastungsstufe 6. Die Signifikanzüberprüfung ergab bei den Stufen 2, 3 und 4 einen signifikanten Unterschied zwischen den genannten RPE-Werten (vgl. Tab. 69).

Tab. 69: Vergleich der RPE-Werte beim Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer

Angegeben ist jeweils der Median und der p-Wert für den Paarvergleich.
Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha=0,006$.

	MW ohne Armeinsatz	Fahrradergometer	p-Wert
Stufe 1	11,00	9,50	0,008
Stufe 2	12,00	11,00	0,002
Stufe 3	14,00	12,00	0,000
Stufe 4	15,00	14,00	0,001
Stufe 5	15,00	13,00	0,019
Stufe 6	16,00	13,00	0,014
Stufe 7	16,00	14,00	0,015
Stufe 8	16,50	14,00	0,020

3.3 Feldtest Indoor-Cycling Bike

3.3.1 Deskription der Gesamtverläufe







3.3.1.1 Verteilung der Belastungsformen

In allen Trainingseinheiten wurden die Belastungsformen Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand und Fahren im Stehen mit hohem Widerstand berücksichtigt. Die Belastungsform Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand wurde dabei in neun Trainings am häufigsten eingesetzt (zwischen 3 und 7 mal), in acht Trainings fand die Belastungsform Fahren im Stehen mit hohem Widerstand den größten Einsatz.

Die Belastungsformen Fahren im Stehen bei geringem Widerstand und Fahren im Sitzen und Stehen bei hohem Widerstand wurden in 13 bzw. 14 Trainingseinheiten gewählt. Die Anzahl der Einsätze innerhalb der einzelnen Trainings lag zwischen eins und drei (vgl. Tab. 70).

Tab. 70: Einsatz der Belastungsformen in den einzelnen Trainingseinheiten

Angegeben ist die Anzahl der Einsätze der Belastungsformen während der einzelnen Trainings.

	Belastungsformen						Misch
							
1	5			1	2		1
2	6	1		3	2	1	
3	4	2		7	3		1
4	2	3		3	1		4
5	2			4	1		5
6	5			5	3	1	
7	2	2		7	2	1	
8	6	2		1	1		1
9	2	1	1	3	2	1	2
10	3	3		4	2	2	1
11	2	2		2	1		3
12	3			2			2
13	2	2	3	5	2		2
14	3	1		5			3
15	2	1	1	3	2	1	2
16	4	1	1	3	1		
17	3			2			2
18	4			4		1	3
19	2			3			3
20	4		1	2		2	3
21	7			1		3	
22	2	1				2	4

Weniger wurden die Belastungsformen Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand und Fahren im Sitzen und Stehen bei hohem Widerstand einbezogen. Während in fünf Trainingseinheiten im Sitzen bei hohem Widerstand gefahren wurde, zeigte sich die Belastungsform Fahren im Stehen und Sitzen bei hohem Widerstand bei insgesamt zehn Trainingseinheiten. Die Häufigkeit der Einsätze innerhalb einer Trainingseinheit lag zwischen eins und drei.

Mischformen aus den bekannten Belastungsformen wurden in 17 Trainingseinheiten eingesetzt. Diese sollen jedoch in der folgenden Beschreibung nicht berücksichtigt werden (vgl. Tab. 69).

3.3.1.2 Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden während der einzelnen Trainingseinheiten

Bei den einzelnen Trainingseinheiten zeigte sich im Mittel eine Herzfrequenz zwischen 125,36 S/min (niedrigste Herzfrequenz bei 92 S/min) und 184,00 S/min (höchste Herzfrequenz bei 195 S/min). Der Mittelwert lag bei 165,30 S/min (vgl. Tab. 71).

Tab. 71: Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden während der einzelnen Trainingseinheiten

Angegeben sind jeweils der niedrigste und höchste Wert sowie der Mittelwert bzw. Median der einzelnen Parameter.

	Dauer	Hf _{min}	Hf _{max}	Hf _{\bar{x}}	La _{min}	La _{max}	La _{\bar{x}}	RPE _{min}	RPE _{max}	RPE _{med}
1	1:12:00	109	183	156,46	2,39	9,19	5,73	9	17	13,50
2	1:05:00	116	182	156,46	2,20	8,81	5,31	7	18	14,50
3	1:24:00	92	177	147,47	1,43	10,63	5,23	9	19	13,50
4	1:09:30	109	163	152,47	4,45	11,62	9,69	14	17	15,50
5	1:09:00	115	171	154,83	1,88	6,66	4,89	6	18	16,00
6	1:05:30	129	193	174,77	1,60	9,51	6,14	9	17	13,00
7	1:08:20	124	174	157,27	1,27	4,99	3,12	11	18	16,00
8	1:21:05	127	185	172,31	4,02	9,97	6,57	9	16	14,50
9	1:15:05	121	173	154,83	2,70	9,57	6,89	10	15	13,00
10	1:17:15	119	177	152,25	2,57	11,12	7,27	9	19	15,00
11	1:11:00	123	190	170,42	4,97	12,64	8,83	6	17	16,00
12	0:53:00	129	192	169,75	4,16	10,47	7,16	9	17	14,00
13	1:08:45	150	194	178,88	2,50	9,19	5,30	13	19	16,00
14	1:06:15	148	191	177,67	1,38	7,47	5,60	10	17	15,00
15	1:15:05	111	182	155,58	1,31	4,23	2,38	11	15	14,00
16	0:48:00	108	189	154,80	1,12	4,41	2,61	7	14	13,00
17	0:51:20	128	183	170,13	5,70	11,57	8,58	13	18	16,00
18	1:11:10	136	189	172,42	4,56	9,38	7,84	9	17	15,00
19	0:47:35	167	195	184,38	6,06	10,46	8,00	10	17	15,00
20	0:59:25	130	190	172,08	2,80	8,66	5,79	9	16	14,00
21	1:18:50	131	184	175,25	3,76	10,03	7,05	11	17	14,00
22	1:11:48	136	191	176,20	1,77	12,12	9,65	7	15	13,00

Es ließen sich Laktatwerte im Mittel zwischen 2,94 und 9,21 mmol/l erkennen, dabei lag der niedrigste Wert bei 1,27 mmol/l, der höchste bei 12,64 mmol/l. Daraus ergab sich ein Mittelwert von 6,35 mmol/l.

Beim subjektiven Belastungsempfinden zeigten sich RPE-Werte zwischen 7 (sehr sehr leicht) und 19 (sehr sehr anstrengend). Im Mittel lagen die niedrigsten RPE-Werte bei 9,00 (sehr leicht) und die höchsten RPE-Werte bei 17,00 (sehr schwer). Bei allen Belastungsformen und Trainingseinheiten ließ sich ein RPE-Wert von 14,50 erkennen (schwer) (vgl. Tab. 71).

3.3.2 Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei den einzelnen Belastungsformen

3.3.2.1 Fahren im Sitzen mit wenig Widerstand

Die Belastungsform Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand wurde insgesamt 75 mal ausgewählt. Die Herzfrequenz lag im Mittel bei 150,61 S/min, der Laktatwert bei 5,03 mmol/l. Die Belastung wurde subjektiv als leicht bis etwas anstrengend (12) eingeschätzt.

Unterteilt man die einzelnen Trainingseinheiten zu gleichen Teilen in drei Phasen (Anfangs-, Mittel- und Endphase), ließ sich in der Mittelphase eine deutlich höhere Herzfrequenz (170,44 S/min) und ein deutlich höherer Laktatwert (7,26 mmol/l) erkennen. Das subjektive Belastungsempfinden wurde mit einem RPE-Wert von 13,50 als etwas anstrengend eingestuft und lag damit deutlich unterhalb der ermittelten Herzfrequenz.

In der Anfangs- und Endphase der Trainingseinheiten lagen beide Parameter mit einer Herzfrequenz von 144,25 bzw. 145,40 S/min und einem Laktatwert von 4,27 bzw. 4,48 mmol/l in etwa gleich auf. Die Belastung wurde als sehr leicht bis leicht (RPE-Wert von 10,00 und 10,50) eingeschätzt, diese entsprach wiederum nicht der gemittelten Herzfrequenz (vgl. Tab. 72).

Tab. 72: Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei der Belastungsform Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand

Angegeben sind jeweils der Mittelwert \pm Standardabweichung bzw. der Median und die Percentile 25 und 75% während der gesamten Trainingseinheit und in den einzelnen Belastungsphasen.

	n	Hf	La	RPE
gesamt	75	150,61 \pm 25,97	5,03 \pm 2,56	9,00 / 12,00 / 14,00
1/3	24	144,25 \pm 27,27	4,27 \pm 3,24	9,00 / 10,00 / 13,00
2/3	16	170,44 \pm 16,86	7,26 \pm 1,79	12,00 / 13,50 / 15,75
3/3	35	145,40 \pm 24,22	4,48 \pm 1,64	9,00 / 10,50 / 13,75

Die einfaktorielle ANOVA (Herzfrequenz und Laktat) bzw. der KRUSKAL-WALLIS-H-Test (RPE-Werte) ergab signifikante Unterschiede im gesamten Messverlauf. Die anschließenden t-Tests für unabhängige Stichproben zeigten bei den Parametern Herzfrequenz und Laktat ein signifikantes Ergebnis bei den Paarvergleichen Anfangs- und Mittelphase sowie Mittel- und Endphase an. Bei den RPE-Werten konnte mit Hilfe des MANN-WHITNEY-UTest nur zwischen der Anfangs- und Mittelphase ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden (vgl. Tab. 73).

Tab. 73: Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Belastungsform Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,017$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsphasen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 2	1 – 3	2 – 3
Hf	0,001	0,001	0,869	0,000
La	0,000	0,001	0,764	0,000
RPE	0,007	0,002	0,326	0,033

3.3.2.2 Fahren im Stehen mit geringem Widerstand

Die Belastungsform Fahren im Stehen mit geringem Widerstand fand in den Trainingseinheiten 22 mal Berücksichtigung. Die Herzfrequenz lag im Mittel bei 168,59 S/min, der Laktatwert bei 7,06 mmol/l. Die Belastung wurde als schwer (RPE-Wert von 15) eingeschätzt (vgl. Tab. 74).

Tab. 74: Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei der Belastungsform Fahren im Stehen mit geringem Widerstand

Angegeben sind jeweils der Mittelwert \pm Standardabweichung bzw. der Median und die Percentile 25 und 75% während der gesamten Trainingseinheit und in den einzelnen Belastungsphasen.

	n	Hf	La	RPE
gesamt	22	168,59 \pm 17,21	7,06 \pm 2,51	13,75 / 15,00 / 17,00
1/3	7	162,57 \pm 21,85	7,38 \pm 2,84	15,00 / 15,00 / 17,00
2/3	11	168,18 \pm 11,12	6,08 \pm 2,27	13,00 / 15,00 / 17,00
3/3	4	180,25 \pm 20,98	9,21 \pm 0,79	13,25 / 15,50 / 17,75

Während der einzelnen Belastungsphasen zeigte sich eine ansteigende Herzfrequenz, die ihr Maximum in der Endphase der Trainingseinheit mit 180,25 S/min erreichte. Der im Mittel höchste Laktatwert konnte ebenfalls in der Endphase festgestellt werden, dabei lag der Laktatwert der mittleren Belastungsphase mit 6,08 mmol/l unter dem der

Anfangsphase. Das subjektive Belastungsempfinden wurde in allen Phasen mit einem RPE-Wert von 15 bzw. 15,50 als schwer eingestuft und lag damit in allen Phasen unterhalb der ermittelten Herzfrequenz (vgl. Tab. 74).

Die einfaktorielle ANOVA und der KRUSKAL-WALLIS-H-Test zeigten keine signifikanten Unterschiede im Messverlauf (vgl. Tab. 5)

Tab. 75: Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Belastungsform Fahren im Stehen mit geringem Widerstand

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,017$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsphasen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 2	1 – 3	2 – 3
Hf	0,271	-	-	-
La	0,088	-	-	-
RPE	0,891	-	-	-

3.3.2.3 Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand

In neun Trainingseinheiten mit der Belastungsform Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand zeigte sich im Mittel eine Herzfrequenz von 155,56 S/min und ein Laktatwert von 5,31 mmol/l. Die Belastung wurde subjektiv als etwas anstrengend bis schwer eingeschätzt (RPE-Wert 14,00) (vgl. Tab. 76).

Tab. 76: Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei der Belastungsform Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand

Angegeben sind jeweils der Mittelwert \pm Standardabweichung bzw. der Median und die Percentile 25 und 75% während der gesamten Trainingseinheit und in den einzelnen Belastungsphasen.

	n	Hf	La	RPE
gesamt	9	155,56 \pm 19,46	5,31 \pm 3,08	11,50 / 14,00 / 15,00
1/3	2	147,00 \pm 36,77	2,36 \pm 1,27	10,00 / 12,00 / 14,00
2/3	5	158,20 \pm 16,25	5,67 \pm 3,06	11,50 / 15,00 / 15,50
3/3	2	157,50 \pm 20,51	7,38 \pm 3,21	14,00 / 14,50 / 15,00

In den einzelnen Belastungsphasen ließ sich eine Herzfrequenz von 147,00 bis 158,20 S/min erkennen, dabei lag die Herzfrequenz der mittleren Phase und Endphase in etwa auf gleicher Höhe. Der höchste Laktatwert war mit 7,38 mmol/l in der Endphase zu beobachten. In der Anfangsphase zeigte sich ein RPE-Wert von 12,00 (Belastung zwischen leicht und etwas anstrengend), in der mittleren Phase und Endphase wurde mit 14,50 und 15,00 in etwa der leichte Anstrengungsgrad (schwer) angegeben. Somit

lag das subjektive Belastungsempfinden unterhalb der objektiv ermittelten Herzfrequenz (vgl. Tab. 76).

Die einfaktorielle ANOVA und der KRUSKAL-WALLIS-H-Test ergaben keine signifikanten Unterschiede im Messverlauf (vgl. Tab. 77).

Tab. 77: Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Belastungsform Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,017$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsphasen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 2	1 – 3	2 – 3
Hf	0,824	-	-	-
La	0,275	-	-	-
RPE	0,403	-	-	-

3.3.2.4 Fahren im Stehen mit hohem Widerstand

Die Belastungsform Fahren im Stehen mit hohem Widerstand wurde in den Trainingsformen 66 mal ausgewählt. Die Herzfrequenz zeigte sich im Mittel bei 170,86 S/min, der Laktatwert bei 6,22 mmol/l. Die Belastung wurde subjektiv als schwer (RPE-Wert 15,00) eingeschätzt.

In der Anfangsphase lag die Herzfrequenz bei 162,57 S/min, der Laktatwert bei 5,68 mmol/l. Deutlich höhere Herzfrequenzen ließen sich in der mittleren Belastungsphase und in der Endphase erkennen (173,73 bzw. 174,82 S/min). Der Laktatwert stieg in beiden Phasen auf 6,73 bzw. 6,01 mmol/l. Die Belastung wurde während der einzelnen Phasen als schwer (RPE-Wert 15,00) bewertet (vgl. Tab. 78).

Tab. 78: Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei der Belastungsform Fahren im Stehen mit hohem Widerstand

Angegeben sind jeweils der Mittelwert \pm Standardabweichung bzw. der Median und die Percentile 25 und 75% während der gesamten Trainingseinheit und in den einzelnen Belastungsphasen.

	n	Hf	La	RPE
gesamt	66	170,86 \pm 14,54	6,22 \pm 2,42	14,00 / 15,00 / 16,00
1/3	17	162,57 \pm 21,85	5,68 \pm 2,54	13,00 / 15,00 / 16,00
2/3	27	173,73 \pm 13,75	6,73 \pm 2,46	14,00 / 15,00 / 16,00
3/3	22	174,82 \pm 10,64	6,01 \pm 2,24	14,00 / 15,00 / 16,25

Die einfaktorielle ANOVA zeigte bei der Herzfrequenz einen signifikanten Unterschied im Messverlauf an. Die anschließenden t-Tests für unabhängige Stichproben ergaben nur beim Vergleich der Anfangs- und Endphase ein signifikantes Ergebnis.

Der KRUSKAL-WALLIS-H-Test ließ keinen signifikanten Unterschied im Messverlauf der RPE-Werte erkennen (vgl. Tab. 79).

Tab. 79: Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Belastungsform Fahren im Stehen mit hohem Widerstand

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,017$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsphasen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 2	1 – 3	2 – 3
Hf	0,009	0,024	0,010	0,678
La	0,341	-	-	-
RPE	0,310	-	-	-

3.3.2.5 Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei geringem Widerstand

Die Belastungsform Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei geringem Widerstand ergab im Mittel eine Herzfrequenz von 171,62 S/min und einen Laktatwert von 6,37 mmol/l. Die Belastung wurde subjektiv als schwer (RPE-Wert 15) eingeschätzt.

Die einzelnen Belastungsphasen zeigten eine Herzfrequenz zwischen 163,14 und 177,30 S/min, dabei lag die maximale Herzfrequenz in der mittleren Belastungsphase. Der Laktatwert war in der Anfangs- und mittleren Belastungsphase mit 7,00 bzw. 6,98 mmol/l in etwa gleich, deutlicher niedriger zeigte er sich in der Endphase mit 4,93 mmol/l.

Die Belastung wurde in allen Phasen mit einem RPE-Wert von 15,50 und 15,00 (schwer) in etwa gleich beurteilt (vgl. Tab. 80).

Tab. 80: Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei der Belastungsform Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei geringem Widerstand

Angegeben sind jeweils der Mittelwert \pm Standardabweichung bzw. der Median und die Percentile 25 und 75% während der gesamten Trainingseinheit und in den einzelnen Belastungsphasen.

	n	Hf	La	RPE
gesamt	28	171,62 \pm 16,29	6,37 \pm 2,56	14,00 / 15,00 / 17,00
1/3	8	163,13 \pm 25,07	7,00 \pm 2,45	13,00 / 15,50 / 16,75
2/3	10	177,30 \pm 10,72	6,98 \pm 2,55	14,75 / 15,00 / 17,00
3/3	10	174,90 \pm 7,56	4,93 \pm 2,13	14,00 / 15,00 / 16,25

Die einfaktorielle ANOVA und der KRUSKAL-WALLIS-H-Test zeigte keine signifikanten Unterschiede im Messverlauf (vgl. Tab. 81).

Tab. 81: Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Belastungsform Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei geringem Widerstand

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,017$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsphasen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1 – 2	1 – 3	2 – 3
Hf	0,146	-	-	-
La	0,110	-	-	-
RPE	0,858	-	-	-

3.3.2.6 Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei hohem Widerstand

Die Belastungsform Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei hohem Widerstand wurde in den Trainingseinheiten insgesamt 15 mal ausgewählt. Es ergab sich hierbei eine mittlere Herzfrequenz von 173,13 S/min und einen mittleren Laktatwert von 7,73 mmol/l. Die Belastung wurde subjektiv als etwas anstrengend bis schwer eingeschätzt (RPE-Wert 14,00).

Während der einzelnen Phasen war eine Herzfrequenz zwischen 169,00 und 178,50 S/min zu beobachten, die höchste Herzfrequenz zeigte sich in der Endphase der Belastung. Der Laktatwert lag zwischen 5,08 (Endphase) und 8,67 mmol/l (mittlere Phase). Die Belastung wurde mit den RPE-Werten 14,00 bis 15,00 als etwas anstrengend bis schwer eingestuft (vgl. Tab. 82).

Tab. 82: Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden bei der Belastungsform Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei hohem Widerstand

Angegeben sind jeweils der Mittelwert \pm Standardabweichung bzw. der Median und die Percentile 25 und 75% während der gesamten Trainingseinheit und in den einzelnen Belastungsphasen.

	n	Hf	La	RPE
gesamt	15	173,13 \pm 13,68	7,73 \pm 3,04	14,00 / 14,00 / 15,00
1/3	6	169,00 \pm 13,15	7,01 \pm 3,73	13,50 / 14,50 / 16,75
2/3	7	175,14 \pm 16,14	8,67 \pm 2,48	13,00 / 14,00 / 15,00
3/3	2	178,50 \pm 2,12	5,08 \pm 0,53	14,00 / 15,50 / 17,00

Die einfaktorielle ANOVA bzw. KRUSKAL-WALLIS-H-Test ließen keine signifikanten Unterschiede im Messverlauf erkennen (vgl. Tab. 83).

Tab. 83: Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Belastungsform Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei hohem Widerstand

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,017$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsphasen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	VA	1-2	1-3	2-3
Hf	0,639	-	-	-
La	0,312	-	-	-
RPE	0,620	-	-	-

3.3.3 Verteilung der Herzfrequenzen innerhalb der einzelnen Belastungsformen

Die Unterteilung der Herzfrequenz richtete sich nach dem Ausbildungsmanual von J. Golding. Der prozentuale Anteil der erreichten Herzfrequenzen ergab sich aus dem Alter der teilnehmenden Probanden.

Eine Herzfrequenz zwischen 50 und 65 % der maximalen Herzfrequenz wurde insgesamt 22 mal (prozentualer Anteil von 10,38 % an allen gefahrenen Belastungseinheiten) bei allen Belastungsformen außer Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel bei hohem Widerstand erreicht. Dabei ließ sich bei der Belastungsform Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand der Herzfrequenzbereich 18 mal beobachten (prozentualer Anteil innerhalb der Belastungsform von 22,78 %), während bei den anderen Belastungsformen jeweils nur ein Mal eine Herzfrequenz zwischen 50 bis 65 % zu beobachten war (prozentualer Anteil zwischen 4,00 und 12,50 % innerhalb der jeweiligen Belastungsform).

Der Herzfrequenzbereich zwischen 66 und 75 % ließ sich bei insgesamt 27 Belastungseinheiten nachweisen (12,69 % aller Belastungseinheiten). Es zeigte sich auch hier der höchste Anteil bei der Belastungsform Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand (20 mal, höchster prozentualer Anteil innerhalb der Belastungsform mit 25,32 %). Bei den übrigen Belastungsformen (außer Fahren im Stehen bei geringem Widerstand) lag die Herzfrequenz ein bis drei Mal zwischen 66 und 75 % der maximalen Herzfrequenz. Innerhalb der Belastungsformen ergaben sich daraus prozentuale Anteile von 4,00 bis 12,50 %.

Der Herzfrequenzbereich 76 bis 85 % der maximale Herzfrequenz wurde bei 52 Belastungseinheiten erreicht (prozentualer Anteil an allen Belastungseinheiten 24,44 %). Am häufigsten zeigten sich diese Herzfrequenzen bei den Belastungsformen Fahren im Stehen mit hohem Widerstand (20 mal, Anteil innerhalb der Belastungsform 31,25 %) und Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand (16 mal,







prozentualer Anteil innerhalb der Belastungsform 20,25 %). Bei der Belastungsform Fahren im Stehen bei geringem Widerstand zeigte sich sieben Mal eine Herzfrequenz zwischen 76 und 85 % der maximalen Herzfrequenzen. Mit einem prozentualen Anteil von 35,00 % war hier auch der häufigste Herzfrequenzbereich innerhalb der Belastungsform zu finden.

Bei den Belastungsformen Fahren im Sitzen und Stehen mit hohem Widerstand und Fahren im Sitzen und Stehen im Wechsel mit geringem und hohem Widerstand ließen sich mit 3, 24, 10 bzw. 6 durchgeführten Belastungseinheiten die höchsten prozentualen Anteile innerhalb der Belastungsform (37,50 bzw. 40,00 %) bei einer Herzfrequenz zwischen 86 bis 92 % erkennen. Insgesamt hatte dieser Herzfrequenzbereich einen prozentualen Anteil von 28,20 % innerhalb der gesamten Belastungseinheiten und war damit am häufigsten vertreten.

Belastungen über 92 % der maximalen Herzfrequenz waren bei insgesamt 51 Belastungseinheiten zu finden (prozentualer Anteil innerhalb der gesamten Belastungseinheiten 23,97 %). Bei der Belastungsform Fahren im Sitzen und Stehen mit hohem Widerstand fand dieser Herzfrequenzbereich mit 6 gemessenen Einheiten mit dem Bereich 85 bis 92 % die häufigste Vertretung (37,50 %). 16 bzw. 14 Einheiten wurden bei den Belastungsformen Fahren im Stehen bei hohem Widerstand und Fahren im Sitzen bei geringem Widerstand mit einer Herzfrequenz von über 92 % der maximalen Herzfrequenz gefahren (25,00 bzw. 17,72 % Anteil innerhalb der Belastungsform) (vgl. Tab. 84).

Tab. 84: Verteilung der Herzfrequenzbereiche in Bezug auf die einzelnen Belastungsformen sowie auf die gesamten Belastungseinheiten.

Angegeben ist jeweils die Anzahl sowie der prozentuale Anteil des jeweiligen Herzfrequenzbereiches.

	50 – 65 %		66 – 75 %		76 – 85 %		86 – 92 %		> 92 %	
	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n
	22,78	18	25,32	20	20,25	16	13,92	11	17,72	14
	5,00	1	-	-	35,00	7	30,00	6	30,00	6
	12,50	1	12,50	1	25,00	2	37,50	3	12,50	1
	1,56	1	4,69	3	31,25	20	37,50	24	25,00	16
	4,00	1	4,00	1	20,00	5	40,00	10	24,00	8
	-	-	12,50	2	12,50	2	37,50	6	37,50	6
gesamt	10,38	22	12,69	27	24,44	52	28,20	60	23,97	51

3.4 Laboruntersuchung Indoor-Cycling Bike

3.4.1 Spirometrische und metabolische Belastungscharakteristika während der einzelnen Belastungsformen

3.4.1.1 Atemzugvolumen

Bis zu 85 % der maximalen Herzfrequenz war mit der Zunahme der Herzfrequenz auch eine Zunahme des Atemzugvolumens 0,68 auf 2,30 l zu beobachten (relativer Anstieg von 0,21 bis 0,52 l). Ein nur geringer Unterschied ließ sich beim Wechsel der Position bei 85 % Hf_{max} beobachten (Differenz von 0,08 l). Während der Belastung bei 92 % der maximalen Herzfrequenz fiel das Atemzugvolumen leicht auf 2,37 l (vgl. Abb. 54).

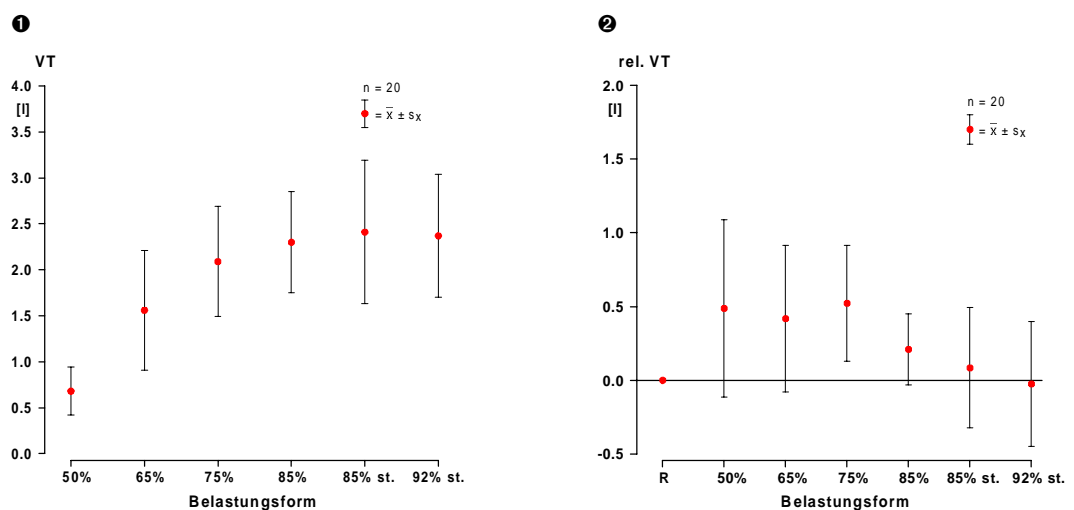


Abb. 54: Atemzugvolumen während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike

Ordinate: Atemzugvolumen in l bzw. Δ l

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung:

- ❶ Absolutes Atemzugvolumen
- ❷ Atemzugvolumen als relativer Anstieg von Belastungsform zu Belastungsform

Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab einen signifikanten Unterschied im Messer- verlauf ($p=0,000$). Die anschließenden t-Tests zeigten für alle Belastungsformen- vergleiche 50 und 65 % signifikante Ergebnisse (vgl. Tab. 85).

Tab. 85: Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen beim Atemzugvolumen auf dem Indoor-Cycling Bike

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,000$.

Angegeben sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten p bei den einzelnen Belastungsformenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
50 %		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
65 %	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
75 %	0,000	0,000		0,001	0,038	0,016
85 %	0,000	0,000	0,001		0,378	0,372
85 % st	0,000	0,000	0,038	0,378		0,811
92 % st	0,000	0,000	0,016	0,372	0,811	

3.4.1.2 Atemminutenvolumen

Das Atemminutenvolumen stieg in den Belastungsformen mit zunehmender Herzfrequenz an. Deutliche Anstiege zeigten sich zwischen den Belastungsformen 50 und 65 % Hf_{\max} mit einem relativen Anstieg von 17,28 l/min, zwischen 75 und 85 % Hf_{\max} (von 51,36 auf 67,51 ml/min) und zwischen 85 % Hf_{\max} stehend und 92 % Hf_{\max} stehend mit dem höchsten relativen Anstieg (22,01 l/min) auf 96,01 l/min.

Der geringste Anstieg ließ sich zwischen den Belastungsformen 85 % Hf_{\max} im Sitzen und Stehen beobachten (vgl. Abb. 55).

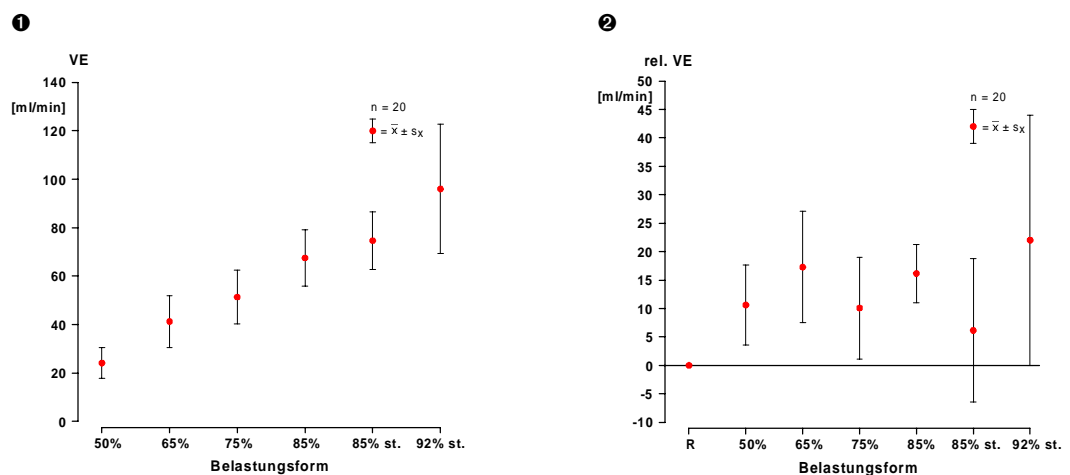


Abb. 55: Atemminutenvolumen während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike

Ordinate: Atemminutenvolumen in l/min bzw. Δ l/min

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung:

❶ Absolutes Atemminutenvolumen

❷ Atemminutenvolumen als relativer Anstieg von Belastungsform zu Belastungsform

Die einfaktorielle Varianzanalyse für Messwiederholungen zeigte ein signifikantes Ergebnis an ($p=0,000$). Die t-Tests wiesen für die Belastungsformenvergleiche 85 % Hf_{max} stehend und sitzend sowie 85 und 92 % Hf_{max} keinen signifikanten Unterschied nach (vgl. Tab. 86).

Tab. 86: Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen beim Atemminutenvolumen auf dem Indoor-Cycling Bike

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,000$.

Angegeben sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten p bei den einzelnen Belastungsformenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
50 %		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
65 %	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
75 %	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
85 %	0,000	0,000	0,000		0,048	0,000
85 % st	0,000	0,000	0,000	0,048		0,001
92 % st	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	

3.4.1.3 Absolute Sauerstoffaufnahme

Ein deutlicher Anstieg der absoluten Sauerstoffaufnahme war bis 85 % Hf_{max} zu erkennen (von 972,40 auf 2875,89 ml/min, relative Anstiege zwischen 533,44 bis 753,52 ml/min). Der höchste Anstieg zeigte sich zur Belastungsform 65 % Hf_{max} . Die Werte bei den Belastungsformen 85 % Hf_{max} sitzend und stehend sowie 92 % Hf_{max} unterschieden sich kaum (relativer Abfall von 62,75 und Anstieg von 89,97 ml/min) (vgl. Abb. 56).

Die einfaktorielle Varianzanalyse für Messwiederholungen zeigte ein signifikantes Ergebnis an ($p=0,000$). Die t-Tests wiesen für die Belastungsformenvergleiche 85 % Hf_{max} stehend und sitzend sowie 85 und 92 % Hf_{max} keinen signifikanten Unterschied nach (vgl. Tab. 87).

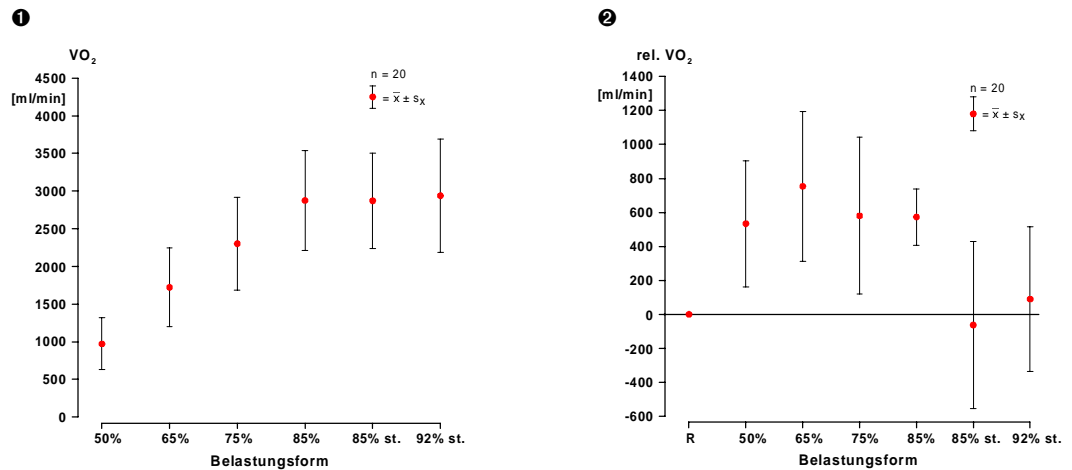


Abb. 56: Absolute Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike

Ordinate: Absolute Sauerstoffaufnahme in ml/min bzw. Δ ml/min

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung:

- ❶ Absolute Sauerstoffaufnahme
- ❷ Absolute Sauerstoffaufnahme als relativer Anstieg von Belastungsform zu Belastungsform

Tab. 87: Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen bei der absoluten Sauerstoffaufnahme auf dem Indoor-Cycling Bike

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,000$.

Angegeben sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten p bei den einzelnen Belastungsformenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
50 %		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
65 %	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
75 %	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
85 %	0,000	0,000	0,000		0,584	0,591
85 % st	0,000	0,000	0,000	0,584		0,381
92 % st	0,000	0,000	0,000	0,591	0,381	

3.4.1.4 Relative Sauerstoffaufnahme

Der gleiche Verlauf wie bei der absoluten Sauerstoffaufnahme ließ sich auch bei der relativen Sauerstoffaufnahme beobachten. Zunächst stieg die Sauerstoffaufnahme von 13,93 ml/min auf 41,97 ml/min an, auf den letzten drei Belastungsformen blieb sie mit

einem relativen Abfall von - 0,97 ml/min und einem relativen Anstieg von 0,93 ml/min in etwa gleich (vgl. Abb. 57).

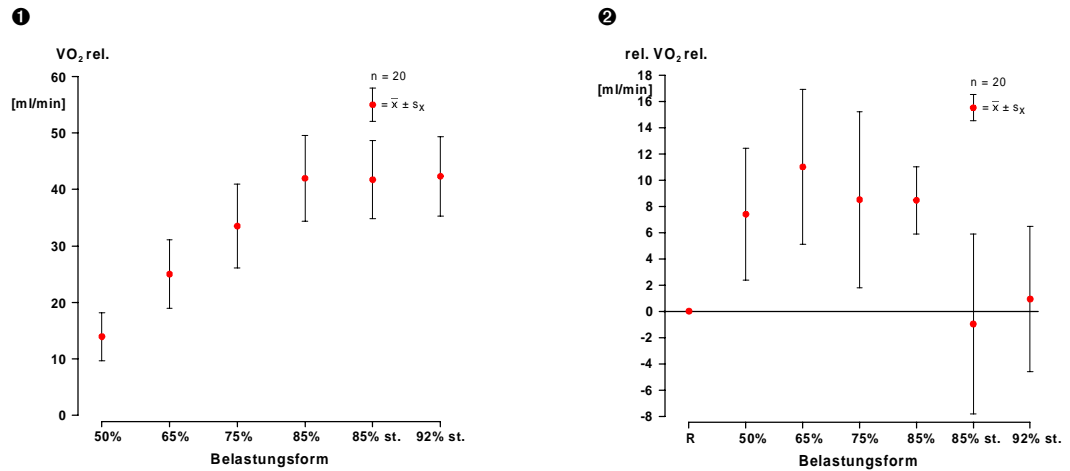


Abb. 57: Relative Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike

Ordinate: Relative Sauerstoffaufnahme in ml/min bzw. Δ ml/min

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung:

- ❶ Absolute relative Sauerstoffaufnahme
- ❷ Relative Sauerstoffaufnahme als relativer Anstieg von Belastungsform zu Belastungsform

Nach der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ($p=0,000$) konnte wie bei der absoluten Sauerstoffaufnahme für die Belastungsformvergleiche 85 % Hf_{max} sitzend und stehend und 85 und 92 % Hf_{max} stehend kein signifikanter Unterschied ermittelt werden (vgl. Tab. 88).

Tab. 88: Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen bei der relativen Sauerstoffaufnahme auf dem Gerät Indoor-Cycling Bike

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,000$.

Angegeben sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten p bei den einzelnen Belastungsformvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
50 %		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
65 %	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
75 %	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
85 %	0,000	0,000	0,000		0,544	0,698
85 % st	0,000	0,000	0,000	0,584		0,487
92 % st	0,000	0,000	0,000	0,698	0,487	

3.4.1.5 Sauerstoffpuls

Ein ähnliches Bild wie bei der Sauerstoffaufnahme zeigte sich auch beim Sauerstoffpuls. Nach relativ deutlichen Anstiegen zur Belastungsform 50 % und anschließendem Abfall (absolute Werte von 7,39 auf 35,82 ml/S, relative Anstiege zwischen 1,49 und 4,59 ml/S) ließ sich für die folgenden Belastungsformen ein ähnlicher Sauerstoffpuls ermitteln (16,57 bis 16,89 ml/S). Dabei lag der Sauerstoffpuls bei der Belastungsform 85 % Hf_{max} sitzend über dem der anderen Belastungsformen (vgl. Abb. 58).

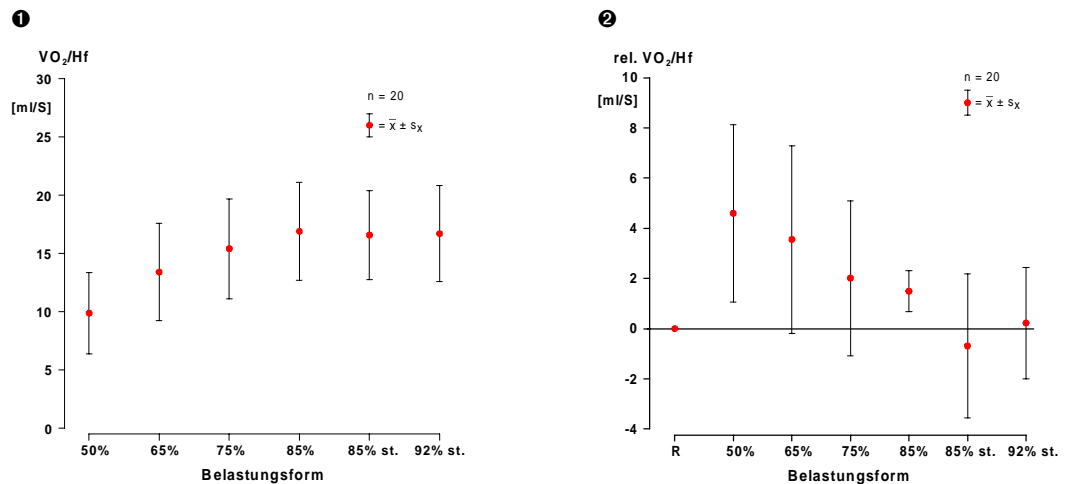


Abb. 58: Sauerstoffpuls während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike

Ordinate: Sauerstoffpuls in ml/S bzw. Δ ml/S

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung:

❶ Absoluter Sauerstoffpuls

❷ Relativer Sauerstoffpuls als relativer Anstieg von Belastungsform zu Belastungsform

Die einfaktorielle Varianzanalyse wies für den gesamten Messverlauf einen signifikanten Unterschied nach ($p=0,000$). Die anschließenden t-Test ergaben signifikante Ergebnisse bei allen Belastungsformvergleichen mit 50 % Hf_{max} , sowie zwischen 65 bis 85 % Hf_{max} stehend und zwischen 75 und 85 % Hf_{max} (vgl. Tab. 89).

Tab. 89: Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen beim Sauerstoffpuls auf dem Gerät Indoor-Cycling Bike

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,000$.

Angegeben sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten p bei den einzelnen Belastungsformenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
50 %		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
65 %	0,000		0,000	0,000	0,000	0,001
75 %	0,000	0,000		0,000	0,222	0,078
85 %	0,000	0,000	0,000		0,311	0,830
85 % st	0,000	0,000	0,222	0,311		0,676
92 % st	0,000	0,001	0,078	0,830	0,676	

3.4.1.6 Respiratorischer Quotient

Der respiratorische Quotient blieb während der ersten beiden Belastungsformen mit 0,83 und 0,84 auf einem Niveau (relative Anstiege von 0,01). Ein deutlicherer Anstieg war mit 0,03 zur Belastungsform 75 % $H_{f_{max}}$ sowie 85 % $H_{f_{max}}$ sitzend (0,04) zu erkennen (absolute Werte von 0,87 bzw. 0,93). Der höchste respiratorische Quotient zeigte sich bei der Belastungsform 92 % $H_{f_{max}}$ mit 1,08 (vgl. Abb. 59).

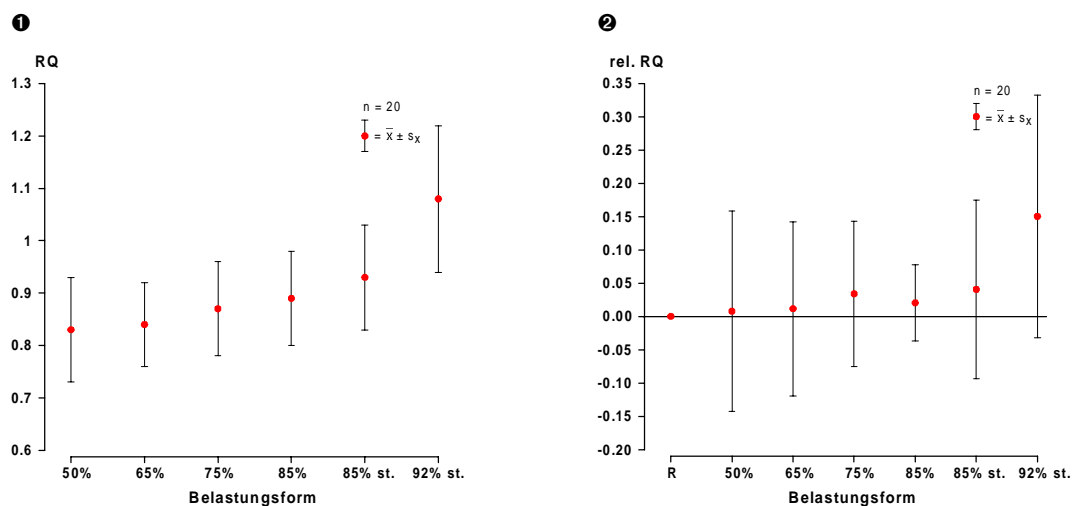


Abb. 59: Respiratorischer Quotient während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike

Ordinate: Respiratorischer Quotient bzw. Δ des respiratorischen Quotienten

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung:

- ❶ Absoluter Respiratorischer Quotient
- ❷ Respiratorischer Quotient als relativer Anstieg von Belastungsform zu Belastungsform

Die einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigte ein signifikantes Ergebnis im Messverlauf an ($p=0,000$). Die anschließenden t-Tests wiesen für die Vergleiche 85 % Hf_{max} und 65 bzw. 75 % Hf_{max} sowie für die Vergleiche mit 92 % Hf_{max} außer 85 % Hf_{max} stehend signifikante Unterschiede nach (vgl. Tab. 90).

Tab. 90: Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen beim respiratorischen Quotienten auf dem Gerät Indoor-Cycling Bike

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,000$.

Angegeben sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten p bei den einzelnen Belastungsformvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
50 %		0,063	0,012	0,001	0,000	0,000
65 %	0,063		0,180	0,037	0,000	0,000
75 %	0,012	0,180		0,127	0,114	0,000
85 %	0,001	0,037	0,127		0,204	0,000
85 % st	0,000	0,000	0,114	0,204		0,003
92 % st	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	

3.4.1.7 Kalorienverbrauch

Während bei den ersten vier Belastungsformen ein deutlicher Anstieg des Kalorienverbrauchs mit der zunehmenden Herzfrequenz zu beobachten war (Kalorienverbrauch zwischen 4,71 und 14,12 kcal/min, relative Anstiege zwischen 2,59 und 3,68 kcal/min), zeigte sich bei den Belastungsformen 85 % Hf_{max} sitzend und stehend sowie 92 % Hf_{max} in etwa der gleiche Kalorienverbrauch (zwischen 14,12 und 14,71 kcal/min) (vgl. Abb. 60).

Es ließ sich anhand der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ein signifikanter Unterschied im Messverlauf nachweisen. Die anschließenden t-Tests zeigten keine signifikanten Ergebnisse für die Belastungsformvergleiche 85 % Hf_{max} sitzend und stehend sowie 85 % Hf_{max} und 92 % Hf_{max} (vgl. Tab. 91).

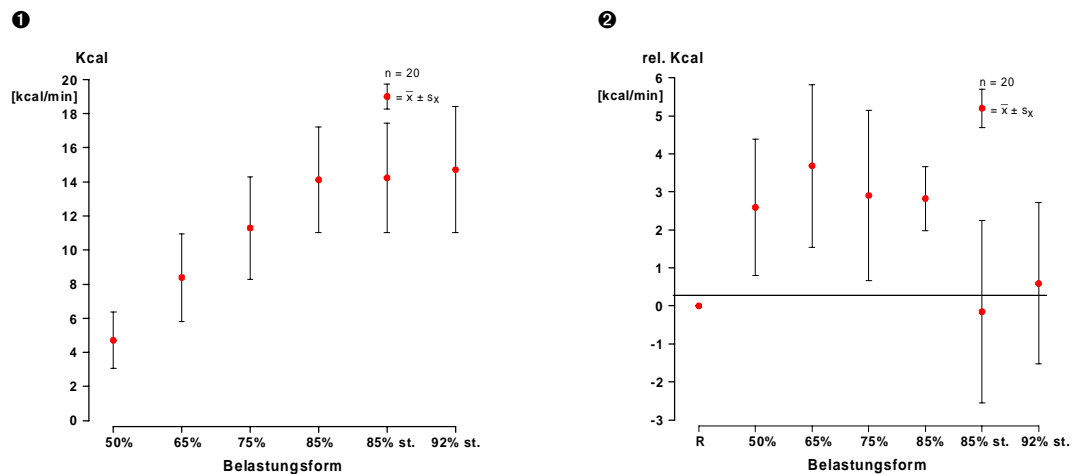


Abb. 60: Kalorienverbrauch während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike

Ordinate: Kalorienverbrauch in kcal/min bzw. Δ kcal/min

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung:

- ❶ Absoluter Kalorienverbrauch
- ❷ Kalorienverbrauch als relativer Anstieg von Belastungsform zu Belastungsform

Tab. 91: Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen beim Kalorienverbrauch auf dem Gerät Indoor-Cycling Bike

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,000$.

Angegeben sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten p bei den einzelnen Belastungsformenvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
50 %		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
65 %	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
75 %	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
85 %	0,000	0,000	0,000		0,787	0,302
85 % st	0,000	0,000	0,000	0,787		0,255
92 % st	0,000	0,000	0,000	0,302	0,255	

3.4.1.8 Laktat

Ein geringer Anstieg des Laktats zeigte sich zwischen der Belastungsform 50 % Hf_{max} und 65 % Hf_{max} (1,26 bzw. 1,77 mmol/l). Deutlichere Anstiege ließen sich bei den folgenden Belastungsformen erkennen (relative Anstiege zwischen 1,44 und

3,30 mmol/l), der höchste Laktatwert konnte mit 9,80 mmol/l bei der Belastungsform 92 % Hf_{max} stehend verzeichnet werden (vgl. Abb. 61).

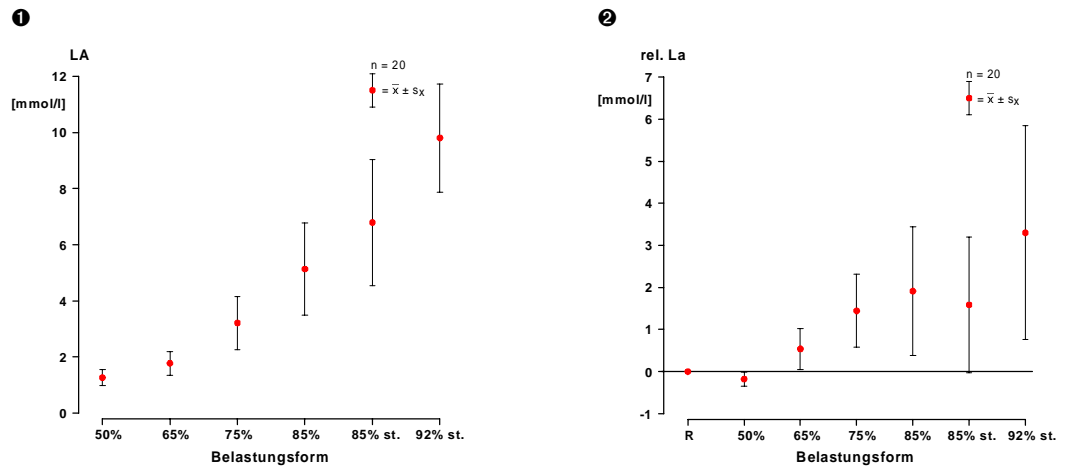


Abb. 61: Laktat während der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike

Ordinate: Laktat in mmol/l bzw. Δ mmol/l

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte ± Standardabweichung:

- ❶ Absolutes Laktat
- ❷ Laktat als relativer Anstieg von Belastungsform zu Belastungsform

Die einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung ergab ein signifikantes Ergebnis im Messverlauf. Die anschließenden t-Tests zeigten signifikante Unterschiede bei allen Belastungsformvergleichen an (vgl. Tab. 92).

Tab. 92: Ergebnisse der t-Tests über die Belastungsformen beim Laktat auf dem Gerät Indoor-Cycling Bike

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,000$.

Angegeben sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten p bei den einzelnen Belastungsformvergleichen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
50 %		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
65 %	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
75 %	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
85 %	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
85 % st	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
92 % st	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

3.4.2 Subjektives Belastungsempfinden auf dem Indoor-Cycling Bike

Die Belastung wurde entsprechend der zunehmenden Herzfrequenz von Belastungsform zu Belastungsform als anstrengend beurteilt. Die RPE-Werte spiegelten ein Belastungsempfinden zwischen sehr sehr leicht / leicht und sehr sehr schwer wider. Die höchsten Zunahmen ließen sich bei den Belastungsformen 50 zu 65 % und 85 % sitzend und 85 % stehend erkennen.

Die ermittelten Herzfrequenzen lagen bei allen Belastungsformen über den genannten RPE-Werten (vgl. Tab. 93).

Tab. 93: RPE-Wert und Herzfrequenz bei den einzelnen Belastungsformen auf dem Indoor-Cycling Bike

Angegeben sind jeweils der Median und die Percentile 25 und 75 %.

	Median		Percentil 25 %		Percentil 75 %	
	RPE	HF	RPE	HF	RPE	HF
50 %	8,00	98,54	7,00	97,15	8,00	102,40
65 %	11,00	129,33	9,00	127,58	12,00	130,42
75 %	12,00	149,69	10,25	147,88	13,00	155,00
85%	14,00	169,20	13,00	167,52	15,00	175,89
85 % st	17,00	175,22	15,00	169,24	17,00	180,00
92 % st	19,00	177,50	18,00	172,05	19,00	180,34

Der Vergleich der ermittelten Herzfrequenz mit der entsprechenden Herzfrequenz der genannten RPE-Werte zeigte in der Messwiederholung ein signifikantes Ergebnis an. Die anschließenden t-Tests ergaben bei allen Belastungsformen einen signifikanten Unterschied zwischen der ermittelten und subjektiv eingeschätzten Herzfrequenz (vgl. Tab. 94).

Tab. 94: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse und t-Tests beim Vergleich der RPE-Werte und der Herzfrequenz auf den einzelnen Belastungsformen beim Indoor-Cycling Bike

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsformen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

VA	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Die Korrelation der RPE-Werte mit den Herzfrequenzwerten ergab nur bei der Belastungsform 85 % stehend einen mittleren Zusammenhang ($r=0,413$). Alle anderen

Belastungsformen ließen einen geringen negativen und positiven Zusammenhang erkennen (vgl. Tab. 95).

Tab. 95: Korrelation der RPE-Werte mit der Herzfrequenz beim Indoor-Cycling Bike

Angegeben ist der Korrelationskoeffizient r und p -Wert der Signifikanzberechnung. Signifikanzen sind grau unterlegt

	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
r-Wert	-0,372	-0,033	-0,050	-0,199	0,413	0,225
p-Wert	0,129	0,890	0,834	0,401	0,079	0,370

3.4.3 Spirometrische und metabolische Belastungscharakteristika während der einzelnen Belastungsstufen auf dem Fahrradergometer

3.4.3.1 Atemzugvolumen

Das Atemzugvolumen stieg in etwa linear von Belastungsstufe zu Belastungsstufe auf 3,36 l (300 Watt) bzw. 4,54 l (350 Watt). In der Erholungsphase sank das Atemzugvolumen nach sechs Minuten auf 1,06 l und lag damit über dem Ruhewert (vgl. Abb. 62).

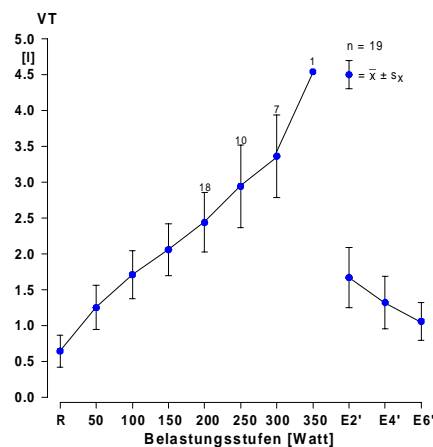


Abb. 62: Atemzugvolumen während der Belastung auf dem Fahrradergometer

Ordinate: Atemzugvolumen in l

Abszisse: Belastungsstufen in Watt

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung.

3.4.3.2 Atemminutenvolumen

Das Atemminutenvolumen erreichte bei 300 Watt einen Wert 121,83 l/min, bei 350 war ein Wert von 129,01 l/min zu erkennen. Der Anstieg von Belastungsstufe zu

Belastungsstufe war linear. In der Erholungsphase zeigte sich nach sechs Minuten ein Wert von 27,91 l/min, der über dem Ruhewert lag (vgl. Abb. 63).

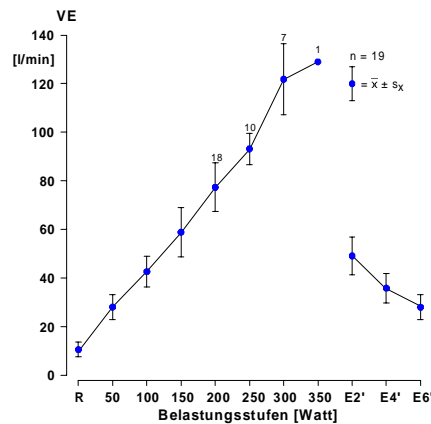


Abb. 63: Atemminutenvolumen während der Belastung auf dem Fahrradergometer

Ordinate: Atemminutenvolumen in l/min

Abszisse: Belastungsstufen in Watt

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung.

3.4.3.3 Absolute Sauerstoffaufnahme

Die absolute Sauerstoffaufnahme nahm von 399,84 ml/min auf maximal 3777,47 ml/min (300 Watt) bzw. 4310,27 ml/min (350 Watt) zu. Es ließ sich ein linearer Anstieg beobachten. Die Erholungsphase war durch einen initialen Abfall der Sauerstoffaufnahme auf zunächst 1188,37 ml/min gekennzeichnet. Nach sechs Minuten Erholung zeigte sich eine Sauerstoffaufnahme von 809,04 ml/min (vgl. Abb. 64).

3.4.3.4 Relative Sauerstoffaufnahme

Die relative Sauerstoffaufnahme stieg linear von 4,46 ml/min auf 48,87 ml/min bei 300 Watt (50,71 ml/min bei 350 Watt) an. In der Erholungsphase sank die relative Sauerstoffaufnahme nach sechs Minuten auf 11,91 ml/min und lag damit deutlich über dem Ausgangswert (vgl. Abb. 65).

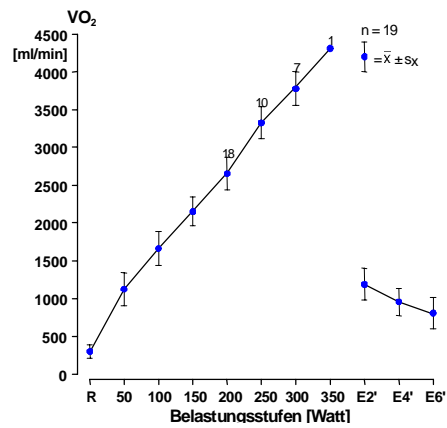


Abb. 64: Absolute Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Fahrradergometer

Ordinate: Absolute Sauerstoffaufnahme in ml/min

Abszisse: Belastungsstufen in Watt

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung.

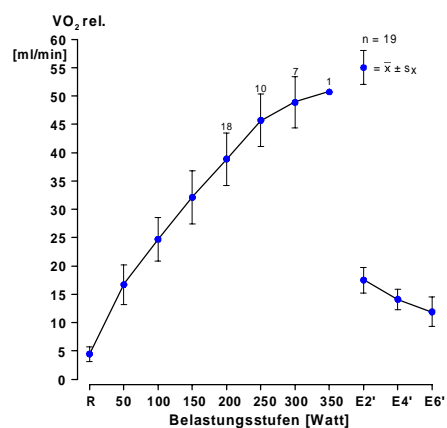


Abb. 65: Relative Sauerstoffaufnahme während der Belastung auf dem Fahrradergometer

Ordinate: Relative Sauerstoffaufnahme in ml/min

Abszisse: Belastungsstufen in Watt

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung.

3.4.3.5 Sauerstoffpuls

Der Sauerstoffpuls erreichte bei 300 Watt einen Wert von 19,50 ml/S (350 Watt 21,34 ml/S). In der Erholungsphase sank der Sauerstoffpuls auf zunächst 9,04 ml/S, später weiter auf 6,70 ml/S (vgl. Abb. 66).

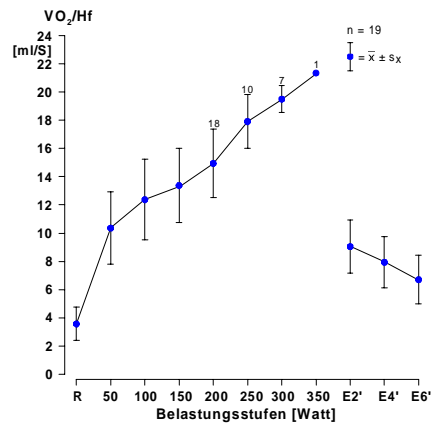


Abb. 66: Sauerstoffpuls während der Belastung auf dem Fahrradergometer

Ordinate: Sauerstoffpuls in ml/S

Abszisse: Belastungsstufen in Watt

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung.

3.4.3.6 Respiratorischer Quotient

Der respiratorische Quotient sank zunächst leicht von 0,87 in Ruhe auf 0,86 während der ersten Belastungsstufe. Im weiteren Verlauf war ein Anstieg auf 1,08 bei 300 Watt bzw. 1,05 bei 350 Watt zu erkennen. In der Erholungsphase stieg der respiratorische Quotient zunächst weiter auf 1,22, später sank er auf 1,03 bzw. 0,92 (vgl. Abb. 67).

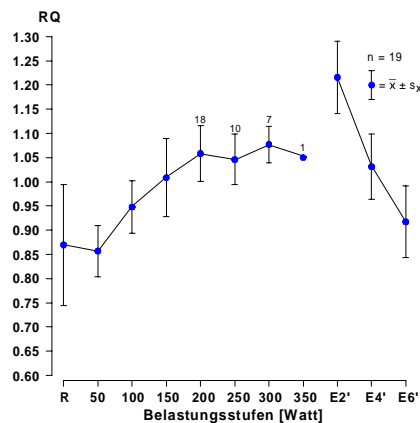


Abb. 67: Respiratorischer Quotient während der Belastung auf dem Fahrradergometer

Ordinate: Respiratorischer Quotient

Abszisse: Belastungsstufen in Watt

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung.

3.4.3.7 Kalorienverbrauch

Beim Kalorienverbrauch war ein linearer Anstieg von 1,46 kcal/min auf 19,19 kcal/min bei 300 Watt (21,95 kcal/min bei 350 Watt) zu beobachten. Der Wert ging in der Erholungsphase auf zunächst 6,05 kcal/min zurück, später betrug der Kalorienverbrauch 4,00 kcal/min (vgl. Abb. 68).

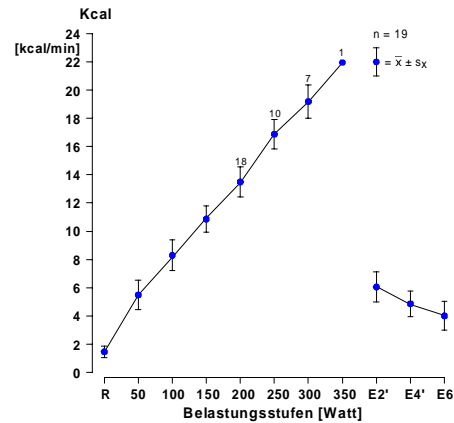


Abb. 68: Kalorienverbrauch während der Belastung auf dem Fahrradergometer

Ordinate: Kalorienverbrauch in kcal/min

Abszisse: Belastungsstufen in Watt

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung.

3.4.3.8 Herzfrequenz

Die Herzfrequenz stieg von 86,16 S/min in Ruhe auf 193,86 S/min bei 300 Watt bzw. 202,00 S/min bei 350 Watt. Nach einem zunächst linearen Anstieg flacht die Herzfrequenzkurve ab 200 Watt leicht ab. In der Erholungsphase sank die Herzfrequenz nach sechs Minuten auf 121,63 S/min (vgl. Abb. 69).

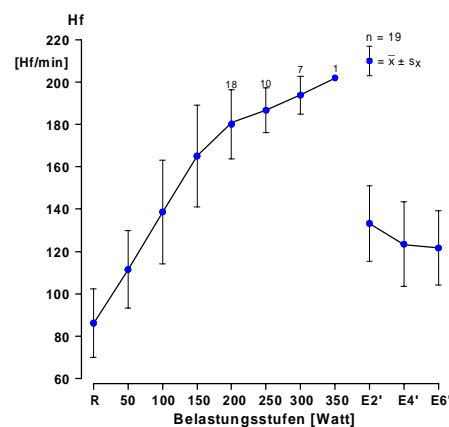


Abb. 69: Herzfrequenz während der Belastung auf dem Fahrradergometer

Ordinate: Herzfrequenz in S/min

Abszisse: Belastungsstufen in Watt

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung.

3.4.3.9 Laktat

Der Laktatwert stieg zunächst nur leicht von 1,15 mmol/l in Ruhe auf 1,94 mmol/l bei 100 Watt. Im weiteren Verlauf war eine steilere Laktatkurve zu erkennen, der maximale Wert fand sich mit 8,10 mmol/l bei 300 Watt bzw. 7,55 mmol/l bei 350 Watt. Die Erholungsphase war durch einen langsamen Abfall des Laktats auf 7,23 mmol/l gekennzeichnet (vgl. Abb. 70).

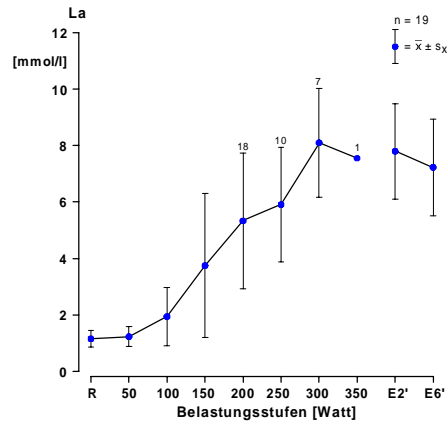


Abb. 70: Laktat während der Belastung auf dem Fahrradergometer

Ordinate: Laktat in mmol/l

Abszisse: Belastungsstufen in Watt

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung.

3.4.4 Vergleich der Sauerstoffaufnahme und des Laktats sowie der Wattleistung auf dem Indoor-Cycling Bike und dem Fahrradergometer bei normatisierter Herzfrequenz

3.4.4.1 Sauerstoffaufnahme

Die Sauerstoffaufnahme der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike lag bei allen Belastungsformen über den extrapolierten Werten des Stufenbelastungstests auf dem Fahrradergometer. Lediglich bei der Belastungsform 92 % Hf_{max} ließ sich mit 3047,79 ml/min eine leicht höhere Sauerstoffaufnahme auf dem Fahrradergometer (2889,80 ml/min) beobachten. Deutliche Unterschiede zeigten sich bei den Belastungsformen 85 % Hf_{max} sitzend und stehend (Differenz von 545,25 und 504,04 ml/min) (vgl. Abb. 71).

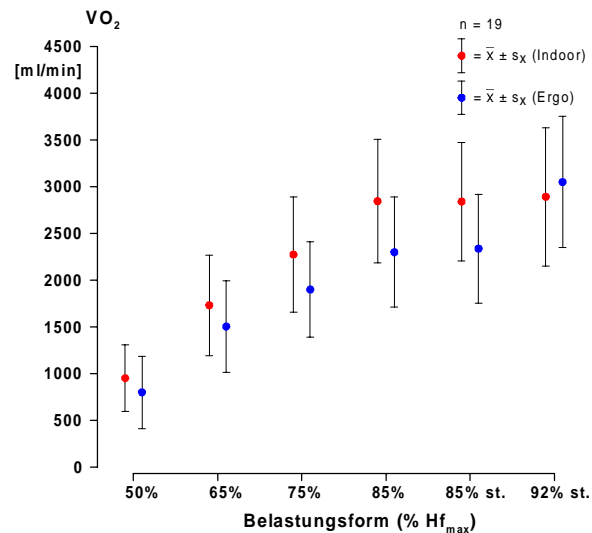


Abb. 71: Vergleich der Sauerstoffaufnahme beim Indoor-Cycling Bike und beim Fahrradergometer

Ordinate: Sauerstoffaufnahme in ml/min

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung:

- Sauerstoffaufnahme auf dem Indoor-Cycling Bike
- Extrapolierte Sauerstoffaufnahme auf dem Fahrradergometer

Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab einen signifikanten Unterschied im Messverlauf. Die t-Tests zeigten signifikante Ergebnisse bei den Vergleichen der Belastungsformen 75 % Hf_{max}, 85 % Hf_{max} sitzend und stehend (vgl. Tab. 96).

Tab. 96: Ergebnisse der Inferenzstatistik beim Vergleich der Sauerstoffaufnahme auf dem Indoor-Cycling Bike und dem Fahrradergometer

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsformen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

VA	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
0,000	0,160	0,057	0,000	0,000	0,001	0,107

3.4.4.2 Laktat

Bei allen Belastungsformen zeigten sich höhere Laktatwert bei der Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike. Während bei den Belastungsformen 50 und 65 % nur geringe Unterschiede zu erkennen waren (0,13 bzw. 0,20 mmol/l), ließen sich auf den folgenden drei Stufen deutlichere Differenzen erkennen (größte Differenz bei Belastungsform

85 % stehend mit 3,53 mmol/l). Ähnlich hohe Laktatwerte zeigten sich bei der Belastungsform 92 % (8,04 bzw. 7,96 mmol/l, Differenz von 0,07 mmol/l) (vgl. Abb. 72).

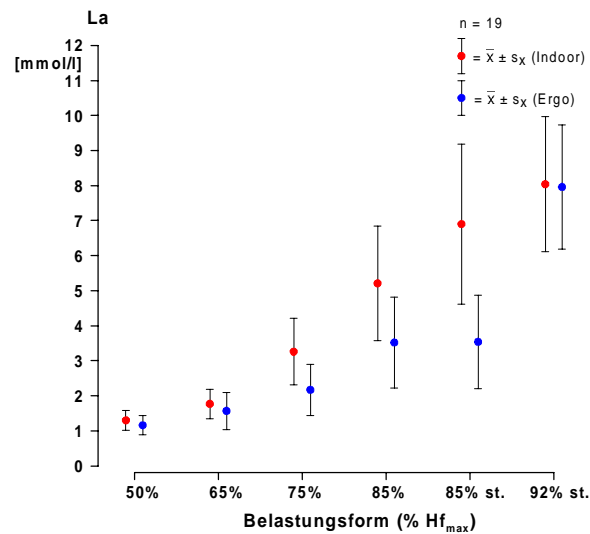


Abb. 72: Vergleich des Laktats beim Indoor-Cycling Bike und beim Fahrradergometer

Ordinate: Laktat in mmol/l

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung:

- Laktat auf dem Indoor-Cycling Bike
- Extrapoliertes Laktat auf dem Fahrradergometer

Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigte ein signifikantes Ergebnis im Messverlauf an. Die anschließenden t-Tests ergaben signifikante Unterschiede bei den Belastungsformen 75 % Hf_{max}, 85 % Hf_{max} sitzend und stehend (vgl. Tab. 97).

Tab. 97: Ergebnisse der Inferenzstatistik beim Vergleich des Laktats auf dem Indoor-Cycling Bike und dem Fahrradergometer

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsformen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

VA	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
0,001	0,148	0,163	0,000	0,000	0,000	0,892

3.4.4.3 Wattleistung

Die Wattleistung auf dem Indoor-Cycling Bike lag bei den Belastungsformen 75 % $H_{f_{max}}$ und 85 % $H_{f_{max}}$ sitzend über der extrapolierten Wattleistung auf dem Fahrradergometer. Es zeigten sich hier Differenzen zwischen 34,89 und 31,42 Watt. Bei allen anderen Belastungsformen ließen sich höhere Werte beim Fahrradergometer erkennen. Die Differenz war bei der Belastungsform 92 % $H_{f_{max}}$ mit 200,74 Watt am höchsten (vgl. Abb. 73).

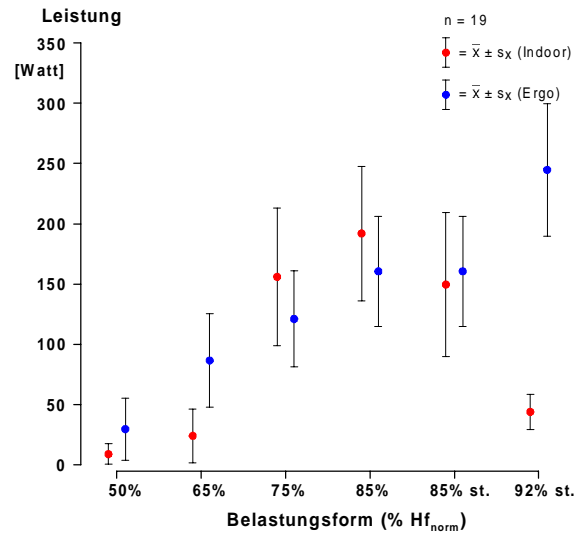


Abb. 73: Vergleich der Wattleistung beim Indoor-Cycling Bike und beim Fahrradergometer

Ordinate: Wattleistung in Watt

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung:

- Wattleistung auf dem Indoor-Cycling Bike
- Extrapolierte Wattleistung auf dem Fahrradergometer

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte einen signifikanten Unterschied im Messverlauf an. Die t-Tests ergaben kein signifikantes Ergebnis bei der Belastungsform 85 % stehend (vgl. Tab. 98).

Tab. 98: Ergebnisse der Inferenzstatistik beim Vergleich der Wattleistung auf dem Indoor-Cycling Bike und dem Fahrradergometer

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsformen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

VA	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
0,000	0,008	0,000	0,001	0,002	0,391	0,000

3.4.5 Vergleich der Sauerstoffaufnahme und des Laktats auf dem Indoor-Cycling Bike bei normatisierter und individuell ermittelter Herzfrequenz

3.4.5.1 Sauerstoffaufnahme

Lediglich einen geringen Unterschied in der Sauerstoffaufnahme ließ sich bei der Belastungsform 50 % Hf_{max} erkennen. Die Sauerstoffaufnahme bei 50 % der individuellen maximalen Herzfrequenz lag mit 35,88 ml/min über dem Wert bei normierter maximaler Herzfrequenz. Beim Vergleich der Sauerstoffaufnahme bei allen übrigen Belastungsformen waren die Differenzen mit Werten zwischen 132,05 und 222,43 ml/min ebenfalls sehr gering. Die Sauerstoffaufnahme bei normierter maximaler Herzfrequenz befand sich dabei immer über der Sauerstoffaufnahme bei individueller maximaler Herzfrequenz (vgl. Abb. 74).

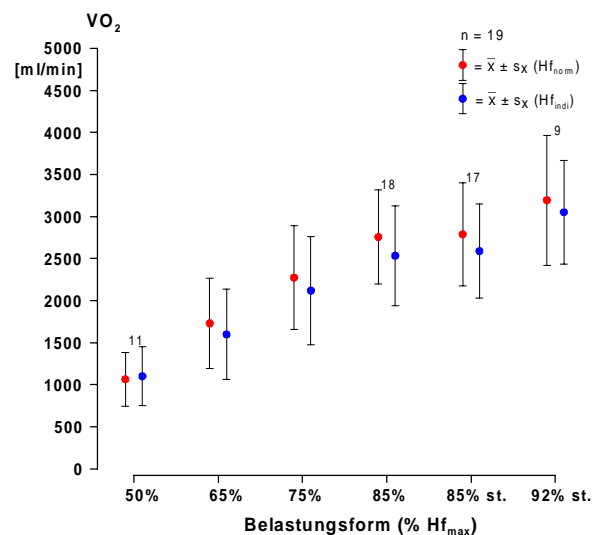


Abb. 74: Vergleich der Sauerstoffaufnahme bei normierter und individueller maximaler Herzfrequenz auf dem Indoor-Cycling Bike

Ordinate: Sauerstoffaufnahme in ml/min

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung:

- Sauerstoffaufnahme bei normierter maximaler Herzfrequenz
- Sauerstoffaufnahme bei individueller maximaler Herzfrequenz

Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab keinen signifikanten Unterschied im Messverlauf (vgl. Tab. 99).

Tab. 99: Ergebnisse der Inferenzstatistik bei der Sauerstoffaufnahme bei normierter und individueller maximaler Herzfrequenz auf dem Indoor-Cycling Bike

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsformen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

VA	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
0,300	-	-	-	-	-	-

3.4.5.2 Laktat

Die Laktatwerte bei den Belastungsformen 50 und 65 % Hf_{max} waren in etwa gleich (Differenzen von -0,03 und 0,01 mmol/l). Bei allen folgenden Belastungsformen lagen die Laktatwerte der normierten maximalen Herzfrequenz über denen der individuellen maximalen Herzfrequenz. Die Differenzen nahmen von Belastungsform zu Belastungsform zu (Differenzen zwischen 0,50 und 2,49 mmol/l) (vgl. Abb. 75).

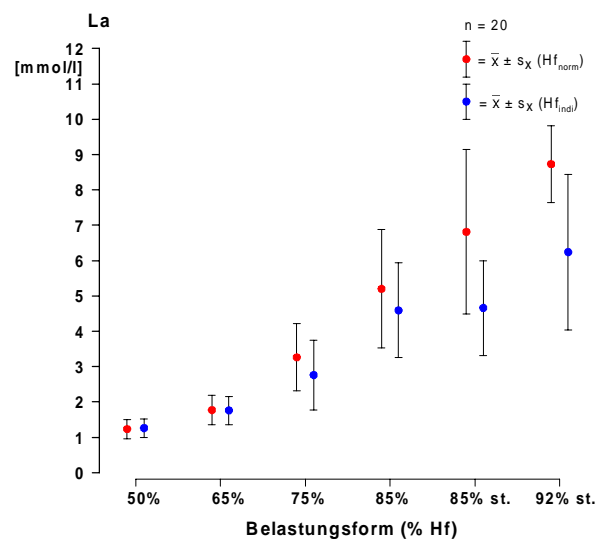


Abb. 75: Vergleich des Laktats bei normierter und individueller maximaler Herzfrequenz auf dem Indoor-Cycling Bike

Ordinate: Sauerstoffaufnahme in ml/min

Abszisse: Belastungsform in Prozent der maximalen Herzfrequenz nach GOLDING

Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte \pm Standardabweichung:

- Sauerstoffaufnahme bei normierter maximaler Herzfrequenz
- Sauerstoffaufnahme bei individueller maximaler Herzfrequenz

Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung ergab keinen signifikanten Unterschied im Messverlauf (vgl. Tab. 100).

Tab. 100: Ergebnisse der Inferenzstatistik beim Vergleich des Laktats bei normierter und individueller maximaler Herzfrequenz auf dem Indoor-Cycling Bike

Korrigiertes Signifikanzniveau $\alpha = 0,009$.

Angegeben ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Belastungsformen.

Signifikanzen sind grau unterlegt.

VA	50 %	65 %	75 %	85 %	85 % st	92 % st
0,384	-	-	-	-	-	-

4 Diskussion

4.1 Methodenkritische Anmerkungen

4.1.1 Validität und Reliabilität der ausgewählten Parameter und Messverfahren

Die Sauerstoffaufnahme gilt als Bruttokriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit. Sie wird durch pulmonale und kardiovaskuläre Parameter bestimmt und fasst so die Leistungsfähigkeit des gesamten Organismus zusammen [78, 99].

Der Respiratorische Quotient, der sich aus der Kohlendioxidabgabe und Sauerstoffaufnahme berechnet, zeigt an, welche Anteile die einzelnen Nährstoffe in der Energiebereitstellung einnehmen. Mit Hilfe des Kalorischen Äquivalent kann so der Kalorienverbrauch berechnet werden.

In der vorliegenden Untersuchung wurde das telemetrische Spirometriesystem „K4 b²“ der Firma Cosmed verwendet. Es ermöglicht eine kontinuierliche, breath-to-breath Aufzeichnung der Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe (vgl. Kapitel 2.4.1).

Die Validität und Reliabilität der gemessenen Sauerstoffaufnahmewerte konnte von HAUSSWIRTH ET AL. (1997) nachgewiesen werden. Bei den Werten der Kohlendioxidabgabe hingegen stellten sie tendenziell leicht höhere Werte als beim Kontrollgerät fest.

Um eine fehlerhafte Messung der Kohlendioxidabgabe in der vorliegenden Studie zu vermeiden, wurde vor jeder Untersuchung eine Referenzgaskalibrierung des Spirometriesystems durchgeführt. Die Validität des Kohlendioxidwertes erfolgte über die Kontrolle des Respiratorischen Quotienten. Die Messung wurde nur dann fortgesetzt, wenn sich in Ruhe ein normgerechter Respiratorischer Quotient ($< 0,85$) zeigte.

Auswirkungen der Gesichtsmaske auf die physiologischen Parameter während Belastung konnten HECK ET AL. (1983) feststellen. HECK ET AL. führten dies in erster Linie auf eine Behinderung der Probanden in der Laufkoordination zurück, einen Einfluss durch vermehrte Atemarbeit schlossen sie bei submaximaler Belastung aus [70]. Da es sich in der vorliegenden Untersuchung um eine stark geführte (Moonwalker) bzw. einfache Bewegung (Laufband, Fahrradergometer, Indoor-Cycling Bike) handelte, konnte eine Beeinträchtigung der Koordination durch die Gesichtsmaske nahezu ausgeschlossen werden.

Die Herzfrequenz verhält sich unabhängig von Geschlecht, Alter und Fitnesszustand linear zur Sauerstoffaufnahme und gilt somit als weiterer belastungsanzeigender Parameter [78, 99].

Die Herzfrequenzmessung erfolgte mit Hilfe des Herzfrequenz-Messgerätes „Vantage XL“ der Firma Polar Electro. Die Validität und Reliabilität der gemessenen Werte konnten von GODSEN ET AL. (1991) nachgewiesen werden.

Die Höhe des Laktatspiegels kennzeichnet den Anteil der aeroben bzw. anaeroben Energiebereitstellung. Der Übergang zu einer vorwiegend anaeroben Energiebereitstellung wird aerob-anaerobe Schwelle genannt. Zur Höhe der aerob-anaeroben Schwelle liegen verschiedene Konzepte vor.

Zur Bestimmung des Laktatwertes wurden Blutabnahmen aus dem Ohrläppchen vorgenommen. Die Reliabilität des Laktatwertes aus dem arteriellen Blut des Ohrläppchens konnte in verschiedenen Studien nachgewiesen werden [49].

Die Auswertung des Laktats erfolgte über ein enzymatisch-amperometrisches Messprinzip mit dem Gerät EBIO plus der Firma Eppendorf. Die Validität und Reliabilität dieses Messprinzips konnte von HARTMANN nachgewiesen werden [46].

4.1.2 Wahl der Belastungsstufen

4.1.2.1 Belastungsstufen auf dem Moonwalker

Auf dem Moonwalker wurde die Schrittgeschwindigkeit der jeweiligen Stufe bei vorgegebener Bewegungsamplitude durch das Metronom bestimmt. Trotz einer durchgängigen Kontrolle durch den Untersuchungsleiter, zeigte sich bei einigen Probanden vorwiegend auf der ersten und letzten Belastungsstufe ein Abweichen von der vorgegebenen Frequenz, sowie eine verringerte Bewegungsamplitude. Die einhergehende Änderung in der Belastungsintensität auf den Belastungsstufen muss in der Diskussion der Daten berücksichtigt werden.

4.1.2.2 Belastungsstufen auf dem Crosstrainer

Auf dem Crosstrainer waren die Belastungsstufen über eine Stellschraube vorgegeben. Um die Belastungsintensität zu ermitteln, wurde ein Kraftaufnehmer in Höhe der Magnetbremse montiert. Da die aufgenommenen Werte auf den einzelnen Stufen aufgrund der verschiedenen Körperpositionen im Mittel um 5 bis 7 Watt variierten, wurde eine mittlere Belastungsintensität für den Stufentest auf dem Fahrradergometer festgelegt. Somit kam es z.T. zu einer niedrigeren bzw. höheren Belastungsintensität auf dem Fahrradergometer.

4.1.2.3 Belastungsstufen auf dem Indoor-Cycling Bike

Die Belastungsformen auf dem Indoor-Cycling Bike orientierte sich nach dem Ausbildungsmanual von GOLDING (1997). Die jeweilige Belastungsintensität richtete sich nach der altersentsprechenden normativen Herzfrequenz, die für jeden einzelnen Probanden berechnet wurde.

Die Belastungsform Fahren im Stehen mit geringem Widerstand bei 92 % der maximalen Herzfrequenz konnte nur von einigen Probanden über die gesamte Belastungszeit gehalten werden, in den meisten Fällen kam es bereits nach ein bis zwei Minuten zum Belastungsabbruch. Es ist somit davon auszugehen, dass sich die physiologischen Parameter noch nicht endgültig der Belastungsintensität angepasst haben und durchaus höhere Belastungswerte möglich sind.

Weiter zu berücksichtigen sind die verschiedenen Handpositionen und die daraus resultierende Änderung der Körperposition während des Fahrens. GOLDING (1997) definiert drei verschiedene Handpositionen, die bei den einzelnen Belastungsformen Einsatz finden. In der Grundposition befinden sich beide Hände geschlossen in der Mitte des Lenkers, die Schultern und Ellbogen sind entspannt. Diese Handposition wird für das Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand genutzt. Eine weite Handposition, die eine aufrechte Körperposition ohne Einschränkung der Atemmuskulatur ermöglicht, wird beim Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand sowie beim Fahren im Stehen mit geringem Widerstand verwendet. Beim Fahren im Stehen mit hohem Widerstand werden die Hände am vorderen Ende des Lenkers aufgesetzt. Die vorgegebenen Handpositionen wurden innerhalb der einzelnen Belastungsformen beibehalten. Somit kann ein Einfluss durch unterschiedliche Hand- und damit Körperpositionen ausgeschlossen werden.

4.2 Verlauf der physiologischen Parameter

4.2.1 Untersuchung Moonwalker

4.2.1.1 Beschreibung und Einordnung des gesamten Verlaufs

Beim Stufentest auf dem Moonwalker zeigte sich bei allen Belastungsformen von Belastungsstufe zu Belastungsstufe eine zum größten Teil signifikante Zunahme der kardiopulmonalen Messgrößen sowie des Kalorienverbrauchs. Dabei fiel der Anstieg von der ersten zur zweiten Belastungsstufe beim Moonwalker deutlich geringer aus als bei den folgenden Stufen. Zur letzten Belastungsstufe ließ sich ein überproportionaler Anstieg im Vergleich zu den anderen Stufen erkennen.

Durch die Aufhängung der Schwungelemente des Moonwalkers an einer mittleren Achse ergab sich bei der Einzelbewegung eine Eigendynamik, d.h. bei der Vor- und Rückführung bis zum Umkehrpunkt beschleunigten sich die Schwingen aufgrund der einwirkenden Gravitationskraft des Hebels und der Beine. Die resultierende Geschwindigkeit bei freier Wirkung der Kräfte lag oberhalb der auf der ersten Belastungsstufe vorgegebenen Schrittfrequenz, sodass, um den Takt des Metronoms zu halten, ein permanentes Abbremsen der Bewegung nötig war. Die höhere physiologische Beanspruchung auf Stufe 1 könnte somit auf die zusätzliche muskuläre Akti-

vität während der Bremsleistung zurückgeführt werden. Zudem konnte bei einigen Probanden aufgrund koordinativer Schwierigkeiten eine höhere als die vorgegebene Schrittfrequenz auf der ersten Belastungsstufe beobachtet werden, sodass die Belastung und damit auch die physiologische Beanspruchung auf den Stufen 1 und 2 in etwa gleich war.

Die hohe Bewegungsfrequenz auf der letzten Belastungsstufe erforderte ein zusätzliches Koordinationsvermögen, das mit einem zusätzlichen muskulären Mehraufwand einherging [51, 76, 78, 99, 139, 159]. Dieses spiegelt sich in der überschießenden physiologischen Reaktion wider.

Zur Einordnung der physiologischen Beanspruchung wurden zunächst Normwerte der maximalen Sauerstoffaufnahme für leistungsschwächere Normalpersonen (< 3,9 Watt/kg KG) herangezogen¹⁴ [45]. Die ermittelte Sauerstoffaufnahme auf den einzelnen Belastungsstufen lag demnach zwischen 28 und 60 % der maximalen Sauerstoffaufnahme (vgl. Tab. 101). Entsprechend hierzu verhielt sich die Herzfrequenz, die einen prozentualen Anteil von 50 bis 79 % der maximalen Herzfrequenz aufwies¹⁵ (vgl. Tab. 101).

Tab. 101: Prozentualer Anteil der ermittelten Sauerstoffaufnahme- und Herzfrequenzwerte an normativen Maximalwerten

Angegeben sind die jeweiligen Werte auf den einzelnen Belastungsstufen und Belastungsformen.

Stufe	Moonwalker o. A.		Moonwalker m. A.		Laufband	
	% VO _{2 max}	% Hf _{max}	% VO _{2 max}	% Hf _{max}	% VO _{2 max}	% Hf _{max}
1	28	54	34	53	33	50
2	29	54	35	54	37	53
3	33	55	39	56	43	56
4	40	59	47	62	49	60
5	50	64	56	67	60	66
6	64	75	75	79	73	73

Ordnet man die prozentualen Werte der Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz der Einteilung zur Intensität der körperlichen Aktivität des AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (1998) sowie von BOUCHARD ET AL. (1990) zu, so befindet sich die Bean-

¹⁴ Richtwert zur Einordnung der Leistungsfähigkeit von Normalpersonen auf dem Laufband: 43,9 ml/kg Körpergewicht [45]

¹⁵ Ermittlung der maximalen Herzfrequenz über die Formel: 220 – Lebensalter [78]; herangezogen wurde das mittlere Alter der Probanden (25 Jahre)

spruchung auf den einzelnen Stufen im sehr leichten bis moderaten Bereich (vgl. Tab. 102).

Tab. 102: Intensitätseinteilung bei körperlicher Aktivität

Angegeben sind die prozentualen Anteile der maximalen Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz in verschiedenen Intensitätsbereichen nach Bouchard et al. (1990) und ACSM (1998).

Bouchard et al. % $\text{VO}_{2\text{max}}$	ACSM		Intensitätsbereich
	% $\text{VO}_{2\text{max}}$	% Hf_{max}	
	< 20	< 35	sehr leicht
< 35	20 – 39	35 - 54	leicht
< 50	-	-	ziemlich leicht
< 70	40 – 59	55 - 69	moderat
> 70	60 – 84	70 - 89	schwer
-	≥ 85	≥ 90	sehr schwer
100	100	100	maximal

Der niedrige Belastungsbereich konnte auch durch die Parameter Respiratorischer Quotient und Laktat nachgewiesen werden.

Der Respiratorische Quotient lag bei allen Belastungsstufen unterhalb von 0,85, so dass von einer vorwiegenden Fettutilisation zur Energiebereitstellung ausgegangen werden kann [99]. Da der Anteil der Fettverbrennung nicht nur von der Intensität sondern auch entscheidend von der Dauer der Belastung abhängt [99], ist anzunehmen, dass der Respiratorische Quotient bei länger andauerndem Training weiter absinkt und somit die Fettutilisation weiter zunimmt.

Die Laktatwerte lagen mit maximalen Werten zwischen 2,00 und 2,78 mmol/l im überwiegend aeroben Bereich. Dabei sanken die Werte zunächst bis zur vierten Belastungsstufe unterhalb des Ausgangswertes.

Der Blutlaktatspiegel hängt neben der Laktatproduktion und dem Release des intramuskulären Laktats in angrenzende Blutbahnen entscheidend von Eliminationskapazität und -anteilen verschiedener Organe ab [40, 153]. Während in Ruhe eine Remetabolisierung des Laktats vorwiegend im Skelettmuskel erfolgt (oxidative Elimination), wird unter anhaltender submaximaler Belastung eine deutliche Zunahme der glukoneogenetischen Laktatelimination in der Leber beobachtet [79]. Mit einem weiteren Anstieg der Belastung tritt der Herzmuskel als Verwerter des akkumulierenden Laktats in den Vordergrund [55]. Somit kann es während submaximaler Belastung zu einer erhöhten Eliminierung des Laktats kommen, die die Produktionsrate übertrifft und so zu einer charakteristischen Senke in der Laktatleistungskurve führt [24].

Anhand der vorliegenden physiologischen und metabolischen Werte kann die Belastung auf dem Moonwalker sowie entsprechend auf dem Laufband als leicht bis moderat eingestuft werden. Zu berücksichtigen ist hier jedoch, dass die physiologische Reaktion gerade auf dem Moonwalker in erster Linie durch das koordinative Beanspruchungsprofil bestimmt wird. Bei einer Bewegungsökonomisierung ist mit geringeren Werten auf den einzelnen Belastungsstufen zu rechnen [51].

4.2.1.2 Einfluss der Armarbeit auf die physiologischen Parameter

Durch den Einsatz der Arme konnten bei allen Parametern höhere bzw. annähernd gleiche Werte (vgl. Herzfrequenz während der ersten und zweiten Belastungsstufe) verzeichnet werden. Die Unterschiede ließen sich statistisch nicht sichern, im Folgenden werden somit nur Tendenzen diskutiert.

Neben der Belastungsintensität beeinflusst die Größe der aktiven Muskelmasse die physiologische Reaktion [16, 18, 78, 89, 100]. KATCH (1972) wies einen positiven Zusammenhang zwischen der Höhe der maximalen Sauerstoffaufnahme und der Größe der involvierten Muskelmasse nach. Entsprechend wird zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme die Laufbandbelastung der Fahrradergometrie vorgezogen [15, 17, 18, 89, 93].

Betrachtet man hingegen die physiologische Reaktion bei gleicher Belastungsintensität, so nimmt sie mit der Größe der Muskelmasse ab [72, 81, 91, 106]. MILES ET AL. (1980) konnten höhere Laktat- und pulmonale Werte bei gleicher Belastungsintensität (30, 60 und 80 % der $VO_{2\max}$) auf dem Fahrradergometer im Vergleich zum Laufband ermitteln. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch JERNERUS ET AL. (1963), HERMANSEN ET AL. (1970), BASSEY ET AL. (1975) und KOYAL ET AL. (1976). Sie begründeten diese Ergebnisse mit dem Mehraufwand einer geringeren Muskelgruppe bei gleicher Belastungsintensität. In einer aktuellen Untersuchungen zeigten OGITA ET AL. (2000) bei einer einbeinigen Belastung eine deutlich höhere Sauerstoffaufnahme als bei beidbeiniger Belastung.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Literatur konnten jedoch in der vorliegenden Untersuchung höhere physiologische Werte bei gleicher Belastungsintensität mit Armeinsatz ermittelt werden.

Ein weiteren Einfluss auf die physiologischen Parameter kann sich durch das erhöhte koordinative Beanspruchungsprofil beim Einsatz der Arme ergeben. Der vom Gerät vorgegebene Passgang erforderte einen zusätzlichen muskulären Aufwand zur Stabilisierung der Körperhaltung, der zu einer physiologischen Mehrbelastung führte [76, 77, 78, 99, 159]. Die ansteigenden Differenzen auf den höheren Belastungsstufen unterstützen diese Annahme, da mit zunehmender Bewegungsgeschwindigkeit auch mit einem weiteren Verlust des Gleichgewichtes und somit mit einer Zunahme der

muskulären Aktivität zu rechnen ist. Es ist davon auszugehen, dass bei häufigem Training eine Ökonomisierung der Bewegung eintritt und somit eine Mehrbelastung entfällt.

4.2.1.3 Vergleich der Belastung auf dem Moonwalker mit Armeinsatz und auf dem Laufband

Auf dem Laufband zeigten sich im Vergleich zu den Belastungsformen auf dem Moonwalker mit Armeinsatz leicht höhere Werte bei den Parametern Atemzug- und -minutenvolumen sowie bei der Sauerstoffaufnahme, dem Sauerstoffpuls und dem Kalorienverbrauch. In der ersten und sechsten Belastungsstufe konnten niedrigere Werte für die Atemminutenvolumen, Sauerstoffaufnahme und Kalorienverbrauch ermittelt werden. Die Herzfrequenz- und Laktatwerte lagen durchgängig bei der Belastung auf dem Moonwalker höher. Die beschriebenen Ergebnisse konnten nicht statistisch abgesichert werden, im Folgenden werden aus diesem Grund die Tendenzen diskutiert.

Die einzelnen Belastungsstufen waren hinsichtlich der resultierenden physikalischen Leistung auf beiden Geräten gleich. Betrachtet man die beiden Bewegungsformen, so zeigen sich deutliche Unterschiede in der beteiligten Muskulatur und ihrer Arbeitsform sowie in den von außen wirkenden Kräften.

Die Bewegung auf dem Moonwalker erfolgte bei vorwiegend fixierten Knie- und Fußgelenken in erster Linie aus der Hüfte. Wie bereits beschrieben, kann von einer eher stabilisierenden bzw. bremsenden Funktion der beteiligten Muskeln ausgegangen werden. Somit ergab sich ein muskuläres Beanspruchungsprofil, dass zum einen kurzfristige Spitzen aufweisen musste (Bremsfunktion), zum anderen eine gleichbleibend niedrige Aktivität (Stabilisation) erkennen ließ.

Beim Gehen auf dem Laufband sind Fuß-, Knie- und Hüftgelenke an der Bewegung beteiligt, wodurch die beteiligte Muskelmasse deutlich größer ist. Im Gegensatz zur Moonwalkerbewegung übernehmen die einzelnen Muskelgruppen eine aktiv-bewegende und z. T. stützende Funktion. Das Beanspruchungsprofil der Muskulatur dürfte somit deutlich höher und langandauernder als beim Moonwalker sein, woraus sich das höhere Niveau der physiologischen Belastung erklären [78, 99, 159]. Zudem wirken äußere Kräfte beim Gehen eher negativ, d.h. zur Überwindung der einwirkenden Reibungs- und Bodenreaktionskräfte ist ein zusätzlicher muskulärer Aufwand nötig, während bei der Bewegung auf dem Moonwalker die Gravitationskraft bewegungsunterstützend wirkt.

Während beim Gehen auf den mittleren Belastungsstufen die größere Muskelmasse für die physiologische Beanspruchung verantwortlich ist, scheint auf dem Moonwalker

auf der ersten und sechsten Belastungsstufe der muskuläre Aufwand durch koordinative Beanspruchungen zu überwiegen.

Die höheren Herzfrequenz- und Laktatwerte stehen im Gegensatz zu den übrigen physiologischen Parametern. Eine lokal stärkere Belastung und ein damit einhergehender höhere Laktatwert lässt sich durch die kleinere Muskelmasse bei der Bewegung auf dem Moonwalker erklären. Dieses scheint sich lediglich auf die Herzfrequenz, jedoch nicht auf das Gesamtsystem auszuwirken.

Die geringen Differenzen zwischen den beiden Belastungsformen zeigen jedoch, dass die Belastung auf dem Moonwalker mit Armeinsatz durchaus mit einer Gehbelastung mit angepasster Schrittlänge verglichen werden kann.

4.2.2 Untersuchung Crosstrainer

4.2.2.1 Beschreibung und Einordnung des gesamten Verlaufs

Beim Stufentest auf dem Crosstrainer waren die Belastungsstufen 1 und 2 sowie 5 bis 8 gleich, folglich zeigten sich hier bei allen Parametern keine Unterschiede. Auch von der vierten zur fünften Belastungsstufe ließ sich ein nur geringer Anstieg der Parameter erkennen, der mit dem geringen Belastungsanstieg von 10 Watt zu begründen ist. Lediglich auf den Stufen 3 und 4 konnten deutliche und z.T. signifikante Anstiege beobachtet werden. Hier fand sich eine Zunahme der Leistung von 15 bzw. 25 Watt statt.

ROST ET AL. (1982) empfehlen für Ergometeruntersuchungen eine minimale Belastungszunahme von 25 Watt, um eine Steigerung der physiologischen Beanspruchung zu erreichen. Dieses zeigte sich ausschließlich bei der vierten Belastungsstufe.

Eine Zuordnung der Belastung wiederum in Anlehnung an die Intensitätsbereiche nach BOUCHARD ET AL. (1990) und dem AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (1998) erbrachte folgende Beurteilung. Die Belastung auf dem Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz bewegte sich im moderaten bis schweren Bereich, während die Belastung auf dem Fahrradergometer ebenfalls im moderaten bis schweren Bereich angesiedelt war¹⁶ (vgl. Tab. 103).

¹⁶ Richtwert zur Einordnung der Leistungsfähigkeit von Normalpersonen auf dem Fahrradergometer: 56,4 ml/kg Körpergewicht [45]

Tab. 103: Prozentualer Anteil der ermittelten Sauerstoffaufnahme- und Herzfrequenzwerte an normativen Maximalwerten

Angegeben sind die jeweiligen Werte auf den einzelnen Belastungsstufen und Belastungsformen.

Stufe	Crosstrainer o. A.		Crosstrainer m. A.		Fahrradergometer	
	% $\text{VO}_{2\text{max}}$	% Hf_{max}	% $\text{VO}_{2\text{max}}$	% Hf_{max}	% $\text{VO}_{2\text{max}}$	% Hf_{max}
1	62	76	60	74	35	61
2	63	78	60	76	35	63
3	69	83	66	80	40	67
4	74	86	71	84	40	74
5	75	84	73	83	47	77
6	75	86	71	84	48	77
7	74	86	71	83	51	76
8	74	87	68	84	52	77

Der Respiratorische Quotient lag bei den Belastungen auf dem Crosstrainer zwischen 0,86 und 0,91. Damit muss zwar von einer vorwiegend kohlenhydratgestützten Energiebereitstellung ausgegangen werden, jedoch zeigte sich auf den meisten Belastungsstufen durch Werte von 0,86 bis 0,88 dennoch ein hoher Prozentanteil der Fettverbrennung (Bei einem Respiratorischen Quotienten von 0,88 besteht noch ein 39 % Anteil an Fettverbrennung, vgl. MCARDLE 1994.). Auf dem Laufband hingegen wurde ein deutlich höherer Respiratorischer Quotient registriert, was im Gegensatz zu den anderen niedrigeren physiologischen Parametern steht. Die bereits in Kapitel 4.1 erläuterten Probleme zur Spirometriemessung können hierfür die Ursache sein.

Die Laktatwerte befanden sich auf allen Belastungsstufen unterhalb der aerob-anaeroben Schwelle. Bei den Belastungen auf dem Crosstrainer zeigten sich Werte zwischen 2 und 3 mmol/l, was entsprechend der kardiovaskulären Größen einer moderaten bis etwas schweren Belastung entspricht. Die Laktatwerte auf dem Fahrradergometer bewegten sich größtenteils unterhalb von 2 mmol/l und deuten somit auf eine leichte bis recht leichte Belastung hin.

Zusammenfassend kann die Belastung auf dem Gerät Crosstrainer als moderat bis schwer eingeordnet werden. Dabei zeigten sich auf den Stufen 3 bis 8 nur unwesentliche Veränderungen in der Belastungsintensität. Die Belastung auf dem Fahrradergometer war deutlich geringer (leicht bis moderat) (vgl. Kapitel 4.2.2.3).

4.2.2.2 Einfluss der Armarbeit auf die physiologischen Parameter

Die Belastung auf dem Crosstrainer mit Armeinsatz zeigte bei allen Parametern leicht niedrigere Werte als ohne Armeinsatz. Die Ergebnisse konnten in der Signifikanz-

prüfung nicht erhärtet werden, aus diesem Grund werden im Folgenden nur Tendenzen diskutiert.

OGITA ET AL. (2000) verglichen die Sauerstoffaufnahme bei submaximaler Belastung mit einem und zwei Beinen. Sie fanden bei gleicher Intensität (80 Watt auf dem Fahrradergometer) eine signifikant höhere Sauerstoffaufnahme bei einbeiniger Belastung, was auf eine Mehrbelastung des Herz-Kreislaufsystems schließen lässt. Dieses Ergebnis deckt sich mit weiteren Untersuchungen zum Einfluss der Muskelgröße bei gleicher Belastungsintensität [13, 72, 81, 91, 106]. Beim Moonwalken scheint der zusätzliche Stabilitätsaufwand, der bei der Belastung mit Armeinsatz erforderlich war, sich nicht entscheidend auf die physiologischen Parameter auszuwirken.

Die niedrigeren Werte bei der Belastung mit Armeinsatz lassen sich demnach mit dem Einsatz einer größeren Muskelmasse zur Belastungsbewältigung erklären. Dennoch soll daraufhingewiesen werden, dass der Einsatz einer größeren Muskelmasse auch zu einer Mehrbelastung des Organismus führt, wobei die resultierende Leistung ebenfalls ansteigt.

4.2.2.3 Vergleich der Belastung auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz und auf dem Fahrradergometer

Auf dem Crosstrainer ohne Armeinsatz zeigen sich auf allen Belastungsstufen deutlich höhere Werte als auf dem Fahrrad. Bei den Parametern Atemminutenvolumen, relative Sauerstoffaufnahme, Kalorienverbrauch, Herzfrequenz und Laktat konnten die Ergebnisse als signifikant bestätigt werden.

Ein Unterschied zwischen den beiden Belastungsformen findet sich zum einen in der Körperposition (stehend / sitzend), zum anderen in der Tretbewegung (elliptisch / kreisförmig).

RYSCHON ET AL. (1991) untersuchten den Einfluss der Körperposition auf die Sauerstoffaufnahme bei gleicher Belastungsintensität auf dem Rennrad (20 km/h bei einer Steigung von 4 %). Während eine Positionsänderung im Sitzen keine Änderung in der Sauerstoffaufnahme nach sich zog, konnten signifikante Unterschiede beim Vergleich der sitzenden und stehenden Position ermittelt werden (43 zu 49 % $VO_{2\max}$).

TANAKA ET AL. (1996) stellten bei gleicher Belastungsintensität ebenfalls eine signifikant höhere Sauerstoffaufnahme sowie Herzfrequenz in stehender Position fest. Wurde die Steigung erhöht und die Geschwindigkeit herabgesetzt (Steigung von 10 % bei 12 km/h), konnten keine Unterschiede zwischen den beiden Belastungsformen registriert werden.

Die Ursache für die höhere physiologische Beanspruchung scheint in einer veränderten muskulären Aktivität einzelner Muskelgruppen zu liegen. LI ET AL. (1998) konnten bei gleicher Belastungsintensität in der stehenden Position eine wesentlich

höhere Aktivität des Glutaeus maximus, Tibialis anterior und Rectus femoris nachweisen. Zudem zeigte der Vastus lateralis eine längere Aktivitätsdauer, wobei die Aktivitätshöhe eher abnahm.

Ausschlaggebend für das muskuläre Profil sind in erster Linie die geänderten Winkelstellungen in der stehenden Position. Die Tretbewegung wird mit einer deutlicheren Extensionsphase des Kniegelenkes (Aktivität von Rectus femoris und Vastus lateralis) sowie einer stärkeren Plantarflexion im Fußgelenk (Aktivität des Tibialis anterior) ausgeführt [26]. Die höhere Aktivität der Hüftextensoren führen LI ET AL. (1998) auf die fehlende Stabilisierung des Hüftgelenks durch den Sattel zurück.

Ebenso könnte die elliptische Tretbewegung zu einer Zunahme der muskulären Aktivität führen, hierfür konnte jedoch keine Bestätigung in der Literatur gefunden werden.

4.2.3 Felduntersuchung Indoor-Cycling Bike

4.2.3.1 Auswahl der Belastungsformen

Bei den Felduntersuchungen in ausgewählten Fitnessstudios zeigte die Auswahl der Belastungsformen deutlich eine Orientierung an den gewohnten Bewegungsformen des freien Fahrradfahrens wie z.B. Fahren im Stehen mit hohem Widerstand. Ungewohnte Belastungen (z.B. Fahren im Stehen mit geringem Widerstand, Fahren im Sitzen und Stehen) wurden weniger in die Trainingseinheit integriert, da sie einen relativ hohen koordinativen Anspruch mit sich führten, der von den Teilnehmern nicht immer erfüllt werden konnte.

Betrachtet man die Verteilung der Belastungsformen in den verschiedenen Phasen der Trainingseinheit, so zeigte sich zudem, dass die koordinativ anspruchsvollen Belastungsformen eher im mittleren Drittel der Trainingseinheit Berücksichtigung fanden. Die einfachen, gewohnten Belastungsformen, in denen der koordinative Aufwand weniger Einfluss auf die Intensität nahm, wurden in der Anfangs- und Endphase eingesetzt und dienten dem Auf- und Abwärmen innerhalb der Trainingseinheit. Ebenso übernahmen sie im Anschluss an hoch intensive Belastungen offensichtlich eine Erholungsfunktion, da sich in der mittleren Trainingsphase häufig ein Wechsel zwischen einfachen und koordinativ aufwendigen Belastungsformen erkennen ließ.

4.2.3.2 Belastungssteuerung im Fitnesskurs

Die Belastungssteuerung beim Indoor-Cycling sollte nach den Vorgaben von GOLDING (1997) in erster Linie über die Herzfrequenz erfolgen, d.h. je nach Trainingsziel wird ein entsprechender Herzfrequenzbereich festgelegt, bei dem die Belastung erfolgen sollte. So können alle Belastungsformen in eine Trainingseinheit integriert werden, entscheidend ist, dass die Herzfrequenz innerhalb des festgelegten Trainingsbereiches bleibt.

Im Gegensatz zu den Empfehlungen von GOLDING (1997) fand innerhalb der untersuchten Trainingseinheiten eine Belastungssteuerung über das subjektive Belastungsempfinden der Teilnehmer statt. Es wurden keine Herzfrequenzkontrollen vorgenommen, lediglich die Belastungsform wurde vom Kursleiter vorgegeben, wobei die jeweilige Intensitätsgröße (Größe des Widerstands und der Umdrehungszahl) wiederum vom Teilnehmer selbst gewählt wurde.

Wichtig für die weitere Diskussion bleibt festzuhalten: Als Trainingsziel wurde eine Verbesserung der allgemeinen Grundlagenausdauer angegeben. Die Kurse richteten sich in erster Linie an fortgeschrittene Anfänger, die gesundheitsorientiert trainieren wollten.

In den gesamten Trainingseinheiten lag die mittlere Herzfrequenz bei 165 S/min (Minimum im Mittel bei 125 S/min, Maximum bei 184 S/min), damit zeigte sich eine durchschnittliche Belastung bei 84 % der maximalen normativen Herzfrequenz. Entsprechend hierzu konnte eine vorwiegend anaerobe Belastung mit einem mittleren Laktatwert von 6 mmol/l ermittelt werden. SCHNABEL ET AL. (1997) geben für den allgemeinen Grundlagenbereich eine Belastungsintensität um 2 mmol/l an, was deutlich zeigt, dass die Belastung innerhalb der Indoor-Cycling Kurse für dieses Trainingsziel zu hoch gewählt war und damit das subjektive Belastungsempfinden zur Intensitätssteuerung nicht ausreichte.

Ebenso schien die Wahl der Belastungsform nicht entscheidend auf die Belastungsintensität zu wirken, da bei allen Belastungsformen im Mittel ein Intensitätsbereich von 78 bis 91 % der maximalen Herzfrequenz sowie ein Laktatwert über 5 mmol/l zu beobachten war.

Die hohen Herzfrequenz- und Laktatwerte ließen sich neben der Intensitätswahl auf den Einfluss der vorherigen Belastungsform zurückführen. Entsprechend zeigten sich bei den einzelnen Belastungsformen die maximal ermittelten Werte erst nach längerer Belastungsdauer, vornehmlich in der mittleren und letzten Phase der Trainingseinheit.

Bei Überschreiten der anaeroben Schwelle kommt es zur Laktatakkumulation, d.h. die Laktatproduktion übertrifft die -elimination und führt so zu einer Anhäufung des Laktats. Nach Abbruch der Belastung wird je nach Belastungsintensität ein weiterer Anstieg des Laktats beobachtet [65, 78, 96]. MADER ET AL. (1979) stellten nach maximaler Belastung je nach Leistungszustand des Probanden ein Laktatmaximum erst nach 1 bis 10 Minuten fest. Entsprechend verzögert erfolgte der Laktatabbau in der Erholungsphase. Bei einem maximalen Laktatwert von 6 mmol/l wurde die aerob-anaerobe Schwelle von 4 mmol/l erst nach sechs Minuten Erholung unterschritten, ein Laktatwert von unter 2 mmol/l war nach 15 Minuten messbar [96]. Die Pausen zwischen den einzelnen Belastungsformen beim Indoor-Cycling stellten somit keine aus-

reichende Erholung dar. Das akkumulierte Laktat wurde in die folgende Belastungsform übernommen und wirkte sich dort auf den weiteren Verlauf aus.

Konsequente Belastungen können den Abbau des Laktats beschleunigen oder aber zu einer weiteren Akkumulation beitragen. DODD ET AL. (1984) untersuchten die Auswirkungen einer aktiven Erholung auf die Eliminationsrate des Laktats. Während nach maximaler Belastung (11 mmol/l) bei passiver Erholung die aerob-anaerobe Schwelle (4 mmol/l) nach 34 Minuten erreicht wurde, zeigte sich bei einer leichten bis moderaten Belastung innerhalb der Erholung bei 35 bis 65 % der maximalen Sauerstoffaufnahme bereits nach 24 Minuten ein Rückgang des Laktatwertes auf 4 mmol/l. Lag die Belastung über 65 % der maximalen Sauerstoffaufnahme verzögerte sich die Laktatelimination, je nach Belastungsintensität kam es zu einem weiteren Anstieg. MCLELLAN ET AL. (1982) geben als optimale Nachbelastung auf dem Fahrradergometer eine Intensität von 29 bis 45 % der maximalen Sauerstoffaufnahme an (vgl. Kapitel 4.2.4).

Die Belastungsintensität beim Indoor-Cycling lag deutlich oberhalb dieser Empfehlung. Es kam somit im Laufe der Trainingseinheit zu einem Summationseffekt, der sich in den hohen Herzfrequenz- und Laktatwerten während des zweiten und letzten Drittels der Belastung widerspiegelt. Eine genaue Analyse der Belastungsreaktion bei den einzelnen Belastungsformen war somit nicht möglich, da je nach Vorbelastung von einer Beeinflussung der aktuellen Werte ausgegangen werden muss.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass weder das subjektive Belastungsempfinden noch die Wahl der Belastungsform ausreichende Mittel zur Belastungssteuerung beim Indoor-Cycling - gerade im Anfängerbereich - darstellen.

4.2.4 Laboruntersuchung Indoor-Cycling Bike

In der folgenden diskutierten Laboruntersuchung sollte überprüft werden, ob eine Intensitätssteuerung über die Herzfrequenz bei den verschiedenen Belastungsformen ausreicht, um ein gesetztes Trainingsziel zu erreichen. Die Intensitätssteuerung der Laboruntersuchung richtete sich nach den Empfehlungen des Ausbildungsmanual von GOLDING (1997). Er definiert vier so genannte Energy Zones, denen er jeweils ein bestimmtes Trainingsziel zuordnet. Diese sind zum einen durch die angegebene Belastungsintensität zum anderen durch die ausgewählten Belastungsformen gekennzeichnet. Die Belastungsdauer geht bei allen Trainingseinheiten von mindestens 40 Minuten aus.

Die Energy Zone **Recovery** umfasst einen Trainingsbereich von 50 bis 65 % der maximalen normativen Herzfrequenz und ist energetisch hauptsächlich durch Fettverbrennung gekennzeichnet. Sie dient in erster Linie der aktiven Erholung innerhalb eines Wochentrainings oder aber als einzelne Erholungsphase innerhalb einer Trai-

ningseinheit. GOLDING (1997) empfiehlt Belastungsformen im Sitzen und Stehen bei geringem Widerstand. Entsprechend dem Herzfrequenzbereich erfolgt eine Anpassung der Belastungsintensität vornehmlich über die Umdrehungszahl.

Die Auswirkung einer aktiven Erholung auf metabolische und kardiovaskuläre Parameter wurde von verschiedenen Autoren untersucht [27, 39, 41, 50, 58, 102, 104, 108, 145, 158].

WIGERNEAS ET AL. (2000 2x) stellten nach einer dreißigminütigen Belastung bei aktiver Erholung (Intensität bei 50 % $VO_{2\max}$) eine geringere Senkung der Leukozytenanzahl sowie einen geringen Anstieg der freien Fettsäuren im Blutplasma im Vergleich zur passiven Erholung fest.

Eine signifikant höhere Eliminationsrate des Laktats wiesen MONEDERO ET AL. (2000) bei aktiver Erholung (Intensität bei 50 % $VO_{2\max}$) nach. Zu gleichen Ergebnissen kamen DOTAN ET AL. (2000), GUPTA ET AL. (1996), CHOI (1994) und FRANCAUX ET AL. (1995) sowie DODD ET AL. (1984) und MCLELLAN ET AL. (1982) (vgl. Kapitel 4.2.3.2). TAKAHASHI ET AL. (1998) ermittelten zudem eine signifikant niedrigere Herzfrequenz im Anschluss an eine aktive Erholungsphase im Vergleich zur passiven Erholung.

Anhand der genannten Untersuchungen wird deutlich, dass sich eine aktiv gestaltete Erholung im Anschluss an eine Belastung positiv auf den Regenerationsprozess auswirkt. Die Belastungsintensität bewegte sich bei 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme, was in etwa dem vorgegebenen Herzfrequenzbereich von GOLDING (1997) entspricht [99]. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Effekt neben der Intensität auch von der Dauer der Erholungsphase abhängig ist. So konnten DODD ET AL. (1984) nach maximaler Belastung einen Rückgang des Laktats auf 4 mmol/l erst nach 24 Minuten beobachten. Damit ist ein Effekt innerhalb eines Indoor-Cycling-Kurses, wo eingestreute Regenerationsphasen ca. 1 bis 3 Minuten betragen, eher fraglich.

Im Rahmen eines komplexen Trainingsplanes werden aktive Regenerationsphasen kontrovers diskutiert. Ein positiver Effekt, der sich in einer verbesserten Leistungsfähigkeit bzw. Belastungsverträglichkeit widerspiegelt, konnte bisher nicht konkret nachgewiesen werden.

Für die Energy Zone **Endurance** wird ein Trainingsbereich von 65 bis 75 % der maximalen Herzfrequenz vorgegeben. Die Energiebereitstellung erfolgt je nach Fitnesszustand des Trainierenden im Übergangsbereich unter vorwiegender Fett- oder Kohlenhydratverbrennung. Trainingsziel ist eine Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit. Um eine rhythmische und gleichmäßige Bewegung während des Trainings zu erreichen, sollte möglichst im Sitzen bei einer gleichbleibenden Umdrehungszahl mit mittlerem Widerstand trainiert werden.

Das AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (1998) empfiehlt zur Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme eine Belastungsintensität zwischen 55 und 90 % der maximalen Herzfrequenz. Dabei hängt die Höhe der Belastungsintensität in erster Linie von der maximalen Leistungsfähigkeit bzw. dem Fitnesszustand des Trainierenden ab [34, 99, 156]. Eine Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme bei einer Intensität zwischen 55 und 64 % der maximalen Herzfrequenz ist demnach eher bei Leistungsschwachen bzw. Untrainierten zu erwarten [78, 99]. Als Richtwert geben MCARDLE ET AL. (1994) und HOLLMANN ET AL. (1990) eine optimale Belastungsintensität von 70 % der maximalen Herzfrequenz für Normalpersonen an, was bei vorwiegender Beinarbeit in etwa 55 % der maximalen Sauerstoffaufnahme entspricht. Neben einer Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme werden bei dieser eher moderaten Intensität präventiv wirksame Adaptationen bei verschiedenen Risikofaktoren von Herz-Kreislauf-Erkrankungen beobachtet (vgl. Kapitel. 4.4).

Als zusätzlicher Parameter zur Belastungssteuerung dient die aerob-anaerobe Schwelle [78, 99, 103]. Weltman et al. (1992) und BELMAN ET AL. (1991) konnten bei Belastungsintensität leicht unter bzw. über der aerob-anaeroben Schwelle eine signifikante Zunahme der maximalen Sauerstoffaufnahme ermitteln.

Über die Aspekte der Belastungsintensität hinaus ist für die Abschätzung der Ergebnisse eines Trainings festzuhalten, dass außer der Belastungsintensität auch die Belastungsdauer und –frequenz entscheidend zur Effektivität des Trainings beiträgt. Belastungsintensität und –dauer sind dabei direkt voneinander abhängig, eine niedrigere Intensität kann durch eine längere Trainingsdauer ausgeglichen werden und somit zu einer gleichen Anpassung führen [78, 99, 156]. Bei einer Intensität von 70 % der maximalen Herzfrequenz wird eine Belastungsdauer von 20 bis 40 Minuten empfohlen. Hingegen reicht bei höheren Intensitäten ein Training von zehn Minuten, während eine Belastungsdauer von mehr als 60 Minuten vorliegen muss, um bei niedrigen Intensitäten eine Adaptation zu erreichen [78, 99]. Eine ideale Trainingsfrequenz liegt bei drei bis fünf Trainingseinheiten pro Woche. Zusätzliche Trainingseinheiten führen nur zu minimalen bis keinen weiteren Anpassungen [74].

Die von GOLDING (1997) gewählte Belastungsintensität sowie die Belastungsdauer, sofern eine ausreichende Zeit in der Energy Zone Endurance gefahren wird, innerhalb eines Indoor-Cycling Kurses reichen somit zur Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit aus. Für eine ausreichende Reizsetzung sollte das Training für Einsteiger an mindestens zwei Tagen der Woche erfolgen, für Fortgeschrittene je nach Leistungsstand häufiger.

Die Energy Zone **Strength** dient der Verbesserung der Kraftausdauer. Der Trainingsbereich liegt bei 75 bis 85 % der maximalen Herzfrequenz bei vorwiegender Kohlenhydratverbrennung, dabei erfolgt die Intensitätssteuerung vornehmlich über die Größe

des Widerstands und weniger über die Umdrehungszahl. Es kann sowohl in sitzender als auch in stehender Position trainiert werden.

Das Training der Kraftausdauer umfasst einen Intensitätsbereich von 75 bis 90 % der maximalen Sauerstoffaufnahme und wird vorrangig im anaeroben Bereich vorgenommen (5 – 6 mmol/l) [162]. Dies entspricht in etwa einem Herzfrequenzbereich zwischen 80 und 95 % der maximalen Herzfrequenz. ZINTL (1994) empfiehlt ein extensives Intervalltraining mit Mittel- bzw. Langzeitintervallen, deren Länge von der gewählten Belastungsintensität abhängt (vgl. Tab. 104).

Tab. 104: Intervalltraining mit Mittel- und Langzeitintervallen

Angegeben ist die Belastungsintensität und -dauer beim Intervalltraining mit Mittel- und Langzeitintervallen.

	Intensität			Dauer / Umfang (min)		
	% VO ₂ max	% Hf _{max}	Laktat (mmol/l)	Intervall	Pause	gesamt
Mittelzeitintervall	80 – 95	85 - 90	5 - 6	1 - 3	2 - 3	40 - 45
Langzeitintervall	75 - 85	80 - 90	3 - 4	3 - 8	3	50 - 60

Die Intensitätsvorgabe von GOLDING (1997) und die Belastungsumfänge während des Indoor-Cycling Kurses entsprechen in etwa einem Intervalltraining mit Langzeitintervallen. Jedoch ist die Pausendauer zwischen den einzelnen Belastungen wesentlich kürzer, sodass es nicht zu einer ausreichenden Erholung kommt und damit die Ermüdung früher einsetzt bzw. es zu einer Akkumulation von Schlackenstoffen kommt

Das **All Terrain** Training stellt ein Zusammenschluss aller Energy Zones dar und umfasst dementsprechend einen Trainingsbereich von 65 bis 92 % der maximalen Herzfrequenz. Das Training dient vornehmlich der Überprüfung der eigenen Trainingsfortschritte und berücksichtigt alle Belastungsformen.

Innerhalb des Labortests wurden sechs Belastungsformen untersucht, die entsprechend der Vorgaben von GOLDING (1997) den vier Energy Zones zugeordnet werden konnten. Da die Intensitätsbereiche der Energy Zones ineinander übergehen, sprachen die gewählten Intensitätsbereiche in den meisten Fällen zwei Energy Zones an. Das Trainingsziel der einzelnen Belastungsformen wird somit entscheidend von dem Leistungszustand des Trainierenden beeinflusst.

Die Belastungsform Fahren im Sitzen ohne Widerstand bei 50 % der maximalen Herzfrequenz zeigte eine Sauerstoffaufnahme von im Mittel 972,04 ml/min (ca. 32 % der VO₂max). Der mittlere Laktatwert lag mit 1,26 mmol/l deutlich im aeroben Bereich, entsprechend war eine vorwiegende Fettutilisation zur Energiebereitstellung vorhanden (RQ bei 0,83) [99]. Die Belastungscharakteristika liegen im Bereich der Recovery

Energy Zone nach GOLDING (1997). Somit eignet sich diese Belastungsform für Erholungsphasen innerhalb von Indoor-Cycling Kursen oder als alleinige Trainingseinheit.

Bei der Belastungsform Fahren im Sitzen ohne Widerstand bei 65 % der maximalen Herzfrequenz lag die Belastung im aeroben Bereich (Laktat bei 1,77 mmol/l), die Sauerstoffaufnahme zeigte einen prozentualen Anteil an der maximalen Sauerstoffaufnahme von 57 % (absolute Sauerstoffaufnahme von 1722,79 ml/min). Der Respiratorische Quotient (0,84) ließ eine ausgewogene Fett- und Kohlenhydratverbrennung erkennen [99]. Innerhalb der vorliegenden Untersuchung liegt diese Belastungsform zwischen den beiden Energy Zones Recovery und Endurance. Während für Trainierte eher von einem Erholungseffekt ausgegangen werden kann, werden für Untrainierte ausreichende Reize zur Verbesserung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit gesetzt.

Deutlich höhere physiologische Werte zeigten sich bei der Belastungsform Fahren im Sitzen mit Widerstand bei 75 % der maximalen Herzfrequenz. Die Belastung lag mit einem Laktatwert von 3,21 mmol/l im Übergangsbereich der aerob-anaeroben Energiebereitstellung, der Respiratorische Quotient wies 0,87 auf eine vornehmliche Kohlenhydratutilisation hin [99]. Die vorliegenden Werte entsprechen damit den Intensitätsvorgaben für Training der aeroben Leistungsfähigkeit [78, 99]. Eine Verbesserung der Kraftausdauer scheint bei dieser Belastungsintensität nur bei Untrainierten möglich.

Die Belastung Fahren im Sitzen mit Widerstand bei 85 % der maximalen Herzfrequenz lag im anaeroben Bereich (Laktat im Mittel bei 5,13 mmol/l) mit vorwiegender Kohlenhydratverbrennung (Respiratorischer Quotient im Mittel bei 0,89) [99]. Die hohe Sauerstoffaufnahme (96 % der $VO_{2\ max}$) bestätigt die angegebenen Belastungswerte und weist auf eine annähernd maximale Belastung hin. Die Belastungsreaktionen lagen im oberen Grenzbereich der Belastungsempfehlungen für ein Kraftausdauertraining, womit diese Trainingsform für die Energy Zone Strength geeignet zu sein scheint.

Ähnliche physiologische Werte zeigte die Belastungsform Fahren im Stehen mit Widerstand bei 85 % der maximalen Herzfrequenz. Jedoch war im Mittel ein deutlich höherer Laktatwert (6,79 mmol/l) zu erkennen, der oberhalb des empfohlenen Intensitätsbereiches zur Verbesserung der Kraftausdauer lag. Somit sollte beim Fahren im Stehen ein niedrigerer Intensitätsbereich gewählt werden.

Die Belastungsform Fahren im Stehen ohne Widerstand bei 92 % der maximalen Herzfrequenz war keinem Trainingsziel zugeordnet, sondern diente der Überprüfung der eigenen Leistungsfähigkeit. Während die physiologischen Werte in etwa denen bei 85 % der maximalen Herzfrequenz entsprachen, zeigte sich ein deutlich höherer Laktatwert.

4.2.4.1 Steuerung der Belastungsintensität über den Widerstand und die Umdrehungszahl

Die Steuerung der Belastungsintensität findet beim Indoor-Cycling entweder über die Größe des Widerstandes oder über die Höhe der Umdrehungszahl statt. GOLDING (1997) empfiehlt für den Erholungsbereich Belastungsformen ohne Widerstand, um die Muskulatur zu schonen. Im Kraftausdauertraining werden Belastungsformen mit hohem Widerstand bei geringer Umdrehungszahl bevorzugt, da nur bei hohen Widerständen ein ausreichender Reiz zum Muskelaufbau gewährleistet wird [78]. Hingegen kann die Belastungssteuerung beim Ausdauertraining sowohl über den Widerstand als auch über die Umdrehungszahl sprich Tretfrequenz erfolgen. Unklar ist jedoch, ob die unterschiedliche Belastungssteuerung bei gleicher Belastungsintensität Auswirkungen auf die jeweilige physiologische Reaktion haben.

Die Belastungssteuerung fand bei der Belastungsform Fahren im Sitzen ohne Widerstand bei 65 % der maximalen Herzfrequenz über die Umdrehungszahl statt, bei den letzten beiden Belastungsformen wurde die Intensität über den Widerstand eingestellt.

Da die Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz einen linearen Verlauf bei ansteigender Leistung aufweisen [78, 99, 128, 131], ist davon auszugehen, dass bei gleichem prozentualem Anstieg der Herzfrequenz mit einer gleichen Zunahme der Sauerstoffaufnahme zu rechnen ist. Dieses konnte beim Vergleich des relativen Anstiegs der Sauerstoffaufnahme zwischen drei Belastungsformen nachgewiesen werden. Beim Laktatwert zeigte sich hingegen ein leicht überproportionaler Anstieg zur Belastungsform bei 85 % der maximalen Herzfrequenz. Dieses entspricht dem physiologischen Verlauf der Laktatleistungskurve, die einer e-Funktion gleicht.

Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass die Art der Belastungssteuerung im Ausdauerbereich bei gleicher Belastungsintensität (gesteuert über die Herzfrequenz) keinen Einfluss auf die physiologische Reaktion hat, und somit eine Belastung auf dem Indoor-Cycling Bike sowohl über den Widerstand als auch über die Tretfrequenz eingestellt werden kann.

4.2.4.2 Auswirkung der Körperposition auf die Belastungsintensität

Beim Indoor-Cycling unterscheiden sich die verschiedenen Belastungsformen neben der Wahl des Widerstandes und der Umdrehungszahl in der Körperposition des Trainierenden. Fahren mit hohen Widerständen bzw. hohen Umdrehungszahlen können sowohl im Sitzen als auch im Stehen durchgeführt werden.

Innerhalb der vorliegenden Untersuchung wurde die Auswirkung der Körperposition auf die Belastungsreaktion bei der Belastungsintensität 85 % der maximalen Herzfrequenz überprüft. Es fanden sich keine Unterschiede zwischen den beiden Belastungsformen bei der Sauerstoffaufnahme und beim Kalorienverbrauch. Höhere Werte zeigten sich

hingegen beim Laktatwert und Respiratorischen Quotienten bei der Belastung im Stehen. Die Leistung war bei etwa gleicher Umdrehungszahl (68 U/min im Stehen, 80 U/min im Sitzen) mit 2,3 Watt pro kg Körpergewicht im Stehen deutlich niedriger (Wattleistung im Sitzen 2,8 W/kg Körpergewicht).

Beim Fahren im Stehen deuten die höheren Laktatwerte auf eine gesteigerte muskuläre Beanspruchung hin, die sich aus dem muskulären und koordinativen Beanspruchungsprofil ergibt [26, 95]. Somit scheint der muskuläre Einsatz bei der Belastung im Stehen unökonomisch zu sein, da es zum einen zu einer höheren metabolischen Beanspruchung bei gleicher Herzfrequenz kommt, zum anderen jedoch die resultierende Leistung deutlich niedriger ist.

TANAKA ET AL. (1996) konnten bei gleicher, moderater Leistung eine signifikant höhere Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz im Stehen beobachten. Bei höherer Belastungsintensität (etwa 4 W/kg Körpergewicht) ließen sich jedoch keine Unterschiede ermitteln, zusätzlich wurde dann die Belastung subjektiv als wesentlich leichter im Vergleich zum sitzenden Fahren eingestuft. Das Fahren im Stehen eignet sich demnach eher für hohe Belastungsintensitäten, bei denen große Krafteinsätze gefordert werden.

Entsprechend der genannten Untersuchungsergebnisse sollten stehende Belastungsformen im Indoor-Cycling eher mit hohen Widerständen kombiniert werden. Dabei sollte jedoch eine etwas niedrigere Belastungsintensität als beim sitzenden Fahren gewählt werden, um eine frühzeitige lokale muskuläre Ermüdung zu vermeiden.

4.2.4.3 Normative und individuelle Herzfrequenz

Die Belastungsintensität beim Indoor-Cycling nach GOLDING (1997) wird über die Herzfrequenz gesteuert, deren Berechnung über den normativ ermittelten altersabhängigen Maximalwert erfolgt ($220 - \text{Lebensalter}$). Die normative maximale Herzfrequenz stellt dabei nur einen durchschnittlichen Wert dar, individuelle Einflüsse können zu einer Abweichung von ± 20 Schlägen pro Minute führen [99].

Mit Hilfe der in der Fahrradergometrie ermittelten individuellen maximalen Herzfrequenz sollte untersucht werden, ob die Vorgabe der normativen Herzfrequenz ausreicht, um eine zielgerichtete Trainingssteuerung auf dem Indoor-Cycling Bike vorzunehmen. Hierzu wurden aus den vorliegenden Werten der Sauerstoffaufnahme und des Laktats die entsprechenden Werte zur individuellen Herzfrequenz ermittelt.

Die mittlere normative maximale Herzfrequenz lag mit 199 Schlägen pro Minute deutlich oberhalb der gemessenen individuellen maximalen Herzfrequenz (184 S/min). Relativierend muss erwähnt werden, dass maximale Herzfrequenzen in einem Stufentest nicht ermittelt werden können. Entsprechend konnte beim Vergleich der prozentualen Anteile der Herzfrequenz bei allen Belastungsformen eine höhere Sau-

erstoffaufnahme bei normativer als bei individueller Herzfrequenz ermittelt werden, die Differenzen waren jedoch mit absoluten Werten zwischen 132,05 bis 222,43 ml/min relativ gering. Ebenso zeigten sich bei normativer Orientierung beim Laktatspiegel nur leicht höhere Werte. Hohe Differenzen beim Laktat fanden sich lediglich bei den letzten beiden Belastungsformen. Sie ergaben sich aus der veränderten Körperposition (Fahren im Stehen), die einen besonders starken Einfluss auf die Laktatbildung hatte (vgl. Kapitel 4.2.4).

Beim Indoor-Cycling scheint somit die Intensitätssteuerung über die normative Herzfrequenz auszureichen.

4.3 Steuerung der Belastungsintensität über das subjektive Belastungsempfinden

Das subjektive Belastungsempfinden wurde über die Angabe des RPE-Wertes bei der jeweiligen Belastungsstufe überprüft. Im Verhältnis zur Herzfrequenz konnte auf dem Moonwalker ein Überschätzen, auf dem Crosstrainer und Indoor-Cycling Bike ein Unterschätzen der physiologischen Beanspruchung registriert werden.

Die Reliabilität der Borg-Skala konnte in verschiedenen Untersuchungen nachgewiesen werden [21, 115, 140, 142]. BORG ET AL. (1974) stellten einen direkten Zusammenhang zwischen den angegebenen RPE-Werten und der ermittelten Herzfrequenz bei Ausdauerbelastungen fest. Diese Ergebnisse konnten in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt werden. Gerade bei höheren Belastungsintensitäten zeigten sich deutlich Diskrepanzen zwischen dem subjektiven Belastungsempfinden und der objektiven physiologischen Beanspruchung beurteilt durch die Herzfrequenz.

Eine Überschätzung der Belastung auf dem Moonwalker auf den höheren Belastungsstufen könnte in Zusammenhang mit den erhöhten koordinativen Anforderungen und der ungewohnten Bewegungsform stehen. Der koordinative Anspruch der ungewohnten Bewegung scheint sich neben der physiologischen Reaktionen auch im subjektiven Belastungsempfinden widerzuspiegeln.

Deutliche Unterschiede zwischen den ermittelten Herzfrequenzen und den genannten RPE-Werten wurden beim Indoor-Cycling im Feldtest beobachtet. Die Kurssituation schien die Teilnehmer in ihrer Leistungsbereitschaft zwar positiv zu beeinflussen, führte jedoch auch zur Überschätzung der eigenen Leistungsfähigkeit. Somit sollte gerade im Fitnessbereich eine objektive Kontrolle der Belastung stattfinden (vgl. Kapitel 4.2.3.2).

Die Belastung auf dem Crosstrainer führte selbst bei der höchsten Belastungsstufe nicht zu einer Ausbelastung der Probanden. Ebenso war die Belastungsänderung zwischen den Stufen sehr gering. Im Labortest zum Indoor-Cycling wurden die einzel-

nen Belastungsintensitäten isoliert überprüft, wodurch ein direkter Vergleich der einzelnen Stufen nicht möglich war.

VÖLKER ET AL. (1985) zeigten in einer Querschnittsuntersuchung, dass das subjektive Belastungsempfinden zwar am häufigsten zur Belastungssteuerung im Freizeitbereich angewendet wird, jedoch nur in den seltensten Fällen die objektive Belastungsintensität wiedergibt. Entsprechend sollte auch bei den untersuchten Trainingsgeräten die Belastungssteuerung über objektive Parameter wie z.B. die Herzfrequenz erfolgen.

Fazit: Bei einer stufenförmigen Belastung, bei denen das gesamte Belastungsspektrum sukzessive erfahren wird, führt die subjektive Einschätzung eher zu zuverlässigen Ergebnissen als bei einzelnen punktuellen Belastungen, die nur Ausschnitte des Belastungsspektrums erfahren lassen.

4.4 Trainingswirkungen der einzelnen Geräte auf fitness- und gesundheitsrelevante Faktoren

Aerobes Ausdauertraining bewirkt kardiovaskuläre, pulmonale und metabolische Adaptationen im menschlichen Organismus. Entscheidend für diese Anpassungen ist ein ausreichender Trainingsreiz, dessen Größe vom jeweiligen Trainingsziel abhängig ist [5, 99]. Das AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (1998) unterscheidet in erster Linie Belastungen, die zu einer Steigerung der allgemeinen Fitness bzw. der Ausdauerleistungsfähigkeit führen und Belastungen, die gesundheitsrelevante Faktoren beeinflussen. Während der Trainingsreiz zur Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit ein mindestens moderates Niveau erreichen muss [78, 99], konnte in verschiedenen Untersuchungen bereits bei niedrigen Belastungsintensitäten ein Einfluss auf Risikofaktoren von Herz-Kreislaufkrankungen beobachtet werden [11, 22, 36, 37, 38, 66, 68, 118].

Im Folgenden soll die Trainingswirkung der einzelnen Geräte in Bezug auf fitness- und gesundheitsrelevante Faktoren diskutiert werden. Hierzu wird überprüft, ob eine Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit über ein Training mit dem entsprechenden Geräte erreicht werden kann bzw. Adaptationen bei den Risikofaktoren Blutdruck, Lipidmetabolismus und Adipositas erwartet werden können. Zudem wird auf die mögliche Stärkung des Immunsystems eingegangen.

4.4.1 Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit

Die Adaptation des kardiovaskulären Systems ist von der Dauer, Frequenz und Intensität der Belastung sowie von der Belastungsform abhängig. Im Allgemeinen wird eine Trainingsdauer von 10 - 60 Minuten empfohlen, die Trainingsfrequenz bewegt sich je nach Belastungsdauer zwischen 3 – 7 Einheiten pro Woche [4, 78, 99, 159]. Empfeh-

lungen zur Intensität einer Belastung liegen zwischen 50 und 85 % der maximalen Sauerstoffaufnahme [4, 99, 159] bzw. zwischen 50 und 90 % der maximalen Herzfrequenz [4, 78, 99]. Die Belastungsform sollte möglichst große Muskelgruppen umfassen und vorzugsweise zyklische Bewegungen aufgrund der höheren Bewegungsökonomie beinhalten [78, 99].

In zahlreichen Untersuchungen wurden die Auswirkungen eines Ausdauertrainings auf die maximale Sauerstoffaufnahme als Bruttokriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit ermittelt [1, 9, 28, 31, 34, 60, 78, 82, 105, 113, 122, 127, 128, 134, 137, 149]. Dabei variierten sowohl die Belastungsdauer und -frequenz als auch die Belastungsintensität.

KAIKKONEN ET AL. (2000) führten ein moderates Ausdauertraining bei 70 - 80 % der maximalen Herzfrequenz durch und stellten nach einem zwölfwöchigem Training eine deutliche Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme fest.

Eine Zunahme der maximalen Sauerstoffaufnahme konnten auch TAYLOR ET AL. (1996) nach einem ebenfalls zwölfwöchigem Laufbandtraining beobachten. Dabei lag die Belastungsintensität in den ersten drei Wochen bei 60 % der maximalen Herzfrequenz, in den folgenden Wochen wurde die Intensität auf bis zu 80 % gesteigert.

Eine ähnliche Belastungsintensität wird auch von MCARDLE ET AL. (1994) und HOLLMANN ET AL. (1990) empfohlen. Sie geben als Richtwert für ein effektives Ausdauertraining eine Belastungsintensität von 70 % der maximalen Herzfrequenz bzw. 60 % der maximalen Sauerstoffaufnahme an, dabei sollte die Trainingsdauer mindestens 30 Minuten betragen.

Bei den angegebenen Richtwerten ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Leistungszustand des Trainierenden entscheidenden Einfluss auf die Vorgaben der Belastungsintensität nimmt [34, 99, 156]. Leistungsstarke Trainierende müssen einen wesentlich höheren Belastungsreiz setzen, um eine Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit zu erreichen.

Ebenso konnten verschiedene Untersuchungen mit leistungsschwachen und / oder älteren Probanden bei niedrigeren Belastungsintensitäten eine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit nachweisen. NIESTEN-DIETRICH ET AL. (1994) ermittelten bei bisher inaktiven Männern (mittleres Alter 44 Jahre) nach 9-wöchigem Gehtraining (Geschwindigkeit von 6 – 7 km/h; durchschnittlichen Herzfrequenz von 120 S/min; Laktatwert unter 2 mmol/l) einen Leistungsanstieg von 0,1 Watt/kg Körpergewicht (8 %), die kardiovaskuläre Fitness gemessen an der PWC 150 nahm nicht signifikant um 15 % zu. Deutlichere Ergebnisse zeigten Untersuchungen bei älteren Probanden [1, 9, 31, 134, 137]. In den beschriebenen Untersuchungen variierte die Belastungsintensität zwischen 30 und 60 % der maximalen Herzfrequenz. Je nach Trainingsdauer

(15 – 30 Minuten) und –frequenz (mindestens 3 Einheiten pro Woche) sowie Belastungsintensität stieg die maximale Sauerstoffaufnahme um 11 – 21 % an.

Beim Moonwalker lag die maximale Belastungsintensität bei 75 bzw. 79 % der maximalen Herzfrequenz sowie 64 bis 75 % der maximalen Sauerstoffaufnahme (Werte beziehen sich auf die Belastung ohne bzw. mit Armeinsatz). Die hohen Belastungsstufen waren jedoch stark durch das koordinative Beanspruchungsprofil gekennzeichnet und waren unkomfortabel im Bewegungsablauf. Eine Dauerbelastung auf diesen Belastungsstufen ist eher unwahrscheinlich. Als mögliche Trainingsintensität wurde von der Mehrheit der Probanden die Belastungsstufe 3 angegeben. Hier zeigte sich eine deutlich niedrigere Beanspruchung (55 bzw. 56 % der maximalen Herzfrequenz und 33 bzw. 39 % der maximalen Sauerstoffaufnahme). Eine Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit auf dem Gerät Moonwalker ist somit nur bei leistungsschwachen oder älteren Trainierenden zu erwarten.

Der Crosstrainer zeigte bereits auf den ersten beiden Belastungsstufen eine ausreichende Belastungsintensität für ein effektives Ausdauertraining (76 und 78 % bzw. 74 und 76 % der maximalen Herzfrequenz und 62 und 60 % bzw. 63 und 60 % der maximalen Sauerstoffaufnahme). Der Einsatz der Arme mindert zwar die Belastungsintensität, ist aber im Hinblick auf eine Beanspruchung einer möglichst großen Muskelgruppe durchaus zu bevorzugen. Während für Leistungsstärkere eine weitere Steigerung der Belastungsintensität möglich ist, scheint die Belastungsintensität für Untrainierte eher zu hoch zu sein. Der hier untersuchte Crosstrainer wies keine weitere Abstufungsmöglichkeit nach unten in niedrigere Intensitätsbereiche auf, eignet sich somit eher für ein fortgeschrittenes Ausdauertraining.

Die Möglichkeiten der Ausdauerleistungssteigerung beim Training auf dem Indoor-Cycling Bike wurden bereits im Kapitel 4.2.3 beschrieben. Da die Steuerung der Belastungsintensität beim Indoor-Cycling über die Herzfrequenz erfolgt, eignet sich dieses Gerät für alle Leistungsgruppen. Die Belastungsvariation sollte je nach Trainingszustand über die Tretfrequenz oder den Widerstand erfolgen (vgl. Kapitel 4.2.3.1).

4.4.2 Senkung des Blutdrucks

Der arterielle Bluthochdruck gilt als ein zentraler Risikofaktor für Herz-Kreislauf-Erkrankungen [83]. Er führt zu einem frühzeitigen Verschleiß der Gefäßwände und schafft somit die Voraussetzungen für Ablagerungen, die arteriosklerotische Erkrankungen sowohl in peripheren als auch in zentralen Gebieten wie Herz und Gehirn begünstigen. Die positive Wirkung eines körperlichen Trainings auf die Senkung des Blutdrucks bei Hypertonikern wurde in verschiedenen Studien nachgewiesen [3, 43, 60, 61, 62, 63, 90, 97, 98, 110, 119, 120, 130, 133, 146, 147, 151, 157]. Der systolische Wert sank je nach Interventionslänge um 3 bis 18 mmHg, beim diasto-

lichen Wert ließ sich eine Senkung um 2 bis 12 mmHg nachweisen. Bei der jeweiligen Belastung handelte es sich in erster Linie um ein Ausdauertraining, kraftbetonte und erschöpfende Belastungen sollten aufgrund des hohen Blutdruckanstiegs während der Belastung möglichst vermieden werden [3].

Vergleicht man verschiedene Belastungsintensitäten, so zeigt sich, dass niedrige Belastungen (bei 40 - 70 % $VO_{2\max}$) über eine längere Dauer einen größeren Einfluss auf die Senkung des systolischen und diastolischen Wertes haben, während der diastolische Wert eher unabhängig von der Belastungsintensität sinkt [61, 62, 63, 90, 98, 157].

KINGWELL ET AL. (1993) untersuchten den blutdrucksenkenden Effekt beim Walking und Radfahren. Die Belastungsintensitäten lagen zwischen 50 % (Walking) und 65 bis 90 % (Radfahren) der maximalen Leistung in Watt, die Dauer variierte je nach Belastungsintensität zwischen 15 und 60 Minuten. Die deutlichste systolische und diastolische Senkung zeigte sich nach dem vierwöchigen Training bei der Belastungsform Radfahren mit 65 bis 70 % der maximalen Wattleistung (5 bzw. 3 mmHg). Ein geringerer Effekt war beim Walking zu erkennen (3 bzw. 2 mmHg), beim hochintensiven Radfahren blieb der Blutdruck auf dem Ausgangsniveau.

Eine höhere Senkungsrate bei moderat dosierter Belastung konnten auch MATSUSAKI ET AL. (1992) beobachten. Sie stellten nach einem zehnwöchigen Fahrradergometertraining bei 50 % der maximalen Sauerstoffaufnahme einen Rückgang des systolischen und diastolischen Blutdrucks um 9 bzw. 6 mmHg fest, während bei einer Belastungsintensität von 75 % der maximalen Sauerstoffaufnahme nur eine Senkung um 3 bzw. 5 mmHg zu registrieren war.

Ein Effekt bei älteren Probanden konnten MOTOYAMA ET AL. (1998) bei ebenfalls niedriger Belastungsintensität (40 – 60 % der maximalen Sauerstoffaufnahme) nach neunmonatigem Laufbandtraining beobachten. Der systolische Blutdruckwerte sank um 15 mmHg, der diastolische Wert um 11 mmHg. Bestätigt werden diese Ergebnisse durch Untersuchungen von HAGBERG ET AL. (1986).

FAGARD (1985) geht davon aus, dass eine Senkung des Ruheblutdrucks bei Normotonikern ein späteres Auftreten einer Herz-Kreislauf-Erkrankung entscheidend beeinflusst. In verschiedenen Studien zeigte sich, dass ein Ausdauertraining einen nur leichten Einfluss auf den Ruhewert hat (Senkung um bis zu 4 mmHg systolisch und 3 mmHg diastolisch) [7, 87, 150]. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass der altersphysiologische Anstieg des Blutdrucks vermindert wird [29, 84]. Hierzu konnten KASCH ET AL. (1995) innerhalb einer Langzeitstudie (28 Jahre) einen gleichbleibenden Ruheblutdruck bei trainierenden Probanden beobachten, während bei den körperlich inaktiven Probanden ein Anstieg des Blutdrucks im Mittel systolisch von 128 auf 149 mmHg und diastolisch von 85 auf 90 mmHg im Altersverlauf vorlag.

Ein blutdrucksenkender Effekt durch ein kontinuierliches Ausdauertraining ist bei allen Geräten zu erwarten, sofern in dem oben diskutierten Intensitätsbereich trainiert wird. Der Moonwalker eignet sich dabei aufgrund seines geringen Abstufungsspektrums, das nur im niedrigen Belastungsintensitätsbereich lokalisiert ist, eher für leistungsschwache und ältere Trainierende. Hypertoniker sollten bei den Geräten Crosstrainer und Indoor-Cycling Bike aerobe Belastungsformen auswählen, die einen geringen Kraftaufwand beinhalten. Die Belastungssteuerung sollte somit eher über die Tretfrequenz als über den Widerstand erfolgen.

4.4.3 Beeinflussung des Lipidmetabolismus

Störungen des Lipidmetabolismus liegen bei zu hoher Konzentration und / oder einer fehlerhaften Zusammensetzung der Fette im Blutplasma vor. In verschiedenen Studien konnte ein direkter Zusammenhang zwischen der Höhe des Plasmacholesterinspiegels sowie dem Verhältnis der Lipoproteine und dem Auftreten einer koronaren Herzkrankheit nachgewiesen werden [6, 111, 114]. Neben der Senkung der Fette im Blutplasma ist somit die Verteilung der Lipoproteine von entscheidender Bedeutung. Dabei hat sich gezeigt, dass eine hohe Konzentration von High-Density-Lipoproteine (HDL) durchaus einen Schutzmechanismus gegenüber der Arteriosklerose übernimmt, da es für den Abtransport des Cholesterin in die Leber verantwortlich ist. Hingegen stellen das Low-Density-Lipoproteine (LDL) und das Very-Low-Density-Lipoproteine (VLDL) den eigentlichen Risikofaktor dar. Diese lagern sich an die Gefäßwand an und führen somit zu einer arteriosklerotischen Veränderung.

Die Auswirkungen körperlicher Aktivität auf den Lipidmetabolismus wurden in zahlreichen Untersuchungen ermittelt [35, 48, 64, 71, 75, 80, 88, 94, 107, 113, 124, 130, 135, 141, 147, 148, 155]. Dabei zeigten sich bei den einzelnen Lipoprotein-Fraktionen sowie beim Gesamtcholesterin und bei den Triglyzeriden unterschiedliche Reaktionen.

Eine signifikante Zunahme der HDL-Fraktion zeigte sich bei HARDMAN ET AL. (1989) und HEITKAMP ET AL. (1991) sowie HIGASKI ET AL. (1999) nach einem drei- bzw. sechsmonatigen Gehtraining. FARRELL ET AL. (1980) und KIENS ET AL. (1980) führten ein Ausdauertraining bei einer Belastungsintensität von 70 bzw. 80 % der maximalen Sauerstoffaufnahme durch. Während es nach einer Trainingsdauer von zwei Wochen zunächst zu einem leichten Abfall des HDL in der Untersuchung von FARRELL ET AL. (1980) kam, konnte nach einem achtwöchigen bzw. zwölfwöchigen ebenfalls ein signifikanter Anstieg beobachtet werden.

Keinen Effekt auf die HDL-Fraktion jedoch einen deutlich Abfall der LDL-Werte um 12 % stellten NIESTEN-DIEDRICH ET AL. (1994) nach zwölfwöchigem moderaten Ausdauertraining fest. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch KAUFMAN ET AL. (1980), HASKELL ET AL. (1984) und RAURAMAA ET AL. (1984), hingegen konnten LEON ET AL.

(1987) und SOPKO ET AL. (1985) bei gleicher Belastungsintensität und –dauer einen Anstieg des LDL beobachten.

Ebenfalls uneinheitliche Ergebnisse zeigten sich in Hinblick auf den Gesamtcholesteringehalt. Einen gleichbleibenden Gesamtcholesteringehalt verzeichneten HARDMAN ET AL. (1989), HEITKAMP ET AL. (1991), FARRELL ET AL. (1980) sowie Sasaki et al. (1989). Einen leichten Abfall konnte nach einem moderaten Ausdauertraining von KIENS ET AL. (1980), MOLL ET AL. (1979) und DENGEL ET AL. (1998) nachgewiesen werden.

Einen vorwiegenden Abfall der Werte ließ sich nach einem moderaten Ausdauertraining beim Triglyzeridgehalt des Blutplasmas erkennen [35, 48, 80, 88].

In der Übersichtsarbeit von DUFAUX ET AL. (1982) kann zusammenfassend vorwiegend ein Anstieg der HDL-Werte sowie eine Senkung der LDL-Werte nach moderatem Ausdauertraining nachgewiesen werden, während sowohl für den Gesamtcholesteringehalt als auch für die Triglyzeride uneinheitliche Ergebnisse vorliegen. Sie empfehlen für ein effektives Ausdauertraining eine Belastungsintensität von 70 bis 80 % der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. einen Herzfrequenzbereich zwischen 140 und 150 Schlägen pro Minute und eine Belastungsdauer von 30 bis 45 Minuten. Das Training sollte an 3 bis 4 Tagen der Woche erfolgen.

Einen Einfluss auf den Lipidmetabolismus durch ein Ausdauertraining auf dem Moonwalker zumindest bei normalem Trainingsumfang scheint somit eher unwahrscheinlich, da die Belastungsintensität auf den möglichen Trainingsstufen relativ gering war. Hingegen reichen die ermittelten Belastungsintensitäten auf dem Crosstrainer und Indoor-Cycling Bike aus, um einen Effekt auf den Lipidmetabolismus zu erwarten. Dies gilt jedoch nur für die Bereiche, die auf aerober Energiebereitstellung basieren.

4.4.4 Möglichkeiten der Gewichtsreduktion

Adipositas stellt für sich keinen eignen Risikofaktor dar, begünstigt aber die Entstehung anderer Risikofaktoren wie Hypertonie oder Fettstoffwechselstörungen.

Eine zusätzlicher Kalorienverbrauch zur Reduzierung des Gewichts ist über körperliche Aktivität durchaus möglich, reicht jedoch in den meisten Fällen nicht aus, um ein effektives Abnehmen zu erreichen [22, 143, 160, 161]. Hingegen konnte bei einer Kombination des Trainings mit einer fettarmen diätischen Ernährung ein wesentlich größerer Einfluss auf das Körpergewicht genommen werden [22, 36, 38, 141, 143].

Entscheidend für den Gewichtsverlust ist der Belastungsumfang. GWINUP ET AL. (1975) konnten einen Effekt erst bei einem Gehtraining ab 30 Minuten täglich beobachten, da erst ab einer Belastungsdauer von 15 Minuten die Fettverbrennung deutlich in Erscheinung tritt. Zudem konnten HASKELL ET AL. (1985) eine Gewichtsänderung erst

bei einem täglichen Training mit einem Kalorienverbrauch von 200 bis 400 Kilokalorien beobachten. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch CURETON ET AL. (1969), HICKSON ET AL. (1985) und POLLOCK ET AL. (1973).

Resultierend aus diesen und anderen Untersuchungsergebnissen empfiehlt das AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (1998) einen Kalorienverbrauch von 250 - 300 Kilokalorien innerhalb einer Belastungseinheit von 30 bis 45 Minuten. Das Training sollte an mindestens drei Tagen der Woche erfolgen [5].

Der Kalorienverbrauch auf dem Moonwalker bewegte sich zwischen 4 und 13 Kilokalorien pro Minute bei deutlich dominierender Fettverbrennung (Respi-ratorischer Quotient bei maximal 0,84). Betrachtet man den Kalorienverbrauch bei der als angenehm empfundenen Belastungsstufe 3, so zeigt sich ein Kalorienverbrauch von 5 bzw. 6 Kilokalorien pro Minute. Somit müsste die Belastungsdauer mindestens 50 bzw. 40 Minuten betragen, um den geforderten Kalorienverbrauch pro Trainings-einheit zu erreichen. Der Anteil der Fette an der Gesamtenergiebereitstellung beträgt auf dieser Belastungsstufe 70 bzw. 73 % (RQ von 0,79 bzw. 0,78) [99], sodass eine effektive Fettverbrennung vorhanden ist. Die nachstehende Tabelle zeigt die errech-nete Belastungsdauer für einen ausreichenden Kalorienverbrauch auf den einzelnen Belastungsstufen, sowie den jeweiligen zu erwartenden prozentualen Anteil der Fett-verbrennung an der Gesamtenergiebereitstellung (vgl. Tab. 105).

Tab. 105: Kalorienverbrauch und resultierende Belastungsdauer sowie Anteil der Fettverbrennung bei den einzelnen Belastungsstufen auf dem Moonwalker

Angegeben ist der mittlere Kalorienverbrauch in Kcal pro Minute, die Belastungsdauer in Minuten sowie der prozentuale und absolute Anteil der Fettverbrennung.

Stufe	Moonwalker ohne Armeinsatz				Moonwalker mit Armeinsatz			
	Kcal/min	min. Dauer	% Fett	Kcal Fett	Kcal/min	min. Dauer	% Fett	Kcal Fett
1	4	63	70	179	5	50	70	175
2	4	63	70	179	5	50	70	175
3	5	50	70	175	6	42	74	186
4	6	42	70	176	7	36	74	186
5	7	36	60	151	8	32	70	179
6	10	25	53	133	13	20	74	192

Bei den Laboruntersuchungen nahm mit steigender Belastungsintensität der prozen-tuale Anteil der Fettverbrennung bei der Belastung ohne Armeinsatz ab, wodurch auch der absolute Kalorienverbrauch über Fette zurückging. Somit scheinen bei dieser Belastungsform eher die niedrigen Intensitäten positiv auf den Fettabbau zu wirken.

Auf der sechsten Belastungsstufe würde eine Belastungsdauer von 25 bzw. 20 Minuten ausreichen, um den geforderten Kalorienverbrauch zu erreichen. In Hinblick auf eine effektive Fettverbrennung sollte aber auch hier die Belastungsdauer mindestens 30 Minuten betragen.

Tab. 106: Kalorienverbrauch sowie Anteil der Fettverbrennung bei einer Belastungsdauer von 30 Minuten auf dem Crosstrainer

Angegeben ist der Kalorienverbrauch in Kcal und der prozentuale sowie absolute Anteil der Fettverbrennung.

Stufe	Crosstrainer ohne Armeinsatz			Crosstrainer mit Armeinsatz		
	Kcal	% Fett	Kcal Fett	Kcal	% Fett	Kcal Fett
1	360	29	104	360	43	155
2	360	43	155	360	43	155
3	390	29	113	390	39	152
4	420	29	122	420	39	164
5	480	36	173	480	43	206
6	480	39	187	480	43	206
7	450	39	176	480	46	207
8	450	43	194	480	43	206

Der Crosstrainer zeigte einen deutlich höheren Kalorienverbrauch. Er lag bei den einzelnen Stufen zwischen 12 und 15 Kilokalorien pro Minute (ohne Armeinsatz) bzw. 12 und 16 Kilokalorien pro Minute (mit Armeinsatz). Die nachstehende Tabelle zeigt den errechneten Kalorienverbrauch sowie den zu erwartenden prozentualen und absoluten Anteil der Fettverbrennung bei einer Belastungsdauer von 30 Minuten (vgl. Tab. 106).

Bei den Laboruntersuchungen nahm der prozentuale Anteil der Fettverbrennung an der Gesamtenergiebereitstellung im Vergleich zum Moonwalker aufgrund der hohen Belastungsintensität ab. Obwohl damit der relative Anteil der Fettverbrennung deutlich abnahm, kam es im Laufe der Belastungssteigerung zu einem weiteren Anstieg des absoluten Anteil bzw. Kalorienverbrauchs durch Fettutilisation.

Der Kalorienverbrauch auf dem Indoor-Cycling Bike lag zwischen 5 und 15 Kilokalorien pro Minute. Bei den Belastungsintensitäten von 50 und 65 % der maximalen Herzfrequenz erfolgte die Energiebereitstellung vorwiegend über Fette, während auf den übrigen Stufen die Kohlenhydratutilisation überwog. In der nachfolgenden Tabelle wird Kalorienverbrauch sowie der Anteil der Fettverbrennung bei einer Belastungsdauer von 30 Minuten angezeigt (vgl. Tab. 107).

Tab. 107: Kalorienverbrauch sowie Anteil der Fettverbrennung bei einer Belastungsdauer von 30 Minuten beim Indoor-Cycling

Angegeben ist der Kalorienverbrauch in Kcal und der prozentuale sowie absolute Anteil der Fettverbrennung.

	Kcal	% Fett	Kcal Fett
50	150	56	84
65	252	53	134
75	339	43	146
85	424	36	153
85 st.	427	23	98
92 st.	441	0	0

Um einen ausreichenden Kalorienverbrauch von 250 Kilokalorien bei der Belastungsintensität von 50 % der maximalen Herzfrequenz zu erreichen, muss die Belastungsdauer mindestens 50 Minuten betragen.

Bei den übrigen Stufen konnte ein sinkender prozentualer Anteil der Fettverbrennung ermittelt werden, jedoch zeigte sich bis zur Belastungsintensität von 85 % der maximalen Herzfrequenz ein steigender absoluter Anteil der Fette am Kalorienverbrauch, da der gesamte Kalorienverbrauch wesentlich steiler zunahm. Die beiden folgenden Belastungsintensitäten wiesen einen so geringen prozentualen Anteil der Fettverbrennung auf, dass auch der absolute Wert deutlich abnahm. Somit gleicht die Belastungsintensität nur bis zu einem kritischen Punkt den abnehmenden Anteil der Fettverbrennung aus.

Weiterhin zu beachten ist, dass ab der Belastungsintensität von 85 % der maximalen Herzfrequenz Laktatwerte zwischen 5 und 10 mmol/l ermittelt wurden, wodurch die Belastungsdauer und damit die Möglichkeit der Gewichtsreduktion deutlich eingeschränkt wird.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle Geräte zur Gewichtsreduktion geeignet sind. Der höchste Gesamtkalorienverbrauch bei einer Belastungsdauer von 30 Minuten konnte auf dem Crosstrainer ermittelt werden. Hingegen war der absolute Anteil der Fette am Gesamtverbrauch auf allen Geräten in etwa gleich.

4.4.5 Verbesserung des Immunsystems

Immunzellen bilden den wichtigsten Bestandteil des Immunsystems. Sie bekämpfen Krankheitserreger, die über eine Infektion in den Organismus gelangt sind. Zu den wichtigsten Immunzellen gehören die Neutrophile, so genannte Fresszellen, die den Erreger aufnehmen und im Zellinneren zerstören. Andere Fresszellen transportieren die Erregerabfälle zum nächstgelegenen Lymphknoten, wo anhand der Bruchstücke eine weitere Immunregulation injiziert wird [53].

Während körperlicher Belastung ist eine deutliche Zunahme der Immunzellen im Blutplasma zu beobachten. Im Anschluss an die Belastung kommt es jedoch wieder zu einem schnellen Abfall der Werte, z.T. zeigen sich sogar Konzentrationen unterhalb des Ausgangswertes. Nach Belastungsende kommt es zu einem schnellen Abfall und zu Funktionsstörungen, was auf eine Schwächung des Immunsystems hindeutet [53].

Hingegen ist bei den Neutrophilen ein verzögerter Anstieg nach Belastungsende zu erkennen, deren Bildung über das freigesetzte Cortisol angeregt wird. Cortisol verhindert ebenfalls, dass sich Neutrophile an die Gefäßwand anheften und somit eine ständige Zirkulation gewährleistet [8, 32, 54, 101].

Die Größe der Cortisolausschüttung ist von der Belastungsintensität und –dauer abhängig. Dabei scheint eine höhere Intensität bei gleicher Belastungsdauer einen Anstieg der Konzentration hervorzurufen, jedoch zeigt sich auch bei einer weniger intensiven Belastung mit deutlich längerer Dauer (z.B. Ultramarathon) ein überproportionaler Anstieg des Cortisols [52, 54, 101].

Neben der Konzentration ist aber auch die Funktionskapazität der Neutrophile von entscheidender Bedeutung [53]. Der bakterienabtötende Faktor der Neutrophile ist der oxidative Burst, der die Menge an freigesetzten, aggressiven Substanzen zur Zerstörung der Erreger anzeigt [10, 12]. GABRIEL et al. (1997) konnten bei intensiven und hochintensiven Belastungen einen eingeschränkten oxidativen Burst erkennen, extensive Belastungen, deren Dauer bis zu einer Stunde betrug, führten hingegen zu einem Anstieg.

Ebenso führen intensive und hochintensive Belastungen zu einer vermehrten Ausschüttung der Stresshormone Adrenalin und Noradrenalin, wodurch die Haftfähigkeit der Immunzellen negativ beeinflusst wird [8, 112].

Obwohl es bei intensiven Belastungen zu einem deutlichen Anstieg der Neutrophile im Blutplasma kommt, sollten zur Stärkung des Immunsystems aufgrund der einhergehenden negativen Auswirkungen der intensiven Belastung eher langandauernde extensive Belastungen unterhalb der aerob-anaeroben Schwelle ausgewählt werden.

Somit eignet sich sowohl ein Ausdauertraining auf dem Moonwalker als auch Cross-training, um eine Stärkung des Immunsystems hervorzurufen. Auf dem Indoor-Cycling Bike sollte die Belastungsintensität im aeroben Bereich bei maximal 85 % der maximalen Herzfrequenz liegen, die höheren Belastungsstufen führen eher zu einer Schwächung des Immunsystems.

5 Zusammenfassung

Neben den klassischen Ausdauersportarten wie Laufen, Radfahren, Schilanglauf und Rudern finden sich immer mehr gerätegestützte Ausdauertrainingsangebote im Heimtrainings- und Fitnessstudiobereich. In der vorliegenden Untersuchung sollen Aussagen über die Belastungsstruktur und mögliche Trainingseffekte bei den Heimtrainingsgeräten Moonwalker und Crosstrainer sowie beim Indoor-Cycling erarbeitet werden. Hierzu stellten sich insgesamt 83 Sportstudierende (39 weibliche und 44 männliche) Probanden zur Verfügung (21 Probanden beim Moonwalker, 20 Probanden beim Crosstrainer und Labortest Indoor-Cycling, 22 Probanden beim Feldtest Indoor-Cycling).

Bei den Geräten Moonwalker und Crosstrainer wurden gerätespezifische Stufentests mit Stufentests auf dem Laufband bzw. Fahrradergometer verglichen, wobei die physikalische Leistung auf dem jeweiligen Untersuchungs- und Vergleichsgerät gleich war. Beim Indoor-Cycling wurde in einem Feldtest die Belastungsstruktur beim Indoor-Cycling im Fitnessstudio ermittelt. Ein Labortest beinhaltete die Überprüfung verschiedener Belastungsformen (Trainingsmittel) entsprechen den Empfehlungen von GOLDING (1997).

Bei den Labortests wurden kontinuierlich die kardiopulmonalen Parameter Atemvolumina, Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe sowie die Herzfrequenz registriert. Zusätzlich wurde Laktat und das subjektive Belastungsempfinden nach jeder Belastungsstufe bzw. -form bestimmt. Im Feldtest wurde Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden nach jeder Belastungsform ermittelt.

Folgende Ergebnisse können festgehalten werden:

- Die Belastung auf dem **Moonwalker** lag zwischen 1,18 und 1,93 m/s entsprechend 28 und 75 % der maximalen Sauerstoffaufnahme und ist somit als leicht bis moderat einzuordnen. Entscheidenden Einfluss scheint das koordinative Beanspruchungsprofil der ungewohnten Pendelbewegung zu haben. So zeigten sich bei hohen Bewegungsfrequenzen und bei der Belastung mit Armeeinsatz höhere physiologische Reaktionen.

Im Vergleich zum Laufband können deutliche niedrigere Werte beobachtet werden, was auf eine geringere Muskelmasse als beim Gehen schließen lässt. Adaptationen im Ausdauerleistungsbereich unter leistungsphysiologischen und gesundheitlichen Aspekten sind aufgrund der niedrigen Belastungsintensität nur bei leistungsschwachen bzw. älteren Trainierenden zu erwarten.

- Der **Crosstrainer** ermöglicht ein Training bei einer Belastungsintensität zwischen 90 und 140 Watt entsprechend 60 und 75 % der maximalen Sauerstoffaufnahme. Damit handelt es sich um eine moderate bis schwere Belastung. Der

Einsatz der Arme verringert die Belastungsintensität, da für die gleiche Belastung eine größere Muskelgruppe eingesetzt wird.

Der Vergleich zum Fahrradergometer zeigte deutlich höhere Werte beim Crosstrainer ohne Armeinsatz. Dieses lässt sich in erster Linie mit der stehenden Position und dem dadurch geänderten muskulären Beanspruchungsprofil erklären.

Eine ausreichende Belastungsintensität für ein effektives Ausdauer- und Gesundheitstraining ist beim Crosstrainer bereits auf den ersten Belastungsstufen zu erreichen.

- Die Belastungsintensität beim **Indoor-Cycling im Fitnessstudio** liegt mit einer mittleren Herzfrequenz von 165 S/min und einem mittleren Laktatwert von 6 mmol/l deutlich im anaeroben, hochintensiven Bereich. Keine der angewandten Belastungsformen weist im Mittel Werte im aeroben Bereich auf, somit scheint die in den Fitnessstudios praktizierte Steuerung der Belastungsintensität über die Belastungsform nicht möglich zu sein. Auch beim subjektiven Belastungsempfinden lassen sich deutliche Abweichung zu den tatsächlich ermittelten Belastung feststellen..
- Die **Labortests** zeigten, dass bei einer Belastungssteuerung über die Herzfrequenz die Belastungsformen durchaus geeignet sind, den intendierten Intensitätsbereich anzusteuern, um einen ausreichenden Stimulus für die unterschiedlichen Zielsetzungen (Erholung, Ausdauer und Kraftausdauer) zu erreichen.

Dabei scheint es nicht relevant zu sein, ob die Belastungsintensität über die Tretfrequenz oder über den Widerstand erreicht wird. Entscheidend wirkt sich jedoch die Körperposition auf die Belastungsintensität aus. Im Stehen gefahrene Belastungsformen verursachen bei gleicher Herzfrequenz wesentlich höhere Laktatwerte und niedrigere Leistungen. Lediglich bei Belastungsintensitäten mit hohen Widerständen ist die stehende Position eine ökonomischere Nutzung.

Das subjektive Belastungsempfinden gemessen mit der RPE-Skala spiegelt die objektiven Belastungen gemessen mit Laborparametern bei allen untersuchten Geräten nicht wider.

Die Aussagen der vorliegenden Arbeit basieren auf Querschnittsuntersuchungen. Die dargestellten Projektionen zur Trainingswirkung des Moonwalkers, Crosstrainers und Indoor-Cyclings sollten in Längsschnittstudien überprüft und erhärtet werden.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Adams, G.M., H. De Vries: PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF AN EXERCISE TRAINING REGIMEN UPON WOMEN AGED 52 TO 79. J GERONTOL 28: 50–55 (1973)
- [2] American College of Sports Medicine: EXERCISE AND PHYSICAL ACTIVITY FOR OLDER ADULTS. MED SCI SPORTS EXERC 30 (1998): 992-1008
- [3] American College of Sports Medicine: PHYSICAL ACTIVITY, PHYSICAL FITNESS, AND HYPERTENSION. MED SCI SPORTS EXERC 25 (1993): I-X
- [4] American College of Sports Medicine: THE RECOMMENDED QUANTITY AND QUALITY OF EXERCISE FOR DEVELOPING AND MAINTAINING CARDIORESPIRATORY AND MUSCULAR FITNESS, AND FLEXIBILITY IN HEALTHY ADULTS. MED SCI SPORTS EXERC 22 (1990): 265-274
- [5] American College of Sports Medicine: THE RECOMMENDED QUANTITY AND QUALITY OF EXERCISE FOR DEVELOPING AND MAINTAINING CARDIORESPIRATORY AND MUSCULAR FITNESS, AND FLEXIBILITY IN HEALTHY ADULTS. MED SCI SPORTS EXERC 30 (1998): 975-991
- [6] American Heart Association and the National Heart, Lung and Blood Institute: THE CHOLESTEROL FACTS. A JOINT STATEMENT. CIRCULATION 81 (1990): 1721-1733
- [7] Arroll, B., R. Beaglehole: DOES PHYSICAL ACTIVITY LOWER BLOOD PRESSURE: A CRITICAL REVIEW OF THE CLINICAL TRAILS. J CLIN EPIDEMIOL 45 (1992): 439-447
- [8] Athens, J.W., O.B. Haab, S.O. Raab, A.M. Mauer, H. Ashenbrucker, G.E. Cartwright, M.M. Wintrobe: LEUKOKINETIC STUDIES, IV. THE TOTAL BLOOD, CIRCULATING AND MARGINAL GRANULOCYTE POOLS AND THE GRANULOCYTE TURNOVER RATE IN NORMAL SUBJECTS. J CLIN INVEST 40 (1961): 989-995
- [9] Badenhop, D., P. Cleary, S. Schaal, E. Fox, R. Bartels: PHYSIOLOGICAL ADJUSTMENTS TO HIGHER- AND LOWER-INTENSITY EXERCISE IN ELDERS. MED SCI SPORTS EXERC 15 (1983): 496–502
- [10] Baggiolini, M., F. Boulay, J.A. Badwey, J.T. Curnette: ACTIVATION OF NEUTROPHIL LEUKOCYTES: CHEMOATTRACTANT RECEPTORS AND RESPIRATORY BURST. FASEB J 7 (1993): 1004-1010
- [11] Ballor, D.L., R.E. Kessey: A META-ANALYSIS OF THE FACTORS AFFECTING EXERCISE-INDUCED CHANGES IN BODY MASS, FAT MASS AND FAT-FREE MASS IN MALES AND FEMALES. INT J OBES 15 (1991):717-726

- [12] Bass, D.A., P. Olbrantz, P. Szejda, M.C, Seeds, C.E. McCall: SUBPOPULATIONS OF NEUTROPHILS WITH INCREASED OXIDATIVE PRODUCT FORMATION IN BLOOD WITH PATIENTS WITH INFECTIONS. J IMMUNOL 136 (1986):860-866
- [13] Bassey, E.J., R. Goldsmith: ONE-LEGGED PEDALLING COMPARED WITH TWO-LEGGED PEDALLING ON A BICYCLE ERGOMETER AS A BASIS FOR ASSESSING PHYSICAL CONDITION IN TERMS OF THE CARDIO-RESPIRATORY RESPONSE TO EXERCISE. SCAND J REHABIL MED 7 (1975): 32-36
- [14] Belman, M.J., G.A. Gaesser: EXERCISE TRAINING BELOW AND ABOVE THE LACTATE THRESHOLD IN THE ELDERLY. MED SCI SPORTS EXERC 23 (1991): 562-568
- [15] BERG, A. , H. KÖLLNER, J. STAIGER, J. STIPPIG, J. KEUL: ERGOMETRIE BEI PATIENTEN MIT KORONARER HERZKRANKHEIT. EINFLUSS DER BELASTUNGSART AUF VERSCHIEDENE LEISTUNGSFUNKTIONSGRÖßEN. IN: JESCHKE, D.: STELLENWERT DER SPORTMEDIZIN IN MEDIZIN UND SPORTWISSENSCHAFT. SPRINGER, BERLIN 1984 (493-501
- [16] Berg, A., E. Jakob, M. Lehmann, H.H. Dickhuth, G. Huber, J. Keul: AKTUELLE ASPEKTE DER MODERNEN ERGOMETRIE. PNEUMOL 44 (1990), 2-13
- [17] Berg, A., H. Köllner, J. Stippig, J. Keul: EIN DEFINIERTER LAUFBAND (STEIGVERSUCH) BEI GESUNDEN MÄNNERN UNTERSCHIEDLICHER ALTERSGRUPPEN. HERZ / KREISL 3 (1983): 124-130
- [18] Berg, A., J. Keul, J. Stippig, L. Stippig, G. Huber, W. Kindermann: DIE BEDEUTUNG EINES PRAXISORIENTIERTEN BELASTUNGSTESTS (LAUFBANDERGOMETRIE) FÜR PATIENTEN MIT KORONARER HERZKRANKHEIT. HERZ / KREISLAUF 12 (1980): 352-357
- [19] Berg, A., M. Baumstark, J.Keul: WIRKUNGEN DES SPORTS AUF DEN STOFFWECHSEL, INSBESONDERE LIPIDMETABOLISMUS. THERAPIEWOCHE 38 (1988): 1954-1959
- [20] Blackburn, H.: PHYSICAL ACTIVITY AND CORONARY HEART DISEASE: A BRIEF UPDATE AND POPULATION VIEW. J CARDIAC REHAB 3 (1983): 101-111
- [21] Borg,G., J. Noble: PERCEIVED EXERTION. IN WILMORE, J. (HRSG.): EXERCISE AND SPORT SCIENCE REVIEWS. ACADEMIC PRESS, NEW YORK 1974
- [22] Bouchard, C., J.P. Despres, A. Tremblay: EXERCISE AND OBESITY. OBES RES 1 (1993): 199-147
- [23] Bouchard, C.: EXERCISE, FITNESS, AND HEALTH: A CONSENSUS OF CURRENT KNOW-LEDGE. HUMAN KINETICS, CHAMPAIGN 1990

- [24] Braumann, K.-M., U.Tegtbur, M.W. Busse, N. Maassen: DIE „LAKTATSENKE“ – EINE METHODE ZUR ERMITTLUNG DER INDIVIDUELLEN DAUERLEISTUNGSGRENZE. DT ZEITSCH FÜR SPOMED 42 (1991): 240-246
- [25] BRUCE, R.A.: METHODS OF EXERCISE TESTING. AM J CARDIOL 5 (1974):715-720
- [26] Caldwell, G.E., J.M. Hagberg, S.D. McCole, L. Li: LOWER EXTREMITY JOINT MOMENTS DURING UPHILL CYCLING. IN: HOFFER, A. (HRSG.): PROCEEDINGS OF THE 9TH CANADIAN SOCIETY OF BIOMECHANICS CONFERENCE. VANCOUVER 1996: 182-183
- [27] Choi, D., K.J. Cole, B.H. Goodpaster, W.J. Fink, D.L. Costill: EFFECT OF PASSIVE AND ACTIVE RECOVERY ON THE RESYNTHESIS OF MUSCLE GLYCOGEN. MED SCI SPORTS EXERC 26 (1994):992-996
- [28] Chow, J.R., J.H. Wilmore: THE REGULATION OF EXERCISE INTENSITY BY RATINGS OF PERCEIVED EXERTION. J CARDIAC REHABIL 4 (1984): 382-387
- [29] Collins, R., R. Peto, R. MacMahon: CENTRAL AND PERIPHERAL CIRCULATORY CHANGES AFTER TRAINING OF THE ARMS AND LEGS. AM J PHYSIOL 225 (1973): 675-682
- [30] Corbin, C.B., R. LINDSEY: CONCEPTS OF PHYSICAL FITNESS. BROWN, DUBUQUE 1991
- [31] Cummingham, D., P. Rechnitzer, J. Howard, A. Donner: EXERCISE TRAINING OF MEN AND RETIREMENT: A CLINICAL TRAIL. J GERONTOL 42 (1987):17-23
- [32] Cupps, T.R., A.S. Fauci: CORTICOSTEROID-MEDIATED IMMUNOREGULATION IN MAN. IMMUNOL REV 65 (1982):133-137
- [33] Cureton, T.K.: THE PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF EXERCISE PROGRAMS UPON ADULTS. CHARLES C THOMAS, SPRINGFIELD 1969
- [34] De Vries, H.A.: EXERCISE INTENSITY THRESHOLD FOR IMPROVEMENT OF CARDIOVASCULAR RESPIRATORY FUNCTION IN OLDER MEN. GERIATRICS 26 (1971): 94-101
- [35] Dengel, D.R., J.M. Hagbern, R.E. Pratley, E.M. Rogus, A.P. Goldberg: IMPROVEMENTS IN BLOOD PRESSURE, GLUCOSE METABOLISM, AND LIPOPROTEIN LIPIDS AFTER AEROBIC EXERCISE PLUS WEIGHT LOSS IN OBESE, HYPERTENSIVE MIDDLE-AGED MEN. METABOLISM 47 (1998):1075-1082
- [36] Després, J.P., A. Tremblay, S. Moorjani et al.: EFFECTS OF DIET AND PHYSICAL ACTIVITY ON ADIPOSITY AND BODY FAT DISTRIBUTION: IMPLICATIONS FOR THE PREVENTION OF CARDIOVASCULAR DISEASE. NUTR RES REV 6 (1993): 137-159

- [37] Després, J.P., B. Lamarche: LOW-INTENSITY ENDURANCE EXERCISE TRAINING, PLASMA LIPOPROTEINS AND THE RISK OF CORONARY HEART DISEASE. *J INTERN MED* 236 (1994): 7-22
- [38] Després, J.P.: PHYSICAL ACTIVITY AND ADIPOSE TISSUE. IN: BOUCHARD, C., R.J. SHEPHARD, T. STEPHENS (HRSG.): PHYSICAL ACTIVITY, FITNESS AND HEALTH. HUMAN KINETICS, CHAMPAIGN 1994: 358-368
- [39] Dodd, S., S.K. Powers, T. Callender, E. Brooks: BLOOD LACTATE DISAPPEARANCE AT VARIOUS INTENSITIES OF RECOVERY EXERCISE. *J APPL PHYSIOL* 57 (1994): 1462-1465
- [40] Donovan, C.M., G.A. Brooks: ENDURANCE TRAINING AFFECTS LACTATE CLEARANCE, NOT LACTATE PRODUCTION. *AM J PHYSIOL* 244 (1983): E83-92
- [41] Dotan, R., B. Falk, A. Raz: INTENSITY EFFECT OF ACTIVE RECOVERY FROM GLYCOLYTIC EXERCISE ON DECREASING BLOOD LACTATE CONCENTRATION IN PREPUBERTAL CHILDREN. *MED SCI SPORTS EXERC* 32 (2000): 564-570
- [42] Dufaux, B., Assmann, G., W. Hollmann: PLASMA LIPOPROTEINS AND PHYSICAL ACTIVITY: A REVIEW. *INT J SPORTS MED* 3 (1982): 123-136
- [43] Duncan, J.J., J.E. Farr, S.J. Upton, R.D. Hagan, M.E. Oglesby, S.N. Blair: THE EFFECTS OF AEROBIC EXERCISE ON PLASMA CATECHOLAMINES AND BLOOD PRESSURE IN PATIENTS WITH MILD ESSENTIAL HYPERTENSION. *JAMA* 254 (1985): 2609-2613
- [44] Eichner, E.R.: EXERCISE AND HEART DISEASE: EPIDEMIOLOGY OF THE "EXERCISE HYPOTHESIS". *AM J MED* 75 (1983):1008-1023
- [45] Eisele, R., F. Köllmann, H. Hutsteiner, G. Simon: SAUERSTOFFAUFNAHME WÄHREND FAHRRAD- UND LAUFBANDERGOMETRIE. *DT ZEITSCHR SPOMED* 47 (1996): 54-60
- [46] Eppendorf: MANUAL ZUM EBIO PLUS, NICHT VERÖFFENTLICHT
- [47] Fagard, R.: HABITUAL PHYSICAL ACTIVITY, TRAINING, AND BLOOD PRESSURE IN NORMO- AND HYPERTENSION. *INT J SPORTS MED* 6 (1985): 57-67
- [48] Farrell, P.A., J. Barboriak: THE TIME OF ALTERATIONS IN PLASMA LIPID AND LIPOPROTEIN CONCENTRATIONS DURING EIGHT WEEK OF ENDURANCE TRAINING. *ATHEROSCLEROSIS* 37 (1980): 231-238
- [49] Feliu, J., J.L. Ventura, R. Segura, G. Rodas, J. Riera, A. Estruch, A. Zamora, L. Capdevila: DIFFERENCES BETWEEN LACTATE CONCENTRATION OF SAMPLES FROM EAR LOBE AND FINGER TIP. *J PHYSIOL BIOCHEM* 55 (1999): 333-339

- [50] Francaux, M., P. Jacqmin, J.M. de Welle, X. Sturbois: A STUDY OF LACTATE METABOLISM WITHOUT TRACER DURING PASSIVE AND ACTIVE POSTEXERCISE RECOVERY IN HUMANS. EUR J APPL PHYSIOL OCCUP PHYSIOL 72 (1995):58-66
- [51] FREDERICK, E.C.: BEWEGUNGSÖKONOMIE UND AUSDAUERTRAINING. IN: SHEPHARD, R.J., ASTRAND, P.-O.: AUSDAUER IM SPORT. DEUTSCHER ÄRZTE-VERLAG, KÖLN 1993
- [52] Gabriel, H., L. Brechl, A. Urhausen, W. Kindermann: RECRUITMENT AND RE-CIRCULATION OF LEUCOCYTES AFTER AN ULTRAMARATHON RUN: PREFERENTIAL HOMING OF CELLS EXPRESSING HIGH LEVELS OF THE ADHESION MOLECULE LFA-1. INT J SPORTS MED 15 (1994): 148-153
- [53] Gabriel, H., W. Kindermann: LEISTUNGSSPORT UND IMMUNSYSTEM. LEISTUNGSSPORT (1998): 4-13
- [54] Gabriel, H., W. Kindermann: THE ACUTE IMMUNE RESPONSE TO EXERCISE: WHAT DOES IT MEAN? INT J SPORTS MED 18 (1997) SUPPL 1: S28-45
- [55] Gertz , E.W., J.A. Wisneski, W.C. Stanley, R.A. Neese: MYOCARDIAL SUBSTRATE UTILIZATION DURING EXERCISE IN HUMANS. DUAL CARBON-LABELED CARBOHYDRATE ISOTOPE EXPERIMENTS. J CLIN INVEST 82 (1988): 2017-2125
- [56] Godsen, R., T. Carroll, S. Stone: HOW WELL DOES THE POLAR VANTAGE XL HEART RATE MONITOR ESTIMATE ACTUAL HEART RATE. MED SCI SPORTS EXERC 23 (1991) SUPPL: 14
- [57] Golding, J.: INSTRUCTOR MANUAL SPINNING®. 1997
- [58] Gupta, S., A. Goswami, A.K. Sadhukhan, D.N. Mathur: COMPARATIVE STUDY OF LACTATE REMOVAL IN SHORT TERM MASSAGE OF EXTREMITIES, ACTIVE RECOVERY AND A PASSIVE RECOVERY PERIOD AFTER SUPRAMAXIMAL EXERCISE SESSIONS. INT J SPORTS MED 17 (1996): 106-110
- [59] Gwinup, G.: EFFECT OF EXERCISE ALONE ON WEIGHT OF OBESE WOMEN. ARCH INTERN MED 135 (1975): 676-680
- [60] Hagberg, J.M., J.E. Graves, M. Limacher et al.: CARDIOVASCULAR RESPONSES OF 70-79 YEAR OLD MEN AND WOMEN TO EXERCISE TRAINING. J APPL PHYSIOL 66 (1989): 2589-2594
- [61] Hagberg, J.M., J.J. Park, M.D. Brown: THE ROLE OF EXERCISE TRAINING IN THE TREATMENT OF HYPERTENSION: AN UPDATE. SPORTS MED 30 (2000):193-206
- [62] Hagberg, J.M., M.D. Brown: DOES EXERCISE TRAINING PLAYS A ROLE IN THE TREATMENT OF ESSENTIAL HYPERTENSION? J CARDIOVASC RISK 2 (1995): 296-302

- [63] Hagberg, J.M., S.J. Montain, W.H. Martin, A.A. Ehsani: EFFECT OF EXERCISE TRAINING IN 60- TO 69-YEAR-OLD PERSONS WITH ESSENTIAL HYPERTENSION. AM J CARDIOL 64 (1989):348-353
- [64] Hardman, A.E., A. Hudson, P.R.M. Jones, N.G. Norgan: BRISK WALKING AND PLASMA HIGH DENSITY LIPOPROTEIN CHOLESTEROL CONCENTRATION IN PREVIOUSLY SEDENTARY WOMEN. BR MED J 299 (1989): 1204-1205
- [65] Hartung, M., H. Venrath, W. Hollmann, W. Isselhard, D. Jänckner: ÜBER DIE ATEMREGULATIONS UNTER ARBEIT. WESTDEUTSCHER VERLAG, KÖLN 1966
- [66] Haskell, W.L., H.J. Montoye, D. Orenstein: PHYSICAL ACTIVITY AND EXERCISE TO ACHIEVE HEALTH-RELATED PHYSICAL FITNESS COMPONENTS. PUBLIC HEALTH REP 100 (1985): 202-212
- [67] Haskell, W.L.: EXERCISE INDUCED CHANGES IN PLASMA LIPIDS AND LIPOPROTEINS. PREV MED 13 (1984): 23-36
- [68] Haskell, W.L.: PHYSICAL ACTIVITY AND HEALTH: NEED TO DEFINE THE REQUIRED STIMULUS. AM J CARDIOL 55 (1985): 4D-9D
- [69] Hauswirth, C., A.X. Bigard, J.M. LeChevalier: THE COSMED K4 TELEMETRY-SYSTEM AS AN ACCURATE DEVICE FOR OXYGEN UPTAKE MEASUREMENTS DURING EXERCISE. INT J SPORTS MED 18 (1997): 449-453
- [70] Heck, H., H. Liesen, A. Mader, B. Pommerening, W. Hollmann: DAS VERHALTEN VON LAKTAT UND PULSFREQUENZ BEI BELASTUNG AUF ZWEI VERSCHIEDENEN LAUFBÄNDERN MIT UND OHNE SPIROGRAPHENMASKE UND AUF DER KUNSTSTOFFBAHN. IN: HECK, H., W. HOLLMANN, H. LIESEN, H., R. ROST: SPORT: LEISTUNG UND GESUNDHEIT. DEUTSCHER ÄRZTE-VERLAG, KÖLN 1983
- [71] Heitkamp, H.C., K. Scheib, C. Schwind, H.H. Dickhuth: VERÄNDERUNGEN IM LIPID- UND LIPOPROTEINPROFIL IM RAHMEN EINES SECHSMONATIGEN GEHTRAININGS BEI KORONARSPORTLERN. IN: ASSMANN, G. E. BARTZ, H. HEINLE, H. SCHULTE (HRSG.): KORONARE HERZKRANKHEIT. VIEWEG VERLAG, BRAUNSCHWEIG 1991: 266-271
- [72] Hermansen L., B. Ekblom, B. Saltin: CARDIAC OUTPUT DURING SUBMAXIMAL TREADMILL AND BICYCLE EXERCISE. J APPL PHYSIOL 29 (1970): 82-86
- [73] Hickson, R.C., C. Foster, M.L. Pollock, T.M. Galassi, S. Rich: REDUCED TRAINING INTENSITIES AND LOSS OF AEROBIC POWER, ENDURANCE, CARDIAC GROWTH. J APPL PHYSIOL 58 (1985): 492-499
- [74] Hickson, R.C., M.A. Rosenkoetter: REDUCED TRAINING FREQUENCIES AND MAINTENANCE OF INCREASED AEROBIC POWER. MED SCI SPORTS EXERC 13 (1981):13-16

- [75] Higashi, Y., S. Sasaki, N. Sasaki, K. Nakagawa, T. Ueda, A. Yoshimizu, S. Kurisu, H. Matsuura, G. Kajiyama, T. Oshima: DAILY AEROBIC EXERCISE IMPROVES REACTIVE HYPEREMIA IN PATIENTS WITH ESSENTIAL HYPERTENSION. HYPERTENSION 33 (1999): 591-597
- [76] Hollmann, W. (Hrsg.): ZENTRALE THEMEN DER SPORTMEDIZIN. SPRINGER-VERLAG, BERLIN 1972
- [77] Hollmann, W., H. Heck, B. Schmücker, A. Stolte, H. Liesen, M.D. Forescu, D.N. Mathur, K.H. Joura: VERGLEICHENDE SPIROMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EFFEKT UND DIE AUSSAGEKRAFT VON LAUFBAND- UND FAHRRADERGOMETERBELASTUNGEN. SPORTARZT UND SPORTMEDIZIN 6 (1971): 123
- [78] Hollmann, W., Th. Hettinger: SPORTMEDIZIN. ARBEITS- UND TRAININGSGRUNDLAGEN. SCHATTAUER, STUTTGART 1990⁴
- [79] Hultman, E., R.C. Harris: CARBOHYDRATE METABOLISM. IN: POORTMANS, J.E (HRSG.): PRINCIPLES OF EXERCISE BIOCHEMISTRY. MED SPORT SCI BASEL, KARGER 27 (1988): 78-119
- [80] Huttunen, J.K., E. Lansimies, E. Voutilainen, C. Ehnholm, E. Hietanen, I. Penttila, O. Siitonen, R. Rauramaa: EFFECT OF MODERATE PHYSICAL EXERCISE ON SERUM LIPOPROTEINS. A CONTROLLED CLINICAL TRAIL WITH SPECIAL REFERENCE TO SERUM HIGH-DENSITY LIPOPROTEINS. CIRCULATION 60 (1979): 1220-1229
- [81] Jernerus, R., G. Lundin, D. Thomson: CARDIAC OUTPUT IN HEALTHY SUBJECTS DETERMINED WITH CO₂ REBREATHING METHOD. ACTA PHYSIOL SCAND 59 (1963): 390-399
- [82] Kaikkonen, H., M. Yriama, E. Siljander, P. Byman, Laukanen, R.: THE EFFECT OF HEART RATE CONTROLLED LOW RESISTANCE TRAINING AND ENDURANCE TRAINING ON MAXIMAL AEROBIC POWER IN SEDENTARY ADULTS. SCAND J MED SCI SPORTS 10 (2000): 211-215
- [83] Kannel, W.B., J.T. Doyle, A.M. Ostfeld, C.D. Jenkins, L. Kuller, R.N. Podell, J. Stamler: OPTIMAL RESOURCES FOR PRIMARY PREVENTION OF ATHEROSCLEROTIC DISEASES. ATHEROSCLEROSIS STUDY GROUP. CIRCULATION 70 (1984):155A-205A
- [84] Kasch, F.W., J.L. Boyer, S. Van Camp, F. Netti, L.S. Verity, J.P., Wallace: CARDIOVASCULAR CHANGES WITH AGE AND EXERCISE. A 28-YEAR LONGITUDINAL STUDY. SCAND J MED SCI SPORTS 5 (1995): 147-151
- [85] Katch, F.I.: RELATIONSHIP BETWEEN THE DIFFERENCES IN TREADMILL AND BICYCLE ERGOMETER MAXIMAL OXYGEN UPTAKE TO MAXIMAL LEG STRENGTH, LEG WEIGHT

- AND LEG VOLUME. INT. WISSENSCHAFTSKONGRESS „SPORT IN UNSERER WELT – CHANCEN UND PROBLEME“, MÜNCHEN 1972
- [86] Kaufman, S., B. Kaufman, D. Reynolds, I. Trayner, G.R. Thompson: EFFECT OF JOGGING ON SERUM LOW DENSITY LIPOPROTEIN CHOLESTEROL. *ARTERY* 7 (1980): 99-108
- [87] Kelley, G., Z.V. Tran: AEROBIC EXERCISE AND NORMOTENSIVE ADULTS: A META-ANALYSIS. *MED SCI SPORTS EXERC* 27 (1995): 1371-1377
- [88] Kiens, B., I Jorgensen, S. Lewis, G: Jensen, H. Lithell, B. Vessby, S. Hoe, P. Schnohr: INCREASED PLASMA HDL-CHOLESTROL AND APO A-1 IN SEDENTRAY MID-DLE-AGED MEN AFTER PHYSICAL CONDITIONING. *EUR CLIN INVEST* 10 (1980): 203-209
- [89] Kindermann, W., M. Schramm, J. Keul: AEROBIC PERFORMANCE DIAGNOSTICS WITH DIFFERENT EXPERIMENTAL SETTINGS. *INT J SPORTS MED* 1 (1980): 110-114
- [90] Kingwell, B.A., G.L. Jennings: EFFECTS OF WALKING AND OTHER EXERCISE PROGRAMS UPON BLOOD PRESSURE IN NORMAL SUBJECTS. *MED J AUST* 158 (1993): 234-238
- [91] Koyal, S.N., B.J. Whipp, D. Huntsman, G.A. Bray, K. Wasserman: VENTILATORY RESPONSES TO THE METABOLIC ACIDOSIS OF TREADMILL AND CYCLE ERGOMETRY. *J APPL PHYSIOL* 40 (1976): 864-867
- [92] LAPORTE, R.E., H.J. MONTOYE, C.J. CASPERSEN. ASSESSMENT OF PHYSICAL ACTIVITY IN EPIDEMIOLOGICAL RESEARCH: PROBLEMS AND PROSPECTS. *PUBLIC HEALTH REP* 100 (1985): 131-146
- [93] Lehmann, M., J. Keul, K. Wybitul, R. Frick: PLASMAKATECHOLAMINE BEI NORMALPERSONEN WÄHREND FAHRRAD- UND LAUFBANDERGOMETRIE. IN: KINDERMANN, W., W. HORT: SPORTMEDIZIN FÜR BREITEN- UND LEISTUNGSSPORT. DEMETER VERLAG, GRÄFELFING 1981: 151-156
- [94] Leon, A.S., J. Conrad, D.B. Hunninghake, R. Serfass: EFFECTS OF A VIGOROUS WALKING PROGRAM ON BODY COMPOSITION, AND CARBOHYDRATE AND LIPID METABOLISM OF OBESE YOUNG MEN. *AM J CLIN NUTR* 33 (1979): 1776-1786
- [95] Li, L., G.E. Caldwell: MUSCLE COORDINATION IN CYCLING: EFFECT OF SURFACE INCLINE AND POSTURE. *J APPL PHYSIOL* 85 (1998): 927-934
- [96] Mader, A., H. Heck, W. Hollmann: EVALUATION OF LACTIC ACID ANAEROBIC ENERGY CONTRIBUTION BY DETERMINATION OF POSTEXERCISE LACTIC ACID CONCENTRATION OF EAR CAPILLARY BLOOD IN MIDDLE-DISTANCE RUNNERS AND SWIMMERS. INTERNAT. CONGRESS SCIENCE AND SPORT, MONTREAL 1976

- [97] Marceau, M, N. Kouame, Y. Lacoutciere, J. Cleroux: EFFECTS OF DIFFERENT TRAINING INTENSITIES ON 24-HOUR BLOOD PRESSURE IN HYPERTENSIVE SUBJECTS. CIRCULATION 88 (1993):2803-2811
- [98] Matsusaki, M., M. Ikeda, E. Tashiro, M. Koga, S. Miura, M. Ideishi, H. Tanaka, M. Shindo, K. Asakawa: INFLUENCE OF WORKLOAD ON THE ANTIHYPERTENSIVE EFFECT OF EXERCISE. CLIN EXP PHARMACOL PHYSIOL 19 (1992): 471-479
- [99] McArdle, W.D., F.I. Katch, V.L. Katch: ESSENTIALS OF EXERCISE PHYSIOLOGY. LEA & FEBIGER, PHILADELPHIA 1994
- [100] McARDLE, W.D., J.R. MAGEL: PHYSICAL WORK CAPACITY AND MAXIMUM OXYGEN UPTAKE IN TREADMILL AND BICYCLE EXERCISE. MED SCI SPORTS MED 2 (1970): 118-123
- [101] McCarthy, D.A., M.M. Dale: THE LEUCOCYTOSIS OF EXERCISE – A REVIEW AND A MODEL. SPORTS MED 6 (1988): 333-363
- [102] McLellan, T.M., J.S. Skinner: BLOOD LACTATE REMOVAL DURING ACTIVE RECOVERY RELATED TO AEROBIC THRESHOLD. INT J SPORTS MED 3 (1982):224-227
- [103] McLellan, T.M., J.S. Skinner: THE USE OF THE AEROBIC THRESHOLD AS A BASIC FOR TRAINING. CAN J APPL SPORT SCI 6 (1981): 197-201
- [104] McMahan, S., H.A. Wenger: THE RELATIONSHIP BETWEEN AEROBIC FITNESS AND BOTH POWER AND SUBSEQUENT RECOVERY DURING MAXIMAL INTERMITTENT EXERCISE. J SCI MED SPORT 1 (1998): 219-227
- [105] Meredith, C.N., W.R. Frontera, E.C. Fisher et al.: PERIPHERAL EFFECTS OF ENDURANCE TRAINING IN YOUNG AND SUBJECTS. J APPL PHYSIOL 66 (1989): 2844-2849
- [106] Miles, D.S., J.B. Critz, R.G. Knowlton: CARDIOVASCULAR, METABOLIC, AND VENTILATORY RESPONSES OF WOMEN TO EQUIVALENT CYCLE ERGOMETER AND TREADMILL EXERCISE. MED SCI SPORTS EXERC 12 (1980): 14-19
- [107] Moll, M.E., R.S. Williams, R.M. Lester, S.H. Quarfordt, A.G. Wallace: CHOLESTEROL METABOLISM CONDITIONING TO ALTER LEVELS OF HIGH DENSITY LIPOPROTEIN CHOLESTEROL. ATHEROSCLEROSIS 34 (1979):159-166
- [108] Monedero, J., B. Donne: EFFECT OF RECOVERY INTERVENTIONS ON LACTATE REMOVAL AND SUBSEQUENT PERFORMANCE. INT J SPORTS MED 21 (2000): 593-597
- [109] Mortell, R., Tucker, L.: EFFECTS OF A 12-WEEK RESISTIVE TRAINING PROGRAM IN THE HOME USING THE BODY BAR ON DYNAMIC AND ABSOLUTE STRENGTH OF MIDDLE-AGE WOMEN. PERCEPT MOT SKILLS 76 (1993): 1131-1138

- [110] Motoyama, M., Y. Sunami, F. Kinoshita, A. Kiyonaga, H. Tanaka, M. Shindo, T. Irie, H. Urata, J. Sasaki, K. Arakawa: BLOOD PRESSURE LOWERING EFFECT OF LOW INTENSITY AEROBIC TRAINING IN ELDERLY HYPERTENSIVE PATIENTS. *MED SCI SPORTS EXERC* 30 (1998): 818-823
- [111] N.N.: REPORT OF THE NATIONAL CHOLESTEROL EDUCATION PROGRAM EXPERT PANEL ON DETECTION, EVALUATION AND TREATMENT OF HIGH BLOOD CHOLESTEROL IN ADULTS. *ARCH INTERN MED* 148 (1988): 36-39
- [112] Nieman, D.C.: EXERCISE IMMUNOLOGY: PRACTICAL APPLICATIONS. *INT J SPORTS MED* 18 (1997) SUPPL 1: S91-100
- [113] Niesten-Diedrich, U., G. Simon, G. Blome, H. Schulte, A. Schmidt, G. Assmann: WIRKUNGEN EINES GEH-, LAUF- UND KRAFTTRAININGS AUF LEISTUNGSFÄHIGKEIT UND FETTSTOFFWECHSELPARAMETER. *DT ZEITSCHR SPOMED* 45 (1994): 18-30
- [114] NIH: CONSENSUS DEVELOPMENT PANEL ON TRIGLYCERIDE, HIGH DENSITY LIPOPROTEIN AND CORONARY HEART DISEASE. *JAMA* 269 (1956): 1001
- [115] O'Sullivan, S.: PERCEIVED EXERTION, A REVIEW. EXERCISES TEST, EXERTION, PHYSIOLOGY. BOSTON 1983
- [116] Oberman, A.: EXERCISE AND THE PRIMARY PREVENTION OF CARDIOVASCULAR DISEASE. *AM J CARDIOL* 55 (1985): 10D-20D
- [117] Ogita, F., R.P. Stam, H.O. Tazawa, H.M. Toussaint, A.P. Hollander: OXYGEN UPTAKE IN ONE-LEGGED AND TWO-LEGGED EXERCISE. *MED SCI SPORTS EXERC* 32 (2000): 1737-42
- [118] Oshida, Y., K. Yamamouchi, S. Hayamizy, Y. Saton: LONG TERM MILD JOGGING INCREASES INSULIN ACTION DESPITE NO INFLUENCE ON BODY MASS INDEX OR VO_2 MAX. *J APPL PHYSIOL* 66 (1989): 2206-2210
- [119] Paffenbarger, R.S., A.L. Wing, R.T. Hyde, D.L. Jung: PHYSICAL ACTIVITY AND INCIDENCE OF HYPERTENSION IN COLLEGE ALUMNI. *AM J EPIDEMIOL* 117 (1983): 245-157
- [120] Paffenbarger, R.S., R.T. Hyde, A.L. Wing, C.C. Hsieh: PHYSICAL ACTIVITY, ALL-CAUSE MORTALITY, AND LONGEVITY OF COLLEGE ALUMNI. *N ENGL J MED* 314 (1986): 605-613
- [121] Paffenbarger, R.S., R.T. Hyde, D.L. Jung, A.L. Wing: EPIDEMIOLOGY OF EXERCISE AND CORONARY HEART DISEASE. *CLIN SPORTS MED* 3 (1984): 297-318
- [122] Pollock, M., J. Wilmore: EXERCISE IN HEALTH AND DISEASE: EVALUATION AND PRESCRIPTION FOR PREVENTION AND REHABILITATION. W.B. SAUNDERS, PHILADELPHIA 1990²

- [123] Pollock, M.L.: THE QUANTIFICATION OF ENDURANCE TRAINING PROGRAMS. IN: WILMORE, J.H.: EXERCISE AND SPORT SCIENCES REVIEWS. ACADEMIC PRESS, NEW YORK 1973: 155-188
- [124] Rauramaa, R., J.T. Salonen, K. Kukkonen-Harjula, K. Seppänen, E. Seppänen, H. Vapaatalo, J. Huttunen: EFFECTS OF MILD PHYSICAL EXERCISE ON SERUM LIPOPROTEINS AND METABOLITES OF ARACHIDONIC ACID. BR MED JL 288 (1984): 603-606
- [125] Rauw, A.: TRAINING IM TAKT. TOUR 22 (1999) 1: 26-31
- [126] Rost, R., W. Hollmann: BELASTUNGSUNTERSUCHUNGEN IN DER PRAXIS. THIEME VERLAG, STUTTGART 1982
- [127] Rost, R.: HERZ UND SPORT. PERIMED FACHBUCH-VERLAGSGESELLSCHAFT MBH, ERLANGEN 1990²
- [128] Rost, R.: SPORT- UND BEWEGUNGSTHERAPIE BEI INNEREN KRANKHEITEN. DEUTSCHER ÄRZTE-VERLAG, KÖLN 1991
- [129] Ryschon, T.W., J. Stray-Gundersen: THE EFFECT OF BODY POSITION ON THE ENERGY COST OF CYCLING. MED SCI SPORTS EXERC 23 (1991): 949-953
- [130] Sasaki, J., H. Urata, Y Tanabe, A. Kinoshita, H. Tanaka, M. Shindo, K. Arakawa: MILD EXERCISE THERAPY INCREASES SERUM HIGH DENSITY LIPOPROTEIN2 CHOLESTEROL LEVELS IN PATIENTS WITH ESSENTIAL HYPERTENSION. AM J MED SCI 297 (1989):220-223
- [131] Schmidt, R.F., G. Thews: PHYSIOLOGIE DES MENSCHEN. SPRINGER VERLAG, BERLIN 1995²⁶
- [132] Schnabel, G. (Hrsg.): LEISTUNG – TRAINING – WETTKAMPF. SPORTVERLAG, BERLIN 1997²
- [133] Schwartz, R.S., V.A. Hirth: THE EFFECTS OF ENDURANCE AND RESISTANCE TRAINING ON BLOOD PRESSURE. INT J OBES RELAT METAB DISORD 19 (1995) SUPPL: S52-57
- [134] Seals, D., J. Hagberg, B. Hurley, A. Ehsani, J. Holloszy: ENDURANCE TRAINING IN OLDER MEN AND WOMEN. I. CARDIOVASCULAR RESPONSES TO EXERCISE. J APPL PHYSIOL 57 (1984): 1024 - 1029
- [135] Shephard, R.J., P.E. Youldon, M. Cox, C. West: EFFECTS OF A 6-MONTH INDUSTRIAL FITNESS PROGRAM ON SERUM LIPID CONCENTRATIONS. ATHEROSCLEROSIS 35 (1980): 277-286
- [136] Shephard, R.J.: EXERCISE IN CORONARY HEART DISEASE. SPORTS MED 3 (1986): 26-49

- [137] Sidney, K.H., R.J. Shephard: FREQUENCY AND INTENSITY OF EXERCISE TRAINING FOR ELDERLY SUBJECTS. *MED SCI SPORTS EXERC* 10 (1978): 125-131
- [138] SISCOVICH, D.S., R.E. LAPORTE, J.M. NEWMAN: THE DISEASE-SPECIFIC BENEFITS AND RISKS OF PHYSICAL ACTIVITY AND EXERCISE. *PUBLIC HEALTH REP* 100 (1985): 180-188
- [139] Sjödin, B., J. Svedenhag: APPLIED PHYSIOLOGY OF MARATHON RUNNING. *SPORTS MED* 2 (1985): 83-99
- [140] Skinner, J., R. Hutsler, V. Bergsteinova, E. Buskirg: THE VALIDITY AND RELIABILITY OF A RATING SCALE OF PERCEIVED EXERTION. *MED SCI SPORTS EXERC* 2 (1973): 94-97
- [141] Sopko, G., A.S. Leon, D.R. Jacobs, N. Foster, J. Moy, K. Kuba, J.T. Anderson, D. Casal, C. McNally, I. Frantz: THE EFFECTS OF EXERCISE AND WEIGHT LOSS ON PLASMA LIPIDS IN YOUNG OBESE MEN. *METABOLISM* 34 (1985): 227-236
- [142] Stamford, B.A.: VALIDITY AND RELIABILITY OF SUBJECTIVE RATINGS OF PERCEIVED EXERTION DURING WORK. *ERGONOMICS* 19 (1976): 53
- [143] Stefanick, M.L.: EXERCISE AND WEIGHT CONTROL. IN: HOLLOSZY, J.O. (HRSG.): EXERCISE AND SPORT SCIENCES REVIEWS. WILLIAMS & WILLIAMS, BALTIMORE 1993: 363-396
- [144] Svedenhag, J., B. Sjödin: MAXIMAL AND SUBMAXIMAL OXYGEN UPTAKES AND BLOOD LACTATE LEVELS IN ELITE MALE MIDDLE- AND LONG-DISTANCE RUNNERS. *INT J SPORTS MED* 5 (1984): 255-261
- [145] Takahashi, T., Y. Miyamoto: INFLUENCE OF LIGHT PHYSICAL ACTIVITY ON CARDIAC RESPONSES DURING RECOVERY FROM EXERCISE IN HUMANS. *EUR J APPL PHYSIOL OCCUP PHYSIOL* 77 (1998): 305-311
- [146] Tanabe Y., J. Sasaki, H. Urata, A. Kiyonaga, H. Tanaka, M. Shindo, K. Arakawa: EFFECT OF MILD AEROBIC EXERCISE ON LIPID AND ALIPOPTEIN LEVELS IN PATIENTS WITH ESSENTIAL HYPERTENSION. *JPN HEART J* 29 (1988): 199-206
- [147] Tanabe, Y., H. Urata, A. Kiyonaga, M. Ikeda, H. Tanaka, M. Shindo, K. Arakawa: CHANGES IN SERUM CONCENTRATIONS OF TAURINE AND OTHER AMINO ACIDS IN CLINICAL ANTIHYPERTENSIVE EXERCISE THERAPY. *CLIN EXP HYPERTENS A* 11 (1989): 149-165
- [148] Tanaka, H., D.R. Bassett, S.K. Best, K.R. Baker: SEATED VERSUS STANDING CYCLING IN COMPETITIVE ROAD CYCLISTS: UPHILL CLIMBING AND MAXIMAL OXYGEN UPTAKE. *CAN J APPL PHYSIOL* 21 (1996):146-54

- [149] Taylor, J. , L.A. Tucker: COMPARISON OF THE CARDIOGLIDE, CROSSWALK, AND TREADMILL WALKING IN DEVELOPMENT OF CARDIOVASCULAR ENDURANCE, DYNAMIC STRENGTH, AND FLEXIBILITY IN MIDDLE-AGED MEN AND WOMEN. PERCEPT MOT SKILLS 82 (1996): 875-882
- [150] Tipton, C.M.: EXERCISE, TRAINING AND HYPERTENSION: AN UPDATE. EXERC SPORT SCI REV 19 (1991): 447-505
- [151] Urata, H., Y Tanabe, A. Kiyonaga, M. Ikeda, H. Tanaka, M. Shindo, K. Arakawa: ANTIHYPERTENSIVE AND VOLUME-DEPLETING EFFECTS OF MILD EXERCISE ON ESSENTIAL HYPERTENSION. HYPERTENSION 9 (1987): 245-252
- [152] Völker, K., M. Gracher, T. Wibbels, W. Hollmann: ÜBER DIE NOTWENDIGKEIT DER STEUERUNG DER BELASTUNGSINTENSITÄT IM BREITENSPORT. IN: FRANZ, I.-W., H. MELLEROWICZ, W. NOACK (HRSG.): TRAINING UND SPORT ZUR PRÄVENTION UND REHABILITATION IN DER TECHNISIERTEN UMWELT. SPRINGER VERLAG, BERLIN 1985
- [153] Weicker, H.: INTERAKTION ZWISCHEN AEROBER UND ANAEROBER ENERGIEPRODUKTION, LAKTATPRODUKTION, RELEASE UND ELIMINATION. IN: CLASING, D., H. WEICKER, D. BÖNING: STELLENWERT DER LAKTATBESTIMMUNG IN DER LEISTUNGSDIAGNOSTIK. GUSTAV FISCHER VERLAG, STUTTGART 1994: 11-25
- [154] Weltman, A., R.L. Seip, D. Snead, J.Y. Weltman, E.M. Haskvitz, W.S. Evans, J.D. Veldhuis, A.D. Rogal: EXERCISE TRAINING AT AND ABOVE THE LACTATE THRESHOLD IN PREVIOUSLY UNTRAINED WOMEN. INT J SPORTS MED 13 (1992): 257-263
- [155] Weltman, A., S. Matter, B.A. Stamford: CALORIC RESTRICTION AND / OR MILD EXERCISE: EFFECTS ON SERUM LIPIDS AND BODY COMPOSITION. AM J CLIN NUTR 33 (1980): 1002-1009
- [156] Wenger, H.A., G.J. Bell: THE INTERACTIONS OF INTENSITY, FREQUENCY AND DURATION OF EXERCISE TRAINING IN ALTERING CARDIORESPIRATORY FITNESS. SPORTS MED 3 (1986): 346-356
- [157] Westheim, A., K. Simonsen, O. Schamaun, O. Muller, O. Stokke, P. Teisberg: EFFECT OF EXERCISE TRAINING IN PATIENTS WITH ESSENTIAL HYPERTENSION. J HYPERTENS SUPPL 3 (1985): S479-481
- [158] Wigerneas I., S.B. Stromme, A.T. Hostmark: ACTIVE RECOVERY COUNTERACTS THE POST-EXERCISE RISE IN PLASMA-FREE FATTY ACIDS. INT J SPORTS NUTR EXERC METAB 10 (2000): 404-414
- [159] Wilmore, J.H., D.L. Costill: PHYSIOLOGY OF SPORT AND EXERCISE. HUMAN KINETICS, CHAMPAIGN 1994
- [160] Wood, P.D., M.L. Stefanick, D.M. Dreon, B. Frey-Hewitt, S.C. Garay, P.T. Williams, H.R. Superko, S.P. Fortmann, J.J. Albers, K.M. Vranizan et al.:

CHANGES IN PLASMA LIPIDS AND LIPOPROTEINS IN OVERWEIGHT MEN DURING WEIGHT LOSS THROUGH DIETING AS COMPARED WITH EXERCISE. N ENGL J MED 319 (1988): 1173-1179

- [161] Wood, P.D., M.L. Stefanick, P.T. Williams, W.L. Haskell: THE EFFECTS ON PLASMA LIPOPROTEINS OF A PRUDENT WEIGHT REDUCING DIET, WITH OR WITHOUT EXERCISE, IN OVERWEIGHT MEN AND WOMEN. N ENGL J MED 17 (1991): 461-466
- [162] Zintl, F.: AUSDAUERTRAINING. BLV, MÜNCHEN 1997⁴

7 Anhang

Anhang A

Fragebogen

Angaben zur Person

Name: _____	Vorname: _____
Alter: _____ Jahre	männlich weiblich
Größe: _____ cm	Gewicht: _____ kg
Adresse: _____	

Vorerfahrungen mit den Geräten:

Moonwalker	keine	schon mal probiert	oft trainiert	regelmäßig trainiert
Crosstrainer	keine	schon mal probiert	oft trainiert	regelmäßig trainiert
Indoor-Cycling Bike	keine	schon mal probiert	oft trainiert	regelmäßig trainiert

Angaben zu sportlichen Aktivitäten

Ausdauertraining	nie	1-2 / Woche	3-4 / Woche	> 4 / Woche
	>15 min.	- 30 min	- 60 min	> 60 min
Krafttraining	nie	1-2 / Woche	3-4 / Woche	> 4 / Woche
	>15 min.	- 30 min	- 60 min	> 60 min
Spilsport	nie	1-2 / Woche	3-4 / Woche	> 4 / Woche
	>15 min.	- 30 min	- 60 min	> 60 min
Gymnastik	nie	1-2 / Woche	3-4 / Woche	> 4 / Woche
	>15 min.	- 30 min	- 60 min	> 60 min

Anhang B

Statistische Verfahren

Die in dieser Arbeit durchgeführten statistischen Berechnungen erfolgten mit Hilfe des Softwareprogramms SPSS 10.0 (Statistical Package for Social Sciences). Die Erläuterungen zu den statistischen Verfahren sind den Statistiklehrbüchern von BORTZ (1993) und SACHS (1999⁹). entnommen.

Deskriptive Statistik

Maße der Zentralen Tendenz

Durch die Maße der Zentralen Tendenz werden alle Messwerte einer Stichprobe zusammenfassend dargestellt.

Je nach Skalenniveau unterscheidet man:

- den Modalwert (der Wert der am häufigsten besetzt ist) = (ab) Nominalskala
- den Median (halbiert die Verteilung) = (ab) Ordinalskala
- das arithmetische Mittel (Summe aller Werte durch die Anzahl der Werte)
= Intervall- / Verhältnisskala

In der vorliegenden Arbeit wurde der Median (RPE-Werte der BORG-Skala) und das arithmetische Mittel (physiologische Parameter) als Maße der Zentralen Tendenz verwendet.

Dispersionsmaße

Die Dispersionsmaße informieren über die Unterschiedlichkeit der Messwerte in einer Stichprobe.

Auch hier wird nach Skalaniveau unterschieden:

- Interquartilbereich (25 / 75 % Percentile) = (ab) Ordinalskala
- Varianz (Summe der quadrierten Abweichungen vom Mittelwert dividiert durch die Anzahl der Messwerte) = Intervall- / Verhältnisskala
- Standardabweichung (Wurzel der Varianz) = Intervall- / Verhältnisskala

In der vorliegenden Arbeit wurde die Interquartilbereiche (RPE-Werte der BORG-Skala) und Standardabweichungen (physiologische Parameter) zur Beschreibung der Dispersionsmaße verwendet.

Inferenzstatistik

Für die vorliegende Arbeit wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, ausgedrückt durch $p = 0,05$, festgelegt. Bei $p \leq 0,05$ ist das Ergebnis als signifikant einzustufen, d.h. die Werte der Stichprobe können auf die Gesamtpopulation bezogen werden.

Verfahren bei Ordinalskalenniveau

Messwerte auf Ordinalskalenniveau waren bei den RPE-Werten der BORG-Skala vorhanden.

H-Test nach KRUSKAL-WALLIS für unabhängige Stichproben

Der H-Test nach KRUSKAL-WALLIS untersucht die Verteilung eines rangskalierten Merkmals innerhalb einer Messwiederholung bei unabhängigen Stichproben. Der H-Test stellt eine einfaktorische Varianzanalyse für nichtparametrische Daten bei unabhängigen Stichproben (ANOVA) dar, dabei muss das Merkmal mindestens Ordinalskalenniveau aufweisen.

U-Test nach MANN-WHITNEY für zwei unabhängige Stichproben

Mit Hilfe des U-Tests nach MANN-WHITNEY können zwei unabhängige Stichproben in Bezug auf rangskalierte Merkmale verglichen werden. Es besteht keine Normalverteilungsvoraussetzung.

Hierzu wird die Prüfgröße U aus der Summe der Rangzahlen der einzelnen Stichproben gebildet und mit einem festgelegten kritischen Wert verglichen. Ist dabei der berechnete U-Wert kleiner oder gleich dem theoretischen Wert, unterscheiden sich die Stichproben in Bezug auf das untersuchte Merkmal überzufällig, es kann also nicht auf eine gemeinsame Grundgesamtheit geschlossen werden.

FRIEDMAN-Test für abhängige Stichproben

Sollen Unterschiede hinsichtlich der Zentralen Tendenz zwischen bei Messwiederholungen eines Merkmals untersucht werden, muss zunächst nachgewiesen werden, ob signifikante Unterschiede in der gesamten Messreihe, d.h. über die Treatmentstufen vorliegen.

Letzteres kann mit Hilfe des FRIEDMAN-Tests überprüft werden, der einen verteilungsunabhängigen Vergleich mehrerer abhängiger Messwerte hinsichtlich ihrer Zentralen Tendenz beinhaltet. Er entspricht damit einer Messwiederholungsvarianzanalyse mit Rangzahlen.

WILCOXON-Test für zwei abhängige Stichproben

Der WILCOXON-Test überprüft, ob Differenzen zwischen paarig angeordneten Messwerten eines verteilungsunabhängigen Merkmals signifikant oder zufällig sind. Voraussetzung für die Durchführung des WILCOXON-Tests bei Fragestellung mit

Messwiederholungen ist ein signifikantes Ergebnis im FRIEDMAN-Test. Anhand der Paarvergleiche kann dieses Ergebnis genauer differenziert bzw. lokalisiert werden.

Bei der Mehrfachtestung innerhalb einer Stichprobe muss das Signifikanzniveau korrigiert werden. (vgl. Kapitel 1.2.2.3).

Verfahren bei Verhältnisskalenniveau

Die Anwendung der folgenden statistischen Verfahren setzt neben der Intervallskalierung eine Normalverteilung der erhobenen Messwerte sowie Varianzhomogenität der Stichproben voraus.

Innerhalb der vorliegenden Arbeit wurde auf eine Überprüfung der Voraussetzungen verzichtet und direkt mit korrigierten Freiheitsgraden (lower bound) gerechnet.

Varianzanalyse

Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung

Liegt zu einem Merkmal eine Messreihe vor, d.h. es sind Messwerte zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Treatmentstufen) erhoben worden, kann ein signifikanter Unterschied zwischen den Messwerten durch die einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung nachgewiesen werden. Ähnlich wie beim FRIEDMAN-Test lässt sich nur eine allgemeine Aussage über signifikante Effekte innerhalb der Messreihe machen. Genauere Angaben macht der t-Test für abhängige Stichproben durch Einzelvergleiche der Treatmentstufen (Messwertpaare).

Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung

Findet sich in einer Stichprobe neben den Treatmentstufen ein Gruppierungsfaktor für die Stichprobe, d.h. die Stichprobe wird anhand eines weiteren Faktors definiert, wird die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung angewendet.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse führt Kreuzvergleiche zwischen den gruppierten Stichproben durch und kann so den Einfluss eines weiteren Faktors auf die Messergebnisse überprüfen.

ANOVA

Die ANOVA stellt die einfaktorielle Varianzanalyse für unabhängige Stichproben dar. Zeigt sie ein signifikantes Ergebnis an, so wird mit Hilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben der signifikante Unterschied lokalisiert.

t-Test

Mit Hilfe von Einzelvergleichen können die signifikanten Ergebnisse aus den Varianzanalysen definiert und lokalisiert werden.

t-Test für unabhängige Stichproben

Es soll untersucht werden, ob sich ein Merkmal innerhalb zweier Stichproben signifikant unterscheidet. SPSS bietet hierfür sowohl die einfaktorielle ANOVA als auch den t-Test für unabhängige Stichproben an. Bei Mehrfachtestung muss das Signifikanzniveau entsprechend der Anzahl der Tests korrigiert werden (vgl. Kapitel 1.2.2.3).

t-Test für abhängige Stichproben

Vergleicht man zwei Mittelwerte in einer abhängigen Stichprobe auf Unterschiedlichkeit, wendet man den t-Test für abhängige Stichproben an. Bei Mehrfachtestung muss das Signifikanzniveau entsprechend der Anzahl der Tests korrigiert werden (vgl. Kapitel 1.2.2.3).

Korrekturverfahren bei Mehrfachtestung

Die Gültigkeit des t-Tests bezieht sich auf einen Einzelvergleich innerhalb einer Stichprobe. Werden mehrere Einzelvergleiche mit Hilfe des t-Tests an einer Stichprobe vorgenommen, besteht die Möglichkeit, dass aufgrund der Mehrfachenwendung der t-Tests einzelne Signifikanztests nur zufällig zu signifikanten Ergebnissen führen.

Dieses kann vermieden werden, indem das Signifikanzniveau anhand der Anzahl der Einzelvergleiche korrigiert wird.

Hierbei gilt : $\alpha = 1 - (1 - \alpha^{\wedge})^{1/m}$
wobei α = korrigiertes Signifikanzniveau
 α^{\wedge} = ursprüngliches Signifikanzniveau (hier 0,05)
m = Anzahl der durchgeführten Einzelvergleiche

Korrelationsrechnung

Die Korrelationsrechnung ermittelt den Grad des Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen in einer Versuchsgruppe. Der Grad des Zusammenhangs wird durch den Korrelationskoeffizienten r angegeben.

Dabei bedeutet:

- 1: vollständige Übereinstimmung zwischen den beiden Merkmalen
- 0: kein Zusammenhang
- 1: vollständige negative Übereinstimmung

Die Höhe des Korrelationskoeffizienten wird wie folgt interpretiert:

$ r $	$= 0,00$	kein Zusammenhang
$0,00 < r $	$\leq 0,40$	niedriger Zusammenhang
$0,40 < r $	$\leq 0,70$	mittlerer Zusammenhang
$0,70 < r $	$< 1,00$	hoher Zusammenhang
$ r $	$= 1,00$	vollständiger Zusammenhang

Auch bei der Korrelationsrechnung hängt das zu verwendene Verfahren von dem vorliegenden Skalenniveau ab. Werte, bei denen einer oder beide dem Ordinalskalenniveau entsprechen oder nicht normalverteilt sind, werden mit Hilfe der Rangkorrelation nach SPEARMAN korreliert.

Anhang C

Tabellen

Tabellen zur Untersuchung Moonwalker

Mittelwerte und Standardabweichungen Stufentest Moonwalker ohne Armeinsatz

	absolut		relativ	
	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen
Ruhe	0,66 ± 0,17	13,73 ± 2,36		
Stufe 1	0,94 ± 0,25	22,59 ± 4,83	0,28 ± 0,25	8,86 ± 4,64
Stufe 2	0,96 ± 0,29	22,73 ± 5,62	0,01 ± 0,22	0,14 ± 2,43
Stufe 3	0,99 ± 0,26	25,19 ± 6,12	0,03 ± 0,12	2,46 ± 1,83
Stufe 4	1,08 ± 0,31	29,59 ± 7,13	0,09 ± 0,15	4,40 ± 3,00
Stufe 5	1,24 ± 0,34	36,09 ± 8,53	0,15 ± 0,12	6,50 ± 3,19
Stufe 6	1,63 ± 0,36	54,70 ± 21,21	0,24 ± 0,16	10,47 ± 10,92
Erholung 2'	0,83 ± 0,27	14,56 ± 5,06	-0,48 ± 0,34	-24,52 ± 12,18
Erholung 4'	0,72 ± 0,20	12,45 ± 4,01	-0,11 ± 0,26	-2,11 ± 3,95
Erholung 6'	0,68 ± 0,24	11,04 ± 3,85	-0,03 ± 0,21	-1,41 ± 3,00
Erholung 8'	0,75 ± 0,36	10,83 ± 3,77	0,07 ± 0,26	-0,20 ± 3,12

	absolut		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe	440,63 ± 113,31	6,66 ± 1,63	5,05 ± 1,41
Stufe 1	854,50 ± 219,49	12,61 ± 1,87	8,37 ± 2,45
Stufe 2	875,94 ± 236,65	12,93 ± 1,96	8,48 ± 2,55
Stufe 3	989,77 ± 262,85	14,65 ± 2,33	9,45 ± 2,76
Stufe 4	1185,20 ± 304,61	17,63 ± 2,97	10,58 ± 2,85
Stufe 5	1460,14 ± 364,12	21,77 ± 3,61	11,90 ± 3,03
Stufe 6	2153,83 ± 622,72	28,25 ± 4,93	15,11 ± 4,24
Erholung 2'	450,66 ± 190,61	6,73 ± 2,40	4,75 ± 1,92
Erholung 4'	386,61 ± 128,25	5,75 ± 1,59	4,16 ± 1,32
Erholung 6'	365,82 ± 128,62	5,49 ± 1,74	4,18 ± 1,44
Erholung 8'	357,19 ± 126,78	5,32 ± 1,58	4,06 ± 1,46

	relativ		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe			
Stufe 1	413,87 ± 205,85	5,95 ± 2,69	3,31 ± 2,03
Stufe 2	21,44 ± 113,06	0,32 ± 1,62	0,11 ± 0,93
Stufe 3	113,82 ± 85,83	1,72 ± 1,25	0,97 ± 0,76
Stufe 4	195,44 ± 114,92	2,98 ± 1,67	1,13 ± 0,92
Stufe 5	274,94 ± 131,44	4,14 ± 1,76	1,32 ± 0,69
Stufe 6	344,56 ± 217,38	4,36 ± 2,26	1,03 ± 0,94
Erholung 2'	-1107,94 ± 428,37	-16,28 ± 4,63	-7,45 ± 2,49
Erholung 4'	-64,05 ± 126,04	-0,98 ± 1,82	-0,58 ± 1,30
Erholung 6'	-20,79 ± 101,71	-0,26 ± 1,61	0,02 ± 1,09
Erholung 8'	-8,64 ± 111,89	-0,17 ± 1,71	-0,13 ± 1,20

	absolut		relativ	
	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch
Ruhe	0,78 ± 0,07	2,10 ± 0,53		
Stufe 1	0,79 ± 0,06	4,10 ± 1,05	0,02 ± 0,08	1,99 ± 0,99
Stufe 2	0,79 ± 0,07	4,20 ± 1,12	-0,01 ± 0,04	0,10 ± 0,53
Stufe 3	0,79 ± 0,07	4,75 ± 1,25	0,00 ± 0,03	0,55 ± 0,43
Stufe 4	0,79 ± 0,05	5,69 ± 1,46	0,00 ± 0,03	0,94 ± 0,57
Stufe 5	0,82 ± 0,07	7,05 ± 1,77	0,02 ± 0,04	1,36 ± 0,65
Stufe 6	0,84 ± 0,08	10,48 ± 3,18	0,02 ± 0,05	1,74 ± 1,21
Erholung 2'	0,84 ± 0,08	2,19 ± 0,92	0,02 ± 0,06	-5,36 ± 2,16
Erholung 4'	0,83 ± 0,12	1,87 ± 0,61	-0,01 ± 0,12	-0,32 ± 0,61
Erholung 6'	0,77 ± 0,07	1,75 ± 0,61	-0,06 ± 0,11	-0,12 ± 0,48
Erholung 8'	0,78 ± 0,09	1,71 ± 0,60	0,02 ± 0,07	-0,04 ± 0,55

	absolut		relativ	
	Herzfrequenz	Laktat	Herzfrequenz	Laktat
Ruhe	86,33 ± 17,06	1,33 ± 0,35		
Stufe 1	104,72 ± 15,53	1,11 ± 0,30	18,39 ± 12,82	-0,21 ± 0,21
Stufe 2	105,44 ± 14,87	1,01 ± 0,29	0,72 ± 4,05	-0,10 ± 0,10
Stufe 3	106,99 ± 14,89	1,01 ± 0,31	1,55 ± 4,77	0,00 ± 0,07
Stufe 4	114,37 ± 18,38	1,09 ± 0,38	7,37 ± 5,65	0,09 ± 0,11
Stufe 5	125,23 ± 21,49	1,33 ± 0,65	10,87 ± 7,20	0,24 ± 0,32
Stufe 6	145,47 ± 28,65	2,62 ± 1,97	12,91 ± 6,64	0,80 ± 1,03
Erholung 2'	96,81 ± 18,45	1,47 ± 1,03	-27,35 ± 22,97	-0,10 ± 0,21
Erholung 4'	94,44 ± 16,87	1,41 ± 0,91	-2,37 ± 5,22	-0,06 ± 0,19
Erholung 6'	91,57 ± 15,92	1,33 ± 0,79	-2,86 ± 10,84	-0,08 ± 0,15
Erholung 8'	93,27 ± 24,91	1,30 ± 0,71	1,69 ± 17,20	-0,03 ± 0,11

Mittelwerte und Standardabweichungen Stufentest Moonwalker mit Armeinsatz

	absolut		relativ	
	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen
Ruhe	0,64 ± 0,16	14,27 ± 5,48		
Stufe 1	1,06 ± 0,38	26,40 ± 8,22	0,43 ± 0,32	12,13 ± 7,60
Stufe 2	1,01 ± 0,29	26,55 ± 9,06	-0,05 ± 0,16	0,16 ± 3,27
Stufe 3	1,07 ± 0,29	28,81 ± 8,27	0,06 ± 0,10	2,25 ± 3,39
Stufe 4	1,19 ± 0,39	33,89 ± 9,22	0,12 ± 0,12	5,08 ± 3,48
Stufe 5	1,28 ± 0,36	39,65 ± 10,56	0,10 ± 0,18	5,76 ± 3,88
Stufe 6	1,58 ± 0,38	62,20 ± 18,70	0,23 ± 0,23	15,81 ± 8,77
Erholung 2'	0,86 ± 0,27	16,39 ± 5,42	-0,50 ± 0,28	-28,53 ± 12,87
Erholung 4'	0,70 ± 0,20	12,95 ± 4,36	-0,16 ± 0,18	-3,44 ± 3,08
Erholung 6'	0,74 ± 0,24	11,73 ± 3,80	0,04 ± 0,18	-1,22 ± 2,53
Erholung 8'	0,69 ± 0,30	11,33 ± 3,68	-0,04 ± 0,29	-0,40 ± 2,68

	absolut		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe	452,87 ± 227,90	6,83 ± 3,21	4,85 ± 1,82
Stufe 1	1024,41 ± 366,76	14,95 ± 3,31	10,12 ± 4,00
Stufe 2	1042,99 ± 394,11	15,27 ± 3,67	10,06 ± 3,49
Stufe 3	1152,14 ± 374,25	16,97 ± 3,37	10,41 ± 2,97
Stufe 4	1391,35 ± 425,89	20,57 ± 4,18	11,61 ± 3,13
Stufe 5	1647,47 ± 481,55	24,44 ± 4,90	12,73 ± 3,33
Stufe 6	2469,90 ± 632,93	32,98 ± 5,64	16,13 ± 3,52
Erholung 2'	528,89 ± 226,73	7,81 ± 2,41	5,23 ± 1,76
Erholung 4'	417,78 ± 182,79	6,21 ± 2,08	4,35 ± 1,60
Erholung 6'	363,82 ± 155,10	5,46 ± 1,96	3,91 ± 1,48
Erholung 8'	359,99 ± 155,63	5,32 ± 1,90	4,01 ± 1,57

	relativ		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe			
Stufe 1	571,55 ± 326,67	8,12 ± 3,65	5,27 ± 3,54
Stufe 2	18,57 ± 147,95	0,32 ± 1,97	-0,07 ± 1,32
Stufe 3	109,15 ± 121,21	1,70 ± 1,61	0,35 ± 1,78
Stufe 4	239,21 ± 135,53	3,60 ± 1,91	1,20 ± 0,63
Stufe 5	256,12 ± 138,86	3,87 ± 1,95	1,12 ± 0,87
Stufe 6	499,25 ± 236,00	6,79 ± 3,31	1,77 ± 1,48
Erholung 2'	-1284,99 ± 461,04	-18,89 ± 4,93	-8,08 ± 2,69
Erholung 4'	-111,11 ± 106,37	-1,59 ± 1,40	-0,88 ± 1,02
Erholung 6'	-53,97 ± 71,72	-0,76 ± 1,09	-0,44 ± 0,75
Erholung 8'	-3,83 ± 79,50	-0,14 ± 1,16	0,10 ± 0,94

	absolut		relativ	
	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch
Ruhe	0,79 ± 0,05	2,16 ± 1,08		
Stufe 1	0,79 ± 0,06	4,91 ± 1,78	0,01 ± 0,07	2,75 ± 1,58
Stufe 2	0,79 ± 0,07	5,00 ± 1,93	-0,01 ± 0,04	0,09 ± 0,73
Stufe 3	0,78 ± 0,06	5,52 ± 1,80	0,00 ± 0,03	0,52 ± 0,61
Stufe 4	0,78 ± 0,06	6,65 ± 2,04	0,00 ± 0,03	1,14 ± 0,65
Stufe 5	0,79 ± 0,07	7,89 ± 2,28	0,01 ± 0,04	1,24 ± 0,68
Stufe 6	0,78 ± 0,10	11,85 ± 3,06	0,01 ± 0,03	2,45 ± 1,20
Erholung 2'	0,82 ± 0,09	2,55 ± 1,07	0,03 ± 0,09	-6,16 ± 2,22
Erholung 4'	0,76 ± 0,07	1,99 ± 0,85	-0,06 ± 0,07	-0,56 ± 0,52
Erholung 6'	0,78 ± 0,09	1,73 ± 0,72	0,01 ± 0,09	-0,26 ± 0,35
Erholung 8'	0,75 ± 0,08	1,70 ± 0,72	-0,03 ± 0,10	-0,03 ± 0,38

	absolut		relativ	
	Herzfrequenz	Laktat	Herzfrequenz	Laktat
Ruhe	90,94 ± 17,49	1,33 ± 0,50		
Stufe 1	103,79 ± 16,85	1,32 ± 0,42	12,86 ± 15,18	-0,01 ± 0,40
Stufe 2	105,06 ± 17,94	1,19 ± 0,48	1,26 ± 5,38	-0,12 ± 0,13
Stufe 3	111,02 ± 15,36	1,16 ± 0,44	5,96 ± 11,17	-0,04 ± 0,15
Stufe 4	120,55 ± 18,25	1,21 ± 0,45	9,54 ± 6,11	0,06 ± 0,15
Stufe 5	131,33 ± 23,58	1,48 ± 0,69	10,78 ± 9,29	0,27 ± 0,32
Stufe 6	153,98 ± 26,39	2,78 ± 1,90	16,19 ± 4,00	1,00 ± 1,17
Erholung 2'	99,34 ± 17,82	1,69 ± 1,23	-37,39 ± 14,47	-0,12 ± 0,17
Erholung 4'	94,32 ± 14,56	1,62 ± 1,18	-5,01 ± 7,25	-0,07 ± 0,14
Erholung 6'	92,70 ± 13,00	1,52 ± 0,98	-1,63 ± 5,02	-0,10 ± 0,21
Erholung 8'	88,74 ± 13,82	1,45 ± 0,92	-3,96 ± 3,50	-0,07 ± 0,20

Mittelwerte und Standardabweichungen Stufentest Laufband

	absolut		relativ	
	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen
Ruhe	0,63 ± 0,17	13,68 ± 5,00		
Stufe 1	1,09 ± 0,34	23,92 ± 4,42	0,46 ± 0,30	10,24 ± 4,78
Stufe 2	1,15 ± 0,39	26,68 ± 6,84	0,06 ± 0,20	2,76 ± 3,25
Stufe 3	1,17 ± 0,34	30,13 ± 6,17	0,02 ± 0,13	3,45 ± 2,01
Stufe 4	1,33 ± 0,46	34,39 ± 7,75	0,16 ± 0,16	4,26 ± 2,99
Stufe 5	1,45 ± 0,47	41,74 ± 9,22	0,13 ± 0,12	7,35 ± 3,34
Stufe 6	1,60 ± 0,38	58,18 ± 15,36	0,15 ± 0,19	12,51 ± 5,77
Erholung 2'	0,86 ± 0,25	15,40 ± 5,72	-0,65 ± 0,36	-30,83 ± 11,55
Erholung 4'	0,75 ± 0,26	11,84 ± 3,31	-0,10 ± 0,21	-3,57 ± 3,85
Erholung 6'	0,72 ± 0,25	11,43 ± 3,49	-0,04 ± 0,26	-0,40 ± 2,91
Erholung 8'	0,75 ± 0,33	11,29 ± 3,84	0,03 ± 0,24	-0,14 ± 3,79

	absolut		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe	463,33 ± 222,85	7,03 ± 3,05	5,21 ± 2,05
Stufe 1	975,55 ± 214,48	14,55 ± 2,04	10,35 ± 2,86
Stufe 2	1112,56 ± 311,72	16,40 ± 2,60	11,07 ± 3,66
Stufe 3	1266,66 ± 286,83	18,82 ± 2,26	11,85 ± 3,31
Stufe 4	1457,07 ± 337,75	21,62 ± 2,68	12,81 ± 3,63
Stufe 5	1770,77 ± 397,88	26,28 ± 3,04	14,14 ± 3,88
Stufe 6	2353,06 ± 601,83	32,09 ± 4,01	16,81 ± 4,55
Erholung 2'	483,77 ± 225,40	7,18 ± 2,54	4,97 ± 2,04
Erholung 4'	365,83 ± 124,63	5,50 ± 1,66	3,83 ± 1,17
Erholung 6'	357,54 ± 135,07	5,31 ± 1,61	3,92 ± 1,54
Erholung 8'	355,34 ± 139,08	5,30 ± 1,77	4,01 ± 1,55

	relativ		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe			
Stufe 1	512,22 ± 223,08	7,53 ± 2,66	5,14 ± 2,69
Stufe 2	137,01 ± 132,81	1,85 ± 1,64	0,72 ± 1,29
Stufe 3	154,09 ± 75,63	2,42 ± 1,32	0,78 ± 0,80
Stufe 4	190,41 ± 91,82	2,80 ± 1,18	0,96 ± 0,62
Stufe 5	313,69 ± 137,56	4,66 ± 1,83	1,33 ± 0,91
Stufe 6	408,58 ± 190,95	5,38 ± 2,01	0,80 ± 0,93
Erholung 2'	-1428,45 ± 449,30	-21,02 ± 4,34	-9,43 ± 3,15
Erholung 4'	-118,85 ± 157,38	-1,71 ± 2,00	-1,18 ± 1,41
Erholung 6'	-8,29 ± 102,83	-0,19 ± 1,40	0,09 ± 1,18
Erholung 8'	-2,20 ± 130,88	-0,01 ± 1,74	0,09 ± 1,61

	absolut		relativ	
	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch
Ruhe	0,74 ± 0,06	2,20 ± 1,05		
Stufe 1	0,78 ± 0,05	4,66 ± 1,00	0,03 ± 0,04	2,46 ± 1,05
Stufe 2	0,79 ± 0,05	5,32 ± 1,47	0,01 ± 0,03	0,66 ± 0,65
Stufe 3	0,77 ± 0,05	6,04 ± 1,37	-0,01 ± 0,03	0,72 ± 0,38
Stufe 4	0,79 ± 0,05	6,97 ± 1,59	0,02 ± 0,03	0,94 ± 0,44
Stufe 5	0,80 ± 0,06	8,52 ± 1,90	0,01 ± 0,02	1,54 ± 0,70
Stufe 6	0,83 ± 0,06	11,35 ± 2,80	0,01 ± 0,02	1,97 ± 0,89
Erholung 2'	0,83 ± 0,07	2,33 ± 1,06	0,03 ± 0,06	-6,86 ± 2,17
Erholung 4'	0,78 ± 0,07	1,75 ± 0,59	-0,06 ± 0,06	-0,60 ± 0,74
Erholung 6'	0,77 ± 0,06	1,70 ± 0,63	-0,02 ± 0,07	-0,05 ± 0,49
Erholung 8'	0,76 ± 0,06	1,69 ± 0,65	-0,01 ± 0,04	-0,01 ± 0,62

	absolut		relativ	
	Herzfrequenz	Laktat	Herzfrequenz	Laktat
Ruhe	87,61 ± 18,73	1,32 ± 0,39		
Stufe 1	96,63 ± 14,74	1,01 ± 0,26	9,02 ± 9,58	-0,32 ± 0,23
Stufe 2	103,31 ± 14,12	0,93 ± 0,29	6,68 ± 5,37	-0,08 ± 0,12
Stufe 3	109,54 ± 15,55	0,92 ± 0,25	6,23 ± 4,60	-0,02 ± 0,08
Stufe 4	116,44 ± 15,98	1,01 ± 0,35	6,89 ± 5,82	0,10 ± 0,17
Stufe 5	128,18 ± 18,35	1,27 ± 0,47	11,74 ± 8,04	0,25 ± 0,23
Stufe 6	142,44 ± 20,75	2,00 ± 1,22	17,48 ± 2,82	0,62 ± 0,64
Erholung 2'	97,15 ± 14,74	1,12 ± 0,63	-37,16 ± 16,40	-0,37 ± 0,37
Erholung 4'	94,97 ± 10,79	1,12 ± 0,54	-1,59 ± 11,28	-0,01 ± 0,18
Erholung 6'	91,03 ± 11,72	1,10 ± 0,48	-3,94 ± 6,11	-0,02 ± 0,16
Erholung 8'	88,42 ± 10,96	1,07 ± 0,42	-2,61 ± 4,72	-0,03 ± 0,16

Vergleich Moonwalker ohne und mit Armeinsatz

Atemzugvolumen

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	0,94 ± 0,25	1,06 ± 0,38	-0,12 ± 0,33
Stufe 2	0,96 ± 0,29	1,01 ± 0,29	-0,05 ± 0,16
Stufe 3	0,96 ± 0,29	1,07 ± 0,29	-0,79 ± 0,13
Stufe 4	1,08 ± 0,31	1,19 ± 0,39	-0,10 ± 0,19
Stufe 5	1,24 ± 0,34	1,28 ± 0,36	-0,04 ± 0,16
Stufe 6	1,63 ± 0,36	1,67 ± 0,32	-0,04 ± 0,15

Atemminutenvolumen

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	22,59 ± 4,83	26,40 ± 8,22	-3,80 ± 5,69
Stufe 2	22,73 ± 5,62	26,55 ± 9,06	-3,83 ± 6,94
Stufe 3	25,19 ± 6,12	28,81 ± 8,27	-3,62 ± 4,90
Stufe 4	29,59 ± 7,13	33,89 ± 9,22	-4,30 ± 6,43
Stufe 5	36,09 ± 8,53	39,65 ± 10,56	-3,56 ± 5,58
Stufe 6	54,70 ± 21,21	65,24 ± 18,50	-10,54 ± 14,28

Sauerstoffaufnahme

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	854,50 ± 219,49	1024,41 ± 366,76	-169,91 ± 203,83
Stufe 2	875,94 ± 236,65	1042,99 ± 394,11	-167,05 ± 230,62
Stufe 3	989,77 ± 262,85	1152,14 ± 374,25	-162,37 ± 185,21
Stufe 4	1185,20 ± 304,61	1391,35 ± 425,89	-204,15 ± 224,79
Stufe 5	1460,14 ± 364,12	1647,47 ± 481,55	-187,32 ± 214,90

Stufe 6	2153,83 ± 622,72	2555,49 ± 647,44	-401,66 ± 161,24
---------	------------------	------------------	------------------

Sauerstoffaufnahme pro kg KG

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	12,61 ± 1,87	14,95 ± 3,31	-2,34 ± 2,51
Stufe 2	12,93 ± 1,96	15,27 ± 3,67	-2,33 ± 2,77
Stufe 3	14,65 ± 2,33	16,97 ± 3,37	-2,32 ± 2,31
Stufe 4	17,63 ± 2,97	20,57 ± 4,18	-2,94 ± 2,96
Stufe 5	21,77 ± 3,61	24,44 ± 4,90	-2,67 ± 3,17
Stufe 6	28,25 ± 4,93	33,75 ± 5,76	-5,50 ± 2,86

Sauerstoffpuls

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	8,37 ± 2,45	10,12 ± 4,00	-1,75 ± 2,56
Stufe 2	8,48 ± 2,55	10,06 ± 3,49	-1,57 ± 1,88
Stufe 3	9,45 ± 2,76	10,41 ± 2,97	-0,96 ± 1,47
Stufe 4	10,58 ± 2,85	11,61 ± 3,13	-1,03 ± 1,05
Stufe 5	11,90 ± 3,03	12,73 ± 3,33	-0,83 ± 1,47
Stufe 6	15,11 ± 4,24	16,64 ± 3,56	-1,53 ± 1,58

Respiratorischer Quotient

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	0,79 ± 0,06	0,79 ± 0,06	-0,001 ± 0,01
Stufe 2	0,79 ± 0,07	0,79 ± 0,07	0,003 ± 0,10
Stufe 3	0,79 ± 0,07	0,78 ± 0,06	0,006 ± 0,09
Stufe 4	0,79 ± 0,05	0,78 ± 0,06	0,009 ± 0,08
Stufe 5	0,82 ± 0,07	0,79 ± 0,07	0,023 ± 0,08
Stufe 6	0,84 ± 0,08	0,80 ± 0,10	0,045 ± 0,09

Kalorienverbrauch

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	4,10 ± 1,05	4,91 ± 1,78	-0,81 ± 1,01
Stufe 2	4,20 ± 1,12	5,00 ± 1,93	-0,80 ± 1,18
Stufe 3	4,75 ± 1,25	5,52 ± 1,80	-0,77 ± 0,90
Stufe 4	5,69 ± 1,46	6,65 ± 2,04	-0,97 ± 1,09
Stufe 5	7,05 ± 1,77	7,89 ± 2,28	-0,85 ± 1,02
Stufe 6	10,48 ± 3,18	12,30 ± 3,09	-1,81 ± 0,96

Herzfrequenz

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	104,72 ± 15,53	103,79 ± 16,85	0,93 ± 18,55
Stufe 2	105,44 ± 14,87	105,06 ± 17,94	0,38 ± 18,67
Stufe 3	106,99 ± 14,89	111,02 ± 15,36	-4,02 ± 14,06
Stufe 4	114,37 ± 18,38	120,55 ± 18,25	-6,19 ± 16,60
Stufe 5	125,23 ± 21,49	131,33 ± 23,58	-6,09 ± 16,59
Stufe 6	145,47 ± 28,65	154,69 ± 28,84	-9,22 ± 14,71

Laktat

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	1,11 ± 0,30	1,32 ± 0,42	-0,20 ± 0,38
Stufe 2	1,01 ± 0,29	1,19 ± 0,48	-0,18 ± 0,48
Stufe 3	1,01 ± 0,31	1,16 ± 0,44	-0,15 ± 0,39
Stufe 4	1,09 ± 0,38	1,21 ± 0,45	-0,12 ± 0,38
Stufe 5	1,33 ± 0,65	1,48 ± 0,69	-0,15 ± 0,48
Stufe 6	2,62 ± 1,97	2,92 ± 2,04	-0,30 ± 1,81

Vergleich Moonwalker mit Armeinsatz und Laufband

Atemzugvolumen

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Laufband	Mw. mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	1,09 ± 0,34	1,06 ± 0,38	0,03 ± 0,32
Stufe 2	1,15 ± 0,39	1,01 ± 0,29	0,14 ± 0,26
Stufe 3	1,17 ± 0,34	1,07 ± 0,29	0,10 ± 0,19
Stufe 4	1,33 ± 0,46	1,19 ± 0,39	0,14 ± 0,24
Stufe 5	1,45 ± 0,47	1,28 ± 0,36	0,17 ± 0,25
Stufe 6	1,71 ± 0,37	1,67 ± 0,32	0,04 ± 0,21

Atemminutenvolumen

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Laufband	Mw. mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	23,92 ± 4,42	26,40 ± 8,22	-2,48 ± 5,71
Stufe 2	26,68 ± 6,84	26,55 ± 9,06	0,12 ± 7,42
Stufe 3	30,13 ± 6,17	28,81 ± 8,27	1,33 ± 5,52
Stufe 4	34,39 ± 7,75	33,89 ± 9,22	0,51 ± 6,82
Stufe 5	41,74 ± 9,22	39,65 ± 10,56	2,09 ± 7,57
Stufe 6	63,20 ± 14,46	65,24 ± 18,50	-2,04 ± 12,84

Sauerstoffaufnahme

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Laufband	Mw. mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	975,55 ± 214,48	1024,41 ± 366,76	-48,86 ± 247,07
Stufe 2	1112,56 ± 311,72	1042,99 ± 394,11	69,58 ± 292,81
Stufe 3	1266,66 ± 286,83	1152,14 ± 374,25	114,52 ± 214,38
Stufe 4	1457,07 ± 337,75	1391,35 ± 425,89	65,72 ± 253,35
Stufe 5	1770,77 ± 397,88	1647,47 ± 481,55	123,30 ± 298,86
Stufe 6	2481,89 ± 649,92	2555,49 ± 647,44	-73,61 ± 310,37

Sauerstoffaufnahme pro kg KG

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Laufband	Mw. mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	14,55 ± 2,04	14,95 ± 3,31	-0,40 ± 3,33
Stufe 2	16,40 ± 2,60	15,27 ± 3,67	1,13 ± 3,82
Stufe 3	18,82 ± 2,26	16,97 ± 3,37	1,85 ± 2,92
Stufe 4	21,62 ± 2,68	20,57 ± 4,18	1,05 ± 3,67
Stufe 5	26,28 ± 3,04	24,44 ± 4,90	1,84 ± 4,52
Stufe 6	32,54 ± 4,65	33,75 ± 5,76	-1,21 ± 4,83

Sauerstoffpuls

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Laufband	Mw. mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	10,35 ± 2,86	10,12 ± 4,00	0,23 ± 3,22
Stufe 2	11,07 ± 3,66	10,06 ± 3,49	1,01 ± 2,80
Stufe 3	11,85 ± 3,31	10,41 ± 2,97	1,44 ± 1,20
Stufe 4	12,81 ± 3,63	11,61 ± 3,13	1,20 ± 1,36
Stufe 5	14,14 ± 3,88	12,73 ± 3,33	1,41 ± 2,11
Stufe 6	17,11 ± 5,34	16,64 ± 3,56	0,47 ± 2,27

Respiratorischer Quotient

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Laufband	Mw. mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	0,78 ± 0,05	0,79 ± 0,06	-0,017 ± 0,08
Stufe 2	0,79 ± 0,05	0,79 ± 0,07	-0,000 ± 0,09
Stufe 3	0,77 ± 0,05	0,78 ± 0,06	-0,012 ± 0,09
Stufe 4	0,79 ± 0,05	0,78 ± 0,06	0,006 ± 0,08
Stufe 5	0,80 ± 0,06	0,79 ± 0,07	0,005 ± 0,07
Stufe 6	0,84 ± 0,07	0,80 ± 0,10	0,047 ± 0,08

Kalorienverbrauch

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Laufband	Mw. mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	4,66 ± 1,00	4,91 ± 1,78	-0,25 ± 1,23
Stufe 2	5,32 ± 1,47	5,00 ± 1,93	0,32 ± 1,47
Stufe 3	6,04 ± 1,37	5,52 ± 1,80	0,52 ± 1,05
Stufe 4	6,97 ± 1,59	6,65 ± 2,04	0,32 ± 1,24
Stufe 5	8,52 ± 1,90	7,89 ± 2,28	0,63 ± 1,49
Stufe 6	11,98 ± 2,97	12,30 ± 3,09	-0,31 ± 1,64

Herzfrequenz

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Laufband	Mw. mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	96,63 ± 14,74	103,79 ± 16,85	-7,16 ± 20,61
Stufe 2	103,31 ± 14,12	105,06 ± 17,94	-1,75 ± 19,48
Stufe 3	109,54 ± 15,55	111,02 ± 15,36	-1,47 ± 14,59
Stufe 4	116,44 ± 15,98	120,55 ± 18,25	-4,11 ± 16,49
Stufe 5	128,18 ± 18,35	131,33 ± 23,58	-3,15 ± 18,56
Stufe 6	148,68 ± 19,80	154,69 ± 28,84	-6,01 ± 19,34

Laktat

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Laufband	Mw. mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	1,01 ± 0,26	1,32 ± 0,42	-0,31 ± 0,47
Stufe 2	0,93 ± 0,29	1,19 ± 0,48	-0,26 ± 0,54
Stufe 3	0,92 ± 0,25	1,16 ± 0,44	-0,24 ± 0,49
Stufe 4	1,01 ± 0,35	1,21 ± 0,45	-0,20 ± 0,50
Stufe 5	1,27 ± 0,47	1,48 ± 0,69	-0,21 ± 0,57
Stufe 6	2,18 ± 1,39	2,92 ± 2,04	-0,74 ± 1,24

Tabellen zur Untersuchung Crosstrainer

Mittelwerte und Standardabweichungen Stufentest Crosstrainer ohne Armeinsatz

	absolut		relativ	
	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen
Ruhe	0,64 ± 0,16	12,64 ± 2,54		
Stufe 1	1,95 ± 0,37	57,71 ± 7,34	1,30 ± 0,35	45,00 ± 6,43
Stufe 2	1,91 ± 0,40	59,83 ± 8,27	-0,04 ± 0,17	2,52 ± 4,33
Stufe 3	2,05 ± 0,42	69,71 ± 11,28	0,13 ± 0,21	9,88 ± 6,57
Stufe 4	2,23 ± 0,55	75,45 ± 8,59	0,12 ± 0,25	7,10 ± 10,96
Stufe 5	2,52 ± 0,61	76,24 ± 8,89	0,03 ± 0,25	3,20 ± 6,21
Stufe 6	2,60 ± 0,61	77,16 ± 5,42	0,02 ± 0,14	2,99 ± 5,08
Stufe 7	2,62 ± 0,57	75,90 ± 6,49	0,02 ± 0,23	-1,26 ± 3,96
Stufe 8	2,74 ± 0,87	77,27 ± 9,29	0,03 ± 0,41	0,53 ± 4,48
Erholung 2'	1,07 ± 0,31	21,97 ± 5,00	-1,13 ± 0,63	-56,36 ± 9,98
Erholung 4'	0,81 ± 0,20	17,29 ± 5,30	-0,26 ± 0,24	-4,68 ± 3,88
Erholung 6'	0,80 ± 0,18	16,20 ± 3,57	-0,01 ± 0,17	-1,09 ± 4,09
Erholung 8'	0,90 ± 0,32	15,54 ± 4,88	0,10 ± 0,30	-0,66 ± 4,07

	absolut		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe	408,48 ± 52,54	5,74 ± 1,20	5,27 ± 1,03
Stufe 1	2506,23 ± 288,47	34,97 ± 3,60	17,34 ± 3,53
Stufe 2	2574,84 ± 309,23	35,80 ± 4,78	17,37 ± 3,42
Stufe 3	2811,25 ± 275,30	39,12 ± 4,51	17,74 ± 3,37
Stufe 4	3081,73 ± 490,71	41,76 ± 5,60	18,70 ± 4,00
Stufe 5	3349,36 ± 365,70	42,75 ± 6,19	20,58 ± 3,43
Stufe 6	3384,60 ± 326,35	42,57 ± 5,14	20,54 ± 3,46
Stufe 7	3301,20 ± 388,11	41,52 ± 5,72	19,91 ± 3,51
Stufe 8	3360,02 ± 402,53	41,80 ± 6,00	20,05 ± 4,04
Erholung 2'	679,37 ± 169,71	9,43 ± 2,28	5,73 ± 1,65
Erholung 4'	531,96 ± 127,86	7,35 ± 1,54	4,78 ± 1,12
Erholung 6'	521,51 ± 112,34	7,12 ± 1,27	4,87 ± 1,33
Erholung 8'	484,71 ± 130,40	6,70 ± 1,63	4,61 ± 1,40

	relativ		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe			
Stufe 1	2094,74 ± 303,62	29,16 ± 3,36	12,02 ± 3,26
Stufe 2	82,61 ± 236,34	1,19 ± 3,53	0,17 ± 1,54
Stufe 3	236,41 ± 203,29	3,33 ± 3,11	0,38 ± 1,20
Stufe 4	243,28 ± 431,52	3,14 ± 5,96	0,36 ± 1,42
Stufe 5	34,74 ± 180,72	0,53 ± 2,36	-0,37 ± 0,83
Stufe 6	64,65 ± 81,02	0,81 ± 1,05	0,08 ± 0,57
Stufe 7	-83,40 ± 105,08	-1,05 ± 1,33	-0,63 ± 0,60
Stufe 8	22,43 ± 85,89	0,25 ± 1,11	0,02 ± 0,52
Erholung 2'	-2356,57 ± 423,47	-32,62 ± 4,93	-11,90 ± 3,24
Erholung 4'	-147,41 ± 154,59	-2,08 ± 2,28	-0,96 ± 1,42
Erholung 6'	-10,45 ± 122,74	-0,17 ± 1,77	0,09 ± 1,06
Erholung 8'	-36,80 ± 114,49	-0,48 ± 1,56	-0,26 ± 1,06

	absolut		relativ	
	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch
Ruhe	0,78 ± 0,08	1,94 ± 0,31		
Stufe 1	0,91 ± 0,06	11,92 ± 1,06	0,12 ± 0,09	9,98 ± 1,12
Stufe 2	0,87 ± 0,04	12,03 ± 1,28	-0,03 ± 0,04	0,18 ± 0,95
Stufe 3	0,91 ± 0,06	13,40 ± 1,14	0,03 ± 0,03	1,37 ± 1,00
Stufe 4	0,91 ± 0,07	14,33 ± 1,84	0,00 ± 0,06	0,82 ± 2,12
Stufe 5	0,89 ± 0,02	16,09 ± 1,76	0,01 ± 0,03	0,70 ± 0,67
Stufe 6	0,88 ± 0,01	15,96 ± 1,48	-0,01 ± 0,03	0,25 ± 0,40
Stufe 7	0,88 ± 0,04	15,42 ± 1,80	0,00 ± 0,03	-0,55 ± 0,53
Stufe 8	0,87 ± 0,03	15,27 ± 1,73	-0,02 ± 0,02	-0,15 ± 0,43
Erholung 2'	0,91 ± 0,08	3,34 ± 0,77	0,01 ± 0,07	-10,82 ± 1,74
Erholung 4'	0,84 ± 0,10	2,47 ± 0,52	-0,07 ± 0,05	-0,87 ± 0,87
Erholung 6'	0,80 ± 0,09	2,30 ± 0,38	-0,05 ± 0,04	-0,17 ± 0,57
Erholung 8'	0,76 ± 0,10	2,07 ± 0,55	-0,04 ± 0,06	-0,23 ± 0,54

	absolut		relativ	
	Herzfrequenz	Laktat	Herzfrequenz	Laktat
Ruhe	80,00 ± 16,72	1,40 ± 0,46		
Stufe 1	148,25 ± 23,56	2,95 ± 1,99	68,14 ± 14,77	1,55 ± 1,90
Stufe 2	151,80 ± 24,00	2,77 ± 1,93	3,31 ± 3,53	-0,14 ± 0,33
Stufe 3	161,87 ± 22,42	3,64 ± 2,43	10,07 ± 5,38	0,86 ± 0,90
Stufe 4	167,10 ± 16,81	3,82 ± 2,00	9,46 ± 12,38	0,80 ± 0,80
Stufe 5	164,41 ± 13,72	3,04 ± 1,40	4,73 ± 5,77	0,48 ± 0,61
Stufe 6	166,74 ± 15,39	2,84 ± 1,19	2,59 ± 1,89	0,12 ± 0,28
Stufe 7	167,66 ± 15,75	2,94 ± 1,18	0,92 ± 1,91	0,09 ± 0,19
Stufe 8	170,35 ± 18,61	3,14 ± 1,07	1,53 ± 2,91	0,03 ± 0,37
Erholung 2'	120,71 ± 17,27	4,10 ± 1,92	-53,76 ± 11,15	-0,57 ± 0,70
Erholung 4'	113,02 ± 17,12	3,68 ± 1,77	-7,69 ± 5,61	-0,42 ± 0,27
Erholung 6'	109,70 ± 16,82	3,34 ± 1,67	-3,32 ± 5,01	-0,34 ± 0,17
Erholung 8'	107,47 ± 14,90	2,98 ± 1,54	-2,22 ± 4,61	-0,36 ± 0,39

Mittelwerte und Standardabweichungen Stufentest Crosstrainer mit Armeinsatz

	absolut		relativ	
	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen
Ruhe	0,64 ± 0,24	10,85 ± 2,12		
Stufe 1	1,88 ± 0,34	59,30 ± 6,16	1,24 ± 0,38	48,46 ± 6,91
Stufe 2	1,81 ± 0,35	60,26 ± 8,27	0,02 ± 0,51	3,92 ± 13,13
Stufe 3	1,99 ± 0,40	67,01 ± 10,07	0,18 ± 0,21	6,76 ± 6,64
Stufe 4	2,15 ± 0,36	73,07 ± 80,52	0,13 ± 0,33	8,33 ± 7,69
Stufe 5	2,40 ± 0,48	75,02 ± 80,78	0,09 ± 0,38	3,66 ± 6,05
Stufe 6	2,25 ± 0,37	75,17 ± 9,38	-0,18 ± 0,34	0,04 ± 5,06
Stufe 7	2,48 ± 0,48	72,58 ± 6,60	0,22 ± 0,32	1,10 ± 6,66
Stufe 8	2,23 ± 0,38	73,17 ± 7,06	-0,26 ± 0,38	0,59 ± 8,41
Erholung 2'	1,00 ± 0,34	23,49 ± 5,31	-1,05 ± 0,46	-53,59 ± 7,79
Erholung 4'	0,92 ± 0,25	18,42 ± 5,50	-0,08 ± 0,33	-5,07 ± 4,23
Erholung 6'	0,81 ± 0,20	15,93 ± 3,78	-0,11 ± 0,22	-2,57 ± 3,17
Erholung 8'	0,90 ± 0,31	14,74 ± 3,07	0,08 ± 0,27	-1,19 ± 3,38

	absolut Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe	376,49 ± 70,43	5,22 ± 0,92	4,67 ± 1,34
Stufe 1	2428,17 ± 265,45	33,96 ± 3,66	17,22 ± 3,63
Stufe 2	2443,76 ± 290,39	34,03 ± 4,81	16,95 ± 3,58
Stufe 3	2692,59 ± 309,95	37,50 ± 5,19	17,58 ± 3,69
Stufe 4	2940,40 ± 330,84	40,26 ± 5,07	18,36 ± 3,83
Stufe 5	3162,54 ± 413,28	40,95 ± 6,09	19,97 ± 4,34
Stufe 6	3119,78 ± 452,27	40,02 ± 6,46	19,48 ± 4,84
Stufe 7	3177,38 ± 357,83	39,98 ± 5,63	19,10 ± 4,33
Stufe 8	3051,47 ± 441,42	38,34 ± 6,05	19,16 ± 4,91
Erholung 2'	706,09 ± 165,68	9,84 ± 2,45	6,21 ± 1,92
Erholung 4'	575,33 ± 146,87	7,94 ± 1,82	5,23 ± 1,80
Erholung 6'	490,27 ± 100,57	6,73 ± 1,19	4,73 ± 1,90
Erholung 8'	475,07 ± 106,85	6,54 ± 1,41	4,57 ± 1,19

	relativ Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe			
Stufe 1	2051,69 ± 254,01	28,71 ± 3,51	12,58 ± 3,12
Stufe 2	137,00 ± 575,78	1,76 ± 7,06	0,59 ± 4,90
Stufe 3	248,83 ± 233,72	3,47 ± 3,07	0,63 ± 1,33
Stufe 4	291,55 ± 256,69	4,02 ± 3,63	0,61 ± 1,29
Stufe 5	110,98 ± 318,09	1,48 ± 4,07	0,11 ± 1,64
Stufe 6	-37,13 ± 82,19	-0,46 ± 1,06	-0,47 ± 0,56
Stufe 7	79,64 ± 176,10	1,05 ± 2,08	0,05 ± 1,07
Stufe 8	-125,91 ± 370,96	-1,64 ± 4,56	-0,84 ± 2,06
Erholung 2'	-2259,66 ± 362,46	-31,45 ± 5,42	-11,34 ± 3,18
Erholung 4'	-130,76 ± 135,30	-1,91 ± 1,98	-0,98 ± 1,12
Erholung 6'	-90,48 ± 125,57	-1,24 ± 1,75	-0,48 ± 1,63
Erholung 8'	-15,20 ± 107,49	-0,19 ± 1,47	-0,16 ± 1,30

	absolut		relativ	
	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch
Ruhe	0,80 ± 0,05	1,82 ± 0,39		
Stufe 1	0,87 ± 0,09	11,80 ± 1,45	0,07 ± 0,11	9,97 ± 1,41
Stufe 2	0,87 ± 0,08	11,92 ± 1,53	0,00 ± 0,22	0,91 ± 3,22
Stufe 3	0,88 ± 0,08	13,34 ± 1,69	0,01 ± 0,03	1,42 ± 1,19
Stufe 4	0,88 ± 0,09	14,29 ± 1,69	0,00 ± 0,04	1,12 ± 1,22
Stufe 5	0,87 ± 0,08	15,83 ± 1,10	0,00 ± 0,01	1,08 ± 0,72
Stufe 6	0,87 ± 0,08	15,81 ± 1,20	0,00 ± 0,01	-0,04 ± 0,33
Stufe 7	0,86 ± 0,08	16,12 ± 1,16	0,00 ± 0,01	0,14 ± 0,35
Stufe 8	0,87 ± 0,10	15,57 ± 1,80	0,01 ± 0,02	-0,55 ± 2,08
Erholung 2'	0,92 ± 0,13	3,52 ± 0,93	0,04 ± 0,01	-11,22 ± 1,70
Erholung 4'	0,86 ± 0,12	2,83 ± 0,71	-0,06 ± 0,06	-0,69 ± 0,59
Erholung 6'	0,80 ± 0,07	2,40 ± 0,51	-0,04 ± 0,08	-0,46 ± 0,62
Erholung 8'	0,78 ± 0,09	2,34 ± 0,58	-0,01 ± 0,04	-0,07 ± 0,56

Mittelwerte und Standardabweichungen Stufentest Fahrradergometer

	absolut		relativ	
	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen
Ruhe	0,81 ± 0,54	11,82 ± 3,98		
Stufe 1	1,50 ± 0,43	34,20 ± 6,22	0,70 ± 0,52	22,37 ± 5,70
Stufe 2	1,53 ± 0,37	36,05 ± 5,55	0,03 ± 0,20	1,85 ± 2,23
Stufe 3	1,67 ± 0,45	41,21 ± 6,42	0,13 ± 0,20	5,16 ± 2,00
Stufe 4	1,85 ± 0,53	48,50 ± 8,04	0,18 ± 0,34	7,29 ± 4,58
Stufe 5	1,86 ± 0,48	52,65 ± 9,84	0,01 ± 0,18	4,15 ± 4,23
Stufe 6	1,91 ± 0,46	53,34 ± 10,61	0,02 ± 0,21	0,29 ± 7,45
Stufe 7	1,92 ± 0,30	54,90 ± 8,06	-0,10 ± 0,26	3,25 ± 8,75
Stufe 8	1,93 ± 0,34	55,98 ± 7,94	0,01 ± 0,18	1,08 ± 4,43
Erholung 2'	1,17 ± 0,39	28,73 ± 7,12	-0,64 ± 0,24	-27,37 ± 8,61
Erholung 4'	1,12 ± 0,50	24,79 ± 7,54	-0,05 ± 0,29	-3,95 ± 4,50
Erholung 6'	1,09 ± 0,54	22,47 ± 7,17	-0,01 ± 0,29	-1,93 ± 3,06
Erholung 8'	0,97 ± 0,41	19,04 ± 6,63	-0,11 ± 0,33	-3,43 ± 4,59

	absolut		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe	338,80 ± 101,26	4,59 ± 1,34	4,29 ± 1,51
Stufe 1	1437,29 ± 285,73	19,63 ± 4,16	12,43 ± 3,47
Stufe 2	1448,52 ± 252,81	19,77 ± 3,74	12,06 ± 3,00
Stufe 3	1648,52 ± 252,41	22,47 ± 3,71	12,95 ± 3,14
Stufe 4	1930,00 ± 287,35	26,32 ± 4,34	13,77 ± 3,53
Stufe 5	2007,75 ± 268,54	27,38 ± 4,37	13,80 ± 3,23
Stufe 6	2016,33 ± 353,26	27,37 ± 4,27	13,82 ± 3,84
Stufe 7	2110,20 ± 185,32	28,50 ± 4,42	14,57 ± 2,85
Stufe 8	2177,37 ± 237,73	29,34 ± 4,33	14,95 ± 3,48
Erholung 2'	857,74 ± 236,08	11,69 ± 3,17	7,43 ± 2,59
Erholung 4'	783,98 ± 272,78	10,67 ± 3,63	7,07 ± 2,93
Erholung 6'	740,23 ± 258,00	10,05 ± 3,21	7,27 ± 3,46
Erholung 8'	601,68 ± 225,77	8,25 ± 3,31	5,80 ± 2,29

	relativ		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe			
Stufe 1	1098,50 ± 242,89	15,03 ± 3,64	8,15 ± 2,56
Stufe 2	11,24 ± 82,43	0,14 ± 1,12	-0,37 ± 0,87
Stufe 3	200,00 ± 65,82	2,71 ± 0,88	0,89 ± 0,98
Stufe 4	281,47 ± 139,53	3,84 ± 1,80	0,82 ± 1,30
Stufe 5	77,75 ± 153,35	1,06 ± 1,96	0,03 ± 1,24
Stufe 6	-3,61 ± 259,90	-0,20 ± 4,03	-0,24 ± 1,64
Stufe 7	61,07 ± 297,21	1,10 ± 4,62	0,20 ± 1,80
Stufe 8	67,17 ± 137,32	0,84 ± 1,69	0,38 ± 1,12
Erholung 2'	-1241,27 ± 174,47	-16,94 ± 2,78	-3,69 ± 13,13
Erholung 4'	-73,75 ± 110,60	-1,02 ± 1,50	-3,25 ± 12,80
Erholung 6'	-36,47 ± 139,28	-0,54 ± 1,81	0,22 ± 1,29
Erholung 8'	-138,56 ± 204,48	-1,80 ± 2,66	-1,46 ± 2,45

	absolut		relativ	
	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch
Ruhe	0,85 ± 0,29	1,65 ± 0,51		
Stufe 1	0,87 ± 0,05	7,02 ± 1,39	0,02 ± 0,10	5,37 ± 1,18
Stufe 2	0,90 ± 0,05	7,13 ± 1,22	0,02 ± 0,03	0,11 ± 0,39
Stufe 3	0,91 ± 0,04	8,13 ± 1,22	0,02 ± 0,03	1,00 ± 0,29
Stufe 4	0,92 ± 0,05	9,53 ± 1,36	0,01 ± 0,03	1,40 ± 0,66
Stufe 5	0,93 ± 0,05	9,94 ± 1,30	0,02 ± 0,04	0,41 ± 0,73
Stufe 6	0,93 ± 0,05	10,00 ± 1,70	0,00 ± 0,03	0,00 ± 1,26
Stufe 7	0,91 ± 0,05	10,42 ± 0,87	-0,01 ± 0,03	0,28 ± 1,46
Stufe 8	0,90 ± 0,03	10,72 ± 1,10	-0,01 ± 0,04	0,30 ± 0,69
Erholung 2'	1,00 ± 0,09	4,30 ± 1,17	0,09 ± 0,08	-6,06 ± 0,84
Erholung 4'	0,90 ± 0,08	3,86 ± 1,37	-0,10 ± 0,13	-0,44 ± 0,60
Erholung 6'	0,87 ± 0,11	3,61 ± 1,27	-0,03 ± 0,05	-0,21 ± 0,66
Erholung 8'	0,85 ± 0,09	2,92 ± 1,09	-0,02 ± 0,09	-0,70 ± 1,01

	absolut		relativ	
	Herzfrequenz	Laktat	Herzfrequenz	Laktat
Ruhe	80,84 ± 14,30	0,99 ± 0,29		
Stufe 1	119,16 ± 20,63	1,10 ± 0,45	38,32 ± 15,11	0,12 ± 0,36
Stufe 2	123,42 ± 22,07	0,99 ± 0,45	4,26 ± 6,13	-0,11 ± 0,08
Stufe 3	131,12 ± 22,80	1,20 ± 0,69	7,68 ± 6,03	0,20 ± 0,31
Stufe 4	144,74 ± 23,53	1,68 ± 1,07	13,63 ± 5,74	0,49 ± 0,44
Stufe 5	149,84 ± 24,00	2,07 ± 1,46	5,11 ± 3,09	0,39 ± 0,44
Stufe 6	150,94 ± 23,31	2,12 ± 1,57	3,18 ± 2,74	0,08 ± 0,23
Stufe 7	148,71 ± 24,48	1,78 ± 1,24	0,93 ± 2,13	0,07 ± 0,14
Stufe 8	150,21 ± 24,66	1,90 ± 1,37	1,50 ± 1,34	0,12 ± 0,20
Erholung 2'	113,00 ± 31,44	2,03 ± 1,30	-41,47 ± 32,83	-0,25 ± 0,33
Erholung 4'	113,84 ± 18,31	1,91 ± 1,24	0,84 ± 28,77	-0,22 ± 0,23
Erholung 6'	108,95 ± 22,83	1,74 ± 1,14	-6,00 ± 7,00	-0,17 ± 0,20
Erholung 8'	105,16 ± 21,17	1,57 ± 0,98	-2,06 ± 6,49	-0,16 ± 0,23

	absolut		relativ	
	Herzfrequenz	Laktat	Herzfrequenz	Laktat
Ruhe	75,70 ± 10,11	1,40 ± 0,39		
Stufe 1	144,50 ± 21,56	2,49 ± 1,36	68,66 ± 17,53	1,09 ± 1,40
Stufe 2	147,83 ± 24,10	2,65 ± 1,76	10,56 ± 25,43	0,17 ± 0,79
Stufe 3	156,81 ± 22,92	3,09 ± 1,86	8,98 ± 5,77	0,44 ± 0,66
Stufe 4	163,83 ± 20,89	3,15 ± 1,54	10,70 ± 7,42	0,61 ± 0,68
Stufe 5	161,88 ± 19,73	3,10 ± 1,58	5,81 ± 3,43	0,56 ± 0,60
Stufe 6	164,36 ± 20,26	3,30 ± 1,75	2,24 ± 4,67	0,19 ± 0,22
Stufe 7	162,28 ± 18,27	2,70 ± 1,30	2,59 ± 3,78	-0,11 ± 0,41
Stufe 8	163,19 ± 18,64	2,74 ± 1,30	0,91 ± 3,55	0,04 ± 0,17
Erholung 2'	116,23 ± 17,12	3,61 ± 1,74	-55,96 ± 14,75	-0,41 ± 0,40
Erholung 4'	110,93 ± 18,20	3,37 ± 1,62	-5,30 ± 6,06	-0,24 ± 0,30
Erholung 6'	100,06 ± 27,10	3,07 ± 1,51	-12,36 ± 23,47	-0,29 ± 0,17
Erholung 8'	101,86 ± 13,59	3,07 ± 1,51	1,79 ± 21,13	-0,23 ± 0,19

Vergleich Crosstrainer ohne und mit Armeinsatz

Atemzugvolumen

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	1,94 ± 0,37	1,86 ± 0,34	0,07 ± 0,21
Stufe 2	1,91 ± 0,40	1,81 ± 0,35	0,10 ± 0,26
Stufe 3	2,05 ± 0,42	1,99 ± 0,40	0,05 ± 0,18
Stufe 4	2,33 ± 0,56	2,26 ± 0,29	0,07 ± 0,43
Stufe 5	2,52 ± 0,61	2,37 ± 0,53	0,15 ± 0,25
Stufe 6	2,60 ± 0,61	2,26 ± 0,41	0,34 ± 0,53
Stufe 7	2,62 ± 0,57	2,48 ± 0,48	0,14 ± 0,23
Stufe 8	2,74 ± 0,87	2,26 ± 0,39	0,48 ± 0,78

Atemminutenvolumen

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	57,88 ± 7,51	59,10 ± 6,28	-1,22 ± 3,93
Stufe 2	59,83 ± 8,27	60,26 ± 8,27	-0,43 ± 9,18
Stufe 3	69,71 ± 11,28	67,01 ± 10,07	2,70 ± 9,01
Stufe 4	74,69 ± 7,91	71,82 ± 7,66	2,87 ± 9,93
Stufe 5	76,24 ± 8,89	71,99 ± 5,01	4,25 ± 8,24
Stufe 6	77,16 ± 5,42	71,48 ± 4,79	5,68 ± 7,17
Stufe 7	75,90 ± 6,49	72,58 ± 6,60	3,32 ± 6,43
Stufe 8	77,27 ± 9,29	72,27 ± 6,98	5,00 ± 12,63

Sauerstoffaufnahme

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	2511,09 ± 296,03	2429,36 ± 273,09	81,74 ± 210,47
Stufe 2	2574,84 ± 309,23	2443,76 ± 290,39	131,08 ± 276,57
Stufe 3	2811,25 ± 275,30	2692,59 ± 309,95	118,66 ± 180,23
Stufe 4	3143,64 ± 492,20	3010,66 ± 269,47	132,99 ± 424,54
Stufe 5	3349,36 ± 365,69	3138,66 ± 420,23	210,70 ± 202,89
Stufe 6	3384,59 ± 326,35	3097,74 ± 484,97	286,86 ± 266,93
Stufe 7	3301,20 ± 388,11	3177,38 ± 357,83	123,82 ± 223,14
Stufe 8	3360,02 ± 402,53	3057,62 ± 471,49	302,41 ± 547,67

Sauerstoffaufnahme pro kg KG

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	35,29 ± 3,50	34,18 ± 3,64	1,11 ± 3,02
Stufe 2	35,79 ± 4,78	34,03 ± 4,91	1,77 ± 3,92
Stufe 3	39,12 ± 4,51	37,50 ± 5,19	1,62 ± 2,53
Stufe 4	41,68 ± 6,26	40,02 ± 4,62	1,66 ± 5,61
Stufe 5	42,75 ± 6,19	39,98 ± 6,12	2,76 ± 2,52
Stufe 6	42,57 ± 5,14	38,93 ± 6,65	3,64 ± 3,31
Stufe 7	41,52 ± 5,72	39,98 ± 5,63	1,54 ± 2,80
Stufe 8	41,80 ± 5,99	37,99 ± 6,37	3,81 ± 6,81

Sauerstoffpuls

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	17,18 ± 3,57	17,37 ± 3,63	0,23 ± 1,43
Stufe 2	17,37 ± 3,42	16,95 ± 3,58	-0,44 ± 1,72
Stufe 3	17,74 ± 3,37	17,58 ± 3,69	-0,13 ± 1,14
Stufe 4	19,31 ± 4,12	19,24 ± 3,41	0,03 ± 1,65
Stufe 5	20,58 ± 3,43	20,40 ± 4,59	-0,05 ± 1,57
Stufe 6	20,54 ± 3,46	19,95 ± 5,23	-0,59 ± 2,12
Stufe 7	19,91 ± 3,51	20,00 ± 4,33	0,08 ± 1,25
Stufe 8	20,05 ± 4,04	19,42 ± 5,19	-0,63 ± 2,62

Respiratorischer Quotient

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	0,89 ± 0,05	0,90 ± 0,04	-0,02 ± 0,06
Stufe 2	0,87 ± 0,04	0,88 ± 0,04	-0,01 ± 0,06
Stufe 3	0,89 ± 0,04	0,90 ± 0,06	-0,01 ± 0,06
Stufe 4	0,92 ± 0,07	0,87 ± 0,02	0,05 ± 0,05
Stufe 5	0,89 ± 0,02	0,87 ± 0,02	0,02 ± 0,00
Stufe 6	0,89 ± 0,01	0,88 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Stufe 7	0,91 ± 0,02	0,87 ± 0,01	0,04 ± 0,01
Stufe 8	0,89 ± 0,03	0,90 ± 0,02	-0,01 ± 0,01

Kalorienverbrauch

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	11,92 ± 0,94	11,47 ± 1,33	0,46 ± 0,91
Stufe 2	12,03 ± 1,52	11,58 ± 0,86	0,45 ± 1,22
Stufe 3	13,39 ± 0,92	12,49 ± 1,16	0,90 ± 1,03
Stufe 4	15,82 ± 1,53	14,53 ± 0,67	1,29 ± 1,70
Stufe 5	17,11 ± 0,58	15,93 ± 0,22	1,18 ± 1,73
Stufe 6	16,99 ± 0,16	16,30 ± 0,53	0,69 ± 0,38
Stufe 7	16,38 ± 0,37	16,79 ± 0,48	-0,41 ± 0,11
Stufe 8	15,96 ± 0,87	16,07 ± 1,05	-0,11 ± 1,92

Herzfrequenz

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	149,79 ± 23,24	143,34 ± 21,56	6,45 ± 7,63
Stufe 2	151,80 ± 24,00	147,83 ± 24,10	3,96 ± 8,26
Stufe 3	161,87 ± 22,42	156,81 ± 22,92	5,06 ± 7,61
Stufe 4	165,02 ± 15,32	159,34 ± 19,86	5,68 ± 11,01
Stufe 5	164,41 ± 13,72	157,47 ± 18,60	6,94 ± 8,85
Stufe 6	166,74 ± 15,39	159,69 ± 19,46	7,04 ± 10,56
Stufe 7	167,66 ± 15,75	162,28 ± 18,27	5,38 ± 11,13
Stufe 8	170,35 ± 18,61	161,64 ± 19,30	8,71 ± 8,03

Laktat

	Mittelwert \pm Standardabweichung		
	ohne Armeinsatz	mit Armeinsatz	Differenz
Stufe 1	3,05 \pm 1,99	2,49 \pm 1,40	0,58 \pm 1,39
Stufe 2	2,79 \pm 1,93	2,65 \pm 1,76	0,14 \pm 1,72
Stufe 3	3,64 \pm 2,43	3,09 \pm 1,86	0,55 \pm 1,68
Stufe 4	3,31 \pm 1,80	2,85 \pm 1,52	0,46 \pm 1,04
Stufe 5	3,04 \pm 1,40	2,69 \pm 1,28	0,35 \pm 1,42
Stufe 6	2,84 \pm 1,19	2,80 \pm 1,43	0,05 \pm 1,27
Stufe 7	2,94 \pm 1,18	2,69 \pm 1,29	0,24 \pm 1,30
Stufe 8	3,14 \pm 1,07	2,76 \pm 1,39	0,38 \pm 1,28

Vergleich Crosstrainer ohne Armeinsatz und Fahrradergometer

Atemzugvolumen

	Mittelwert \pm Standardabweichung		
	Ct ohne Armeinsatz	Fahrradergometer	Differenz
Stufe 1	1,96 \pm 0,37	1,50 \pm 0,45	0,46 \pm 0,38
Stufe 2	1,93 \pm 0,40	1,53 \pm 0,37	0,40 \pm 0,32
Stufe 3	2,06 \pm 0,43	1,67 \pm 0,45	0,39 \pm 0,45
Stufe 4	2,25 \pm 0,56	1,93 \pm 0,54	0,32 \pm 0,36
Stufe 5	2,59 \pm 0,61	2,14 \pm 0,50	0,45 \pm 0,32
Stufe 6	2,60 \pm 0,61	2,19 \pm 0,42	0,41 \pm 0,37
Stufe 7	2,62 \pm 0,57	1,99 \pm 0,29	0,63 \pm 0,54
Stufe 8	2,74 \pm 0,87	2,10 \pm 0,29	0,64 \pm 0,73

Atemminutenvolumen

	Mittelwert \pm Standardabweichung		
	Ct ohne Armeinsatz	Fahrradergometer	Differenz
Stufe 1	58,01 \pm 7,43	33,97 \pm 6,32	24,04 \pm 8,61
Stufe 2	60,33 \pm 8,18	36,05 \pm 5,56	24,29 \pm 7,95
Stufe 3	70,25 \pm 11,32	41,21 \pm 6,42	29,04 \pm 11,57
Stufe 4	75,33 \pm 8,85	47,75 \pm 8,29	27,58 \pm 8,05
Stufe 5	74,17 \pm 6,38	47,66 \pm 2,27	26,51 \pm 5,78
Stufe 6	77,16 \pm 5,42	50,26 \pm 2,61	26,91 \pm 5,86
Stufe 7	75,90 \pm 6,49	49,94 \pm 3,95	25,96 \pm 7,25
Stufe 8	77,27 \pm 9,29	51,62 \pm 2,61	25,65 \pm 11,24

Sauerstoffaufnahme

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Ct ohne Armeinsatz	Fahrradergometer	Differenz
Stufe 1	2505,74 ± 296,82	1431,39 ± 292,82	1074,35 ± 367,37
Stufe 2	2580,98 ± 316,44	1448,52 ± 252,81	1132,46 ± 353,93
Stufe 3	2815,10 ± 282,29	1648,52 ± 252,41	1166,58 ± 342,55
Stufe 4	3063,69 ± 500,95	1946,23 ± 308,61	1117,46 ± 399,81
Stufe 5	3319,94 ± 375,11	2092,36 ± 223,64	1227,58 ± 303,74
Stufe 6	3384,59 ± 326,35	2146,15 ± 279,58	1238,44 ± 173,24
Stufe 7	3301,20 ± 388,11	2112,41 ± 208,66	1188,78 ± 340,51
Stufe 8	3360,02 ± 402,53	2258,38 ± 257,73	1101,64 ± 389,63

Sauerstoffaufnahme pro kg KG

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Ct ohne Armeinsatz	Fahrradergometer	Differenz
Stufe 1	34,91 ± 3,69	19,64 ± 4,28	15,27 ± 5,17
Stufe 2	35,83 ± 4,91	19,77 ± 3,74	16,06 ± 5,83
Stufe 3	39,12 ± 4,63	22,47 ± 3,71	16,65 ± 5,92
Stufe 4	41,36 ± 5,85	25,80 ± 4,50	15,56 ± 5,72
Stufe 5	41,76 ± 5,67	26,23 ± 2,80	15,53 ± 4,16
Stufe 6	42,57 ± 5,14	26,94 ± 3,67	15,63 ± 2,78
Stufe 7	41,52 ± 5,72	26,53 ± 3,14	14,99 ± 4,52
Stufe 8	41,80 ± 5,99	28,10 ± 3,95	13,70 ± 5,05

Sauerstoffpuls

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Ct ohne Armeinsatz	Fahrradergometer	Differenz
Stufe 1	17,18 ± 3,57	12,40 ± 3,57	4,78 ± 2,92
Stufe 2	17,28 ± 3,50	12,06 ± 2,99	5,22 ± 2,77
Stufe 3	17,60 ± 3,40	12,95 ± 3,14	4,64 ± 2,69
Stufe 4	18,51 ± 4,06	14,17 ± 3,65	4,35 ± 2,70
Stufe 5	20,46 ± 3,62	16,26 ± 2,75	4,20 ± 3,02
Stufe 6	20,54 ± 3,46	16,34 ± 3,07	4,20 ± 1,99
Stufe 7	19,91 ± 3,51	16,04 ± 2,45	3,87 ± 2,96
Stufe 8	20,05 ± 4,04	17,13 ± 3,01	2,92 ± 2,72

Respiratorischer Quotient

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Ct ohne Armeinsatz	Fahrradergometer	Differenz
Stufe 1	0,91 ± 0,07	0,88 ± 0,05	0,03 ± 0,07
Stufe 2	0,88 ± 0,04	0,91 ± 0,04	-0,03 ± 0,04
Stufe 3	0,92 ± 0,06	0,93 ± 0,04	-0,01 ± 0,06
Stufe 4	0,92 ± 0,09	0,94 ± 0,05	-0,02 ± 0,09
Stufe 5	0,89 ± 0,04	0,89 ± 0,02	-0,01 ± 0,04
Stufe 6	0,89 ± 0,02	0,90 ± 0,02	-0,01 ± 0,02
Stufe 7	0,90 ± 0,03	0,89 ± 0,02	0,02 ± 0,03
Stufe 8	0,88 ± 0,04	0,89 ± 0,02	-0,01 ± 0,04

Kalorienverbrauch

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Ct ohne Armeinsatz	Fahrradergometer	Differenz
Stufe 1	11,89 ± 1,12	6,77 ± 1,43	5,12 ± 1,99
Stufe 2	12,13 ± 1,38	6,89 ± 1,12	5,24 ± 1,39
Stufe 3	13,52 ± 1,21	7,90 ± 1,00	5,62 ± 1,78
Stufe 4	14,22 ± 1,87	9,49 ± 1,46	4,73 ± 2,12
Stufe 5	16,57 ± 0,67	10,34 ± 0,83	6,23 ± 1,32
Stufe 6	16,66 ± 0,58	10,60 ± 0,61	6,06 ± 0,83
Stufe 7	16,31 ± 0,29	10,43 ± 0,96	5,88 ± 1,20
Stufe 8	16,09 ± 0,66	10,84 ± 1,21	5,26 ± 1,84

Herzfrequenz

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Ct ohne Armeinsatz	Fahrradergometer	Differenz
Stufe 1	149,52 ± 23,56	119,22 ± 21,23	30,30 ± 13,10
Stufe 2	152,96 ± 24,07	123,42 ± 22,07	29,54 ± 11,64
Stufe 3	163,38 ± 21,96	131,11 ± 22,80	32,27 ± 12,45
Stufe 4	167,77 ± 17,13	141,75 ± 22,94	26,02 ± 19,03
Stufe 5	164,14 ± 14,53	130,22 ± 12,55	33,92 ± 12,10
Stufe 6	166,74 ± 15,39	133,00 ± 13,04	33,74 ± 11,93
Stufe 7	167,66 ± 15,75	133,11 ± 13,10	34,55 ± 12,67
Stufe 8	170,35 ± 18,61	133,50 ± 14,49	36,85 ± 12,21

Laktat

	Mittelwert ± Standardabweichung		
	Ct ohne Armeinsatz	Fahrradergometer	Differenz
Stufe 1	2,98 ± 2,10	1,12 ± 0,46	1,86 ± 1,90
Stufe 2	2,80 ± 1,98	0,99 ± 0,45	1,81 ± 1,74
Stufe 3	3,70 ± 2,48	1,20 ± 0,69	2,51 ± 2,08
Stufe 4	3,77 ± 2,06	1,64 ± 1,15	2,14 ± 1,23
Stufe 5	2,72 ± 1,05	0,97 ± 0,34	1,76 ± 1,10
Stufe 6	2,84 ± 1,19	0,97 ± 0,35	1,88 ± 1,17
Stufe 7	2,94 ± 1,18	0,98 ± 0,32	1,96 ± 1,19
Stufe 8	3,14 ± 1,07	1,03 ± 0,32	2,11 ± 1,07

Tabellen zur Laboruntersuchung Indoor-Cycling

Mittelwerte und Standardabweichungen Belastungsform Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand bei 50 % Hf_{max}

	absolut		relativ	
	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen
Ruhe	0,68 ± 0,26	13,44 ± 2,50		
Belastung	1,17 ± 0,54	24,06 ± 6,29	0,49 ± 0,60	10,62 ± 7,04
Erholung 2'	0,70 ± 0,19	13,17 ± 3,22	-0,47 ± 0,47	-10,89 ± 4,28
Erholung 4'	0,68 ± 0,17	11,66 ± 2,67	-0,01 ± 0,17	-1,51 ± 2,40
Erholung 6'	0,68 ± 0,17	11,56 ± 2,40	0,00 ± 0,12	-0,10 ± 2,39
Erholung 8'	0,68 ± 0,19	12,86 ± 2,82	0,00 ± 0,19	1,30 ± 2,64

	absolut		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe	438,61 ± 63,31	6,54 ± 1,56	5,26 ± 1,08
Belastung	972,04 ± 344,38	13,93 ± 4,27	9,86 ± 3,50
Erholung 2'	407,68 ± 102,75	5,87 ± 1,10	5,17 ± 1,51
Erholung 4'	393,28 ± 131,43	5,65 ± 1,44	4,86 ± 1,71
Erholung 6'	385,55 ± 102,60	5,55 ± 1,10	4,82 ± 1,31
Erholung 8'	429,60 ± 141,58	6,22 ± 1,81	5,24 ± 1,70

	relativ		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe			
Belastung	533,44 ± 371,56	7,39 ± 5,04	4,59 ± 3,54
Erholung 2'	-564,36 ± 284,03	-8,06 ± 3,83	-4,69 ± 2,54
Erholung 4'	-14,49 ± 84,09	-0,22 ± 1,15	-0,29 ± 0,93
Erholung 6'	-7,73 ± 84,81	-0,10 ± 1,13	-0,07 ± 0,97
Erholung 8'	44,06 ± 107,92	0,67 ± 1,58	0,42 ± 1,09

	absolut		relativ	
	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch
Ruhe	0,82 ± 0,09	2,11 ± 0,30		
Belastung	0,83 ± 0,10	4,71 ± 1,66	0,01 ± 0,15	2,59 ± 1,80
Erholung 2'	0,83 ± 0,10	1,98 ± 0,49	0,00 ± 0,05	-2,73 ± 1,36
Erholung 4'	0,77 ± 0,11	1,88 ± 0,62	-0,06 ± 0,08	-0,10 ± 0,40
Erholung 6'	0,78 ± 1,12	1,85 ± 0,48	0,01 ± 0,07	-0,03 ± 0,40
Erholung 8'	0,78 ± 1,11	2,06 ± 0,68	0,00 ± 0,07	0,21 ± 0,54

	absolut		relativ	
	Herzfrequenz	Laktat	Herzfrequenz	Laktat
Ruhe	85,11 ± 12,42	1,44 ± 0,28		
Belastung	99,03 ± 3,81	1,26 ± 0,29	13,93 ± 10,27	-0,18 ± -0,18
Erholung 2'	81,14 ± 11,76	1,27 ± 0,26	-17,89 ± 10,00	0,01 ± 0,01
Erholung 4'	82,05 ± 9,08	1,26 ± 0,26	0,91 ± 6,89	-0,02 ± -0,02
Erholung 6'	80,42 ± 7,61	1,23 ± 0,25	-1,62 ± 4,78	-0,03 ± -0,02
Erholung 8'	83,03 ± 11,57	1,20 ± 0,24	2,61 ± 6,66	-0,03 ± -0,03

Mittelwerte und Standardabweichungen Belastungsform Fahren im Sitzen mit geringem Widerstand bei 65 % Hf_{max}

	absolut		relativ	
	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen
Ruhe	0,64 ± 0,19	12,08 ± 2,90		
Belastung	1,56 ± 0,65	41,26 ± 10,77	0,93 ± 0,59	29,19 ± 11,71
Erholung 2'	0,75 ± 0,26	13,90 ± 3,87	-0,81 ± 0,52	-27,36 ± 8,55
Erholung 4'	0,62 ± 0,17	11,58 ± 4,25	-0,13 ± 0,21	-2,32 ± 3,08
Erholung 6'	0,61 ± 0,22	10,93 ± 3,44	-0,01 ± 0,20	-0,65 ± 2,40
Erholung 8'	0,62 ± 0,22	11,02 ± 4,20	0,01 ± 0,20	0,09 ± 3,04

	absolut		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe	383,98 ± 77,63	5,75 ± 1,75	4,78 ± 0,88
Belastung	383,98 ± 77,63	25,01 ± 6,08	13,39 ± 4,19
Erholung 2'	408,39 ± 145,73	5,94 ± 1,81	4,52 ± 1,81
Erholung 4'	340,61 ± 131,83	4,96 ± 1,69	3,87 ± 1,62
Erholung 6'	340,53 ± 115,16	4,95 ± 1,55	3,91 ± 1,35
Erholung 8'	356,01 ± 140,33	5,13 ± 1,66	4,09 ± 1,79

	relativ		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe			
Belastung	1338,81 ± 547,85	19,26 ± 6,78	8,18 ± 4,66
Erholung 2'	-1314,40 ± 435,40	-19,07 ± 5,15	-7,92 ± 5,17
Erholung 4'	-67,78 ± 92,18	-0,98 ± 1,34	-0,65 ± 1,12
Erholung 6'	-0,08 ± 89,16	0,00 ± 1,23	0,05 ± 0,98
Erholung 8'	15,48 ± 103,42	0,17 ± 1,51	0,18 ± 1,22

	absolut		relativ	
	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch
Ruhe	0,80 ± 0,09	1,85 ± 0,38		
Belastung	0,84 ± 0,08	8,39 ± 2,57	0,04 ± 0,09	6,54 ± 2,67
Erholung 2'	0,91 ± 0,11	2,01 ± 0,71	0,07 ± 0,08	-6,37 ± 2,11
Erholung 4'	0,82 ± 0,12	1,65 ± 0,65	-0,09 ± 0,11	-0,36 ± 0,47
Erholung 6'	0,78 ± 0,14	1,65 ± 0,58	-0,04 ± 0,09	-0,01 ± 0,45
Erholung 8'	0,80 ± 0,13	1,72 ± 0,68	0,02 ± 0,10	0,07 ± 0,51

	absolut		relativ	
	Herzfrequenz	Laktat	Herzfrequenz	Laktat
Ruhe	80,70 ± 10,03	1,36 ± 0,32		
Belastung	129,99 ± 2,63	1,77 ± 0,42	50,32 ± 23,59	0,40 ± 0,36
Erholung 2'	92,88 ± 11,70	1,68 ± 0,44	-29,89 ± 28,76	-0,08 ± 0,14
Erholung 4'	90,17 ± 10,15	1,58 ± 0,44	-2,71 ± 6,44	-0,11 ± 0,09
Erholung 6'	87,92 ± 7,67	1,50 ± 0,42	-2,25 ± 6,37	-0,08 ± 0,07
Erholung 8'	87,63 ± 7,90	1,44 ± 0,44	-0,29 ± 4,37	-0,06 ± 0,08

Mittelwerte und Standardabweichungen Belastungsform Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand bei 75 % Hf_{max}

	absolut		relativ	
	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen
Ruhe	0,69 ± 0,35	11,63 ± 2,44		
Belastung	2,09 ± 0,60	51,36 ± 11,02	1,40 ± 0,57	39,73 ± 10,76
Erholung 2'	0,88 ± 0,24	19,90 ± 9,83	-1,20 ± 0,45	-31,46 ± 10,77
Erholung 4'	0,71 ± 0,18	12,81 ± 3,70	0,17 ± 0,21	-7,09 ± 8,95
Erholung 6'	0,68 ± 0,19	11,92 ± 3,55	-0,03 ± 0,19	-0,89 ± 2,58
Erholung 8'	0,63 ± 0,19	11,37 ± 2,92	-0,05 ± 0,22	-0,55 ± 2,90

	absolut		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe	416,20 ± 92,91	6,14 ± 1,41	5,05 ± 1,33
Belastung	2302,87 ± 617,77	33,51 ± 7,45	15,40 ± 4,29
Erholung 2'	523,42 ± 161,68	7,54 ± 1,81	5,22 ± 1,92
Erholung 4'	389,88 ± 121,30	5,63 ± 1,39	4,13 ± 1,33
Erholung 6'	376,19 ± 143,21	5,43 ± 1,68	4,12 ± 1,44
Erholung 8'	376,47 ± 121,50	5,47 ± 1,48	4,28 ± 1,42

	relativ		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe			
Belastung	1886,67 ± 601,03	27,37 ± 7,44	10,35 ± 3,98
Erholung 2'	-1779,45 ± 508,07	-25,97 ± 6,76	-10,18 ± 3,35
Erholung 4'	-133,54 ± 93,60	-1,91 ± 1,19	-1,09 ± 1,23
Erholung 6'	-13,70 ± 76,49	-0,20 ± 0,99	-0,01 ± 0,70
Erholung 8'	0,29 ± 135,02	0,04 ± 1,71	0,16 ± 1,42

	absolut		relativ	
	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch
Ruhe	0,76 ± 0,09	1,98 ± 0,44		
Belastung	0,87 ± 0,09	11,29 ± 3,01	0,11 ± 0,09	9,31 ± 2,94
Erholung 2'	0,95 ± 0,16	2,59 ± 0,77	0,08 ± 0,11	-8,70 ± 2,49
Erholung 4'	0,83 ± 0,12	1,90 ± 0,59	-0,12 ± 0,09	-0,70 ± 0,44
Erholung 6'	0,79 ± 0,12	1,81 ± 0,69	-0,05 ± 0,09	-0,09 ± 0,38
Erholung 8'	0,76 ± 0,12	1,80 ± 0,58	-0,03 ± 0,08	-0,01 ± 0,65

	absolut		relativ	
	Herzfrequenz	Laktat	Herzfrequenz	Laktat
Ruhe	84,00 ± 12,55	1,19 ± 0,29		
Belastung	150,07 ± 4,64	3,21 ± 0,95	66,07 ± 14,02	2,02 ± 0,99
Erholung 2'	96,25 ± 13,90	2,56 ± 0,66	-53,82 ± 15,28	-0,66 ± 0,54
Erholung 4'	95,55 ± 9,78	2,28 ± 0,58	-0,71 ± 12,61	-0,27 ± 0,12
Erholung 6'	91,46 ± 10,95	2,06 ± 0,55	-4,09 ± 5,21	-0,22 ± 0,11
Erholung 8'	89,20 ± 9,14	1,85 ± 0,48	-2,26 ± 5,55	-0,22 ± 0,08

Mittelwerte und Standardabweichungen Belastungsform Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand bei 85 % $H_{f_{max}}$

	absolut		relativ	
	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen
Ruhe	0,69 ± 0,35	11,63 ± 2,44		
Belastung	2,30 ± 0,55	67,51 ± 11,75	1,61 ± 0,58	55,88 ± 11,75
Erholung 2'	1,02 ± 0,19	22,68 ± 4,33	-1,27 ± 0,59	-44,38 ± 11,79
Erholung 4'	0,79 ± 0,17	16,23 ± 3,24	-0,24 ± 0,19	-6,45 ± 3,78
Erholung 6'	0,72 ± 0,22	13,76 ± 3,27	-0,07 ± 0,15	-2,46 ± 2,00
Erholung 8'	0,67 ± 0,20	12,00 ± 2,60	-0,05 ± 0,25	-1,77 ± 2,43

	absolut		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe	416,20 ± 92,91	6,14 ± 1,41	5,05 ± 1,33
Belastung	2875,89 ± 661,02	41,97 ± 7,57	16,89 ± 4,19
Erholung 2'	645,93 ± 158,41	9,53 ± 2,48	5,70 ± 1,56
Erholung 4'	493,65 ± 143,64	7,16 ± 1,58	4,90 ± 1,79
Erholung 6'	426,88 ± 123,78	6,18 ± 1,42	4,34 ± 1,40
Erholung 8'	381,36 ± 104,86	5,51 ± 1,12	3,90 ± 1,19

	relativ		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe			
Belastung	2459,68 ± 643,95	35,82 ± 7,56	11,84 ± 3,93
Erholung 2'	-2229,96 ± 616,30	-32,43 ± 7,10	-11,19 ± 3,69
Erholung 4'	-152,28 ± 123,67	-2,38 ± 2,06	-0,80 ± 1,12
Erholung 6'	-66,77 ± 79,00	-0,97 ± 1,03	-0,56 ± 0,67
Erholung 8'	-45,52 ± 72,51	-0,67 ± 1,00	-0,44 ± 0,73

	absolut		relativ	
	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch
Ruhe	0,76 ± 0,09	1,98 ± 0,44		
Belastung	0,89 ± 0,09	14,12 ± 3,11	0,13 ± 0,12	12,13 ± 3,04
Erholung 2'	1,00 ± 0,17	3,22 ± 0,78	0,11 ± 0,10	-10,90 ± 2,90
Erholung 4'	0,88 ± 0,14	2,41 ± 0,67	-0,13 ± 0,07	-0,81 ± 0,63
Erholung 6'	0,80 ± 0,15	2,07 ± 0,60	-0,07 ± 0,13	-0,34 ± 0,35
Erholung 8'	0,74 ± 0,11	1,82 ± 0,50	-0,07 ± 0,07	-0,25 ± 0,36

	absolut		relativ	
	Herzfrequenz	Laktat	Herzfrequenz	Laktat
Ruhe	84,00 ± 12,55	1,85 ± 0,48		
Belastung	171,19 ± 4,89	5,13 ± 1,64	87,19 ± 12,62	3,28 ± 1,54
Erholung 2'	114,07 ± 11,21	4,44 ± 1,46	-57,12 ± 10,84	-0,69 ± 0,38
Erholung 4'	102,89 ± 10,44	4,07 ± 1,40	-11,18 ± 4,97	-0,37 ± 0,18
Erholung 6'	99,53 ± 9,09	3,70 ± 1,33	-3,36 ± 5,74	-0,36 ± 0,16
Erholung 8'	99,02 ± 9,59	3,34 ± 1,22	-0,51 ± 2,60	-0,37 ± 0,15

Mittelwerte und Standardabweichungen Belastungsform Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand bei 85 % Hf_{max}

	absolut		relativ	
	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen
Ruhe	0,63 ± 0,19	11,99 ± 2,81		
Belastung	2,41 ± 0,78	74,66 ± 12,00	1,78 ± 0,75	62,67 ± 12,09
Erholung 2'	1,15 ± 0,43	27,30 ± 8,32	-1,25 ± 0,48	-47,36 ± 9,90
Erholung 4'	0,85 ± 0,25	18,59 ± 5,97	-0,30 ± 0,21	-8,71 ± 3,54
Erholung 6'	0,71 ± 0,22	14,89 ± 5,84	-0,14 ± 0,19	-3,71 ± 2,42
Erholung 8'	0,63 ± 0,16	13,58 ± 4,34	-0,08 ± 0,18	-1,31 ± 2,31

	absolut		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe	379,20 ± 72,50	5,65 ± 1,69	4,49 ± 1,38
Belastung	2872,00 ± 632,30	41,71 ± 6,91	16,57 ± 3,81
Erholung 2'	680,58 ± 207,51	9,85 ± 2,33	5,74 ± 1,46
Erholung 4'	515,69 ± 162,69	7,47 ± 2,02	4,92 ± 1,59
Erholung 6'	417,22 ± 155,48	6,06 ± 2,04	4,08 ± 1,53
Erholung 8'	384,45 ± 124,59	5,58 ± 1,57	3,90 ± 1,41

	relativ		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe			
Belastung	2492,80 ± 643,41	36,06 ± 7,09	12,32 ± 4,58
Erholung 2'	-2191,42 ± 529,01	-31,87 ± 6,40	-10,83 ± 3,09
Erholung 4'	-164,89 ± 93,06	-2,38 ± 1,17	-0,82 ± 0,84
Erholung 6'	-98,47 ± 82,68	-1,41 ± 1,16	-0,84 ± 0,84
Erholung 8'	-32,77 ± 70,83	-0,48 ± 1,08	-0,18 ± 0,67

	absolut		relativ	
	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch
Ruhe	0,78 ± 0,10	1,82 ± 0,35		
Belastung	0,93 ± 0,10	14,24 ± 3,21	0,15 ± 0,10	12,42 ± 3,25
Erholung 2'	1,07 ± 0,16	3,42 ± 1,06	0,14 ± 0,11	-10,83 ± 2,65
Erholung 4'	0,90 ± 0,15	2,53 ± 0,82	-0,17 ± 0,08	-0,88 ± 0,46
Erholung 6'	0,80 ± 0,13	2,02 ± 0,78	-0,10 ± 0,08	-0,52 ± 0,41
Erholung 8'	0,76 ± 0,13	1,84 ± 0,60	-0,04 ± 0,08	-0,18 ± 0,35

	absolut		relativ	
	Herzfrequenz	Laktat	Herzfrequenz	Laktat
Ruhe	75,42 ± 20,91	1,43 ± 0,40		
Belastung	173,77 ± 6,60	6,79 ± 2,25	102,82 ± 27,04	5,36 ± 2,07
Erholung 2'	118,01 ± 12,71	6,22 ± 2,19	-55,76 ± 8,70	-0,57 ± 0,39
Erholung 4'	105,87 ± 9,99	5,84 ± 2,24	-12,13 ± 7,93	-0,38 ± 0,19
Erholung 6'	103,24 ± 10,47	5,45 ± 2,24	-2,63 ± 6,37	-0,39 ± 0,19
Erholung 8'	100,91 ± 11,63	5,03 ± 2,16	-2,33 ± 4,47	-0,42 ± 0,32

Mittelwerte und Standardabweichungen Belastungsform Fahren im Sitzen mit hohem Widerstand bei 92 % Hf_{max}

	absolut		relativ	
	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen	Atemzugvolumen	Atemminutenvolumen
Ruhe	0,68 ± 0,26	13,44 ± 2,50		
Belastung	2,37 ± 0,67	96,01 ± 26,69	1,69 ± 0,70	82,56 ± 27,28
Erholung 2'	1,71 ± 0,49	74,47 ± 125,43	-0,65 ± 0,43	-47,85 ± 18,32
Erholung 4'	1,26 ± 0,36	32,39 ± 10,03	-0,45 ± 0,29	-15,77 ± 10,05
Erholung 6'	1,05 ± 0,28	25,31 ± 6,75	-0,22 ± 0,18	-0,07 ± 5,06
Erholung 8'	0,97 ± 0,24	21,43 ± 4,45	-0,08 ± 0,21	-3,88 ± 3,89

	absolut		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe	438,61 ± 63,31	6,54 ± 1,56	5,26 ± 1,08
Belastung	2939,16 ± 749,43	42,33 ± 7,05	16,69 ± 4,11
Erholung 2'	980,23 ± 281,18	14,09 ± 3,03	7,35 ± 2,07
Erholung 4'	673,48 ± 190,64	9,68 ± 2,04	6,18 ± 1,60
Erholung 6'	606,99 ± 191,66	8,73 ± 2,15	5,86 ± 1,63
Erholung 8'	536,65 ± 129,50	7,74 ± 1,26	5,31 ± 1,28

	relativ		
	Sauerstoffaufnahme	Sauerstoffaufnahme/kg	Sauerstoffpuls
Ruhe			
Belastung	2500,56 ± 770,81	35,79 ± 7,68	11,43 ± 4,29
Erholung 2'	-1958,94 ± 529,10	-28,24 ± 5,67	-9,34 ± 3,07
Erholung 4'	-306,74 ± 113,57	-4,41 ± 1,45	-1,17 ± 1,54
Erholung 6'	-66,50 ± 93,25	-0,95 ± 1,32	-0,31 ± 0,97
Erholung 8'	-70,34 ± 112,76	-0,99 ± 1,56	-0,56 ± 0,97

	absolut		relativ	
	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch	Respirat. Quotient	Kalorienverbrauch
Ruhe	0,82 ± 0,09	2,12 ± 0,30		
Belastung	1,08 ± 0,14	14,71 ± 3,70	0,26 ± 0,18	12,59 ± 3,82
Erholung 2'	1,30 ± 0,21	4,94 ± 1,41	0,67 ± 1,89	-9,77 ± 2,61
Erholung 4'	1,18 ± 0,17	3,38 ± 0,95	-0,57 ± 1,90	-1,56 ± 0,59
Erholung 6'	1,04 ± 0,15	2,91 ± 1,14	-0,14 ± 0,12	-0,48 ± 0,68
Erholung 8'	0,94 ± 0,11	2,66 ± 0,62	-0,10 ± 0,08	-0,25 ± 0,80

	absolut		relativ	
	Herzfrequenz	Laktat	Herzfrequenz	Laktat
Ruhe	85,11 ± 12,42	1,27 ± 0,21		
Belastung	176,15 ± 6,89	9,80 ± 1,93	91,04 ± 13,18	6,76 ± 1,82
Erholung 2'	124,76 ± 19,80	9,76 ± 1,94	-51,39 ± 18,82	1,20 ± 1,05
Erholung 4'	108,55 ± 10,42	9,73 ± 2,00	-16,21 ± 13,15	0,45 ± 0,51
Erholung 6'	102,92 ± 10,26	9,63 ± 2,12	-5,63 ± 4,35	-0,05 ± 0,25
Erholung 8'	101,60 ± 10,18	9,21 ± 2,08	-1,32 ± 3,38	-0,41 ± 0,34