

**Die Effektivität präventiver
Ausdauertrainingsprogramme: Eine
kontrollierte Längsschnittstudie zur Problematik
der “Weekend Warrior“ und der Intensitätswahl**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Philosophie
der Philosophischen Fakultäten
der Universität des Saarlandes

vorgelegt von

Markus Auracher
aus Leonberg

Saarbrücken, 2007

Der Dekan:

Prof. Dr. R. Krause

Berichterstatter:

1. Gutachter: Prof. Dr. Eike Emrich
2. Gutachter: PD Dr. Tim Meyer

Tag der Disputation: 11.12.2006

I Inhaltsverzeichnis

II	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	6
III	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	8
IV	TABELLENVERZEICHNIS	11
1	EINLEITUNG	12
1.1	Präventives Ausdauertraining	13
1.1.1	Definition und Strukturierung der Ausdauer	14
1.1.2	Methoden des Ausdauertrainings	14
1.1.3	Belastungsnormative	15
1.2	Zivilisationserkrankungen	16
1.2.1	Atherosklerose	16
1.2.2	Folgeerkrankungen der Atherosklerose	17
1.2.3	Risikofaktorenmodelle	18
<i>1.2.3.1</i>	<i>Übergewicht (Adipositas)</i>	<i>20</i>
<i>1.2.3.2</i>	<i>Hypertonie</i>	<i>21</i>
<i>1.2.3.3</i>	<i>Fettstoffwechselstörungen (Hyperlipoproteinämie)</i>	<i>21</i>
<i>1.2.3.4</i>	<i>Hyperhomocysteinämie</i>	<i>23</i>
1.3	Trainingseffekte eines präventiven Ausdauertrainings	23
1.3.1	Wissenschaftliche Basis	23
1.3.2	Leistungsphysiologische Effekte eines Ausdauertrainings	26
<i>1.3.2.1</i>	<i>Maximale Sauerstoffaufnahme</i>	<i>26</i>
<i>1.3.2.2</i>	<i>Herzfrequenz-Leistungskurve</i>	<i>27</i>
<i>1.3.2.3</i>	<i>Laktat-Leistungskurve und 1,5 mmol-Schwelle</i>	<i>28</i>
1.3.3	Effekte eines Ausdauertrainings auf kardiovaskuläre Risikofaktoren	29
<i>1.3.3.1</i>	<i>Übergewicht/Körperfettanteil</i>	<i>29</i>
<i>1.3.3.2</i>	<i>Blutdruck</i>	<i>30</i>
<i>1.3.3.3</i>	<i>Fettstoffwechsel</i>	<i>31</i>
<i>1.3.3.4</i>	<i>Homocystein</i>	<i>32</i>
1.3.4	Effekte auf weitere relevante Gesundheitsindikatoren	33
<i>1.3.4.1</i>	<i>“Psychische Gesundheit“</i>	<i>33</i>
1.3.5	Hypothesenbildung	36

1.4	Gestaltung des präventiven Ausdauertrainings.....	36
1.4.1	Allgemeine Trainingsempfehlungen	36
1.5	Sonderfall “weekend warrior“ – Konzentration des Trainings an den Wochenenden	37
1.5.1	Hypothesenbildung	41
1.6	Intensität eines Ausdauertrainings	42
1.6.1	Kritische Stellungnahme zur aktuellen Forschungslage.....	44
1.6.2	Hypothesenbildung	46
2	UNTERSUCHUNGSMETHODIK.....	47
2.1	Allgemeiner Untersuchungsablauf.....	47
2.1.1	Probanden.....	48
2.1.2	Zielgruppe	48
2.1.3	Untersuchungsgruppen	49
2.2	Eingangs-/Abschlussuntersuchung	50
2.2.1	Fragebogen zum körperlichen und psychischen Wohlbefinden	51
2.2.2	Messung der Herzfrequenzvariabilität.....	52
2.2.3	Venöse Blutentnahme	52
2.2.4	Ärztliche Untersuchung	52
2.2.5	Anthropometrie und Ruhe-EKG/-Blutdruck	53
2.2.6	Belastungsuntersuchung.....	53
2.3	Training/Kontrollzeitraum.....	56
2.3.1	Trainingsdokumentation	58
2.3.2	Compliance	59
2.4	Studienverlauf	60
2.4.1	Rekrutierung	60
2.4.2	“Drop outs“	61
2.4.3	Probanden.....	62
2.5	Geräte/Labormethodik.....	63
2.6	Statistik.....	65

3	ERGEBNISSE	67
3.1	Darstellung der Trainingsdurchführung	67
3.2	Training vs. Kontrollgruppe	69
3.2.1	Leistungsphysiologie	69
3.2.2	Gesundheitsindikatoren	76
3.3	Gruppenvergleiche	83
3.3.1	Leistungsphysiologie	83
3.3.2	Zusammenfassung Leistungsphysiologie	92
3.3.3	Gruppenvergleich Gesundheitsindikatoren	93
3.3.4	Fragebogenergebnisse	101
3.3.4.1	<i>Befindlichkeitsskalen</i>	<i>101</i>
3.3.4.2	<i>Frankfurter Selbstkonzeptskalen</i>	<i>103</i>
3.3.4.3	<i>Frankfurter Körperkonzeptskala</i>	<i>103</i>
3.3.4.4	<i>Beschwerdenliste</i>	<i>105</i>
3.3.5	Zusammenfassung Gesundheitsindikatoren	106
3.4	Einflussfaktoren des Trainingseffekts	107
3.4.1	Altersabhängigkeit	107
3.4.2	Gesetz des Ausgangsniveaus	107
3.4.3	Geschlechtsabhängigkeit	109
3.4.4	Abhängigkeit des Trainingseffektes von der Compliance	109
4	DISKUSSION	110
4.1	Trainingseffekte auf leistungsphysiologische Parameter	110
4.1.1	Maximale Sauerstoffaufnahme	110
4.1.2	Dauer des Belastungstests	112
4.1.3	Adaptationen der Laktat-Leistungskurve und der 1,5 mmol-Schwelle	113
4.1.4	Ruhe-Herzfrequenz und Herzfrequenz-Leistungskurve	114
4.2	Trainingseffekte auf kardiovaskuläre Risikofaktoren	116
4.2.1	Übergewicht/Körperfettanteil	116
4.2.2	Blutdruck	117
4.2.3	Lipoproteine/Blutlipide	119

4.2.4	Homocystein	120
4.2.5	Sauerstoffaufnahme während der Belastungstests	121
4.2.6	Trainingseffekte auf die “psychische Gesundheit“	121
4.2.6.1	<i>Ausdauertraining und “psychisches Wohlbefinden“</i>	<i>121</i>
4.2.6.2	<i>Ausdauertraining und “physisches Wohlbefinden“</i>	<i>123</i>
4.2.7	Einordnung und Bedeutung der Trainingseffekte	124
4.2.8	Einflussfaktoren auf die Effektgröße eines Ausdauertrainings	125
4.3	Konzentration des Trainings am Wochenende/“weekend warrior“ ..	127
4.3.1	Vergleich mit anderen Studien	129
4.4	Intensitätsvergleich	133
4.4.1	Vergleich mit anderen Studien	135
4.5	Limitationen und Stärken der Untersuchung	142
4.5.1	Limitationen	142
4.5.2	Stärken	146
4.6	Schlussfolgerungen/Konsequenzen für die Praxis des Ausdauertrainings	147
4.7	Ausblick/Forschungsperspektiven.....	149
5	ZUSAMMENFASSUNG	153
6	LITERATURVERZEICHNIS	156
7	Anhang.....	179

II Abkürzungsverzeichnis

ACSM	=	American College of Sports Medicine
AHA	=	American Heart Association
ANOVA	=	Varianzanalyse (analysis of variance)
Apo A-1	=	Apolipoprotein A-1
Apo B	=	Apolipoprotein B
ATP	=	Adenosintriphosphat
AT	=	Abschlusstest
BFS	=	Befindlichkeitsskalen
BIA	=	bioelektrische Impedanz-Analyse (\approx Bioimpedanzanalyse)
B-L	=	Beschwerdenliste
BMI	=	Body Mass Index
Chol.	=	Cholesterin
Chol _{ges}	=	Gesamt-Cholesterinkonzentration
CRP	=	C-reaktives Protein
diast.	=	diastolisch
ET	=	Eingangstest
EW	=	Eingangswert
F	=	F-Wert, Ergebnis der Varianzanalyse
FKKS	=	Frankfurter Körperkonzeptskalen
FSEG	=	Frankfurter Selbstkonzeptskala zur Empfindlichkeit und Gestimmtheit
FSKN	=	Frankfurter Selbstkonzeptskalen
HDL	=	high density lipoprotein
HF	=	Herzfrequenz
HF _{Ruhe}	=	Ruhe-Herzfrequenz
HF _{submax}	=	submaximale Herzfrequenz
HF _{max}	=	maximale Herzfrequenz
Hcy	=	Homocystein
KF	=	Körperfettanteil
KG	=	Körpergewicht

KHK	=	koronare Herzkrankheit
KAL	=	Kalipermethode
KRP	=	Kreatinphosphat
Lak _{max}	=	maximale Laktatkonzentration
LB	=	Laufband
LDL	=	low density lipoprotein
LOW	=	niedrig-intensives Trainingsprogramm
n	=	Probandenzahl
NCEP	=	National Cholesterol Education Program
NIH	=	National Institute of Health
p	=	Signifikanzniveau
p`	=	post
paVK	=	periphere arterielle Verschlusskrankheit
POMS	=	Profile of Mood Sates
PWC	=	physical work capacity
r	=	Korrelationskoeffizient
RMT	=	regelmäßiges moderates Trainingprogramm
RQ	=	Respiratorischer Quotient
RQ _{max}	=	maximaler Respiratorischer Quotient
RR	=	Blutdruck
RR _{Ruhe}	=	Ruheblutdruck
Schw. _{1,5}	=	1,5 mmol-Schwelle
SGKB	=	Frankfurter Körperkonzeptskala zur Gesundheit und zum körperlichen Befinden
SKEF	=	Frankfurter Körperkonzeptskala zur körperlichen Effizienz
syst.	=	systolisch
TG	=	Triglyzeride
VLDL	=	very low density lipoprotein
VO ₂	=	Sauerstoffaufnahme
VO _{2max}	=	maximale Sauerstoffaufnahme
WHO	=	World Health Organization
WW	=	Trainingsprogramm "weekend warrior"

III Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lebensbedingungen des Menschen im Wandel (nach Blech 2006).	12
Abb. 2: Ausdauertrainingseffekte auf die "psychische Gesundheit" (nach Rejeski 1994)	33
Abb. 3: Schematische Darstellung des Superkompensationsmodells (modifiziert nach (Fry et al. 1992)).....	38
Abb. 4: Unterschiedliche Zeitkonstanten der Rückkehr funktioneller Größen zur Norm und des Verlaufs der Wiederherstellungsvorgänge. 1=Kurzdauernde Wiederherstellungsvorgänge (z.B. ATP und KRP); 2=Regenerationsvorgänge mittlerer Dauer (z.B. Glykogen); 3=langdauernde Regenerationsvorgänge (z.B. Enzyme und Strukturproteine) (nach Findeisen et al. 1980, 212)	39
Abb. 5: Schematische Darstellung der untersuchten Trainingsprogramme zur Fragestellung des "weekend warrior"	40
Abb. 6: Substratverwendung bei unterschiedlichen Intensitäten (25%, 65% und 85% der VO_{2max}) (Abb. modifiziert nach Jeukendrup et al. (1998b) basierend auf den Daten von Romjin et al. (1993))	43
Abb. 7: Längsschnittdesign der Trainingsstudie.	47
Abb. 8: Bestimmung der Schw. _{1,5} (nach Röcker et al. 1998).....	54
Abb. 9: Beispielhafte schematische Darstellung der verwendeten Testprotokolle	55
Abb. 10: Compliance-Score der Trainingsgruppen	68
Abb. 11: Mittlere relative VO_{2max} während des Eingangs- und Abschlusstests. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe.....	69
Abb. 12: Mittlere Dauer des Belastungstests des Trainingskollektivs und der Kontrollgruppe bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe.....	70
Abb. 13: Mittelwerte der HF-Leistungskurven des Trainingskollektivs und der Kontrollgruppe bei Eingangs- und Abschlusstest. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe	72
Abb. 14: Mittlere HF_{Ruhe} des Trainingskollektivs und der Kontrollgruppe bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe.....	73
Abb. 15: Mittelwerte der Blutlaktatkonzentrationen im Verlauf der Belastungstests bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe	74
Abb. 16: Mittlere Testdauer an der Schw. _{1,5} beider Gruppen während des Eingangs- und Abschlusstests. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe	75
Abb. 17: Mittlere Körpergewichtsveränderung des Trainingskollektivs und der Kontrollgruppe. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe	76

- Abb. 18:** Mittelwerte des Körperfettanteils (KAL) bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe77
- Abb. 19:** Mittelwerte des Körperfettanteils (BIA) der Trainingsgruppe und der Kontrollgruppe bei Eingangs- und Abschlusstest. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe78
- Abb. 20:** Mittelwerte des syst. Ruheblutdrucks der Trainingsgruppe und der Kontrollgruppe bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe.....79
- Abb. 21:** Mittelwerte des diast. Ruheblutdrucks der Trainingsgruppe und der Kontrollgruppe bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe.....80
- Abb. 22:** Mittelwerte des sieben Minuten nach Belastungsende gemessenen syst. Blutdrucks bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe81
- Abb. 23:** Mittlere allometrisch dargestellte VO_{2max} der vier Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt des Eingangs- und Abschlusstests. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW83
- Abb. 24:** Mittlere Testdauer der Stufentests der vier Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt des Eingangs- und Abschlusstests. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW84
- Abb. 25:** HF-Leistungskurven der vier Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT; # → Vergleich Gruppe WW vs. Gruppe LOW86
- Abb. 26:** Mittlere Ruheherzfrequenz der vier Untersuchungsgruppen bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW87
- Abb. 27:** Mittelwerte der PWC 150 der vier Untersuchungsgruppen bei Eingangs- und Abschlusstest. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW; # → Vergleich Trainingsgruppe WW vs. Trainingsgruppe LOW; + → Vergleich Trainingsgruppe RMT vs. Trainingsgruppe LOW88
- Abb. 28:** Laktat-Leistungskurven der vier Untersuchungsgruppen bei Eingangs- und Abschlusstest. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT89
- Abb. 29:** Mittlere Testdauer der vier Untersuchungsgruppen an der Schw._{1,5} zum Zeitpunkt des Eingangs- und Abschlusstests. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT; # → Vergleich Trainingsgruppe WW vs. Trainingsgruppe LOW; + → Vergleich Trainingsgruppe RMT vs. Trainingsgruppe LOW90
- Abb. 30:** Mittlere Sauerstoffaufnahme der vier Untersuchungsgruppen während der Belastungstests zum Zeitpunkt der Eingangs- und Abschlussuntersuchung.....91
- Abb. 31:** Mittleres Körpergewicht der vier Untersuchungsgruppen bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW93

Abb. 32: Mittlerer Körperfettanteil (KAL) der vier Gruppen gemessen im Rahmen der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe RMT/LOW	94
Abb. 33: Mittlerer Körperfettanteil (BIA) der vier Gruppen gemessen im Rahmen der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW	95
Abb. 34: Darstellung der Mittelwerte des syst. Ruheblutdrucks der vier untersuchten Gruppen bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/LOW	96
Abb. 35: Darstellung der Mittelwerte des diast. Ruheblutdrucks der vier untersuchten Gruppen bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW	97
Abb. 36: Syst. Belastungs- und Nachbelastungsblutdruck der vier Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe RMT/LOW	98
Abb. 37: Diast. Belastungs- und Nachbelastungsblutdruck der vier Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW	99
Abb. 38: Mittelwerte der Subskala Aktiviertheit bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe RMT	101
Abb. 39: Mittelwerte der FSEG bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung	103
Abb. 40: Mittelwerte der SGKB bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung	103
Abb. 41: Mittelwerte der Frankfurter Körperkonzeptskala zur körperlichen Effizienz bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe RMT	104
Abb. 42: Mittlerer Summen-Score der vier Untersuchungsgruppen bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung	105
Abb. 43: Modell der "summierten Wirksamkeit" (nach Zintl/Eisenhut 2001)	132

IV Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Mittelwerte der Temperatur bei den vier Untersuchungsgruppen während des Eingangs- und Abschlusstests.....	56
Tab. 2: Anzahl der Studienabbrecher (n=13) und Ursachen für den Ausstieg.....	61
Tab. 3: Anthropometrische Daten und relative VO_{2max} der Stichprobe. (Mittelwerte und Standardabweichungen sowie die Spannweite).....	62
Tab. 4: Anthropometrische und leistungsphysiologische Daten der untersuchten Gruppen (Mittelwerte und Standardabweichungen).....	63
Tab. 5: Labormethodik zur Bestimmung relevanter Laborparameter.....	65
Tab. 6: Darstellung der Trainingsdauer.....	67
Tab. 7: Anzahl der Trainingseinheiten.....	67
Tab. 8: Darstellung der Trainingsintensität.....	68
Tab. 9: Mittlere relative VO_{2max} der Gruppen. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppen.....	70
Tab. 10: Mittlerer diast. Nachbelastungsblutdruck in den Untersuchungsgruppen. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppen.....	81
Tab. 11: Mittelwerte relevanter Laborparameter, gemessen bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung.....	82
Tab. 12: Relative VO_{2max} der vier Gruppen bei Eingangs- und Abschlusstest.....	83
Tab. 13: Mittelwerte der Ausbelastungsparameter bei Eingangs- und Abschlusstest. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe LOW; % → Vergleich Gruppe RMT vs. Gruppe LOW.....	85
Tab. 14: Mittelwerte der relevanten Laborparameter der vier Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt der Eingangs- und Abschlussuntersuchung.....	100
Tab. 15: Mittelwerte der Subskalen des Befindlichkeits-Fragebogens bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung (5=völlige Zustimmung; 10=völlige Verneinung). Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW.....	102
Tab. 16: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Alter der Trainingsteilnehmer und der Trainingsveränderung relevanter Zielparameter.....	107
Tab. 17: Korrelationskoeffizienten zwischen den Eingangswerten und den Trainingsveränderungen relevanter Laborparameter.....	107
Tab. 18: Korrelationskoeffizienten zwischen den Eingangswerten und den Trainingsveränderungen einiger Gesundheitsindikatoren.....	108
Tab. 19: Korrelationskoeffizienten zwischen den Eingangswerten und den Trainingsveränderungen leistungsphysiologischer Parameter.....	109
Tab. 20: Vergleich der Trainingseffekte bei Männern und Frauen. Dargestellt sind die Mittelwerte und das Signifikanzniveau ausgewählter Zielparameter.....	109

1 Einleitung

Die Forschergruppe um Donald Johanson machte 1974 in Äthiopien eine sensationelle Entdeckung. Sie fand ein ca. 3.500.000 Jahre altes weibliches Skelett, das sie auf den Namen "Lucy" taufte. Die Anatomie dieses "Australopithecus afarensis" zeigte erstmalig eindeutige Anpassungen an den aufrechten Gang. Daher wurde die Art stammesgeschichtlich in die Nähe der Entwicklungslinie der Gattung Homo gestellt. Lucy kann somit als eine "Urahnin" unserer Art gelten. In dem evolutionsgeschichtlich vergleichsweise geradezu lächerlich kurzen Zeitraum der letzten 10.000 Jahre und insbesondere in den vergangenen 100 Jahren kam es infolge des technologischen Fortschritts zu einer dramatischen Veränderung der Lebensbedingungen der Hominiden. Während bis dato die Existenz unserer Spezies nahezu ausschließlich durch "Freiluftaktivitäten" wie die Jagd und andere Formen der Nahrungsbeschaffung dominiert war, beschränkt sich der Umfang der körperlichen Aktivität vieler Menschen heute auf ein Minimum (s. Abb. 1). Der Organismus des Menschen und seine genetische Ausstattung sind jedoch an den jahrmillionenlang überlebensnotwendigen aktiven Lebensstil angepasst und die Folgen körperlicher Inaktivität zeigen sich insbesondere durch die in den vergangenen Jahrzehnten stark zunehmenden Zivilisationserkrankungen, wie z.B. Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Mit Blick auf unser "biologisches Erbe" wird somit deutlich, dass für eine optimale Körperfunktion regelmäßige Aktivität eine wichtige Voraussetzung ist.

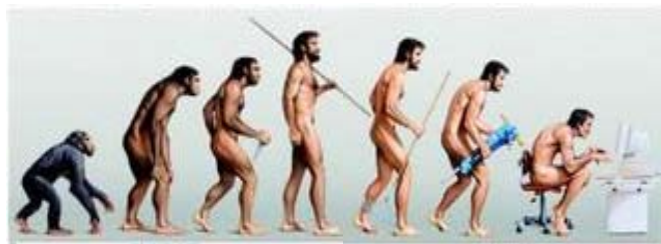


Abb. 1: Lebensbedingungen des Menschen im Wandel (nach Blech 2006).

Sah man bis vor 25 Jahren in Feld und Flur noch vornehmlich Spaziergänger, Wanderer und Naturfreunde, so hat sich dieses Bild mittlerweile gewandelt. Inzwischen bevölkern "Jogger", "Walker" und neuerdings auch "Nordic Walker" in zunehmender Zahl die Wälder und Wiesen. Die wachsende Gruppe der Freizeitsportler, die ausdauerwirksamen Aktivitäten nachgehen zeigt, dass sich das Wissen um die präventiven und fitnesssteigernden Effekte eines Ausdauertrainings mittlerweile in breiten Bevölkerungsschichten durchgesetzt hat. Bisweilen wird in der Sportwissenschaft jedoch noch immer über die Ausprägung und Höhe der Effekte eines Ausdauertrainings gestritten.

Ungenau und zuweilen widersprüchliche Trainingsempfehlungen bestehen insbesondere bezüglich der Gestaltung eines Ausdauertrainings. So wird neuerdings gelegentlich ein Training sehr niedriger Intensität favorisiert, da ihm eine Fettstoffwechselaktivierung zugeschrieben wird. In diesem Kontext ergibt sich die Frage, inwieweit eine Senkung der Belastungsintensität bei identischem Energieumsatz die Trainingseffektivität beeinträchtigt.

Da hohe berufliche Belastungen im Alltag viele Menschen dazu zwingen ihre Trainingszeiten an den Wochenenden zu konzentrieren, erscheint es außerdem interessant, ob die gleichmäßige Verteilung eines Ausdauertrainings über die Woche effektiver ist als eine Durchführung des identischen Trainingsumfangs an zwei aufeinander folgenden Tagen ("weekend warrior").

Die Trainingsstudie, die dieser Dissertation zugrunde liegt, wurde konzipiert, um diese praxisrelevanten Fragen zu beantworten. Ziel ist eine Effektivitätssteigerung des Ausdauertrainings im Sinne einer Ökonomisierung der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Trainingszeit. Bevor die Konzeption der Untersuchung vorgestellt wird, soll zunächst dargelegt werden, was unter einem präventiven Ausdauertraining zu verstehen ist. Darauf aufbauend werden Zivilisationserkrankungen bzw. Risikofaktoren und anerkannte leistungsphysiologische Parameter vorgestellt, die sich durch Ausdauertraining nach bisherigem Kenntnisstand positiv beeinflussen lassen. Schließlich werden speziell die beiden Untersuchungsschwerpunkte zur adäquaten Intensität und zur zeitlichen Verteilung des Ausdauertrainings im Wochenverlauf beleuchtet und die Hypothesen der Untersuchung formuliert.

1.1 Präventives Ausdauertraining

In dieser Studie soll u.a. die präventive Wertigkeit des Ausdauertrainings bei gesunden untrainierten Personen untersucht werden. Im Gegensatz zur klassischen kurativen Medizin setzt die **primäre Prävention** ein, bevor eine chronische Erkrankung klinisch manifestiert ist, mit dem Ziel den Ausbruch und/oder die Progression generell zu verhindern. Nach Berechnungen von Booth et al. (2000) ermöglicht eine gezielte primäre Prävention hohe Einsparungen der Ausgaben in den Gesundheitssystemen.

Seit einigen Jahrzehnten hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass ein allgemeines Ausdauertraining einen wertvollen Beitrag zur Prävention der wichtigsten Herz-Kreislauf- und Stoffwechselerkrankungen leisten kann (vgl. Hollmann et al. 1981). So wurde z.B. deutlich, dass die Häufigkeit der koronaren Herzkrankheit bei körperlich aktiven Personen um ca. 50% niedriger ist als bei inaktiven Personen (vgl. Kindermann 1991).

1.1.1 Definition und Strukturierung der Ausdauer

Ausdauer wird als Fähigkeit definiert, physisch und psychisch lange einer Belastung widerstehen zu können, deren Intensität und Dauer letztlich zu einer unüberwindbaren (manifesten) Ermüdung (=Leistungseinbuße) führt und/oder die Fähigkeit, sich nach physischen und psychischen Belastungen rasch zu regenerieren (vgl. Zintl/Eisenhut 2001). Die "konditionelle Fähigkeit" Ausdauer kann nach unterschiedlichen Kriterien strukturiert werden. Beispielsweise unterscheiden Hollmann/Hettinger (2000) nach Umfang der beanspruchten Muskulatur lokale Ausdauer (<15% der Muskulatur) und allgemeine Ausdauer (> als 15% der Muskulatur), nach Art der vorrangigen Energiebereitstellung aerobe und anaerobe Ausdauer und je nach Arbeitsweise der Muskulatur dynamische und statische Ausdauer.

Im Gesundheitssport geht es nicht um sportliche Vervollkommnung, sondern hauptsächlich darum, präventiv bedeutsame Adaptationen der Organe und Funktionssysteme zu bewirken. Zahlreiche Studien in den letzten Jahrzehnten zeigten, dass aus internmedizinischer Sicht ein **aerobes Ausdauertraining** die höchste präventive Wertigkeit aufweist (vgl. Hartard et al. 2000). Aufgrund der hohen Wirksamkeit und des geringen gesundheitlichen Risikos, beispielsweise durch den nur mäßigen Blutdruckanstieg, empfehlen daher viele Autoren in der primären Prävention die Durchführung eines **aeroben dynamischen Ausdauertrainings mit Einsatz von großen Muskelgruppen** (vgl. z.B. Després/Lamarche 1994; Fletcher et al. 1996). Das "American College of Sports Medicine" (ACSM) charakterisiert ein solches Training wie folgt: „any activity that uses large muscle groups, which can be maintained continuously, and is rhythmical and aerobic in nature, e.g., walking-hiking, running-jogging, cycling-bicycling, cross-country skiing, aerobic dance/group exercise, rope skipping, rowing, stair climbing, swimming, skating, and various endurance game activities or some combination thereof“ (ACSM 1998, 976). Aufgrund der herausragenden Bedeutung im Gesundheitssport ist in Einklang mit diesen Empfehlungen und Richtlinien ein allgemeines aerobes Ausdauertraining (Laufen/Walking) Gegenstand der vorliegenden wissenschaftlichen Untersuchung.

1.1.2 Methoden des Ausdauertrainings

Ein Ausdauertraining kann generell nach der Dauer- oder Intervallmethode, der Wiederholungsmethode und der Wettkampfmethode ausgeführt werden. Die Wiederholungs- und Wettkampfmethode bleiben aufgrund der notwendigen hohen Belastungsintensitäten im Wesentlichen dem Leistungssport vorbehalten.

Die **Intervallmethode** ist durch einen planmäßigen Wechsel zwischen Belastung und Erholung gekennzeichnet. In der Pause wird nicht die vollständige Erholung abgewartet, sondern lediglich die sogenannte ‐lohnende Pause‐ eingehalten, in der die Herzfrequenz (HF) noch über die Ruhewerte erhöht ist. Als Erholungskriterium wird beispielsweise eine HF von 120-130 min^{-1} angegeben (vgl. Zintl/Eisenhut 2001). In der primären Prävention werden lediglich extensive Formen des Intervalltrainings angewendet, z.B. bei leistungsschwachen Personen, die zunächst behutsam an längere Ausdauerbelastungen herangeführt werden müssen.

Die **Dauermethode** ist gekennzeichnet durch eine lange Belastung ohne Pause. Man unterscheidet die kontinuierliche Dauermethode, bei der die Intensität konstant gehalten wird von variablen Dauermethoden (Fahrtspiel), die entweder einen planmäßigen Wechsel verschiedener Intensitäten oder je nach Gelände bzw. subjektivem Empfinden willkürliche Intensitätsschwankungen vorsehen.

Gegenstand dieser wissenschaftlichen Studie ist wegen der weiten Verbreitung im Gesundheitssport und der einfachen praktischen Handhabung ein **allgemeines Ausdauertraining nach der kontinuierlichen Dauermethode**. Diese Methode besitzt den Vorteil, dass sie gut kontrolliert werden kann und somit eine zufriedenstellende Standardisierung relativ leicht zu erzielen ist.

1.1.3 Belastungsnormative

Ein allgemeines Ausdauertraining nach der kontinuierlichen Dauermethode lässt sich durch verschiedene Belastungsnormative genauer beschreiben und kennzeichnen: „Exercise prescription is based upon the frequency, intensity, and duration of training...“ (ACSM 1998, 977). Die Trainingsfrequenz kennzeichnet die Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche, während die Trainingsdauer die Anzahl der Trainingsminuten pro Tag bzw. pro Woche ausdrückt (vgl. Casaburi et al. 1995). Die Belastungsintensität ist definiert als Stärke des einzelnen Belastungsreizes bzw. die Leistung als Arbeit in der Zeiteinheit. Im Ausdauerbereich wird sie durch die Fortbewegungsgeschwindigkeit, HF pro Minute oder durch Blutlaktatwerte dargestellt (vgl. Zintl/Eisenhut 2001). Sehr häufig wird die Intensität in Studien in Bezug zu Maximalwerten (% der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_{2\text{max}}$) oder % der maximalen Herzfrequenz (HF_{max})) angegeben. Aus Intensität, Dauer und Frequenz eines allgemeinen aeroben Ausdauertraining ergibt sich der Gesamtkalorienverbrauch, der im Hinblick auf die Höhe der Trainingseffekte von vielen Autoren als bedeutende Variable betrachtet wird (ACSM 1990; ACSM 1998; Drygas et al. 1988; Haskell 1994b; Pollock 1973).

Ausdauertraining kann einen Beitrag zur Prävention einiger bedeutender Zivilisationserkrankungen leisten. In diesem Zusammenhang bietet das Risikofaktorenmodell Ansatzpunkte, um gezielte Interventionsmaßnahmen zu ergreifen und gefährdete Personen zur Änderung ihres Verhaltens zu motivieren. Nach einer Darstellung der zentralen Zivilisationserkrankungen und der zugehörigen Risikofaktorenmodelle soll das wissenschaftliche Fundament, das die Bedeutung des präventiven aeroben Ausdauertrainings begründet, dargestellt werden.

1.2 Zivilisationserkrankungen

Im letzten Jahrhundert kam es insbesondere in den westlichen Industrienationen zu einem umfassenden Panoramawechsel des Krankheitsgeschehens. Nach der Dominanz von Infektionskrankheiten in den Mortalitätsstatistiken, die durch Impfungen und eine Verbesserung der Lebensbedingungen überwunden wurde, traten vermehrt sogenannte "Zivilisationskrankheiten" auf, die von den zivilisatorischen Lebensumständen abhängig sind und inzwischen zur Todesursache Nummer eins in den westlichen Industrienationen avancierten. Zu diesen Erkrankungen zählen u.a. Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Stoffwechselerkrankungen und degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule. Booth et al. (2000) sprechen in diesem Zusammenhang von „modern chronic diseases“, zu denen sie „coronary heart disease (including atherosclerosis, heart failure, hypertension and stroke) obesity, Type 2 diabetes, some cancers, osteoporosis and sarcopenia“ zählen. Laut den Autoren waren 1990 mehr als 90 Millionen Amerikaner von einer dieser Erkrankungen betroffen, deren Kosten durch Gesundheitsausgaben und Produktivitätsausfälle auf nahezu 660 Milliarden Dollar geschätzt werden. Die zahlenmäßig wichtigste Gruppe der Zivilisationskrankheiten sind die sogenannten Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Zentrale Herz-Kreislauf-Erkrankungen, wie z.B. die koronare Herzkrankheit (KHK), können auf eine primäre Gefäßerkrankung, die sogenannte Atherosklerose zurückgeführt werden, deren genaue Pathogenese bis dato noch nicht im Detail geklärt ist.

1.2.1 Atherosklerose

Nach Definition der "World Health Organization" (WHO) ist die Atherosklerose „...eine variable Kombination von Veränderungen der Intima arterieller Blutgefäße, bestehend aus herdförmigen Ansammlungen von Lipiden, komplexen Kohlenhydraten, Blut und Blutbestandteilen, Bindegewebe sowie Ablagerungen von Kalziumsalzen, die mit Veränderungen der Arterienmedia verbunden sind“ (Schettler/Mörl 1982, 51). Diese

Veränderungen der Gefäßwände treten als Verdickung und Lumeneinschränkung sowie als Verhärtung und Elastizitätsverlust in Erscheinung (vgl. Thews et al. 1999). Im Frühstadium ist eine gestörte Gefäßfunktion, die sogenannte Endotheldysfunktion zu beobachten (vgl. Halle 2004). Dabei kommt es primär zu einer Einlagerung von Wasser, Eiweißen und Fetten in die Intima. Sekundär kann es durch das zunehmende Eindringen von Fett (vor allem Cholesterin) zu einer Überfüllung der Fettzellen und evtl. zu einem Platzen dieser Zellen mit Auskristallisieren des Fettes kommen. In das zerstörte Gewebe wird schließlich Kalk eingelagert. Solche fetthaltigen Herde werden atherosklerotische Plaques genannt (vgl. Rost 1995). Die Einengung der Gefäße kann zu einer Durchblutungsstörung bis hin zur Nekrose einzelner Gewebeabschnitte führen. Im fortgeschrittenen Stadium der Atherosklerose kann es zur Ausbildung instabiler Plaques kommen, die, wenn sie sich ablösen, ein thrombotisches Ereignis wie beispielsweise einen Myokardinfarkt zur Folge haben können.

Die Atherosklerose ist maßgeblich für die Manifestation von arteriellen Durchblutungsstörungen verantwortlich, die in den Industrienationen als häufigste Todesursache gelten (ca. 50%) (vgl. Thews et al. 1999). Je nach Lokalisation können verschiedene Folgeerkrankungen auftreten.

1.2.2 Folgeerkrankungen der Atherosklerose

In diesem Kapitel erfolgt eine kurze Darstellung der Epidemiologie und Pathogenese der häufigsten atherosklerotischen Folgeerkrankungen.

Annähernd ein Drittel aller Todesfälle in den westlichen Industriestaaten beruhen auf Einschränkungen der Koronardurchblutung, die klinisch unter der Bezeichnung **koronare Herzkrankheit** zusammengefasst werden (vgl. Klinke/Silbernagel 2001). Die primären atherosklerotischen Veränderungen der Koronargefäße verlaufen häufig jahrelang klinisch stumm und führen zu einer Verengung mit einer Mangel durchblutung des Herzmuskels. Dies macht sich oft erst unter körperlicher oder psychischer Belastung in charakteristischer Form als "Angina Pectoris" bemerkbar. Bei höhergradigen Veränderungen treten bereits im Ruhezustand Beschwerden auf. Infolge eines kompletten Gefäßverschlusses, beispielsweise durch ein Blutgerinnsel, das sich an der bereits stark eingengten Gefäßoberfläche ablagert, kann es zum Herzinfarkt kommen. Die Folge ist eine Nekrose des hinter dem Verschluss lokalisierten Gewebes, was im schlimmsten Fall zu lebensbedrohlichen Herzrhythmusstörungen oder zum Herzversagen führen kann. Zunehmende Gefäßverengungen können dazu führen, dass langsam mehr und mehr im peripheren Versorgungsgebiet liegende einzelne Herzmuskelfasern absterben.

„In diesem Fall mündet die KHK in eine Herzinsuffizienz, d.h. das Herz wird seiner Aufgabe als Pumpe nicht mehr gerecht“ (Rost 1995, 157).

Nach der KHK und den Krebserkrankungen sind **zerebrale Durchblutungsstörungen**, denen meist atherosklerotische Veränderungen der betreffenden Gefäße zugrunde liegen, die dritthäufigste Todesursache (vgl. Thews et al. 1999). Durchblutungsstörungen der Gehirngefäße können zu einer **Apoplexie** (Schlaganfall) oder bei einer chronischen zerebrovaskulären Insuffizienz zu einer **Multiinfarktdemenz** führen. Der Begriff Apoplexie fasst ischämische und durch Hirnblutungen bedingte Hirninfarkte zusammen (vgl. Thews et al. 1999). Überproportional häufig sind Hypertoniker betroffen.

Bei der **peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (paVK)** kommt es zu peripheren atherosklerotischen Gefäßverschlüssen vor allem der die Beine versorgenden Arterien – seltener sind die Arme betroffen (vgl. Rost 1995). Besonders häufig leiden Raucher und Diabetiker unter dieser Erkrankung. Die Mangeldurchblutung der Beinmuskulatur führt dazu, dass die Betroffenen nach nur kurzer Wegstrecke stehen bleiben müssen („Schaufensterkrankheit“). Kommt es bei fortschreitender Verschlechterung der Erkrankung zu kompletten Gefäßverschlüssen, können je nach Lage Zehen, Teile des Fußes oder ein ganzes Bein absterben.

1.2.3 Risikofaktorenmodelle

„Risikofaktoren sind spezifische Verhaltensweisen, Umwelteinflüsse und Körpermerkmale, die krankmachend auf den menschlichen Körper einwirken“ (Schettler/Mörl 1982, 57). In einigen bedeutenden epidemiologischen Studien, wie z.B. der „Framingham Heart Study“ (diverse Veröffentlichungen u.a. Tsuji et al. 1996), konnten eine Reihe von Faktoren identifiziert werden, die mit der Inzidenz der Atherosklerose statistisch korrelieren und daher in sogenannten Risikofaktorenmodellen zusammengestellt wurden. Im Falle der Atherosklerose handelt es sich um eine multifaktorielle Verflechtung, d.h. verschiedene Ursachen können zur gleichen Erkrankung führen.

Es liegen mehrere Risikofaktorenmodelle vor, die geringfügig variieren. Die American Heart Association (AHA) führt in ihrer wissenschaftlichen Stellungnahme als primäre Risikofaktoren „cigarette smoking, hypertension, high serum cholesterol and various cholesterol fractions, low levels of high density lipoprotein (HDL) cholesterol and diabetes mellitus“ sowie als sekundäre Faktoren „obesity, physical inactivity, family history of coronary heart disease, hypertriglyceridemia, small low density lipoprotein (LDL) particles, increased lipoprotein (a), increased serum homocysteine, and abnormalities in several coagulation factors“ an (Grundy et al. 1998, 1876).

Thews et al. (1999) strukturieren die Risikofaktoren in Verbindung mit den atherosklerotischen Folgeerkrankungen, mit denen sie in einem besonders engen statistischen Zusammenhang stehen (in der Reihenfolge ihrer Bedeutung):

Risikofaktoren der Koronargefäße: *1. Hyperlipoproteinämie*

2. Rauchen

3. Hypertonie

4. Diabetes mellitus

5. Hyperurikämie

Risikofaktoren der Hirngefäße: *1. Hypertonie*

2. Diabetes mellitus

3. Hyperlipoproteinämie

Risikofaktoren peripherer Arterien: *1. Rauchen*

2. Hyperlipoproteinämie

3. Diabetes mellitus

Risikofaktoren zweiter Ordnung: *1. Hyperhomocysteinämie*

2. Übergewicht

3. Bewegungsmangel

4. genetische Disposition

Inzwischen wird "körperliche Inaktivität" von vielen Autoren und Organisationen ebenfalls als bedeutender unabhängiger kardiovaskulärer Risikofaktor anerkannt (Fletcher et al. 1996; Grundy et al. 1998; NIH 1996; Snell/Mitchell 1999). Nach vorsichtigen Schätzungen folgern Powell/Blair (1994), dass jeder dritte Todesfall, verursacht durch KHK, Brustkrebs und Diabetes, auf körperliche Inaktivität zurückzuführen ist und bei einem nur geringen Anstieg der Aktivität in der Bevölkerung Amerikas eine Senkung der Gesamtsterblichkeit von 1-1,5% möglich wäre.

Die Unterschiede der verschiedenen Modelle zeigen, dass eine endgültige Klärung der Kausalitäten in Bezug auf die Manifestation der Atherosklerose nicht gegeben ist. Erschwerend machen sich Wechselwirkungen zwischen einzelnen Risikofaktoren bemerkbar. Beispielsweise wird vermutet, dass sich die Faktoren Bluthochdruck, Übergewicht und Diabetes gegenseitig bedingen oder verstärken können (vgl. Booth et al. 2000; Grundy et al. 1999). Generell wird wiederholt die statistische Absicherung der Modelle angezweifelt: Kritisiert wird die schwache Repräsentativität der Ergebnisse vieler

epidemiologischen Studien, die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Länder und die Verwendung unterschiedlicher Erhebungs- und Auswertungsmethoden (vgl. Knoll 1997). Da inzwischen jedoch eine Fülle unterschiedlicher Studien zu dieser Thematik vorliegt und den vorgebrachten Einwänden teilweise Rechnung getragen wurde, scheint das Risikofaktorenmodell wissenschaftlich ausreichend begründet, um Ansatzpunkte für gezielte Interventionsmaßnahmen zu bieten.

Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich auf eine Betrachtung modifizierbarer Faktoren, da nur solche Faktoren präventives Potenzial aufweisen. Die Pathogenese, Grenzwerte und Häufigkeit dieser Faktoren in der Bevölkerung werden zum besseren Verständnis kurz skizziert.

1.2.3.1 Übergewicht (Adipositas)

Übergewicht begünstigt die Entstehung einiger Risikofaktoren wie Bluthochdruck, Diabetes oder Fettstoffwechselstörungen und wird daher zuweilen auch lediglich als “Risikofaktor zweiter Ordnung“ oder “Risikoindikator“ bezeichnet. „Strong epidemiological and metabolic data demonstrate that obesity contributes to a number of medical conditions: insulin resistance, glucose intolerance, diabetes mellitus, hypertension, dyslipidemia, hyperuricemia ...“ (Grundy et al. 1998, 506). Menschen mit Übergewicht leiden demzufolge überdurchschnittlich häufig unter Atherosklerose und ihren Folgekrankheiten (vgl. Schmidt et al. 2000). Nach Klink/Silbernagel (2001) spricht man ab einem “Body Mass Index“ (BMI) $> 30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ von einer Adipositas mit einer signifikanten Erhöhung des atherosklerotischen Risikos. Andere Autoren definieren bereits einen BMI $> 25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ als mäßiges Übergewicht (Grundy et al. 1998; Grundy et al. 1999; Thews et al. 1999). Laut des “National Health and Nutritional Examination Survey“ (1988-1994) sind 54,9% der erwachsenen Amerikaner mäßig übergewichtig (BMI $> 25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) (Grundy et al. 1999). Dies führt nicht nur zu einer erhöhten Morbidität und Mortalität, sondern verursacht auch erhebliche Kosten. Grundy et al. ermittelten in den USA aus dem statistischen Zusammenhang mit diversen Erkrankungen direkte Kosten von 70 Milliarden Dollar, die durch Übergewicht verursacht werden (vgl. Grundy et al. 1999). Aktuelle Schätzungen gehen von 75 Milliarden Dollar aus (vgl. Mokdad et al. 2004). In Deutschland sind im mittleren Erwachsenenalter 70% der Männer mäßig übergewichtig – bei ca. 20% liegt eine Adipositas vor (vgl. Huonker et al. 1998). Das Robert-Koch-Institut Berlin geht von Krankheitskosten der Adipositas in der Größenordnung von 3,1–5,5% des gesamten Gesundheitsetats aus (vgl. Nething et al. 2006). Als Hauptursache der in den

letzten Jahrzehnten zunehmenden Häufigkeit der Adipositas gelten Umwelt- und Verhaltensänderungen aufgrund des technologischen Fortschritts (vgl. Klink/Silbernagel 2001). Eine Steigerung der Energieabgabe, z.B. durch Ausdauertraining und/oder eine Einschränkung der Energieaufnahme sollte folglich eine Senkung des Körpergewichts ermöglichen.

1.2.3.2 Hypertonie

Liegen die Blutdruckwerte bei wiederholten Messungen oberhalb des Normbereichs, spricht man von Hypertonie (vgl. Schmidt et al. 2000). Nach Definition der WHO (1999) und des ACSM (2004) liegt ab einem Blutdruck von 140/90 mmHg eine Hypertonie vor. Die AHA empfiehlt entsprechend die Einleitung einer Behandlung bei Überschreitung dieser Grenzwerte (vgl. Grundy et al. 1998).

Hypertonie ist ein Risikofaktor für die Atheroskleroseentstehung und somit assoziiert mit einer höheren Gesamtmortalität und einer höheren Inzidenz der Herz-Kreislauf-Erkrankungen, des Herzinfarktes, der KHK und der paVK (vgl. ACSM 2004). Man unterscheidet generell primäre essenzielle Hypertonien (90-95%) und sekundäre symptomatische Hypertonien (5-10%). Die essenzielle Hypertonie ist ein multifaktorielles Leiden. Neben genetischen Faktoren werden ätiologische Faktoren, wie z.B. eine gesteigerte Aktivität des Sympathikus oder psychosoziale Faktoren als ursächlich diskutiert (vgl. Jessup et al. 1998; Seals/Hagberg 1984). Symptomatische Hypertonien treten z.B. als Folge von Erkrankungen des Nierenparenchyms oder kardiovaskulären Erkrankungen auf. In den Industriestaaten leiden 5-20% der Bevölkerung an einer Hypertonie. An den lokal geschädigten Bereichen lagern sich verschiedene Substanzen ab. Dadurch kommt es zu atherosklerotisch bedingten Einschränkungen des Gefäßdurchmessers. Die Behandlung sieht Medikationen und Allgemeinmaßnahmen wie Diät und körperliche Aktivität vor. Diverse Studien zeigten, dass eine Drucksenkung tatsächlich auch zu einer Senkung des KHK-Risikos führt (vgl. Grundy et al. 1998).

1.2.3.3 Fettstoffwechselstörungen (Hyperlipoproteinämie)

Bei den Hyperlipoproteinämien treten erhöhte Mengen zirkulierender Lipoproteine auf. Der häufigste Erkrankungstyp, die Hypercholesterinämie, ist charakterisiert durch eine erhöhte Konzentration von LDL-Chol. sowie manchmal VLDL-Chol. ("very low density lipoprotein") und durch einen Anstieg der Plasmacholesterinkonzentration. Diese Erkrankung tritt sowohl ererbt als auch in erworbener Form auf und ist begleitet von einer frühzeitigen schweren Atherosklerose (vgl. Klink/Silbernagel 2001).

Die Hyperlipoproteinämien gelten als bedeutsamer Risikofaktor in der Entwicklung der Atherosklerose und der KHK (vgl. Tran/Weltman 1985). Schmidt et al. (2000) definieren einen Warnbereich bei einem Gesamt-Cholesterinwert (Chol_{ges}) zwischen $200\text{-}250\text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ und sprechen ab einem Wert von über $250\text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ von einer behandlungsbedürftigen Hypercholesterinämie. Erhöhtem LDL-Chol. wird ebenfalls eine gefäßschädigende Wirkung zugesprochen (vgl. Tran et al. 1983). Nach Definition der AHA gilt bei nur einem Risikofaktor ein LDL-Wert von $160\text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ und bei Existenz von zwei oder mehr Risikofaktoren ein Wert von $130\text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ als behandlungsbedürftig (Pearson et al. 2002). Die Unterfraktion HDL-Chol. wird dagegen als gefäßprotektiv angesehen: „Based primarily on the results of observational studies, a consensus exists that plasma high density lipoprotein has antiatherogenic properties with its concentration inversely related to risk of coronary heart disease“ (Leon et al. 2002, 1). HDL transportiert Chol. von den Gefäßwänden der Arterien zur Leber, um es zur Energiegewinnung einzusetzen oder auszuscheiden (vgl. Tran et al. 1983). Das „National Cholesterol Education Program“ (NCEP) definiert einen HDL-Chol.-Wert von unter $40\text{ mg}/\text{dl}$ als grenzwertig (NCEP 2001).

Apolipoprotein A-1 (Apo A-1) ist eine wesentliche Proteinkomponente der gefäßprotektiven HDL₂-Subfraktion und korreliert signifikant mit diesem Parameter (Kullmer/Kindermann 1985). Über die Konzentration von Apo A-1 kann somit die HDL₂-Konzentration abgeschätzt werden (Kullmer et al. 1985).

Apolipoprotein B (Apo B) ist die Hauptproteinkomponente des LDL-Chol. und somit ein Risikoindikator. In epidemiologischen Untersuchungen wurde ein Zusammenhang zwischen Apo B und Faktoren des Metabolischen Syndroms (Sattar et al. 2004) sowie der KHK (Lee et al. 2006) festgestellt.

Hypertriglyzeridämie (Konzentration der Triglyzeride (TG) $>150\text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ (vgl. Pearson et al. 2002) tritt häufig in Verbindung mit dem „Metabolischen Syndrom“ auf und scheint ebenfalls atherosklerosefördernd zu wirken (vgl. Eriksson et al. 1997; Whaley et al. 1999).

Neben der genetischen Prädisposition können Fettstoffwechselstörungen auch durch eine zu kalorien- und fettreiche Ernährung verursacht werden. Abgesehen von medikamentösen Therapien und Allgemeinmaßnahmen (z.B. Einschränkung der Kalorienzufuhr), wirkt sich scheinbar auch körperliches Training positiv auf den Fettstoffwechsel aus. Eine Senkung von Übergewicht und regelmäßige körperliche Aktivität soll besonders günstige Effekte auf diverse Fettstoffwechselfparameter haben (vgl. Grundy et al. 1998).

1.2.3.4 Hyperhomocysteinämie

Homocystein (Hcy) ist ein Metabolit des Methionin-Kreislaufs und hat neben den Redox- und Entgiftungsfunktionen durch Glutathion auch Stoffwechselbedeutung in der Synthese einiger vital bedeutender Verbindungen wie z.B. Adrenalin/Noradrenalin. Von einer Hyperhomocysteinämie, die u.a. durch Enzymdefekte oder mangelnde Verfügbarkeit von Folat oder Serin entsteht, spricht man bei Werten über $14 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$. Inzwischen wurde die Hyperhomocysteinämie in einigen epidemiologischen Studien als Risikofaktor für kardiovaskuläre Erkrankungen identifiziert (vgl. Weiß 2003). Die AHA kommt zu der Schlussfolgerung, dass erhöhte Hcy-Werte mit der KHK-Morbidität assoziiert sind (vgl. Grundy et al. 1998). Boushey et al. (1995) werteten in einer Meta-Analyse 27 Studien zum Zusammenhang zwischen Hcy und kardiovaskulären Erkrankungen aus und gelangten zu dem Ergebnis, dass die Hyperhomocysteinämie als unabhängiger Risikofaktor zu betrachten ist. Etwa 10% des KHK-Risikos der Gesamtpopulation sollen auf den Hcy-Spiegel zurückzuführen sein.

Erhöhte Hcy-Konzentrationen fördern die Atheroskleroseentwicklung entweder durch toxische Wirkungen auf das Endothel der Gefäße oder durch einen förderlichen Einfluss auf die Blutgerinnung, die thromboembolische Komplikationen an der Endotheloberfläche zur Folge haben können.

1.3 Trainingseffekte eines präventiven Ausdauertrainings

1.3.1 Wissenschaftliche Basis

Mitte der 50er Jahre konnten erstmals bedeutsame **epidemiologische Studien** einen Zusammenhang zwischen dem wöchentlichen Kalorienverbrauch infolge körperlicher Aktivität und der KHK-Morbidität bzw. -Mortalität nachweisen. Morris et al. (1953) stellten bei Beschäftigten des Transportgewerbes in London fest, dass körperlich inaktive Busfahrer eine höhere KHK-Inzidenz aufwiesen als die zwangsläufig aktiveren Schaffner in den Doppeldecker-Bussen. Die als klassisch zu bezeichnende "Framingham-Heart-Study" (Kannel/Sorlie 1979), belegte anhand von Anamnese-Fragebogen einen inversen Zusammenhang zwischen dem Umfang körperlicher Aktivität und der Morbidität bzw. Mortalität der KHK. Diese Ergebnisse wurden durch Paffenbarger et al. (1986) in der "harvard college alumni study" bestätigt und erweitert: „Data on habitual walking, stairclimbing, and leisure-time sports were used to compile a physical activity index of energy output in kilocalories per week. In numerous analyses the index has related inversely to cardiovascular disease and all-cause mortality, and directly to longevity“

(Paffenbarger et al. 1993, 65). Diese Sachverhalte konnten, wie Paffenbarger Jr. resümiert, durch zahlreiche Studien mit unterschiedlichen Gruppen untermauert werden: „This has been found true of physical activity versus CHD in an array of scores of epidemiological studies, i. e. the British civil servants, the MRFIT study population, the Tecumseh Heart Study, the San Francisco longshoremen, the Iowa farmers and among Finns, Swedes, Danes, Israelis, Dutch, Germans, Belgians, Puerto Ricans, New Zealanders, Japanese-Americans, and others“ (Paffenbarger 1988, 428). Weitere epidemiologische Studien wie z.B. das “Stanford Five-City Project“ (Young et al. 1993) konnten ergänzend einen positiven Zusammenhang zwischen Veränderungen des Aktivitätsniveaus und Veränderungen des Risikofaktorenprofils nachweisen.

Die Qualität epidemiologischer Ausdauerstudien wird jedoch häufig durch die unpräzise Erfassung der körperlichen Aktivität über Fragebogen geschwächt (vgl. Huang et al. 1998). In der Regel wird die Ausgestaltung der sportlichen Betätigung auch nicht kontrolliert. Ferner ist die Aussagekraft epidemiologischer Studien durch das Dilemma einer unklaren Zuordnung von Ursache und Wirkung eingeschränkt. Sehr häufig wird z.B. bei KHK-Patienten eine höhere Verbreitung eines inaktiven Lebensstils berichtet als bei gesunden Personen und daraus ein direkter statistischer Zusammenhang abgeleitet. Dies muß aber nicht notwendigerweise auf einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang schließen lassen, da die Inaktivität evtl. auf frühe Krankheits-Symptome zurückgeht oder andere charakteristische Merkmale, die mit der Inaktivität assoziiert sind (z.B. Übergewicht), die unmittelbare Krankheitsursache sind (vgl. Paffenbarger et al. 1993).

Die beschriebenen Vorbehalte bei epidemiologischen Studien werden auch gegen sogenannte **Querschnittstudien** vorgebracht, die einen Zusammenhang zwischen der Ausdauerleistungsfähigkeit und der Ausprägung atherosklerotischer Risikofaktoren zeigten. Whaley et al. (1999) ermittelten z.B. bei 15537 Männern und 3899 Frauen eine statistische Verbindung zwischen kardiovaskulären Risikofaktoren (u.a. Blutdruck und TG) und der Belastungszeit auf dem Laufband. Carrol et al. (2000) überprüften bei 711 Männern mittleren Alters die Beziehungen zwischen körperlicher Aktivität (gemessen durch standardisierte Fragebogen/Interviews) und der Ausprägung von Risikofaktoren (Blutlipide, Blutdruck und BMI). Es konnte ein Dosis-abhängiger inverser Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und der Ausprägung einiger Risikofaktoren festgestellt werden. Twisk et al. (2000) konnten bei 181 Probanden, die mehrfach untersucht wurden, ein günstigeres KHK-Risikofaktoren-Profil bei den aktiveren Personen bzw. den Personen mit einer höheren VO_{2max} feststellen.

Kontrollierte **Längsschnittstudien** weisen das höchste Evidenzniveau auf (vgl. Pearson et al. 2002). Zur Bedeutung des Ausdauertrainings in der Prävention liegt eine kaum zu überblickende Anzahl von Längsschnittstudien vor. Viele Studien konnten eine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit und eine Senkung von Risikofaktoren belegen. Bonanno/Lies (1974) konnten z.B. bei 39 Probanden eine signifikante Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit (VO_{2max} und physical work capacity (PWC)) nachweisen. Seals/Chase (1989) stellten nach elfwöchigem Training bei 19 Probanden eine signifikante Verbesserung der VO_{2max} und eine Senkung der Ruhe-Herzfrequenz, des Körpergewichts und des Körperfettanteils fest. Von besonderer Bedeutung ist aktuell die "HERITAGE-Family-Study", die einige Veröffentlichungen nach sich zog. In der Arbeit mit der höchsten Probandenzahl (n-Zahl) unterzogen sich 675 Untrainierte einem 20-wöchigen Training mit progressiv ansteigender Intensität, ohne dass jedoch eine Kontrollgruppe geführt wurde. Das Training resultierte u.a. in einer Verbesserung der VO_{2max} (n=614) (Skinner et al. 2000), einer Verringerung der HF und des syst. und diast. Blutdrucks in Ruhe und bei submaximaler Belastung (50 Watt; n=507) (Wilmore et al. 1996; Wilmore et al. 2001) sowie einer signifikanten Erhöhung des HDL-Chol. (n=675) (Leon et al. 2002).

In zahlreichen **Reviews** mit unterschiedlichen Schwerpunkten wurde immer wieder der Versuch unternommen den Forschungsstand zusammenzufassen. Fletcher et al. (1996) und Grundy et al. (1998) nehmen beispielsweise Stellung zur Bedeutung eines Ausdauertrainings bei der primären Prävention klassischer und aktuell in der Diskussion stehender sekundärer Risikofaktoren. Das ACSM veröffentlichte einige Stellungnahmen, die sich generell mit der Ausgestaltung und Wirksamkeit eines präventiven Ausdauertrainings befassen (ACSM 1990; ACSM 1998) und einige Arbeiten, die sich speziellen Schwerpunkten wie z.B. der Prävention von Übergewicht (ACSM 1999; ACSM 2001), Hypertonie (ACSM 2004) oder Diabetes Typ 2 (ACSM 2000) widmen. Weiterhin liegen Reviews vor, die sich mit den Trainingswirkungen auf leistungsphysiologische Parameter befassen (Bassett/Howley 2000; Coggan 1997; Hamilton/Booth 2000; Holloszy/Coyle 1984; Paterson/Cunningham 1999).

Meta-Analysen werten mit statistischen Methoden zahlreiche Einzelstudien zu einem Themengebiet bzw. zu einem Zielparameter aus, um ein Gesamtfazit des aktuellen Forschungsstandes ziehen zu können. Die hohen Studien- und n-Zahlen verleihen Meta-Analysen ein hohes statistisches Gewicht. Daher wird diesen Arbeiten allgemein große Bedeutung zugemessen. Kritisch betrachtet werden müssen allerdings die oft deutlichen Unterschiede in der methodischen

Qualität der Einzelstudien und die Zusammenfassung von Studien, die etwas unterschiedliche Treatments oder Zielgruppen untersuchten. Es liegen Meta-Analysen zur körperlichen Aktivität in der KHK-Prävention (Berlin/Colditz 1990) und zu einigen Zielparametern wie z.B. den Blutlipiden (Berlin/Colditz 1990; Lokey/Tran 1989; Tran/Weltman 1985; Tran et al. 1983), dem Blutdruck (Fagard 2001; Kelley/Tran 1995), der VO_{2max} (Fitzgerald et al. 1997), der Ruhe-Herzfrequenz (Huang et al. 2005) und den Laktat- bzw. ventilatorischen Schwellen (Londeree 1997) vor.

1.3.2 Leistungsphysiologische Effekte eines Ausdauertrainings

In der Literatur dominieren Stellungnahmen zu den positiven Effekten eines präventiven Ausdauertrainings auf Risikofaktoren bzw. Gesundheitsindikatoren. Daneben sollten die Trainingswirkungen auf Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit jedoch nicht vernachlässigt werden. Obwohl im präventiven Bereich keine Maximierung der Leistungsfähigkeit wie im Spitzensport angestrebt wird, ist eine Steigerung wichtiger leistungsphysiologischer Parameter wie z.B. der HF- und Laktat-Leistungskurve oder der VO_{2max} durchaus möglich und bedeutend. Die kardiale Belastung wird reduziert und dadurch die Sauerstoffversorgung des Myokards verbessert (vgl. Hollmann et al. 1981). Eine Steigerung der beschriebenen leistungsphysiologischen Parameter und damit der körperlichen Leistungsfähigkeit versetzt das Individuum außerdem in die Lage, die Anforderungen des Alltags in ihrer gesamten Breite besser zu bewältigen. Die erhöhte Leistungsfähigkeit im Beruf und die erweiterten Möglichkeiten in Bezug auf die Freizeitgestaltung tragen zu einer Verbesserung der Lebensqualität bei.

1.3.2.1 Maximale Sauerstoffaufnahme

Die VO_{2max} gilt als "Bruttokriterium" der kardiopulmonalen Ausdauerleistungsfähigkeit (vgl. Hollmann et al. 1985; Howley et al. 1995) und wird in fast jeder Trainingsstudie als Zielparameter angeführt. Definiert ist die VO_{2max} "...as the highest rate at which oxygen can be taken up and utilized by the body during severe exercise" (Bassett/Howley 2000, 70). Erfasst wird dieser Parameter mittels einer simultan während eines Belastungstests durchgeführten Atemgasanalyse. Häufig wird in Trainingsstudien mit einem Anstieg dieses Wertes die Existenz eines Trainingseffektes dokumentiert. Die weit verbreitete Gleichsetzung der VO_{2max} mit der kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit wird aber von einigen Autoren kritisiert (Ahmaidi et al. 1998; Meyer et al. 1999). Davis et

al. (1979, 1039) stellten erhebliche Diskrepanzen zwischen der VO_{2max} und der Leistungsfähigkeit in Ausdauerwettkämpfen fest: „...yet individuals with similar VO_{2max} values often perform quite differently in endurance events“. Yoshida et al. (1990) resümieren nach Durchsicht einiger Querschnittstudien, dass sich Unterschiede in der tatsächlichen Ausdauerleistungsfähigkeit eher durch Laktat-Schwellen als durch die VO_{2max} identifizieren lassen. Auch Sjödin et al. (1982) stellten Abweichungen zwischen den Verbesserungen der VO_{2max} und den Verbesserungen submaximaler Parameter fest und vermuten eine engere Assoziation der Ausdauerleistungsfähigkeit mit submaximalen Parametern wie der HF- oder der Laktat-Leistungskurve.

1.3.2.2 Herzfrequenz-Leistungskurve

Die simultan während eines Belastungstests aufgezeichnete HF-Leistungskurve gilt in der Sportmedizin als bedeutender leistungsdiagnostischer Parameter. „A decline in physiological response (e.g., heart rate) to a fixed rate of external work (160 watts of cycle ergometry) suggests a classic training effect“ (Holly/Schaffrath 1998, 441). Eine Verringerung der Herzfrequenz in Ruhe (HF_{Ruhe}) und bei submaximaler Belastung (HF_{submax}) kann im Sinne einer Erhöhung der Ausdauerleistungsfähigkeit interpretiert werden. Zurückzuführen sind die Effekte auf eine Verbesserung der peripheren Sauerstoffausschöpfung und auf zentrale Adaptationen des Herz-Kreislauf-Systems mit einer Erhöhung des Schlagvolumens. Die periphere Sauerstoffausschöpfung wird durch eine Vergrößerung der Energiespeicher Adenosintriphosphat (ATP) und Kreatinphosphat (KRP), des Myoglobins, eine Zunahme oxidativer Enzyme, eine Erhöhung der Mitochondrienanzahl und des Mitochondrienvolumens sowie evtl. durch eine verbesserte Kapillarisation erhöht. Die zentralen Adaptationen sind von Dauer, Intensität und Art des Ausdauertrainings abhängig. Nach Kindermann (1991) entwickeln sich die Anpassungserscheinungen durch körperliches Training stufenweise.

Ein allgemeines Ausdauertraining führt zunächst zu **funktionellen Adaptationen des Herz-Kreislauf-Systems**. Vanhees et al. (1992) berichten eine Erhöhung des Schlagvolumens, die für ein erforderliches Herzminutenvolumen eine Verringerung der HF ermöglicht und damit auch zu einer Senkung des kardialen Sauerstoffverbrauchs führt. „Die Zunahme des Schlagvolumens ohne gleichzeitige Herzvergrößerung wird durch eine Vergrößerung des enddiastolischen Volumens und eine Verkleinerung des endsystolischen Volumens, auch Restblut genannt, ermöglicht“ (Kindermann 1983, 20). Dabei spielt die trainingsinduzierte Expansion des Blutvolumens,

ein entsprechend verstärkter venöser Rückstrom und eine verbesserte diastolische Funktion infolge beschleunigter isovolumetrischer Relaxation oder frühdiastolischer Füllungsgeschwindigkeit eine bedeutende Rolle (vgl. Kindermann 1991). Für die Verringerung des endsystolischen Volumens ist eine Senkung des Auswurfwiderstands und des arteriellen Drucks maßgebend. Ferner führt Ausdauertraining zu einem verminderten sympathischen Antrieb und in der Folge einer Ökonomisierung der Herzarbeit.

Längeres umfangreiches Ausdauertraining (Leistungssport) ermöglicht dann auch **strukturelle Adaptationen** (Sportherz) im Bereich des Herz-Kreislauf-Systems, die zu einer weiteren Senkung der HF_{submax} und der HF_{Ruhe} führen. „Das vergrößerte Sportherz weist eine Vergrößerung aller vier Herzhöhlen (regulative Dilatation) und eine vermehrte Muskelmasse mit Zunahme der Wanddicke (physiologische Hypertrophie) auf“ (Kindermann 1983, 15). Brandao et al. verglichen in ihrer Querschnittstudie die Ausprägung kardialer Parameter bei Ausdauertrainierten und Untrainierten: „...our data show that exercise training significantly increased end-diastolic dimension, posterior wall thickness, interventricular septum, and left ventricular mass“ (Brandao et al. 1993, 1994). Scharhag et al. (2003) konnten mittels Echokardiografie und Magnetresonanztomografie bei Ausdauertrainierten auch deutlich höhere linksventrikuläre Muskelmassen feststellen als bei Untrainierten. Die genannten Adaptationen führen dazu, dass der Ausdauertrainierte über eine höhere Leistungsreserve verfügt. Es sei jedoch betont, dass diese Adaptationen nur durch ein leistungssportliches Training und nicht durch ein präventiven Training zu erzielen sind.

1.3.2.3 Laktat-Leistungskurve und 1,5 mmol-Schwelle

Die **Laktat-Leistungskurve** und die sogenannte **1,5-mmol-Schwelle**¹ (**Schw._{1,5}**) dienen in dieser Studie als wichtige leistungsphysiologische Steuerungs- und Zielparameter. Die beschriebene Laktat-Schwelle wurde in leicht modifizierter Form (Basislaktat + 1) von einigen amerikanischen Arbeitsgruppen verwendet (Coyle et al. 1983; Hagberg/Coyle 1983). Auf deutscher Seite wird das Verfahren zur Bestimmung dieser Schwelle erstmals von Dickhuth et al. (1991) beschrieben. Die Tauglichkeit der Schwelle in der Leistungsdiagnostik konnte durch einige Autoren untermauert werden (Röcker

¹ Zu einem Basislaktatwert (Belastungsintensität, bei der erstmals ein Anstieg der Laktatkonzentration feststellbar ist) werden $1,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ addiert (vgl. Kap. 2.2.6). Die entsprechende Herzfrequenz eines Probanden wird zur Steuerung der Trainingsintensität verwendet.

et al. 1997; Röcker et al. 1998; Simon et al. 1992) und schließlich wurde sie auch in einigen Studien verwendet (Röcker et al. 2003; Schmidt et al. 1993). Die genannten submaximalen Parameter scheinen bessere Indikatoren zur Quantifizierung von Trainingsfortschritten als die Maximalparameter zu sein, da sie von evtl. Störfaktoren (Motivation, Testprotokoll etc.) weitgehend unbeeinflusst sind. Nicht zuletzt sind submaximale metabolische Parameter enger als die VO_{2max} mit der Wettkampfleistung assoziiert (vgl. Kap. 1.3.2.1). Insbesondere die diversen Laktat-Schwellen werden gemeinhin als akkurate Indikatoren der Ausdauerleistungsfähigkeit betrachtet. Sie ermöglichen eine zielsichere und schnelle Diagnose und dienen als wertvolle Werkzeuge bei der Steuerung von Trainingsbelastungen (vgl. Pierce et al. 1990).

Zahlreiche Längsschnittstudien berichten nach einem allgemeinen aeroben Ausdauertraining im Belastungstest eine Absenkung der Laktatwerte auf identischen Belastungsstufen (Bergman et al. 2000; Bergman et al. 1999; Hartard et al. 2000; Karlsson et al. 1972; MacRae et al. 1992; Seals et al. 1984b; Sjödin et al. 1982; Yerg et al. 1985; Yoshida et al. 1982; Yoshida et al. 1990). Dafür werden überwiegend periphere Adaptationen verantwortlich gemacht (vgl. Bergman et al. 2000; Bergman et al. 1999; Favier et al. 1986; Gaesser et al. 1984; Hollmann/Hettinger 2000; Holloszy/Coyle 1984; Hurley et al. 1984; Karlsson et al. 1972; MacRae et al. 1992; Seals et al. 1984b; Sjödin et al. 1982; Yoshida et al. 1982; Yoshida et al. 1990).

1.3.3 Effekte eines Ausdauertrainings auf kardiovaskuläre Risikofaktoren

1.3.3.1 Übergewicht/Körperfettanteil

Eine Senkung des **Körpergewichts** kann durch eine Verringerung der Energieaufnahme oder eine Steigerung der Energieabgabe erreicht werden. Besonders erfolgversprechend ist nach derzeitigem Wissen eine Kombination aus beiden Strategien (vgl. ACSM 1998). Der Einfluss körperlicher Aktivität darf nicht überschätzt werden, da der Energieverbrauch durch gesundheitssportliche Betätigung durchschnittlich nur 10 kcal/min beträgt und selten 15 kcal/min übersteigt (vgl. Kindermann 1991). Zusätzlich zum Energiemehrverbrauch während der Belastung, wirkt sich aber auch der Anstieg des Grundumsatzes nach körperlicher Aktivität günstig aus, der bis zu 24 h nach der Belastung andauern kann. Ferner gibt es Hinweise darauf, dass durch körperliche Aktivität Größe und Anzahl der Fettzellen verringert wird (vgl. Oscai et al. 1972) und die Insulinsensibilität des Gewebes ansteigt (vgl. Lampman/Schteingart 1991; Manetta et al. 2002; Mayer-Davies et al. 1998).

Neben evtl. Körpergewichts-Senkungen stehen insbesondere die Veränderungen des **Körperfettanteils** im Mittelpunkt des Interesses, da dieser Parameter ebenfalls mit dem KHK-Risiko assoziiert ist (vgl. Hunter et al. 1997) und viele Personen eine Senkung aus kosmetischen Gründen anstreben. Es existieren verschiedene Bestimmungsmethoden. Als Referenzmethode bzw. Gold-Standard gilt das hydrostatische Wiegen, das jedoch zeitaufwändig und teuer ist (vgl. Broeder et al. 1997; Herm 2003). Dies gilt auch für bildgebende Verfahren wie die Magnetresonanztomografie. Vorteilhaft erscheint dagegen die Kalipermetrie (KAL), bei der an verschiedenen Körperstellen durch Abheben der Haut die doppelte Hautfalte gemessen wird und so ein verhältnismäßig großer Anteil des gesamten Körperdepotfetts Berücksichtigung findet. „Diese Methode ist kostengünstig und mit einem Messfehler von 3% hinreichend genau“ (Herm 2003, 153). Da jedoch bei übergewichtigen Personen der Messfehler stark ansteigt, wurde ergänzend auch die bioelektrische Impedanz-Analyse (BIA) durchgeführt. Während einige Autoren dieser Methode eine gute Eignung zusprechen (Neves/Souza 2000; Utter et al. 1999), bewertet die Mehrzahl der Autoren diese Methode kritisch (Andreoli et al. 2002; Broeder et al. 1997; Herm 2003; Liang et al. 2000; Swan/McConnell 1999). In Studien bei denen gut validierte Methoden als Vergleichskriterien fungierten, wurde eine unzureichende Messgenauigkeit der BIA ermittelt (Andreoli et al. 2002; Broeder et al. 1997; Liang et al. 2000; Swan/McConnell 1999). Kritisch angemerkt wird eine Nichtberücksichtigung regionaler Fettdepots durch die Methode (Swan/McConnell 1999) sowie eine Beeinflussung der Ergebnisse durch Schwankungen des Wasserhaushaltes (Herm 2003) und der Hauttemperatur bzw. Hautdurchblutung (Liang et al. 2000). Durch eine Standardisierung der Raumtemperatur und der Flüssigkeitsaufnahme sollte aber eine Erhöhung der Genauigkeit möglich sein.

1.3.3.2 Blutdruck

Zahlreiche Längsschnittstudien konnten bei Hypertonikern und Normotensiven infolge eines allgemeinen Ausdauertrainings eine Senkung des syst. und/oder des diast. **Ruheblutdruck (RR_{Ruhe})** zeigen (Bonanno/Lies 1974; De Geus et al. 1992; Murphy et al. 2002; Nho et al. 1998; Patyna 1983; Suter et al. 1990; van Hoof et al. 1989; Wilmore et al. 2001). Es liegen jedoch auch einige wenige Studien vor, bei denen infolge eines umfangreichen Ausdauertrainings keine blutdrucksenkende Wirkung beobachtet werden konnte (Gilders et al. 1989; Vanhees et al. 1992).

Mehrere Überblicksartikel (Fagard 1985; Keul et al. 1989; Seals/Hagberg 1984) und umfassende Meta-Analysen (Fagard 2001; Kelley/Tran 1995)

bestätigen eine blutdrucksenkende Wirkung von Ausdauertraining. Eine moderate Senkung des diast. und syst. Blutdrucks durch ein Ausdauertraining kann somit angenommen werden.

Verschiedene Mechanismen der trainingsinduzierten Blutdrucksenkung stehen in der Diskussion. Seals/Hagberg (1984) vermuten eine chronische Vasodilatation und/oder bei Personen mit hyperkinetischer Zirkulation eine Blutdrucksenkung infolge der HF_{Ruhe} -Senkung und damit der Normalisierung des vorher erhöhten Herzzeitvolumens. Keul et al. äußern sich zu diesem Thema wie folgt: „Die Zunahme der Insulinempfindlichkeit bei Senkung der erhöhten Insulinspiegel durch Körperarbeit und die dadurch bedingte verminderte Na-Rückresorption sowie die Verstärkung des Vagotonus bei abgeschwächtem sympathischen Antrieb sind wahrscheinlich im wesentlichen für die Blutdrucksenkung verantwortlich“ (Keul et al. 1989, 208). Kindermann (2003) geht mit diesen Vermutungen konform und erwähnt zusätzlich die verstärkte Freisetzung vasodilatierender Substanzen und den Abfall von Renin.

1.3.3.3 Fettstoffwechsel

Der menschliche Körper bezieht die benötigte Energie im Ruhezustand und während körperlicher Belastung jeweils zum Teil aus Kohlenhydraten und zu einem anderen Teil aus Fetten. Während körperlicher Belastung wird die anteilige Energiebereitstellung aus diesen beiden Nährstoffen durch die Gestaltung der Belastung (Intensität und Dauer) beeinflusst. Da die Glykogenspeicher in Muskulatur und Leber begrenzt sind, wird insbesondere bei lange dauernden Belastungen die Oxidation von Fetten zur Energiegewinnung immer wichtiger. Die Fettsäuren stammen aus den Fettgeweben, von zirkulierenden TG oder aus intramuskulären TG-Speichern. Nach der Lipolyse müssen die Fettsäuren aus dem Fettgewebe durch das Blut zur Muskulatur transportiert werden (vgl. Jeukendrup et al. 1998a). Dieser Transport wird mittels verschiedener Lipoproteine gewährleistet (VLDL, LDL und HDL) (vgl. Jeukendrup et al. 1998a).

1.3.3.3.1 Oxidation von Fetten

Nach vorherrschender Lehrmeinung hat regelmäßige körperliche Aktivität einen günstigen Einfluss auf den Fettstoffwechsel. Infolge eines Ausdauertrainings soll bei submaximaler Belastung der Anteil der Fettoxidation an der Gesamt-Energiebereitstellung höher sein. Turcotte et al. (1992) konnten in einer Querschnittuntersuchung bei trainierten Personen während einer längeren submaximalen Belastung eine höhere Nutzung freier Fettsäuren zur Energiebereitstellung im Vergleich zu einer untrainierten

Vergleichsgruppe feststellen. Einige Interventionsstudien bestätigen einen höheren Anteil der Fettoxidation am Gesamtumsatz nach einem Ausdauertraining (Friedlander et al. 1998; Hoppeler et al. 1985). Kristiansen et al. (2000) gelangen auf der Basis mehrerer Längsschnittstudien entsprechend zu der Auffassung, dass Ausdauertraining auf identischen *absoluten* Belastungsstufen zu einer Verlagerung bei der Energiebereitstellung von Kohlenhydraten zu Fetten führt. Jeukendrup et al. (1998b) folgern ergänzend nach Durchsicht von sechs Studien einen höheren Fettanteil am Energiegesamtumsatz auch bei identischer *relativer* Belastungsintensität.

1.3.3.3.2 Lipide und Lipoprotein-Metabolismus

Weitere bedeutende Trainingswirkungen auf den Lipid- und den Lipoprotein-Metabolismus werden seit Jahrzehnten diskutiert und intensiv untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass regelmäßige körperliche Aktivität günstige Einflüsse auf die Serum-Lipide und die Konzentration der Lipoproteine hat. Insbesondere eine Senkung des Chol_{ges}, der TG-Konzentration und des LDL-Chol. sowie ein Anstieg des HDL-Chol. erscheint möglich (vgl. Tran et al. 1983). Eine Beeinflussung von Apo A-1 und Apo B ist umstritten. Kullmer/Kindermann (1985a; 1985b) konnten in einer Querschnittuntersuchung keine direkte Assoziation zwischen der Ausdauerleistungsfähigkeit und Apo A-1 bzw. Apo B feststellen.

1.3.3.4 Homocystein

Nur wenige Studien befassten sich bis dato mit den akuten und chronischen Trainingseinflüssen auf den Hcy-Plasmaspiegel. Akut führen erst extensive Dauerbelastungen zu einem Anstieg des Hcy (Weiß et al. 1999). Physiologische Betrachtungen der Substratutilisation bei Ausdauerbelastungen bestätigen, dass erst nach sehr langen Belastungen Aminosäuren zur Energiegewinnung herangezogen werden (Ahlborg et al. 1974). Folglich sollten erst sportliche Aktivitäten mit einer derartigen Belastungsstruktur einen Hcy-Anstieg verursachen und bei längerfristiger Ausübung evtl. chronische Adaptationen bewirken.

1.3.4 Effekte auf weitere relevante Gesundheitsindikatoren

1.3.4.1 "Psychische Gesundheit"

Die WHO definierte bereits 1946 Gesundheit als „state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity“ (WHO 1946, 100) und betonte damit erstmals die Bedeutung psychischer Komponenten für die Gesundheit des Menschen. Einige Befunde deuten daraufhin, dass die „psychische Gesundheit“ durch sportliche Aktivität günstig beeinflusst werden kann. Nach Knoll (1997) zeigen die Ergebnisse narrativer Literatur-Reviews, dass durch körperliche Aktivität Befindlichkeit und Selbstkonzept gesteigert sowie Angst und Depression reduziert werden kann. Im englischsprachigen Raum nimmt Rejeski (1994) zu den Einflüssen körperlicher Aktivität auf die „psychische Gesundheit“ Stellung und fasst die beeinflussbaren Bereiche, wie in Abb. 2 dargestellt, zusammen.

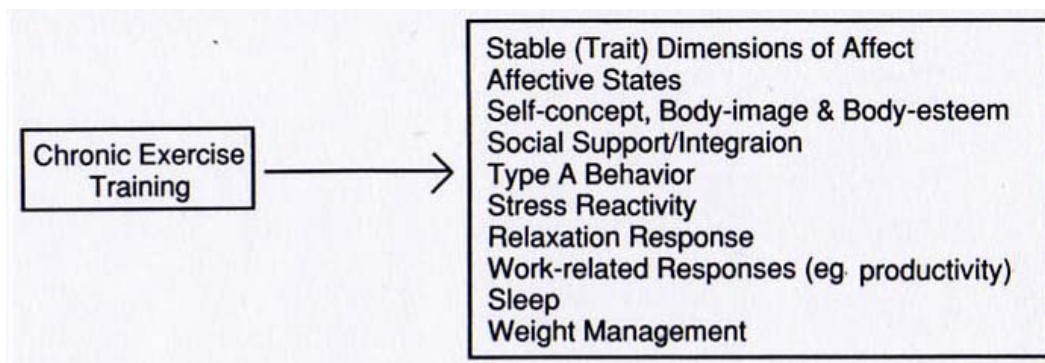


Abb. 2: Ausdauertrainingseffekte auf die „psychische Gesundheit“ (nach Rejeski 1994)

In Anlehnung an diese Strukturierung wird in dieser Studie die Wirkung eines Ausdauertrainings auf verschiedene Dimensionen des „psychischen Wohlbefindens“, die „Wahrnehmung körperlicher Fähigkeiten“ und die „Beschwerdenwahrnehmung“ untersucht. Die zuletzt genannten Bereiche werden mit dem Sammelbegriff „physisches Wohlbefinden“ überschrieben.

1.3.4.1.1 "Psychisches Wohlbefinden"

Eine Auswertung empirischer Untersuchungen mit meta-analytischen Methoden durch Knoll (1997) zeigte, bedingt durch Schwierigkeiten der empirischen Beweisführung, eine eher inkonsistente Befundlage. Insbesondere ein Training mit hoher Ausdauerkomponente scheint eine kurzfristige Steigerung des Wohlbefindens (aktuelles Wohlbefinden) zu ermöglichen. Eine Veränderung der Grundgestimmtheit (habituelles Wohlbefinden) konnte jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Zur Erfassung des Wohlbefindens existiert ein sehr unübersichtliches Feld von Instrumenten wie Fragebogenerhebungen, Interviewmethoden und grafischen Verfahren, die jedoch oft als „...einseitig simplifizierend oder theoretisch dubios...“ bezeichnet werden müssen (Mayring 1994, 51). Erprobte Instrumente in englischer Sprache, wie z.B. der “Profile of Mood States“ (POMS), konnten in der vorliegenden Studie aufgrund von Verständnis- bzw. Übersetzungsproblemen keine Anwendung finden. Recherchen im deutschsprachigen Raum führten zu den Befindlichkeitsskalen (BFS) die von Abele-Brehm/Brehm (1986) entwickelt wurden. Bei diesem Verfahren beschreiben die Probanden mittels einer Adjektivliste ihren psychophysischen Zustand (vgl. Kellmann/Golenia 2003). Die insbesondere für den Bereich des Sports entwickelten Skalen beruhen auf einem theoretisch operationalisierten zweidimensionalen Befindlichkeitsmodell (positive vs. negative Bewertung; Spannung vs. Lösung). In die Segmente dieses Modells lassen sich acht monopolare Befindlichkeitszustände (Aktiviertheit; gehobene Stimmung; Besinnlichkeit; Ruhe; Ärger; Erregtheit; Deprimiertheit; Energielosigkeit) einordnen, denen wiederum in umfangreichen Konstruktionsuntersuchungen je fünf Adjektive zugeordnet wurden. Die BFS bestehen damit aus 40 Adjektiven zur Selbstbeschreibung des augenblicklichen psychophysischen Zustandes. „Durch Veränderung der Eingangsfrage kann die Skala auch zur Erfassung der Grundgestimmtheit in der letzten Woche benutzt werden“ (Kellmann/Golenia 2003, 329). Diese Vorgehensweise wurde hier angewendet, da insbesondere der Einfluss eines Ausdauertrainings auf das “habituelle Wohlbefinden“ geprüft werden sollte.

Die Begründer der BFS unterzogen ihr Verfahren umfangreichen Validierungsuntersuchungen (vgl. Abele-Brehm/Brehm 1986). Mayring bewertet die Ergebnisse zu den Gütekriterien als gut (vgl. Mayring 1994). Inzwischen wurden die BFS auch in diversen Längsschnittstudien mit guten Erfahrungen eingesetzt (Alfermann/Stoll 1996; Alfermann et al. 1995).

Die “Frankfurter Skala zur Empfindlichkeit und Gestimmtheit“ (FSEG) entstammt aus dem umfassenden Instrumentarium der “Frankfurter Selbstkonzeptskalen“ (FSKN) (Deusinger 1986). Sie besteht aus sechs Items und wurde zur Erfassung des globalen subjektiven Wohlbefindens (habituelles Wohlbefinden) entwickelt. Nach Mayring wurde dieses Instrument hinreichend erprobt und nach Gütekriterien ausgewiesen (vgl. Mayring 1994).

1.3.4.1.2 “Physisches Wohlbefinden“

In Bezug auf das “physische Wohlbefinden“ lassen sich vermutlich insbesondere zwei Bereiche durch körperliche Aktivität positiv verändern. Zum einen wird eine positivere “**Wahrnehmung körperlicher Fähigkeiten**“ erwartet und zum anderen scheint eine Verringerung der “**Wahrnehmung von Beschwerden**“ möglich.

Die Annahme, dass sich parallel zu einer Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit auch die **Wahrnehmung körperlicher Fähigkeiten** verbessert, scheint plausibel. Zur Prüfung dieses Zusammenhangs ist eine Erhebung des Parameters mittels der “Frankfurter Körperkonzeptskala zur Gesundheit und zum körperlichen Befinden“ (SGKB) und der “Frankfurter Körperkonzeptskala zur körperlichen Effizienz“ (SKEF) aufschlussreich, die beide den “Frankfurter Körperkonzeptskalen“ (FKKS) entstammen (Deusinger 1998). Zu diesen Skalen liegt ein umfangreiches Testmanual vor, in dem u.a. eine detaillierte Prüfung der Testgütekriterien dargelegt ist.

Einige Autoren deuten eine positive Beeinflussung der **Wahrnehmung von Beschwerden** durch ein präventiv orientiertes Ausdauertraining an (Abele et al. 1994; Agnew/Levin 1987). Im deutschsprachigen Raum gilt die Beschwerdenliste (B-L) von Zerssen (1976) als gut überprüfetes und praktikables Instrument zur Messung der Beschwerdenwahrnehmung.

1.3.4.1.3 Theoretische Erklärungsansätze für die potenzielle Wirksamkeit eines Ausdauertrainings auf die psychische Gesundheit

Zahlreiche psychologische und physiologische Prozesse werden diskutiert, um die Wirksamkeit sportlicher Betätigung auf die psychische Gesundheit zu erklären. Im Rahmen dieser Arbeit kann nur auszugsweise eine Darstellung dieser komplexen Thematik erfolgen. Abele et al. (1994) führen auf physiologischer Ebene vermehrte Ausschüttungen der Hormone Adrenalin/Noradrenalin, B-Endorphin und des adrenocorticotropen Hormons (ACTH) bei sportlicher Aktivität an und diskutieren ferner eine Veränderung der Beta-Adrenorezeptorenzahl durch chronische sportliche Aktivität. Als psychologische Erklärungsansätze werden die Entwicklung eines Gefühls der Kontrolle und der Selbstwirksamkeit, eine Art Meditation durch den Sport, die zu entspannteren Bewusstheitszuständen führen soll, eine Ablenkung und Zerstreuung von unangenehmen bzw. angstauslösenden Zuständen und eine Pufferwirkung bei belastenden Lebensereignissen diskutiert (vgl. Weyerer/Kupfer 1996). Weiterhin können “soziale Erfahrungen beim Sporttreiben“, das Erleben von “Spannung und Risiko“ und “asketische Erfahrungen“ bedeutsam sein (vgl. Bös et al. 1980).

1.3.5 Hypothesenbildung

In einem ersten grundlegenden Untersuchungsschwerpunkt sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- 1.1 Ermöglicht ein 12-wöchiges allgemeines Ausdauertraining eine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit, und wie groß sind die zu erwartenden Effekte?
- 1.2 Können durch ein 12-wöchiges Ausdauertraining bedeutende Risikofaktoren und Gesundheitsindikatoren positiv beeinflusst werden und welches Ausmaß haben diese Verbesserungen?

Folgende Hypothesen wurden aus diesen Fragestellungen abgeleitet:

H_{1.1.1}: Ein 12-wöchiges Ausdauertraining mit einem definierten Kalorienverbrauch führt zu einer Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit, quantifiziert anhand von anerkannten leistungsphysiologischen Parametern (Herzfrequenz- und Laktat-Leistungskurve; VO_{2max} ; Dauer des Belastungstests; Schw._{1,5} und PWC 150).

H_{2.1.2}: Ein Ausdauertraining mit einer Gesamtdauer von 12 Wochen und einem definierten Kalorienverbrauch beeinflusst ausgewählte Risikofaktoren und Gesundheitsindikatoren (Ruhe- und Belastungsblutdruck; HDL-, LDL-, Gesamtcholesterin; Apo A-1; Apo B; Triglyzeride; Homocystein; Gewicht; Körperfettanteil und psychometrische Parameter) positiv.

1.4 Gestaltung des präventiven Ausdauertrainings

1.4.1 Allgemeine Trainingsempfehlungen

Bezüglich der Ausgestaltung eines präventiv orientierten Ausdauertrainings existieren viele Empfehlungen, die aber in der Regel sehr allgemein und vage gehalten sind. Paffenbarger et al. (1986) leiten aus ihrer epidemiologischen Untersuchung einen Zusammenhang zwischen dem Kalorienverbrauch pro Woche und der Sterblichkeit ab. So wurde z.B. festgestellt, dass ein Kalorienmehrverbrauch von 2000 kcal pro Woche durch körperliche Aktivität eine Senkung der Sterblichkeit um 25-33% bedeutet. Dieser Zusammenhang sagt jedoch nichts über die Intensität oder die Frequenz aus, mit der die sportliche Betätigung betrieben werden sollte. Powell/Blair favorisieren etwas detaillierter: „30 or more minutes of light to moderate activity for 5 or more d*wk⁻¹“ (Powell/Blair 1994, 851). Das „National Institut of Health“ (NIH) einigte sich 1996 auf folgende Richtlinien: „We recommend that all children

and adults should set a long-term goal to accumulate at least 30 minutes or more of moderate-intensity physical activity on most, or preferably all, days of the week“ (NIH 1996, 243). Das NIH bringt aber auch seine Unsicherheit bzgl. der genauen Ausgestaltung des Trainings zum Ausdruck: „The type, frequency, and intensity of physical activity that are needed to accomplish these goals remain poorly defined and controversial“ (NIH 1996, 242). Das ACSM schließlich empfiehlt etwas genauer ein Ausdauertraining mit einer Frequenz von 3-5 pro Woche und einer Intensität von 65-90% der HF_{max} oder 40-85% der $HF_{Reserve}$ ² bzw. eine Gesamtdosis von mind. 700-2000 kcal (vgl. ACSM 1990; ACSM 1998).

Die aufgeführten Trainingsempfehlungen machen deutlich, dass insbesondere in Bezug auf die Intensität und die Trainingsfrequenz oft sehr ungenaue Richtlinien formuliert werden und vorwiegend die Ausübung vieler kurzer Trainingseinheiten mit niedriger bzw. moderater Intensität angeraten wird.

1.5 Sonderfall “weekend warrior“ – Konzentration des Trainings an den Wochenenden

In dieser Längsschnittstudie soll zunächst eine praxisrelevante Fragestellung zur Trainingsfrequenz bzw. zur zeitlichen Verteilung des wöchentlichen Gesamtumfangs eines Ausdauertrainings beleuchtet werden. In den westlichen Industrienationen und insbesondere im Winterhalbjahr (lange Dunkelperiode) haben viele Personen aufgrund hoher beruflicher Belastungen lediglich an den Wochenenden die nötige Freizeit, um körperlich aktiv zu werden. Häufig wird dann an den zwei Wochenendtagen in konzentrierter Form ein sehr umfangreiches Training absolviert (“weekend warrior“). Das Studium allgemeiner Trainingsempfehlungen deutet jedoch auf eine verringerte Trainingseffektivität des Trainingsregimes “weekend warrior“ hin. Wie bereits dargestellt, empfiehlt z.B. das NIH ein moderates halbstündiges Ausdauertraining an möglichst jedem Tag der Woche (vgl. NIH 1996), während das ACSM zu 3-5 Einheiten pro Woche rät (vgl. ACSM 1990; ACSM 1998). Im Allgemeinen lassen die Ausführungen renommierter Trainingswissenschaftler (z.B. Schnabel et al. 1994) darauf schließen, dass eine gleichmäßige Verteilung des Trainingsumfangs einer Konzentration vorzuziehen ist, ohne dass die Überlegenheit eines solchen Vorgehens bis dato eindeutig belegt ist. Auch in der Trainingspraxis wird in der Regel eine gleichmäßige Streuung des Trainingsumfangs im Wochenverlauf angestrebt.

² Mit $HF_{Reserve}$ wird die Spanne zwischen der HF_{Ruhe} und der HF_{max} bezeichnet.

Auch theoretische Überlegungen unter Berücksichtigung des Superkompensationsmodells (vgl. Jakowlew 1977) führen zu der Annahme, dass eine gleichmäßige Verteilung des Trainingsumfangs über die Woche effektiver ist. Dieses Modell geht bei überschwelligen Belastungsreizen von einer Störung der Homöostase und in der Folge einer Ermüdung der Organ- und Funktionssysteme aus. Nach dem Modell kommt es, wie in Abb. 3 dargestellt, nach der Belastung zur Regeneration und schließlich zu einer "Superkompensation" ("überschießende Wiederherstellung") des biochemischen und funktionellen Potenzials der beteiligten Organsysteme auf einem höheren Leistungsniveau (vgl. Jakowlew 1977).

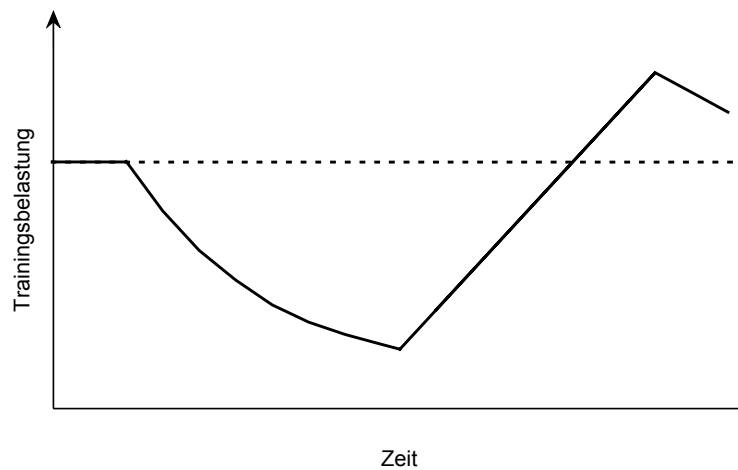


Abb. 3: Schematische Darstellung des Superkompensationsmodells (modifiziert nach Fry et al. 1992)

Trainingsstudien mit Menschen (Bergman et al. 2000; Greiwe et al. 1999; Kristiansen et al. 2000) und Tieren (Zendzian-Piotrowska/Górski 1993) konnten z.B. nach einem ausdauerorientierten Training eine Erhöhung der Glykogenspeicher in Muskulatur und Leber feststellen. Demzufolge kommt es nach einer Ausdauerbelastung nicht nur zu einer Auffüllung der Speicher bis zum Ausgangszustand, sondern zu einer Erhöhung ("Superkompensation") der Glykogenvorräte. Der "neue Trainingsreiz" sollte nach den Vorstellungen des Modells im Bereich der Superkompensation lokalisiert sein.

Trotz einiger Kritikpunkte, wie z.B. der nach dem Modell scheinbar unbegrenzten Trainierbarkeit (vgl. Mader 1990) und der Tatsache, dass es nicht auf jeden Bereich des Stoffwechsels übertragen werden kann (vgl. Martin et al. 2001), scheint dieses Modell geeignet die wichtigsten Eckpunkte trainingsinduzierter Anpassungsprozesse zu veranschaulichen. Mit Blick auf den Untersuchungsschwerpunkt dieser Studie sind insbesondere die schematisch in Abb. 4 dargestellten, bei verschiedenen biochemischen

Substanzen erwiesenermaßen differierenden zeitlichen Abläufe der Regenerationsprozesse zu beachten (vgl. Jakowlew 1977). Während beispielsweise die KRP-Speicher nach einer 15-minütigen Ausdauerbelastung in 20-60 Minuten wiederhergestellt sind (vgl. Jakowlew 1977), nimmt die Regeneration der Glykogenspeicher in Muskulatur und Leber nach einstündiger Belastung bis zu 48 Stunden in Anspruch (vgl. Jakowlew 1977). Ähnliches gilt auch für die Regeneration diverser Enzyme oder Strukturproteine, die einige Tage dauern kann (vgl. Findeisen et al. 1980). Eine Akkumulation des Trainingsumfangs auf zwei aufeinander folgende Tage hätte nach diesem Modell die Folge, dass der erneute Reiz vor einer vollständigen Regeneration einiger relevanter Organ- und Funktionssysteme einsetzt. Nach Jakowlew kommt es dann zu einer chronischen Erschöpfung (vgl. Jakowlew 1977). Eine Störung der Adaptationsprozesse und eine Einschränkung der Trainingseffekte wäre daher möglich.

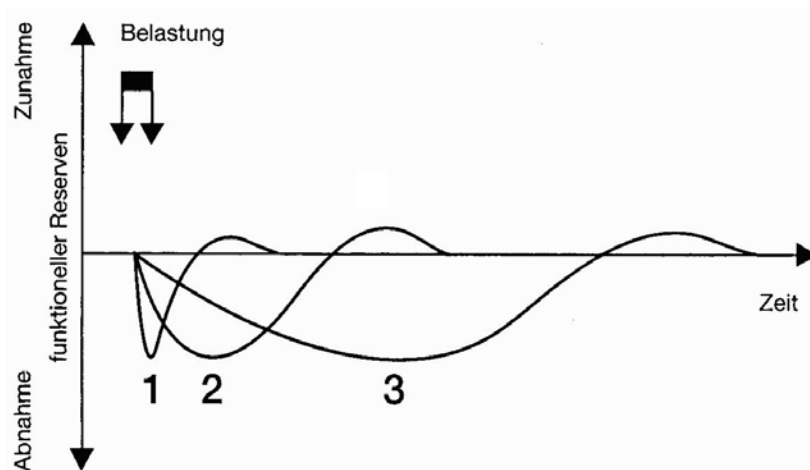


Abb. 4: Unterschiedliche Zeitkonstanten der Rückkehr funktioneller Größen zur Norm und des Verlaufs der Wiederherstellungsvorgänge. 1=Kurzdauernde Wiederherstellungsvorgänge (z.B. ATP und KRP); 2=Regenerationsvorgänge mittlerer Dauer (z.B. Glykogen); 3=langdauernde Regenerationsvorgänge (z.B. Enzyme und Strukturproteine) (nach Findeisen et al. 1980, 212)

Neben den aufgeführten Trainingsempfehlungen und den theoretisch begründeten Überlegungen ist davon auszugehen, dass jeder Sportler "intuitiv" eine gleichmäßige Verteilung des Trainingsumfangs dem konzentrierten Trainingsregime am Wochenende vorziehen würde. Dies umso mehr, weil am Folgetag nach einem anstrengenden Training die Beine oft "schwer" sind und die Trainingsmotivation in der Regel geringer ist.

Auf der Grundlage der dargestellten Überlegungen ist zu vermuten, dass eine Konzentration des wöchentlichen Trainingsumfangs auf zwei aufeinander folgende Tage ("weekend warrior") eine verringerte Trainingseffektivität zur

Folge hat. Zur Prüfung dieses Sachverhaltes wurden zwei unterschiedliche 12-wöchige Ausdauertrainingsprogramme konzipiert. Beide Programme wiesen einen identischen wöchentlichen Gesamttrainingsumfang (2,5 h) und eine identische Trainingsintensität auf (90% der Schw._{1,5}). Während das eine Trainingsregime den "weekend warrior" simulieren sollte und daher ein Training an zwei aufeinander folgenden Tagen vorsah (2 x 75 min, gefolgt von einer fünftägigen Pause), war im Zuge des zweiten Trainingsprogramms eine gleichmäßige homogene Verteilung des Trainingsumfangs an fünf beliebigen Tagen die Woche über jeweils 30 min vorgesehen (vgl. Abb. 5).

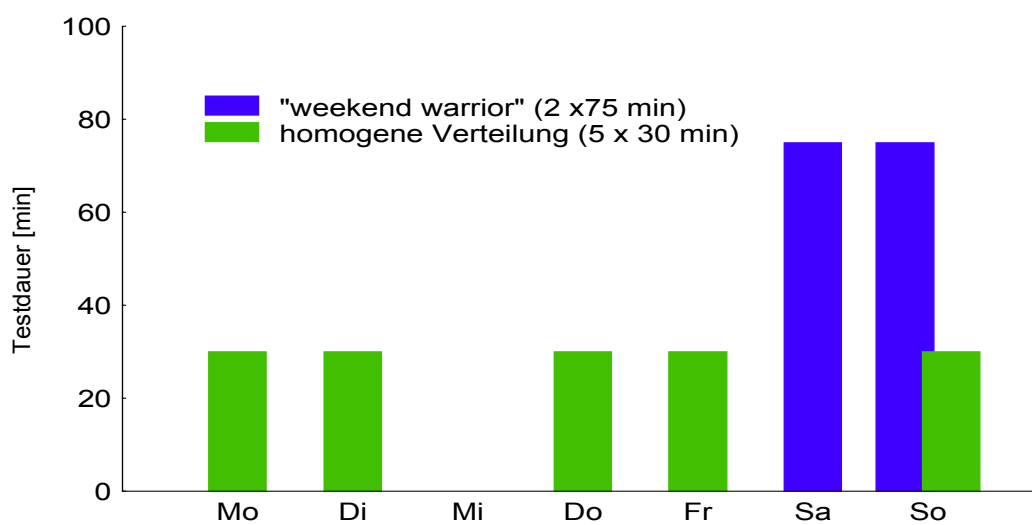


Abb. 5: Schematische Darstellung der untersuchten Trainingsprogramme zur Fragestellung des "weekend warrior"

Ein Vergleich der Trainingsergebnisse bei den Gesundheitsindikatoren und den leistungsphysiologischen Parametern soll dann eine Bewertung dieser beiden Trainingsregimes ermöglichen.

Es konnte bis dato keine wissenschaftliche Längsschnittstudie recherchiert werden, die explizit diesen Sachverhalt untersuchte. Einige Studien prüften jedoch die Effektivität von Ausdauertrainingsprogrammen mit unterschiedlichen Trainingsfrequenzen. Die Aussagekraft dieser Studien wird aber durch die Interdependenz der Belastungsnormative eingeschränkt (vgl. auch Kap. 1.6.1.1). Sind zwei Programme unterschiedlicher Frequenz so konzipiert, dass die Dauer der einzelnen Trainingseinheiten identisch ist, so weist das Programm mit der höheren Frequenz auch einen höheren Gesamtumfang und Kalorienverbrauch auf und lässt daher selbstverständlich auch höhere Trainingseffekte erwarten. Der Ansatz, der in dieser Untersuchung gewählt wurde, setzt jedoch wegen der hohen Bedeutung dieser Parameter einen identischen Trainingsumfang und Kalorienverbrauch beider Programme

voraus. Daher wurde beim Programm “weekend warrior“ eine Verlängerung der einzelnen Trainingseinheit von 30 auf 75 min festgesetzt.

1.5.1 Hypothesenbildung

In diesem Untersuchungsschwerpunkt sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- 1.1 Zwei Ausdauertrainingsprogramme weisen einen identischen Trainingsumfang und Kalorienverbrauch auf. Führt eine Konzentration des wöchentlichen Trainingsumfangs auf zwei aufeinander folgende Tage (Wochenende) zu einer geringeren Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit im Vergleich zu einer homogenen Verteilung desselben Trainingsumfangs auf fünf kürzere Einheiten wöchentlich?
- 1.2 Kommt es zu geringeren Verbesserungen bedeutender Gesundheitsindikatoren bei einer Konzentration des wöchentlichen Trainingsumfangs auf zwei aufeinander folgende Tage (“weekend warrior“) im Vergleich zu einer gleichmäßigen Verteilung des Trainingsumfangs über die Woche?

Folgende Hypothesen wurden aus diesen Fragestellungen abgeleitet:

H₃1.1: Die Ausdauerleistungsfähigkeit, gemessen anhand verschiedener leistungsphysiologischer Parameter (Herzfrequenz- und Laktat-Leistungskurve; VO_{2max} ; Dauer des Belastungstests; Schw._{1,5} und PWC 150), verbessert sich als Folge einer gleichmäßigen Verteilung des Trainingsumfangs über fünf Tage pro Woche deutlicher als bei einer Konzentration des Trainings auf zwei aufeinander folgende Tage.

H₄1.2: Ausgewählte Gesundheitsindikatoren (Ruhe- und Belastungsblutdruck; HDL-, LDL-, Gesamt-Cholesterin; Apo A-1; Apo B; Triglyzeride; Homocystein; Gewicht; Körperfettanteil und psychometrische Parameter) verbessern sich als Folge einer gleichmäßigen Verteilung des wöchentlichen Trainingsumfangs über fünf Tage pro Woche deutlicher als bei einer Konzentration des Trainings auf zwei aufeinander folgende Tage.

1.6 Intensität eines Ausdauertrainings

Während für die Parameter Trainingsdauer und Kalorienverbrauch durch körperliche Aktivität vermutlich eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung besteht, scheint bezüglich der Belastungsintensität auf der Skala ein optimaler Bereich zu existieren (vgl. Haskell 1994b; Wenger/Bell 1986). Viele Arbeiten weisen jedoch darauf hin, dass die Frage nach der optimalen Intensität eines Ausdauertrainings differenziert nach den Zielen betrachtet werden muss. Offensichtlich muss insbesondere zwischen leistungsphysiologischen Parametern und Gesundheitsindikatoren unterschieden werden: „It has been pointed out that the quantity and quality of exercise needed to attain health-related benefits may differ from what is recommended for fitness benefits“ (ACSM 1990, 266). „However, it is evident today that the changes in aerobic capacity due to an exercise program do not parallel the changes in lipid metabolism, blood pressure, and some important risk factors of coronary heart disease“ (Drygas et al. 1988, 275). Haskell (1994b) zieht in seinem Review ein entsprechendes Fazit und vermutet, dass auch sehr niedrige Intensitäten das Risiko der Entwicklung chronisch-degenerativer Erkrankungen verringern. Nach Meinung des Autors haben diese Intensitäten insbesondere bei älteren Personen zusätzlich den Vorteil des verringerten kardiovaskulären und orthopädischen Risikos. Das ACSM vollzog 1998 die Trennung der Trainingsempfehlungen zwischen Gesundheit und Fitness und präferiert für ein Ausdauertraining mit präventiver Zielstellung eher niedrige Intensitäten: „The ACSM recognizes the potential health benefits of regular exercise performed more frequently and for a longer duration but at a lower intensity than recommended in the previous editions of this position stand, i. e., 40-49% of $VO_{2\text{reserve}}^3$ and HF_{reserve} or 55-64% of HF_{max} “ (ACSM 1998, 976). Eine vergleichbare Position vertreten Després/Lamarche: „From the results of several studies discussed in this article, it is proposed that prolonged endurance exercise of low intensity ($\sim 50\% VO_{2\text{max}}$), performed on an almost daily basis, seems to significantly improve metabolic variables considered as CHD risk factors through mechanisms that are likely to be independent from the training-related changes in cardiorespiratory fitness“ (Després/Lamarche 1994, 7). Insbesondere eine positive Beeinflussung des Fettstoffwechsels scheint durch ein Training mit niedriger Intensität möglich. Després/Lamarche (1994) führen einige Studien an, die nach einem regelmäßigen Ausdauertraining (2-5 mal pro Woche, 30-60 min) bei einer geringen Intensität

³ Mit $VO_{2\text{reserve}}$ wird die Spanne zwischen der Sauerstoffaufnahme in Ruhe und der $VO_{2\text{max}}$ bezeichnet.

(50-70% HF_{max} bzw. VO_{2max}) eine Senkung des Körpergewichts, des nüchtern gemessenen Insulinspiegels, des LDL-Chol. sowie einen Anstieg des HDL-Chol. berichten. Es konnte aber keine statistische Beziehung zwischen den Verbesserungen der VO_{2max} und jenen der Lipoproteine festgestellt werden. Tran et al. (1983) schlossen in ihre Meta-Analyse 66 Studien mit 2925 Probanden ein. Studien mit geringeren Intensitäten hatten ausgeprägtere Verbesserungen der Lipide und Lipoproteine zur Folge. Dieser Zusammenhang galt aber nur für Intensitäten über 60% der HF_{max} .

Die dargestellten Empfehlungen vergleichsweise niedriger Intensitäten führten in den letzten Jahren verstärkt dazu, dass besonders in Boulevard-Magazinen und Fitnessstudios Trainingsprogramme mit sehr geringer Intensität propagiert wurden. Vermutlich trug zu diesen Empfehlungen auch eine Verwechslung des relativen mit dem absoluten Fettstoffwechselanteil bei. Bei einer Intensität von 25% der VO_{2max} wird beispielsweise die Energie zu einem hohen Prozentsatz durch eine Oxidation von Fettsäuren bereitgestellt, während der Fettanteil bei einer Intensität von 65% der VO_{2max} nur ca. 50% beträgt (vgl. Abb. 6). Eine reine Betrachtung des relativen Fettstoffwechselanteils könnte nun zu der irrigen Auffassung verleiten, die geringe Intensität wäre von Vorteil. Da aber der Gesamtumsatz bei einer Intensität von 65% der VO_{2max} deutlich höher ist, ist der absolute Anteil der Fettoxidation und damit wahrscheinlich auch der Trainingseffekt im Bereich des Fettstoffwechsels höher als bei der geringen Intensität. Die absolute Energiegewinnung aus Fetten scheint bei Belastungsintensitäten zwischen 50 und 70% der VO_{2max} am höchsten zu sein (vgl. Jeukendrup et al. 1998b).

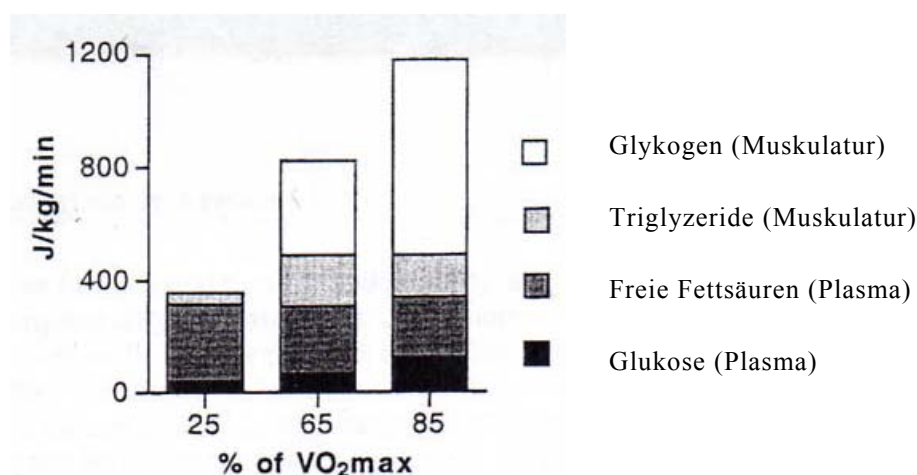


Abb. 6: Substratverwendung bei unterschiedlichen Intensitäten (25%, 65% und 85% der VO_{2max}) (Abb. modifiziert nach Jeukendrup et al. (1998b) basierend auf den Daten von Romjin et al. (1993))

Die beschriebenen Empfehlungen niedriger Trainingsintensitäten haben sich inzwischen in weiten Bevölkerungskreisen verbreitet und führten dazu, dass immer mehr Personen im gesundheitssportlichen Sektor ohne eine direkte medizinische Indikation ein niedrig-intensives Ausdauertraining bevorzugen. Da an der Sinnhaftigkeit dieses Trainingsverhaltens jedoch berechtigte Zweifel bestehen, ist die Wirksamkeitsprüfung unterschiedlicher gängiger Trainingsintensitäten von hoher praktischer Relevanz.

Das ACSM geht davon aus, dass die minimale Intensität zur Verbesserung der VO_{2max} und der Laktat-Schwellen 40-50% der $VO_{2Reserve}$ bzw. der $HF_{Reserve}$ (55-65% der HF_{max}) beträgt (ACSM 1998, 978). Insbesondere leistungsschwache Personen sollen bereits bei ausgesprochen geringen Intensitäten signifikante Trainingseffekte erzielen können. Swain/Franklin gelangen in ihrem Review zu ähnlichen Schlussfolgerungen: „...this analysis of training studies supports the use of 45% $VO_{2reserve}$ as a minimal effective training intensity for higher fit subjects and 30% $VO_{2reserve}$ for lower fit subjects“ (Swain/Franklin 2002, 152).

Ist die primäre Zielstellung des Trainings eine Verbesserung leistungsphysiologischer Parameter, ist scheinbar eine höhere Belastungsintensität sinnvoll. Pollock (1973) gelangt zu dem Schluss, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen der Intensität und Verbesserungen diverser Leistungsparameter gibt. Swain/Franklin (2002) führen in ihrem Review 15 Studien mit dem Schwerpunkt Intensität an, bei denen jeweils zumindest tendenziell die höhere Intensität eine effektivere Steigerung der aeroben Kapazität zur Folge hatte. Drei weitere qualitativ hochwertige Untersuchungen (Casaburi et al. 1995; Crouse et al. 1997; Loimaala et al. 2000) mit vergleichsweise langer Studiendauer, die Programme mit identischem Kalorienverbrauch, jedoch unterschiedlicher Intensität verglichen, beobachteten im leistungsphysiologischen Bereich ebenfalls jeweils effektivere Steigerungen durch die höhere(n) Intensität(en).

1.6.1 Kritische Stellungnahme zur aktuellen Forschungslage

Wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt, liegen einige Studien vor, die sich mit der Belastungsintensität befassen. Viele Studien weisen jedoch z.T. erhebliche methodische Mängel auf. So wurde häufig auf eine Kontrollgruppe verzichtet oder eine Kontrolle und Dokumentation des Trainingsumfangs versäumt. Weiterhin problematisch ist die oftmals geringe n-Zahl in den einzelnen Untersuchungsgruppen, eine relativ kurze Trainingsdauer und eine mangelhafte Randomisierung, die zu Verfälschungen der Ergebnisse führen kann. Ein weiterer Kritikpunkt bezieht sich auf die überwiegend praktizierte

Steuerung der Intensität über Maximalparameter wie die VO_{2max} oder die HF_{max} (vgl. Meyer et al. 2005). Meyer et al. (1999) konnten zeigen, dass dieses Vorgehen eine erhebliche Streuung der individuellen Beanspruchung zur Folge haben kann. Andere Autoren bestätigen die Problematik dieser Vorgehensweise: Katch et al. (1978) konnten zeigen, dass bei einer über einen Prozentsatz der HF_{max} festgesetzten Intensität eine Person über und eine andere Person unter ihrer anaeroben Schwelle liegen kann und auf dieser Basis jeweils ganz andere Adaptationen zu erwarten sind. Präziser ist die Steuerung über individuelle Laktat-Schwellen, da auf diese Weise metabolische Prozesse besser berücksichtigt werden (vgl. Weltman et al. 1989).

Trainingsstudien, die unterschiedliche Belastungsintensitäten testen und deren Trainingswirkungen miteinander vergleichen, sind grundsätzlich mit zwei bis dato ungelösten Problemen behaftet. Erstens können im Rahmen einer Trainingsstudie nur einzelne Intensitäten und somit quasi nur kleine Ausschnitte des Gesamtspektrums verglichen werden. Bei Verwendung vergleichbarer Intensitätsmaßstäbe wäre nun erst auf der Basis zahlreicher Studien die Darstellung einer "Adaptationskurve" möglich. Da aber ganz unterschiedliche Intensitätsmaßstäbe verwendet wurden und meistens eine Anlehnung an Maximalparameter praktiziert wurde, erscheint dieses Ziel in weiter Ferne. Ein weiteres Problem von Intensitätsstudien begründet sich in der Interkorrelation der vier relevanten Belastungsnormative (Intensität/Dauer/Frequenz/Gesamtkalorienverbrauch) (vgl. NIH 1996). Wird einer dieser Faktoren im Rahmen einer Untersuchung verändert, so verändert sich zwangsläufig auch einer der anderen Faktoren und die Vergleichbarkeit wird damit eingeschränkt. Will man z.B. zwei Trainingsprogramme unterschiedlicher Intensität miteinander vergleichen, so wird man vor die Wahl gestellt, entweder die Dauer **oder** den Gesamtkalorienverbrauch der Programme identisch zu halten. Der jeweils andere Faktor muss bei den beiden Trainingsprogrammen differieren. Eventuelle Unterschiede zwischen den Programmen können daher entweder durch die unterschiedliche Intensität oder durch die unterschiedliche Dauer bzw. den unterschiedlichen Gesamtkalorienverbrauch verursacht werden. Die gängige Vorgehensweise, die auch hier Anwendung fand, sieht eine Gleichsetzung des Gesamtkalorienverbrauchs vor, d.h. die Trainingsdauer wird bei dem Programm mit der geringeren Intensität so verlängert, dass ein identischer Kalorienverbrauch zu erwarten ist wie bei dem höher-intensiven Programm (vgl. Bhambhani/Singh 1985; Casaburi et al. 1995; Crouse et al. 1997; Gaesser/Rich 1984; Hartard et al. 2000; Henritze et al. 1985; King et al. 1995; Loimaala et al. 2000; Poole/Gaesser 1985; Weltman et al. 1992).

1.6.2 Hypothesenbildung

Dieser Untersuchungsschwerpunkt sollte zur Klärung folgender Fragestellungen beitragen:

- 1.1 Kommt es als Folge eines moderaten Ausdauertrainings zu einer deutlicheren Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit im Vergleich zu einem niedrig-intensiven Training, dessen Dauer verlängert wird, so dass ein identischer Kalorienverbrauch erreicht wird?
- 1.2 Führt ein Ausdauertraining mit einer moderaten Intensität zu deutlicher ausgeprägten Verbesserungen wichtiger Risikofaktoren und Gesundheitsindikatoren im Vergleich zu einem niedrig-intensiven Training mit identischem Kalorienverbrauch?

Folgende Hypothesen wurden aus diesen Fragestellungen abgeleitet:

H₅1.1: Ein über 12 Wochen jeweils 5 x 30 min wöchentlich absolviertes Ausdauertraining mit einer mittleren Intensität (90% der Schw._{1,5}) verbessert leistungsphysiologische Parameter (Herzfrequenz- und Laktat-Leistungskurve; VO_{2max}; Dauer des Belastungstests; Schw._{1,5} und PWC 150) deutlicher als ein ebenfalls 5 mal pro Woche erfolgendes niedrig-intensives Training (90% der Schw._{1,5} minus 15 min⁻¹) mit identischem Kalorienverbrauch.

H₆1.2: Ein Ausdauertraining mit mittlerer Intensität verbessert relevante Gesundheitsindikatoren (Ruhe- und Belastungsblutdruck; HDL-, LDL-, Gesamtcholesterin; Apo A-1; Apo B; Triglyzeride; Homocystein; Gewicht; Körperfettanteil und psychometrische Parameter) deutlicher als ein niedrig-intensives Ausdauertraining mit identischem Kalorienverbrauch.

2 Untersuchungsmethodik

Diese Längsschnittstudie wurde am Institut für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes durchgeführt. Der gesamte Untersuchungszeitraum erstreckte sich auf die Zeit von Mai 2002 bis Januar 2004. Um den störenden Einfluss der saisonalen Schwankung einiger Parameter (z.B. Cholesterin) und damit die Gefahr eines systematischen Fehlers etwas einzuschränken, wurde die Studie auch in den Wintermonaten 02/03 und 03/04 durchgeführt – allerdings aus Mangel an teilnahmebereiten Probanden mit vergleichsweise etwas reduzierter Teilnehmerzahl.

2.1 Allgemeiner Untersuchungsablauf

Die vorliegende Studie stellt eine kontrollierte randomisierte Längsschnittstudie mit unabhängigen Stichproben dar. Es wurde das Ziel verfolgt, die leistungsphysiologische und gesundheitliche Effizienz dreier bzgl. der Belastungsnormative Frequenz und Intensität differierender 12-wöchiger Ausdauertrainingsprogramme zu überprüfen. In Abb. 7 ist das allgemeine Design der Trainingsstudie dargestellt.

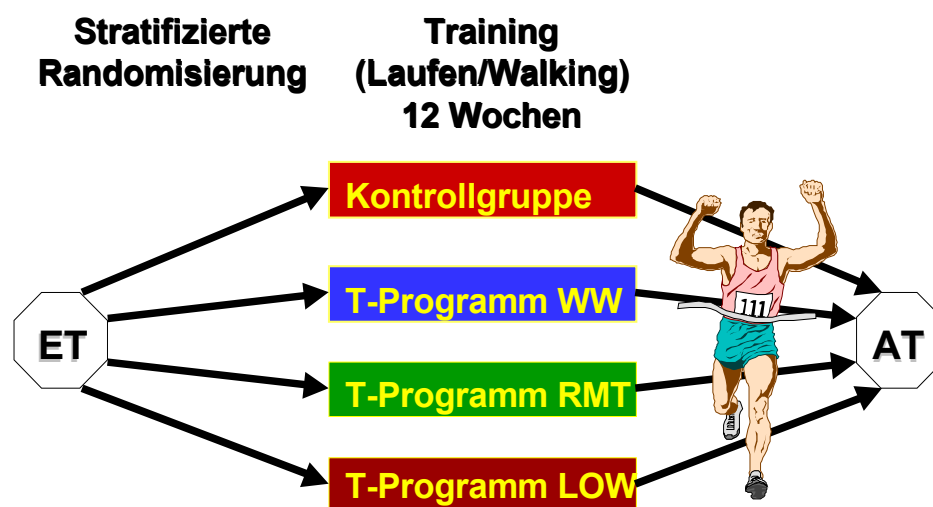


Abb. 7: Längsschnittdesign der Trainingsstudie.

Die Studienteilnahme begann für jeden Probanden mit einem umfassenden Eingangstest (ET). Im Anschluss wurde die stratifiziert randomisierte Zuteilung zu einer von vier Untersuchungsgruppen vorgenommen. Als gestufte Kriterien dienten das Geschlecht und die VO_{2max} in Relation zum Körpergewicht ($[ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}]$). Ziel dieses Vorgehens war eine hinsichtlich der Ausdauerleistungsfähigkeit und anthropometrischer Daten homogene Gruppenzuteilung der Probanden. Nach Ablauf des 12-wöchigen

Untersuchungszeitraums erfolgte ein in Untersuchungsabfolge und Zeitstruktur mit der Eingangsuntersuchung identischer Abschlusstest (AT).

Der Trainingsbeginn erfolgte spätestens drei Wochen nach dem Eingangstest. Zwischen der letzten Trainingseinheit und dem Abschlusstest lag mindestens ein Tag zur Vermeidung akuter belastungsinduzierter Störeinflüsse auf die Zielparameter und maximal sieben Tage, um die Rückbildung evtl. Trainingsadaptationen einzuschränken.

2.1.1 Probanden

2.1.2 Zielgruppe

Untersuchungsgegenstand dieser Studie war ein präventives Ausdauertraining. Dementsprechend sollten die Teilnehmer der Untersuchung 30-60-jährige gesunde untrainierte Personen beider Geschlechter ohne ausgeprägte Risikofaktoren sein. Der Menstruationszyklus der weiblichen Teilnehmer wurde nicht erfasst und fand bei der Terminierung der Tests aus organisatorischen Gründen keine Berücksichtigung.

Die im Folgenden dargestellten **Einschlusskriterien** wurden vor Beginn des experimentellen Studienteils definiert:

- Lebensalter zwischen 30 und 60 Jahren
- Untrainierter Status, d.h. während der letzten 6 Monate kein regelmäßiges ausdauerorientiertes sportliches Training (< 30 min/Woche Sport wie z.B. Joggen, Fahrrad fahren etc.; andere sportliche Aktivitäten wie z.B. Gymnastik oder Krafttraining wurden akzeptiert, soweit sie maximal 1h/Woche ausgeübt wurden).
- Keine ausgeprägten Risikofaktoren: *Ruheblutdruck* < 160/100 mm/Hg
Chol_{ges} < 300 mg/dl
kein Diabetes mellitus
- Keine Erkrankungen bzw. gesundheitliche Einschränkungen, die eine Kontraindikation für die im Verlauf der Studie durchzuführenden Tests bzw. das Trainingsprogramm darstellen (manifeste KHK; akute entzündliche Herzerkrankung; bedrohliche Herzrhythmusstörungen; akute und schwere chronische Gefäßerkrankungen; akute fieberhafte Erkrankungen; schwere sonstige Organerkrankungen; ausgeprägte orthopädische Beschwerden, die eine störungsfreie Bewältigung des Trainings gefährden könnten) (vgl. dazu Kindermann 1987).

2.1.3 Untersuchungsgruppen

Nach Auswertung der Untersuchungsergebnisse des Eingangstests, wurden die Probanden stratifiziert randomisiert einer der vier im Folgenden dargestellten Gruppen zugewiesen:

1. Kontrollgruppe K

kein ausdauerwirksames Training/unveränderte Lebensführung

2. Trainingsprogramm WW (“weekend warrior“)

Gesamtumfang/Frequenz: 2½ h/Woche an 2 aufeinander folgenden Tagen (2 x 1¼ h/d → 5 Tage Pause)

Intensität: Trainingsherzfrequenz entsprechend 90% der Schw._{1,5}

3. Trainingsprogramm RMT (“regelmäßiges moderates Training“)

Gesamtumfang/Frequenz: 2½ h/Woche, verteilt auf 5 beliebige Tage (30 min/Tag)

Intensität: Trainingsherzfrequenz entsprechend 90% der Schw._{1,5} (identisch wie bei Trainingsprogramm WW)

4. Trainingsprogramm LOW (“Fettstoffwechseltraining“)

Gesamtumfang/Frequenz: 2½ h/Woche + x Minuten, verteilt auf 5 Tage,

Intensität: Trainingsherzfrequenz entsprechend 90% der Schw._{1,5} minus 15 min⁻¹. Die Dauer jeder Trainingseinheit wurde entsprechend der Formel $x=30 \text{ min} \cdot (\text{VO}_{2\text{RMT}}/\text{VO}_{2\text{LOW}})$ verlängert, so dass ein identischer Sauerstoffverbrauch und damit Kalorienverbrauch wie bei den anderen Trainingsprogrammen erreicht wurde. Maßgeblich für die Berechnungen war die Sauerstoff- und die HF-Leistungskurve des Belastungstests.

Die Teilnehmer der Trainingsgruppe WW sollten eine Konzentration des Belastungsumfangs an zwei Wochenendtagen simulieren. Dieses Vorgehen wird in den Industrienationen häufig von Personen praktiziert, die beispielsweise aufgrund hoher beruflicher Belastungen lediglich am Wochenende die zeitlichen Freiräume haben, sportlich aktiv zu werden.

Demgegenüber führten die Mitglieder der Trainingsgruppe RMT ein Training identischer Gesamtdauer und Intensität durch, das allerdings in fünf einzelne Einheiten aufgegliedert und gleichmäßig über die Woche hinweg verteilt war.

Das Training in Gruppe LOW soll das häufig in Fitnessstudios oder in der Laienpresse propagierte sehr niedrig-intensive “Low intensity-“ oder “Fettstoffwechseltraining“ simulieren. Von den 90% der Schw._{1,5} wurden bei diesem Training zusätzlich 15 min⁻¹ abgezogen. Diese Differenz in der HF

wurde gewählt, da sie über der intraindividuellen Variationsbreite für eine gegebene submaximale Belastung liegt (Bagger et al. 2003). Außerdem wurde davon ausgegangen, dass diese Differenz (\approx mind. 10% der VO_{2max}) groß genug ist, um evtl. Unterschiede in der Trainingswirksamkeit identifizieren zu können. Damit sichergestellt ist, dass bei dieser Belastung die Fettoxidation einen hohen Anteil am Gesamtumsatz einnimmt, sollte der respiratorische Quotient (RQ) dieser Intensität im Belastungstest unter 0,9 liegen.

2.2 Eingangs-/Abschlussuntersuchung

Sämtliche Untersuchungen begannen am Vormittag in der Regel um 8.30 Uhr (n=42). Bei jeweils fünf Personen begannen die Untersuchungen um 8.00 bzw. um 9.00 Uhr und bei vier Probanden erst um 9.30 Uhr. Die Probanden erschienen nüchtern (letzte Mahlzeit am Vorabend spätestens 20.00 Uhr) und hatten vom Vorabend 18.00 Uhr bis zu Beginn des Tests standardisiert ein Liter Mineralwasser getrunken. Es wurde im Vorfeld und im Verlauf der Abschlussuntersuchung bei jedem Probanden sorgfältig darauf geachtet, dass die Untersuchungsabfolge und zeitliche Struktur des Tests identisch wie bei der Eingangsuntersuchung war. Auf diese Weise sollten Störeinflüsse durch tageszeitliche Schwankungen vermieden werden.

Im Verlauf des Eingangstests wurden die Probanden detailliert mit dem Ablauf und den möglichen Risiken der Untersuchung vertraut gemacht und erklärten schriftlich ihr Einverständnis zur Teilnahme einschließlich der erforderlichen Blutentnahmen (Einverständniserklärung s. Anhang). Ferner erfolgte eine erneute Instruktion bzgl. der Lebensführung während des Untersuchungszeitraumes und des Verhaltens an bzw. vor den Testtagen.

Folgende Untersuchungsverfahren wurden im Rahmen der Eingangs-/Abschlussuntersuchung in der dargestellten Reihenfolge durchgeführt:

1. Fragebogen zum körperlichen und psychischen Wohlbefinden (s. Anhang) Bearbeitungszeit: ca. 15 min
2. Messung der Herzfrequenzvariabilität (Dauer: 30 min)
3. Venöse Blutentnahme
4. Ärztliche Untersuchung inkl. Körperfettmessung (KAL): ca. 30 min
5. Erfassung der anthropometrischen Daten mit Körperfettmessung (BIA) und Ruhe-EKG/Ruheblutdruck im Liegen: ca. 20 min
6. Belastungsuntersuchung auf dem Laufband (LB) mit simultaner Spiroergometrie: 45-80 min

2.2.1 Fragebogen zum körperlichen und psychischen Wohlbefinden

Bei allen verwendeten Tests handelt es sich um geschlossene Fragebogen, deren Items auf einer mehrstufigen Rating-Skala beantwortet werden sollten. Die verwendete Batterie besteht u.a. aus der "Frankfurter Körperkonzeptskala zur Gesundheit und zum körperlichen Befinden" (SGKB) und der "Frankfurter Körperkonzeptskala zur körperlichen Effizienz" (SKEF), die beide aus den "Frankfurter Körperkonzeptskalen" (Deusinger 1998) entnommen wurden. Während in der SGKB (sechs Items) eine Selbsteinschätzung des Gesundheitszustandes erfolgen soll, zielt die SKEF (zehn Items) auf eine Einschätzung der im Zusammenhang mit der Wirkung von Sportprogrammen bedeutsamen Parameter der körperlichen Beweglichkeit und Kraft.

Aus den "Frankfurter Selbstkonzeptskalen" (Deusinger 1986) wurde die aus sechs Items bestehende "Frankfurter Selbstkonzeptskala zur Empfindlichkeit und Gestimmtheit" ausgewählt, einer der wenigen deutschsprachigen Tests, der explizit das habituelle Wohlbefinden erfassen soll.

Alle Items der genannten Skalen sollten auf einer sechs-stufigen Rating-Skala beantwortet werden. Zu den von Deusinger publizierten Skalen liegt jeweils ein umfangreiches Testmanual vor, das neben der Prüfung der Testgütekriterien auch Normwerte enthält.

Zusätzlich wurde die sogenannte "Beschwerdenliste" (B-L) (Zerssen 1976) ausgewählt, anhand derer mit 24 Items das Ausmaß allgemeiner Beschwerden erfasst werden kann. Es ist denkbar, dass allgemeine körperliche Beschwerden durch ein gesundheitsorientiertes Ausdauertraining positiv beeinflussbar sind. Auch zu diesem Erhebungsinstrument liegt ein ausführliches Handbuch vor, in dem die innere Konsistenz und externe Validität des Tests diskutiert wird und Normwerte veröffentlicht wurden.

Abschließend wurden die "Befindlichkeitsskalen" (BFS) (Abele-Brehm/Brehm 1986) eingesetzt. Bei den BFS handelt es sich um eine Adjektivliste, bestehend aus 40 Items zur indirekten Erfassung des Befindens. Die Verfasser gingen von folgenden acht Sub-Skalen der Befindlichkeit aus, denen mittels Expertenratings und Voruntersuchungen die 40 Items zugeordnet wurden:

- | | |
|-------------------|----------------------------|
| 1. Aktiviertheit | 2. Gehobene Stimmung Ärger |
| 3. Besinnlichkeit | 4. Ruhe |
| 5. Ärger | 6. Erregtheit |
| 7. Deprimiertheit | 8. Energielosigkeit |

In den Anweisungen zu den BFS wurde explizit dazu aufgefordert, das Befinden der letzten zwei Wochen bei der Beantwortung zu berücksichtigen, um das "habituelle Wohlbefinden" zu erfassen.

Probeweise wurden einige Personen gebeten, die Testbatterie zu bearbeiten. Die Bearbeitungszeit betrug 12-20 min. Es wurde angenommen, dass in diesem Zeitrahmen die Motivation und Aufmerksamkeit der Probanden keinen wesentlichen Schwankungen unterliegt. Aus diesem Grund und um Einflüsse der anderen Messungen (z.B. Blutentnahme) zu vermeiden, wurde die Beantwortung der Batterie jeweils morgens zum Testauftakt durchgeführt.

Die Lizenzen zur Nutzung der aufgeführten Fragebogen wurden beim Hogrefe-Verlag beantragt und am 30.4.2002 für 120 Durchführungen bewilligt.

2.2.2 Messung der Herzfrequenzvariabilität

Es folgte ein 25-minütiges Protokoll zur Erfassung mehrerer Parameter der Herzfrequenzvariabilität. Das Protokoll der Messung sah unterschiedliche Körperpositionen und Atemrhythmen vor, die mittels einer über Kopfhörer eingespielten CD gesteuert wurden. Die HF-Intervalle wurden simultan mit einer Pulsuhr Polar S 810 (Fa. Polar, Kempele/Finnland) gemessen.

Die Wirkung eines präventiven Ausdauertrainings auf verschiedene Parameter der Herzfrequenzvariabilität ist Gegenstand einer weiteren wissenschaftlichen Arbeit. Daher erfolgt in den weiteren Kapiteln keine Darstellung der Ergebnisse dieser Messungen.

2.2.3 Venöse Blutentnahme

Die venöse Blutentnahme erfolgte unmittelbar im Anschluss an eine mindestens zehnmünütige Ruhephase im Liegen. Neben einem Routinelabor (Blutbild, Leber-Enzyme mit Creatinkinase, Elektrolyte/Eisenhaushalt) zur Überprüfung der Eignung für eine Studienteilnahme, wurden die abhängigen Parameter Chol_{ges}, HDL-Chol., LDL-Chol., TG, Apo A-1, Apo B, und Hcy gemessen (s. Kap. 2.5).

2.2.4 Ärztliche Untersuchung

Auf die Gesundheits- und Trainingsanamnese, bei der u.a. die Einhaltung der Einschlusskriterien überprüft wurde, folgte eine ausführliche körperliche Untersuchung. Die Befunde wurden auf einem Untersuchungsprotokoll vermerkt. Abschließend wurde der Körperfettanteil an der Gesamtkörpermasse anhand einer 10-Punkt-Hautfaltenmessung mit der sogenannten Kaliper-Methode bestimmt (Parizková/Buzková 1971).

2.2.5 Anthropometrie und Ruhe-EKG/-Blutdruck

Nach Bestimmung der Körpergröße (mit Wasserwaage und fest installiertem Maßband) wurde das Körpergewicht mit einer Waage Modell 1633 (Fa. Tanita Europe, Sindelfingen/Deutschland) gemessen. Es wurde darauf geachtet, dass die Probanden beim Abschlusstest vergleichbare Sportkleidung wie beim Eingangstest trugen. Anschließend wurde in dreifacher Wiederholung, mit einer Bioimpedanz-Waage ("Body Fat Scale"; Fa. Soehnle-Waagen, Murrhardt/Deutschland) zur Körpermassebestimmung mit integriertem Modul der Impedanzmessung, der Körperfettanteil der Probanden ermittelt. Nach Eingabe des Lebensalters, der Größe, des Geschlechts und der Bestimmung des Körpergewichts wird mit einem Stromimpuls die elektrische Leitfähigkeit des Organismus bestimmt.⁴ Aus den genannten vier Parametern berechnet sich dann der Körperfettanteil. Um Veränderungen des Flüssigkeitshaushaltes einzuschränken, wurden die Probanden gebeten, standardisiert vom Vorabend 18.00 Uhr bis zum Beginn der Untersuchung 1 Liter Mineralwasser zu trinken. In liegender Position wurde sodann der Ruheblutdruck sphygmomanometrisch gemessen und ein 12-Kanal-Ruhe-EKG registriert.

2.2.6 Belastungsuntersuchung

Mit einer Belastungsuntersuchung auf dem LB wurde die Untersuchungsreihe abgeschlossen. Mehrere Tests im Vorfeld der Studie hatten ergeben, dass ein Belastungsprotokoll mit ausschließlicher Steigerung der Laufbandgeschwindigkeit bei der gewählten Zielgruppe keine Anwendung finden kann, da bei steigender Laufgeschwindigkeit koordinative Schwierigkeiten auftraten. Eine Bestimmung der ansonsten institutsüblichen individuellen anaeroben Schwelle nach Stegmann (1981) hatte aufgrund der dazu notwendigen Pausen für Laktatentnahmen den Nachteil, dass die relevanten Parameter VO_{2max} und HF_{max} nicht sicher bestimmt werden konnten (z.B. bei zu frühem Abbruch der höchsten Stufe).

Einige Belastungsprotokolle mit dem primären Ziel der VO_{2max} -Bestimmung auch bei Untrainierten und Patienten (z.B. Balke-Protokoll (Balke/Ware 1959) oder Bruce-Protokoll (Bruce 1973)) sehen lediglich Geschwindigkeiten vor, die mit der Walking-Technik zu bewältigen sind. Um eine weitere Steigerung

⁴ „Das magere Muskelgewebe hat wegen des höheren Flüssigkeits- und Elektrolytgehalts eine größere elektrische Leitfähigkeit als das Fettgewebe, so dass mittels eines geringen Stromflusses durch den Körper und des dabei gemessenen Widerstandes auf die im Organismus vorhandene Fett- und Magermasse geschlossen wird" (Herm 2003, 153).

der Belastung zu erzielen, wird nicht die Geschwindigkeit, sondern die Neigung des LB erhöht. Probedurchläufe zeigten, dass bei leistungsschwachen Personen Geschwindigkeiten bis zu 6 km/h und bei leistungsstärkeren Personen Geschwindigkeiten bis zu 7 km/h sicher bewältigt werden können ohne die Gefahr lokaler muskulärer Überlastungen (M. tibialis anterior) oder des Übergangs in den Laufschrift. Eine jeweils nach drei Minuten erfolgende Steigerung der LB-Neigung um drei Prozent gewährleistet eine Ausbelastung in einem Zeitfenster, das eine sichere Bestimmung der Maximalparameter ermöglicht. Zur Steuerung der Trainingsintensität wurde die individuelle Schw._{1,5} (Dickhuth et al. 1991) bestimmt. Bei der Bestimmung dieser Schwelle werden zu einem Basislaktatwert⁵ 1,5 mmol/l addiert (vgl. Abb. 8). Dieses Verfahren macht Laktatentnahmen bei höheren Belastungsstufen, die sicher oberhalb der Schwelle liegen, überflüssig.

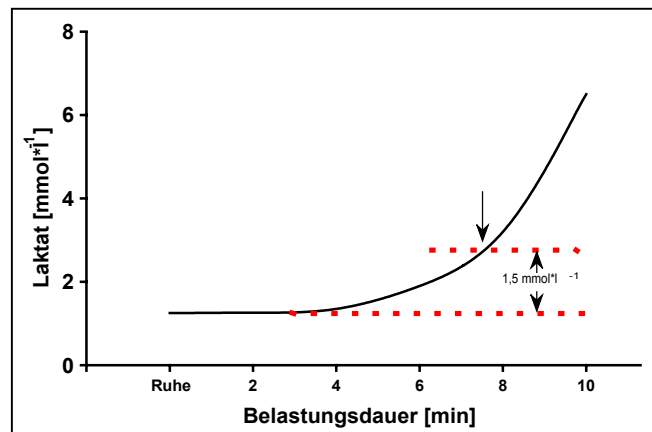


Abb. 8: Bestimmung der Schw._{1,5} (nach Röcker et al. 1998)

Voraussetzung ist allerdings ein Beginn des Belastungsprotokolls bei hinreichend niedrigen Geschwindigkeiten.

Es wurden folgende Belastungsprotokolle (vgl. Abb. 9) festgelegt:

Variante 1: Leistungsschwache Personen begannen bei 4 km/h. Bei einer Stufendauer von drei Minuten wurde die Geschwindigkeit jeweils um 1 km/h gesteigert, bis die Höchstgeschwindigkeit von 6 km/h erreicht wurde (vgl. Abb.9).

Anschließend wurde im Intervall von drei Minuten bei gleichbleibender Geschwindigkeit die Neigung des LB um jeweils 3% erhöht.

⁵ Laktatwert bei niedrigen Belastungen vor dem ersten Laktatanstieg, der durchaus unter dem Ruhewert liegen kann

Nach Vollendung jeder Stufe wurde bis zum sicheren Überschreiten der Schwelle (Beurteilung durch Untersucher) das LB zur kapillären Blutentnahme

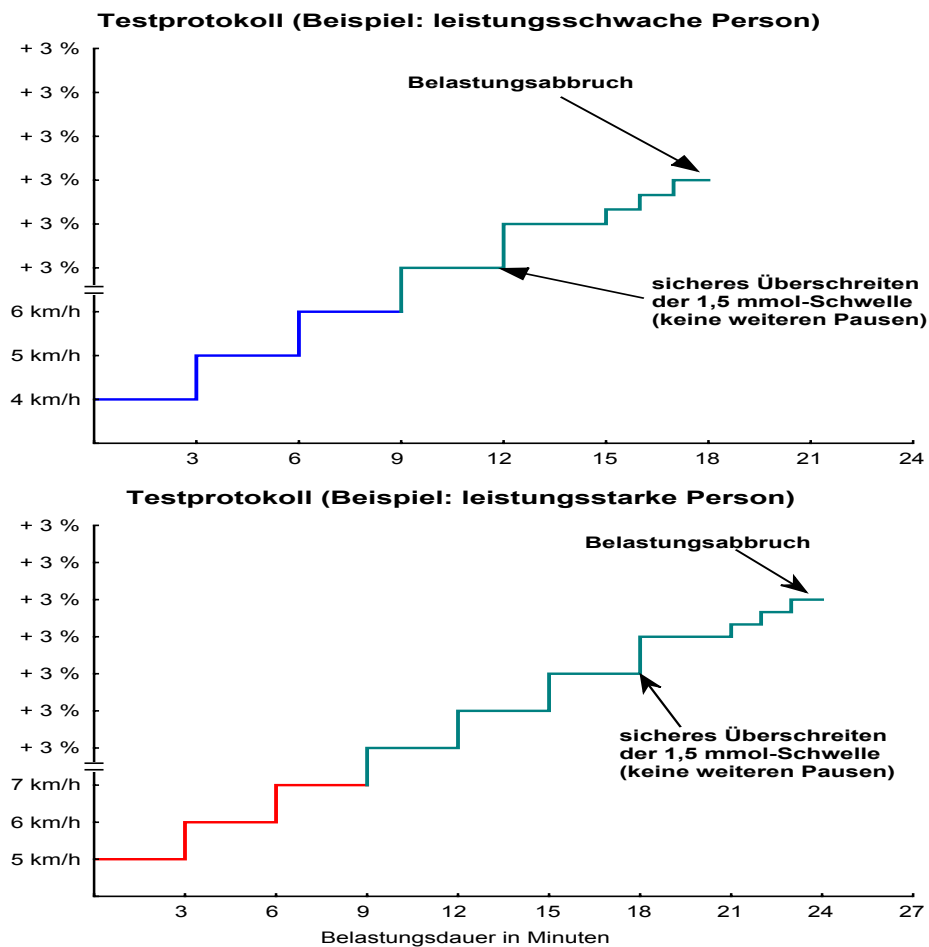


Abb. 9: Beispielhafte schematische Darstellung der verwendeten Testprotokolle am hyperämisierten Ohrläppchen (50 μ l) und zur Messung des Blutdrucks im Stehen angehalten (45 sek). Anschließend erfolgte nach einer einmaligen weiteren Neigungserhöhung um 3% eine stetige Erhöhung um minütlich 1% bis zur individuellen Ausbelastung. Während der Belastung wurde jede Minute ein EKG geschrieben.

Variante 2: Bei leistungsstärkeren Personen betrug die Einstiegsgeschwindigkeit 5 km/h, und es wurde bis 7 km/h gesteigert. Anschließend erfolgte eine Erhöhung der Laufbandneigung wie geschildert.

In zwei Fällen wurde aufgrund einer sehr schlechten Leistungsprognose eine Einstiegsgeschwindigkeit von 3 km/h gewählt. Nach der ersten Belastungsstufe wurde entsprechend Variante 1 weiterverfahren.

Bei jedem Belastungstest wurden die Probanden verbal dazu aufgefordert sich maximal auszubelasten. Als Ausbelastungskriterien dienten die HF_{max} , die

maximale Laktatkonzentration (Lak_{max}), der maximale respiratorische Quotient (RQ_{max}) (vgl. Howley et al. 1995) und die Borg-Angabe.

Nachbelastungsphase

Bis fünf Minuten nach Belastungsende wurde das EKG minütlich mitgeschrieben. Drei und fünf Minuten nach Belastungsabbruch erfolgten weitere Laktatentnahmen, um den Ausbelastungsgrad zu bestimmen (vgl. Pelayo et al. 1996). Eine Blutdruckmessung in sitzender Position wurde sieben Minuten nach Belastungsende (7 p`) durchgeführt. Abschließend wurden die Probanden gebeten auf der mehrstufigen Borg-Skala (von 6=“sehr sehr leicht“ bis 20=“sehr sehr schwer“), den subjektiven Anstrengungsgrad während der letzten Minute des Belastungstests einzuordnen (Borg 1982). Die Probanden wurden ferner zu den Abbruchgründen und eventuellen Symptomen befragt, die auf eine kardialen Erkrankung hinweisen könnten⁶.

Im Anschluss an die Belastungsuntersuchung wurden Luftfeuchtigkeit und Temperatur im Labor vom Untersucher protokolliert. Trotz deutlicher Abweichungen im Einzelfall (max. 7,0 °C), war der Mittelwert der Temperatur in den vier Gruppen während des Eingangs- und Abschlusstests fast identisch, so dass eine systematische Beeinflussung der Gesamtergebnisse durch die Temperatur ausgeschlossen werden kann (s. Tab. 1).

Tab. 1: Mittelwerte der Temperatur bei den vier Untersuchungsgruppen während des Eingangs- und Abschlusstests

Temp.	Gruppe K	Gruppe WW	Gruppe RMT	Gruppe LOW	Gesamt
ET	21,2 ± 1,1	21,1 ± 1,1	22,0 ± 1,2	21,8 ± 1,3	21,5 ± 1,2
AT	22,4 ± 2,9	21,2 ± 1,2	21,3 ± 2,3	22,0 ± 2,1	21,7 ± 2,2

2.3 Training/Kontrollzeitraum

Lagen die Ergebnisse der Eingangsuntersuchung vollständig vor, wurde die randomisierte Gruppenzuteilung vorgenommen und dem Proband telefonisch das Ergebnis mitgeteilt. Nach einer kurzen Darstellung der wichtigsten Untersuchungsergebnisse wurde im Zuge dieses Gesprächs ein Termin für ein erstes Training vereinbart bzw. bei einer Zulosung in die Kontrollgruppe eine Instruktion bzgl. der Lebensführung in der anstehenden Kontrollzeit

⁶ In zwei Fällen deuteten Indizien auf eine Erkrankung des Herzens hin. Zur Abklärung der internistischen Sporttauglichkeit wurde daraufhin eine Echokardiografie mit jeweils negativem Untersuchungsbefund durchgeführt.

vorgenommen. Ernährung und körperliche Aktivität sollten konstant gehalten werden entsprechend der Monate vor Durchführung des Eingangstests. Diese Instruktionen galten, abgesehen von der Durchführung des Trainings, auch für die Teilnehmer der Trainingsgruppen.

Personen aus der Kontrollgruppe wurde nach Beendigung der Kontrollzeit und Abschlussuntersuchung die Möglichkeit zugesichert, ebenfalls am Training teilnehmen zu können. Von dieser Möglichkeit machten viele Probanden Gebrauch. Dieses Training wurde jedoch nicht statistisch ausgewertet.

Im Falle einer sich im Untersuchungszeitraum ändernden oder neu begonnenen Medikation wurden alle Probanden gebeten, telefonisch Rücksprache zu halten. In zwei Fällen lag während des Kontrollzeitraums die medizinische Notwendigkeit vor, eine Medikation mit eventuellen Auswirkungen auf Zielparameter zu beginnen⁷. Die von diesen Medikamenten beeinflussten Variablen wurden nicht ausgewertet.

Die erste Trainingseinheit obligat sowie im weiteren Verlauf möglichst eine Trainingseinheit pro Woche fand unter Anleitung (M.A./K.H.) im freien Gelände auf befestigten Waldwegen statt. Es wurde an mindestens zwei Terminen pro Woche die Möglichkeit eines betreuten Trainings angeboten, in dessen Verlauf vor dem Training die Datenübertragung der Pulstester und ein standardisiertes Aufwärmen mit kurzem Dehnprogramm stattfand. Vor Beginn des ersten Trainings wurde jeder Proband bzgl. seiner Trainingsvorgaben und der Führung eines Trainingsprotokolls instruiert (s. Anhang). Es sollte jede Trainingseinheit inklusive der durchschnittlichen HF, eventuell besonderer Vorkommnisse sowie täglich das allgemeine Befinden auf einer mehrstufigen Ratingskala aufgezeichnet werden. Einmal pro Woche sollte standardisiert das Körpergewicht gemessen und im Trainingsprotokoll vermerkt werden. Ferner wurden die Probanden im Verlauf des ersten Trainings in die Bedienung der verwendeten Pulsuhren eingewiesen und erhielten eine schriftliche Kurzanleitung (s. Anhang). Während des Trainings waren die Uhren so eingestellt, dass neben der aktuellen HF die bis dato geleistete Trainingszeit angezeigt wurde. Neben der Aufzeichnungsfunktion (Speicherung in 20-sek Intervallen) wurde eine Alarmfunktion eingesetzt, welche die Probanden

⁷ Bei einem Probanden wurde eine beginnende Glukoseintoleranz festgestellt und darauf hin eine Medikation mit Mediabet 500 (3 x 1) begonnen. Zwei Wochen vor Beendigung der Studienteilnahme begann eine weitere Person zunächst ohne unser Wissen eine Medikation mit Cosopt (enthält Betablocker) zur Senkung eines diagnostizierten erhöhten Augeninnendrucks.

mittels eines akustischen Signals informierte, wenn sie entweder zehn Schläge unter oder über ihrer persönlichen Pulsvorgabe trainierten. Unabhängig davon wurde aber jeder Proband gebeten häufige Sichtkontrollen des angezeigten Pulses durchzuführen, um eine exakte Intensitätssteuerung zu gewährleisten. Im Anschluss wurde die erste Einheit absolviert, verbunden mit einer allgemeinen Einführung und einer Technikschiulung. Je nach Fitnesszustand wurde gewalkt (n=17)⁸ oder gejoggt (n=21); maßgeblich war die Trainingsherzfrequenz.

Im Zuge der Datenübertragung absolvierter Trainingseinheiten wurde gemeinsam mit dem Probanden eine Sichtkontrolle durchgeführt und eventuelle Abweichungen von den Trainingsvorgaben angesprochen. Es wurde besonderen Wert auf eine gleichmäßige Einhaltung des Trainingspulses gelegt.

2.3.1 Trainingsdokumentation

Mittels der verwendeten Pulsuhren, die über eine Aufzeichnungsfunktion verfügen, konnten alle Trainingseinheiten gespeichert und die Belastungsnormative Dauer, Intensität und Frequenz entsprechend den Vorgaben exakt kontrolliert und gesteuert werden.

Die Anzahl der Trainingseinheiten, die Gesamttrainingsdauer in Minuten und die Intensität in Form des durchschnittlichen Herzfrequenzwertes pro Trainingswoche wurden für jeden Studienteilnehmer berechnet und dokumentiert. Da es bei der Erfassung des Trainingspulses aus technischen Gründen in einigen Fällen zu kurzzeitigen Messproblemen kam, die sich in der Aufzeichnung als scharfe Zacken der HF nach unten bemerkbar machten, wurde eine Nachbereitung der Aufzeichnungen nötig. Die Messfehler wurden grafisch eliminiert und eine Neubestimmung der mittleren HF durchgeführt. Aufgrund des bei fast 2000 gespeicherten Trainingseinheiten sehr hohen Arbeitsaufwandes eines solchen Vorgehens wurde lediglich eine randomisiert ausgewählte Trainingseinheit pro Woche bearbeitet und der ermittelte Durchschnittspuls auf die anderen Trainingseinheiten der betreffenden Trainingswoche übertragen.

⁸ Bei vielen Probanden variierte die Bewegungsform (Walking/Joggen) innerhalb des Untersuchungszeitraums je nach Trainingszustand und in Abhängigkeit vom Geländeprofil. Die getroffenen Angaben beziehen sich auf Beobachtungen der Probanden im flachen Gelände durch den Untersucher (M.A.) während des mittleren Untersuchungsabschnitts.

Abschließend wurde mittels Addition der Wochenwerte die Gesamtanzahl der Trainingseinheiten und die gesamte Trainingsdauer sowie durch Berechnung der durchschnittlichen HF-Werte die mittlere Belastungsintensität ermittelt.

Kam es als Folge von Bedienungsproblemen, technischen Schwierigkeiten oder leeren Batterien zu Verlusten einzelner Trainingseinheiten, wurde auf die Eintragungen im parallel während der Studienteilnahme geführten Trainingsprotokoll zurückgegriffen.

2.3.2 Compliance

Im Verlauf des Trainings kam es wiederholt zu unverschuldeten Zwangspausen, beispielsweise durch Erkrankungen, Verletzungen oder berufliche Verpflichtungen. Trotz der engen Kontrolle mussten daher in der Endauswertung in wenigen Einzelfällen leichte Abweichungen von den geschilderten Trainingsvorgaben verzeichnet werden. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde ein Qualitätsscore zur Evaluation der Compliance entwickelt. In diesen Compliance-Score fließen mit gleicher Gewichtung folgende vier Faktoren ein:

1. *Anzahl der trainierten Einheiten im Verhältnis zur Vorgabe*
2. *Ingesamt abgeleistete Trainingszeit in Relation zur Vorgabe*
3. *Mittlere HF aller Trainingseinheiten in Relation zur Vorgabe (Intensität)*
4. *Pausen während der Trainingsphase*

Wie das folgende Beispiel verdeutlichen soll, wurden zu jedem Faktor vier Bereiche definiert, entsprechend einer Notenskala von eins bis vier:

Beispiel Faktor 3: Intensität (mittlere HF aller Einheiten in Relation zur Vorgabe)

Bewertung: Note 1 = 95-105%

Note 2 = 90-95% bzw. 105-110%

Note 3 = 85-90% bzw. 110-115%

Note 4 = 80-85% bzw. 115-120%

Über den resultierenden "Compliance-Score" wird die Qualität der Trainingsteilnahme in den einzelnen Gruppen kontrollier- und vergleichbar.

2.4 Studienverlauf

2.4.1 Rekrutierung

Insgesamt meldeten sich auf an der Universität des Saarlandes vorgenommene Aushänge sowie im Bedarfsfall geschaltete Inserate in den lokal erscheinenden Zeitungen "Findling" und "Wochenspiegel" und über Mund-zu-Mund-Propaganda **158 Personen**. Im Verlauf eines ersten Telefonats erfolgte eine ausführliche Darstellung des Forschungsvorhabens, eine Erfassung der persönlichen Daten sowie eine gezielte Befragung, um – soweit während eines Telefonats möglich – vorab zu prüfen, ob die dargestellten Einschlusskriterien erfüllt sind. Die im Verlauf des ersten Telefonats gemachten Angaben wurden in ein vorgefertigtes Formular eingetragen (s. Anhang) und in chronologischer Reihenfolge abgelegt.

Aus den im Folgenden aufgeführten Gründen kamen insgesamt **71 Personen** nicht für eine Teilnahme an dieser Untersuchung in Frage:

- Bereits absolviertes Training (s. Einschlusskriterien)
- Verlust des Interesses nach genauer Information über den Studienablauf
- Nicht der definierten Altersgruppe zugehörig
- Nichterfüllung der oben genannten gesundheitlichen Voraussetzungen
- Keine Möglichkeit, den geforderten zeitlichen Aufwand zu erbringen
- Keine Akzeptanz der Möglichkeit, in die Kontrollgruppe gelost zu werden
- Finanzielle Motive

Sieben Personen hielten zugesagte Vereinbarungen oder Termine für den Eingangstest nicht ein und wurden daher von der Teilnahme ausgeschlossen.

Da aufgrund der begrenzten Anzahl an Pulsuhren jeweils nur zehn Personen parallel ein Training absolvieren konnten, mussten in manchen Phasen der Studie interessierte Personen auf eine Warteliste gesetzt werden. Dies brachte den Umstand mit sich, dass insgesamt **elf Personen** von dieser Liste zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr erreichbar waren oder keine Teilnahme an der Studie mehr möglich war, weil sie z.B. bereits ein Training begonnen hatten.

Insgesamt **fünf Personen**, die zunächst auf die Warteliste gesetzt wurden, konnten am Ende der Untersuchung aus Kapazitätsgründen nicht mehr in die Studie aufgenommen werden.

Mit **64 Personen** wurde telefonisch ein Termin für die Eingangsuntersuchung vereinbart. Im Zuge des Telefonats wurde der jeweilige Proband instruiert,

nüchtern zur Untersuchung zu erscheinen, vom Vorabend 18.00 Uhr bis zum Testbeginn standardisiert 1 Liter Mineralwasser zu trinken sowie die nötige Sportbekleidung mitzubringen. Ferner wurden die Probanden gebeten am Vortag hohe körperliche Belastungen zu vermeiden. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, wurde jeder Proband am Vorabend eines Tests telefonisch an die Terminvereinbarung und die entsprechenden Verhaltensmaßnahmen erinnert.

Zwei Personen, die zunächst krankheitsbedingt nicht in die Studie aufgenommen werden konnten bzw. die Teilnahme abbrechen mussten, bekundeten nach vollständiger Gesundung Interesse an einem Neueinstieg. In diesen Fällen wurde eine erneuter Eingangstest durchgeführt und die Studie zufriedenstellend absolviert.

2.4.2 “Drop outs“

Von den insgesamt 64 Personen, welche die Einschlusskriterien zunächst erfüllten und sich bereit erklärt hatten, an der Untersuchung teilzunehmen, mussten 13 Personen (20,3%) vorzeitig ihr Engagement beenden. Gründe für den Abbruch der Studienteilnahme sind in Tab. 2 aufgezählt.

Tab. 2: Anzahl der Studienabbrecher (n=13) und Ursachen für den Ausstieg

Ursache des Ausstiegs	n	Prozent
orthopädische Beschwerden	2	15,4%
längere Erkrankung während der Studie	3	23,1%
Zeitmangel/beruflicher Stress	2	15,4%
Diagnose eines Eisenmangels, der eine Substitution nötig machte	2	15,4%
schlechte Compliance unbekannter Ursache	2	15,4%
private Gründe	2	15,4%

Ein Vergleich einiger ausgewählter anthropometrischer und leistungsphysiologischer Daten (Alter, Geschlecht, Gewicht ($p > 0,44$)/relative VO_{2max} ($p > 0,11$)) der Studienabbrecher zeigte keine signifikanten Unterschiede zu den Daten jener Personen, welche die Studie vollständig absolvierten. Eine systematische Verfälschung der Untersuchungsergebnisse durch die Studienabbrecher kann somit weitgehend ausgeschlossen werden.

Lag die Dauer einer unvermeidlichen Pause (z.B. akute Erkrankung, berufliche Verpflichtungen etc.) eines Probanden während des gesamten

Untersuchungszeitraumes insgesamt unter drei Wochen, erfolgte eine Datenaufnahme, sofern die Bereitschaft vorhanden war, die entsprechenden Trainingseinheiten im Rahmen der Trainingsvorgaben nachzuholen. Betrug die Pausendauer zwischen 3-5 Wochen (n=5) wurde neben einer nachträglichen Durchführung des regulären Trainings eine zusätzliche Trainingswoche auferlegt. Probanden, die länger als fünf Wochen pausierten oder bei denen bereits früh eine über das dargestellte Maß hinausgehende Verfehlung der Vorgaben absehbar war, wurden von der Studie ausgeschlossen (vgl. Tab. 2).

2.4.3 Probanden

51 Personen erfüllten die dargestellten Aufnahmekriterien, erklärten sich in einer schriftlichen Einverständniserklärung (s. Anhang) bereit an der Untersuchung teilzunehmen und absolvierten das komplette Test- und Trainingsprogramm. Die Stichprobe setzte sich aus 25 Frauen und 26 Männern zusammen. Anthropometrische Daten sowie absolute und auf das Körpergewicht bezogene VO_{2max} sind in Tab. 3 dargestellt.

Tab. 3: Anthropometrische Daten und relative VO_{2max} der Stichprobe (Mittelwerte und Standardabweichungen sowie die Spannweite)

	Mittelwert \pm Standardabw.	Spannweite
Alter [Jahre]	44,4 \pm 7,8	30 – 60
Körpergröße [cm]	173 \pm 9	156 – 193
Körpergewicht [kg]	80,4 \pm 18,2	50,2 – 119,8
BMI [$kg \cdot m^{-2}$]	26,9 \pm 5,3	19,4 – 40,8
VO_{2max} [$l \cdot min^{-1}$]	2,9 \pm 0,8	1,7 – 4,6
VO_{2max} [$ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$]	36,8 \pm 8,6	20,9 – 63,2

Nach dem Eingangstest erfolgte stratifiziert randomisiert die Zuteilung zu einer der vier Gruppen (vgl. Kap. 2.1). Eine ausgewogene Gruppenverteilung hinsichtlich Ausdauerleistungsfähigkeit und Geschlecht wurde mittels einer Randomisierungsliste (s. Anhang) mit den gestuften Kriterien relative VO_{2max} ($ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$) und Geschlecht sichergestellt.

Wie Tab. 4 zeigt, unterschieden sich die Gruppen bzgl. der anthropometrischen und wichtigsten leistungsphysiologischen Parametern nicht signifikant (t-Test für unabhängige Stichproben $p > 0,20$), so dass die Homogenität der Gruppen gewährleistet war.

Tab. 4: Anthropometrische und leistungsphysiologische Daten der untersuchten Gruppen (Mittelwerte und Standardabweichungen)

	Kontrollgr. K	Trainingsgr. WW	Trainingsgr. RMT	Trainingsgr. LOW
Personenzahl	13	12	13	13
weiblich	6	6	6	7
männlich	7	6	7	6
Alter [Jahre]	45,8 ± 6,5	46,0 ± 9,8	43,7 ± 7,7	42,2 ± 7,5
Größe [cm]	171 ± 9	173 ± 10	172 ± 8	174 ± 12
Körpergewicht [kg]	78,4 ± 17,9	76,7 ± 17,1	83,9 ± 18,8	82,5 ± 20,0
BMI [kg*m ⁻²]	26,5 ± 5,1	25,7 ± 5,9	28,3 ± 5,8	26,9 ± 4,9
VO _{2max} [l*min ⁻¹]	2,74 ± 0,77	2,78 ± 0,63	3,09 ± 0,78	2,98 ± 0,90
Testzeit Schw. _{1,5} [sek]	781 ± 136	775 ± 141	735 ± 149	703 ± 164

2.5 Geräte/Labormethodik

Im Zuge des Trainings wurden zunächst ausschließlich Pulstester Alpin 5 mit Aufzeichnungsfunktion (Fa. Ciclosport, Krailling/Deutschland) verwendet. Die Datenauslese auf einen PC erfolgte über einen Adapter. Gegen Ende der Studie wurden zusätzlich Pulsuhren des Modells Polar S 810 (Fa. Polar-Elektro, Kempele/Finnland) eingesetzt, deren gespeicherte Daten sich mittels einer Infrarot-Schnittstelle auf den PC übertragen lassen.

Der stufenförmige Belastungstest wurde auf einem Laufband Modell ELG 70 durchgeführt (Fa. Woodway, Weil am Rhein/Deutschland).

Im Kapillarblut (20 µl) wurde die Blutlaktatkonzentration enzymatisch-amperometrisch gemessen (Fa. R. Greiner Biochemica, Flacht/Deutschland).

Die während der Belastungstests nach der 13. (HF-Leistungskurve) bzw. nach der 12. Minute (Laktat-Leistungskurve) aufgezeichneten Daten wurden aus den Analysen ausgeschlossen, da sich bedingt durch den frühen Belastungsabbruch einiger Probanden die n-Zahl deutlich reduzierte. Um die Ergebnisse der HF-Leistungskurve anschaulicher zu gestalten, wurde zusätzlich für jede Untersuchungsgruppe die mittlere trainingsinduzierte Senkung der HF zwischen der ersten und der 12. Belastungsminute berechnet.

Spiroergometrische Daten (VO_2 und RQ) wurden während des Stufentests und der Dauerbelastungen in 10-Sekunden-Intervallen mit dem portablen Ergospirometrie-System MetaMax II (Fa. Cortex Biophysik GmbH; Leipzig/Deutschland) erfasst. Der einer Belastungsstufe zugehörige Wert wurde durch den Durchschnittswert der letzten drei Messwerte errechnet. Die Bestimmung der $\text{VO}_{2\text{max}}$ während des Stufentests erfolgte über Mittelung der letzten drei Messwerte vor Belastungsabbruch. Zeichnete sich hier ein Abfall der VO_2 ab (Levelling-Off-Phänomen), wurde der höchste 3er-Mittelwert im Testverlauf verwendet. Zusätzlich wurde die $\text{VO}_{2\text{max}}$ allometrisch dargestellt ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-2/3}$ anstatt $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$), um Unterschiede im Körpergewicht besser zu berücksichtigen. Es hat sich gezeigt, dass eine Verwendung des bisher gebräuchlichen Faktors ($\cdot\text{kg}^{-1}$) zu einer Unterschätzung von schweren Personen im Vergleich mit leichtgewichtigen Personen führte (Bergh et al. 1991) und ein allometrischer Faktor ($\cdot\text{kg}^{-2/3}$) eine präzisere Berücksichtigung des Körpergewichts ermöglicht (Heil 1997).

Das verwendete Ergospirometrie-System wurde nach Angaben des Herstellers kalibriert. Zwei Gase mit bekannten Konzentrationen, die an den beiden Enden des physiologischen Spektrums angesiedelt waren, dienten der Kalibration des O_2 - und des CO_2 -Sensors. Die Turbine zur Volumenmessung wurde mit einer Präzisionspumpe (3 L) kalibriert.

Im venösen Blut wurden Hämoglobin und Hämatokrit mittels Coulter-Counter (Sysmex Microcellcounter, Modell F-800, Fa. TOA Medical Electronics, Japan) sowie Ferritin mit Lumineszenzassay (Magic Lite Analyser, Fa. Ciba-Corning, Fernwald/Deutschland) gemessen.

Apo A-I und Apo B wurden mittels Assays der Fa. Dade Behring immunnephelometrisch auf einem Behring Nephelometer (Dade Behring, Schwalbach/Deutschland) quantifiziert. Dabei werden die Apo A-I bzw. die Apo B an spezifischen Antikörpern gebunden und bilden Immunkomplexe, die zu einer Trübungszunahme in der Probe führen. Dadurch kommt es zu einer vermehrten Lichtstreuung und das seitlich austretende Streulicht kann gemessen werden. Die Intra- und Interassay Variationskoeffizienten betragen für Apo A-I 1,58 und 1,45 $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ für Apo B 1,04 und 1,08 $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$.

Hcy wurde mit einem enzymatischen Fluoreszenz-Polarisations-Immunoassay der Firma Abbott auf einem AxSYM Analysegerät (Fa. Abbott, Wiesbaden/Deutschland) bestimmt. Die Intra- und Interassay Variationskoeffizienten dieser Methode betragen $< 4,5$ und $5,1$ %.

Die folgende Tab. zeigt die Laborverfahren, mittels derer durch das Messgerät Synchron CX 5 (Fa. Beckman Coulter, Fullerton/USA) einige der verwendeten Zielparameter bestimmt wurden.

Tab. 5: Labormethodik zur Bestimmung relevanter Laborparameter

	Parameter	Messprinzip	Reaktionstyp
Elektrolyte	Natrium	ISE LAS Glasmembran	Endpunkt
	Kalium	ISE Valinomycin	Endpunkt
Substrate	Chol _{ges}	Enzymatischer Farbtest	Endpunkt 2
	HDL-Chol.	Enzymatischer Farbtest	Endpunkt 2
	LDL-Chol.	Enzymatischer Farbtest	Endpunkt 2
	TG	Enzymatisch GPO-Test	Endpunkt 2
Substrate	Harnsäure	Uricase POD enzymat. Farbtest	Endpunkt 2
	Harnstoff	UV-Kinetik	Kinetik 1
	Kreatinin	Jaffe-Reaktion Farbtest	Kinetik 2
	Glucose	Hexokinase UV	Endpunkt 2
	Magnesium	Calmagit	Endpunkt 2
	Eisen	Ferrozin	Endpunkt 2
Protein	CRP	Immunturbidimetrisch	Kinetik 1

2.6 Statistik

Das Untersuchungsdesign der Längsschnittstudie zielt auf die Prüfung einer Unterschiedshypothese mit Effektgröße.

Die statistischen Analysen wurden computergestützt mit dem Statistikprogramm Statistica Version 5.0, Edition `97 durchgeführt. Folgende statistische Verfahren kamen zur Anwendung:

➤ Deskriptive Statistik

Die deskriptive Darstellung der intervallskalierten Daten erfolgt, falls nicht anders angegeben, als Mittelwerte und Standardabweichung.

➤ Varianzanalysen

Die Varianzanalysen werden mit einer zwei- bzw. dreifaktoriellen ANOVA durchgeführt. Diskrete Parameter wurden mit einer zweifaktoriellen ANOVA

analysiert. Gestufte Faktoren waren die Gruppenzugehörigkeit (Programm WW, RMT, LOW bzw. Kontrollgruppe) und die Messzeitpunkte (ET bzw. AT). Im Falle der während der Belastungsuntersuchung fortlaufend aufgezeichneten Verlaufparameter (z.B. HF-Leistungskurve) wurde eine dreifaktorielle ANOVA mit dem zusätzlichen Faktor Belastungsdauer durchgeführt. Die Anzahl der Messwerte wurde dabei so gewählt, dass ein kompletter Datensatz in die Berechnungen einfließt.

Zur Absicherung von Einzeleffekten wurde post hoc ein Scheffé-Test durchgeführt.

➔ Signifikanzschranken

Bei den einseitig formulierten Hypothesen werden die Ergebnisse der Unterschiedstestung für $p \leq 0,10$ als signifikant gewertet, ansonsten gilt als Signifikanzniveau für den α -Fehler $p < 0,05$.

Die signifikanten Ergebnisse für Fragestellungen mit einseitigen Hypothesen werden grafisch folgendermaßen dargestellt:

* ➔ $p \leq 0,10$; ** ➔ $p \leq 0,05$; *** ➔ $p \leq 0,01$; **** ➔ $p \leq 0,001$

Die signifikanten Ergebnisse für Fragestellungen mit zweiseitigen Hypothesen werden dagegen wie folgt dargestellt:

* ➔ $p \leq 0,05$; ** ➔ $p \leq 0,01$; *** ➔ $p \leq 0,001$

Zeichenerklärung: Vergleich Training/Kontrollgruppe	➔ *
Vergleich Gruppe WW/Gruppe RMT	➔ □
Vergleich Gruppe RMT/Gruppe LOW	➔ +
Vergleich Gruppe WW/Gruppe LOW	➔ #

➤ Korrelationsanalysen

Korrelationen werden mittels Pearson-Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten (r) bestimmt. Dabei bedeutet $r=1$ bzw. $r=-1$ eine lineare Beziehung zwischen zwei Variablen, während $r=0$ für mathematische Unabhängigkeit steht.

Zeichenerklärung: signifikante Korrelation *

3 Ergebnisse

3.1 Darstellung der Trainingsdurchführung

Insgesamt führten die 38 Probanden der Trainingsgruppen, die das Studienprogramm komplett absolvierten, 1834 Trainingseinheiten mit einer Gesamtdauer von 74.415 min durch.

Die Tab. 6-8 zeigen die mittlere Trainingsdauer, die mittlere Anzahl an absolvierten Einheiten und die durchschnittliche Trainingsintensität der drei Trainingsgruppen, jeweils in Relation zu den Trainingsvorgaben sowie den entsprechenden Notendurchschnitt (s. Kap. 2.3.2 Compliance) der Gruppen.

Tab. 6: Darstellung der Trainingsdauer

Gruppe	Vorgabe [min]	Mittlere Trainingsdauer [min] und Prozentanteil der Vorgabe	Durchschnittsnote (Compliance-Score)
WW	1800	1860 (103,3%)	2,00
RMT	1800	1883 (104,6%)	1,77
LOW	2168	2124 (98,2%)	1,85
Gesamt	1926	1958 (102,0%)	1,87

Die dargestellten Daten der Trainingsdauer zeigen eine gute Einhaltung der Vorgaben. In den Gruppen WW und RMT wurde etwas länger trainiert als vorgegeben. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass einige Probanden nach längeren Pausen Zusatzeinheiten absolvierten (vgl. Kap. 2.3 und Kap. 4.5.1) bzw. im Trainingsalltag z.T. Einheiten um einige Minuten verlängert wurden.

Tab. 7: Anzahl der Trainingseinheiten

Gruppe	Vorgabe Trainingseinheiten	Mittlere Anzahl der Einheiten und Prozentanteil der Vorgabe	Durchschnittsnote (Compliance-Score)
WW	24	24,6 (102,4%)	1,4
RMT	60	60,5 (100,9%)	1,3
LOW	60	57,8 (96,4%)	1,6
Gesamt	48,6	48,3 (99,8%)	1,4

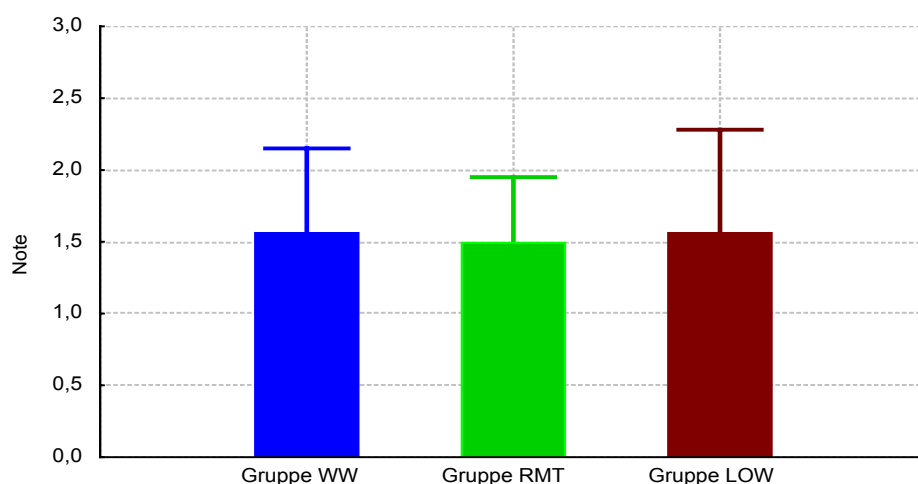
Auch bei den Trainingseinheiten erklären sich die hohen Prozentzahlen durch Zusatzeinheiten, die einige Probanden durchführten, weil sie hoch motiviert waren oder zwischenzeitlich zu längeren Trainingspausen gezwungen waren.

Tab. 8: Darstellung der Trainingsintensität

Gruppe	Mittlere Vorgabe [1/min]	Mittlere Herzfrequenz [min^{-1}] und Prozentanteil der Vorgabe	Durchschnittsnote (Compliance-Score)
WW	132,8	133,8 (100,9%)	1,4
RMT	140,8	141,8 (100,7%)	1,0
LOW	121,4	123,1 (101,4%)	1,3
Gesamt	131,6	132,9 (101,0%)	1,2

Die vorgegebene Intensität wurde, wie Tab. 8 zeigt, von den teilnehmenden Probanden ausgezeichnet eingehalten. Die Tatsache, dass die Herzfrequenzvorgabe in Trainingsgruppe WW und RMT trotz identischer Trainingsintensität relativ deutlich differiert, kann durch individuelle Unterschiede der HF-Leistungskurven erklärt werden. In Trainingsgruppe RMT befanden sich einige Personen, die an der Schw._{1,5} eine außergewöhnlich hohe HF aufwiesen. Die mittleren Intensitäten während des Trainings entsprachen bei Trainingsgruppe WW und RMT $76 \pm 5\%$ der HF_{max} , $63 \pm 8\%$ der $\text{HF}_{\text{Reserve}}$ oder $63 \pm 6\%$ der $\text{VO}_{2\text{max}}$ und bei Trainingsgruppe LOW $69 \pm 4\%$ der HF_{max} , $53 \pm 5\%$ der $\text{HF}_{\text{Reserve}}$ oder $56 \pm 4\%$ der $\text{VO}_{2\text{max}}$.

Aus den drei Noten der dargestellten Trainingsparameter sowie einer weiteren Note, bei der Trainingspausen negativ berücksichtigt wurden, berechnete sich der Compliance-Score (vgl. Kap. 2.3.2). Abb. 10 zeigt deutlich, dass der mittlere Score der drei Gruppen nicht unterschiedlich war ($p=0,95$).

**Abb. 10:** Compliance-Score der Trainingsgruppen

Somit konnte gezeigt werden, dass die Qualität des Trainings in den Gruppen keine nennenswerten Unterschiede aufwies und die Voraussetzungen für einen statistischen Vergleich erfüllt sind.

3.2 Training vs. Kontrollgruppe

Die drei ausgeführten Trainingsprogramme wurden so strukturiert, dass sie sich zwar bzgl. der Belastungsnormative “Intensität“ und “Trainingsfrequenz“ voneinander unterschieden, jedoch einen nahezu identischen **relativen Kalorienverbrauch** aufwiesen (≈ 1.400 kcal). Daher scheint es gerechtfertigt, in einem ersten Schritt alle Trainingsteilnehmer zusammenzufassen und deren Ergebnisse einem statistischen Vergleich mit den Ergebnissen der Kontrollgruppe zu unterziehen. Durch die Erhöhung der n-Zahl und damit der statistischen Aussagekraft, lassen sich infolge dieses Vorgehens zuverlässiger Aussagen ableiten, welche Trainingseffekte ein Training des dargestellten Belastungsumfangs (im Sinne von Kalorienverbrauch) erwarten lässt.

3.2.1 Leistungsphysiologie

In Abb. 11 ist die VO_{2max} in Relation zum Körpergewicht (**allometrisch**) der Kontrollgruppe und der Trainingsgruppen (Daten der drei Trainingsgruppen zusammengefasst) während des Eingangs- und des Abschlusstests dargestellt. Die VO_{2max} verbesserte sich in den Trainingsgruppen im Mittel von 158,2 auf 166,7 [$ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-2/3}$], während in der Kontrollgruppe ein Abfall von 150,6 auf 146,9 [$ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-2/3}$] registriert wurde. Die Varianzanalyse ergab eine signifikante Interaktion Gruppe x Test für die VO_{2max} ($F=10,78$; $p<0,01$).

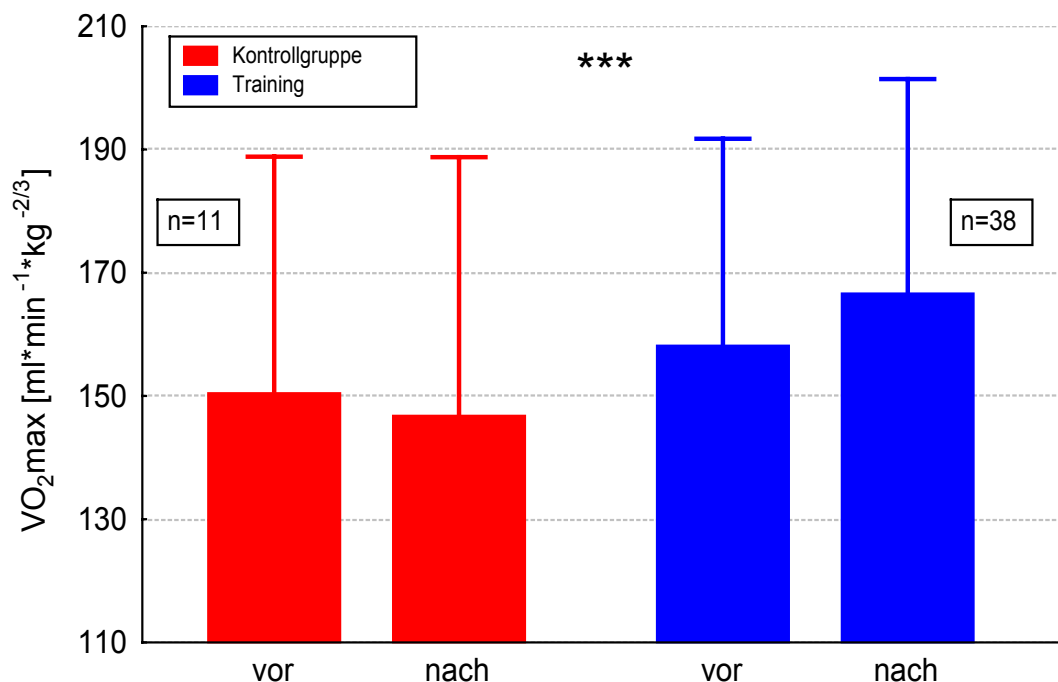


Abb. 11: Mittlere relative VO_{2max} während des Eingangs- und Abschlusstests. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe

Die in Trainingsstudien zumeist aufgeführte relative $\text{VO}_{2\text{max}}$ [$\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$] der Untersuchungsgruppen ist in Tab. 9 dargestellt. Der Vergleich ermittelte eine signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=12,9$; $p<0,001$).

Tab. 9: Mittlere relative $\text{VO}_{2\text{max}}$ der Gruppen. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppen

Parameter	Gruppe K		Trainingsgruppen	
	vor	nach	vor	nach
$\text{VO}_{2\text{max}}$ (n=49) [$\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$]	35,66	34,71	36,92	39,12**** p<0,001

Bezüglich der **Dauer der Belastungstests** wurde eine hoch signifikante Interaktion Gruppe x Test ermittelt ($F=38,85$; $p<0,001$). Die Belastungsdauer stieg in den Trainingsgruppen zwischen Eingangs- und Abschlusstest im Mittel von 19,4 auf 21,2 min, während in der Kontrollgruppe eine leichte Verringerung von 20,3 auf 19,8 min zu beobachten war (vgl. Abb. 12).

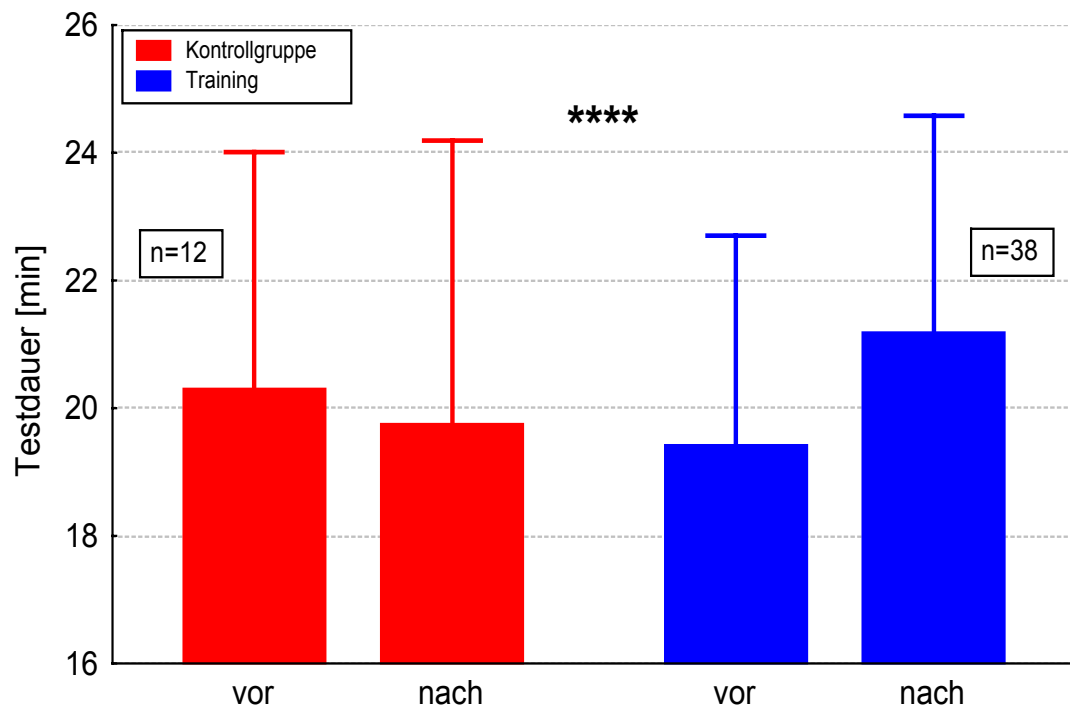


Abb. 12: Mittlere Dauer des Belastungstests des Trainingskollektivs und der Kontrollgruppe bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe

Mittels der **Ausbelastungskriterien HF_{\max} , RQ_{\max} und Lak_{\max}** wurde die Ausbelastung der Gruppen während des Eingangs- und Abschlusstests überprüft, um eine systematische Verfälschung der Maximalwerte ausschließen zu können. Die Varianzanalysen der drei genannten Ausbelastungsparameter zeigten durchweg einen signifikanten Haupteffekt der Zeit im Sinne geringerer Werte beim Abschlusstest (HF_{\max} : $F=13,20/p<0,001$; RQ_{\max} : $F=7,00/p<0,05$; Lak_{\max} : $F=4,73/p<0,05$). Ein Vergleich der Gruppen ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen Trainingskollektiv und Kontrollgruppe (HF_{\max} : $p=0,66$; RQ_{\max} : $p=0,39$; Lak_{\max} : $p=0,10$). Ein statistischer Vergleich der Leistungsparameter der beiden Gruppen ist somit zulässig, da eine vergleichbare Ausbelastung während der Belastungstests vorlag.

Der Vergleich der HF-Leistungskurven zeigte einen signifikanten Effekt für die Faktoren Test ($F=21,34$; $p<0,001$) und Belastungszeit ($F=373,7$; $p<0,001$) sowie eine signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=5,91$; $p=0,019$) (vgl. Abb. 13).

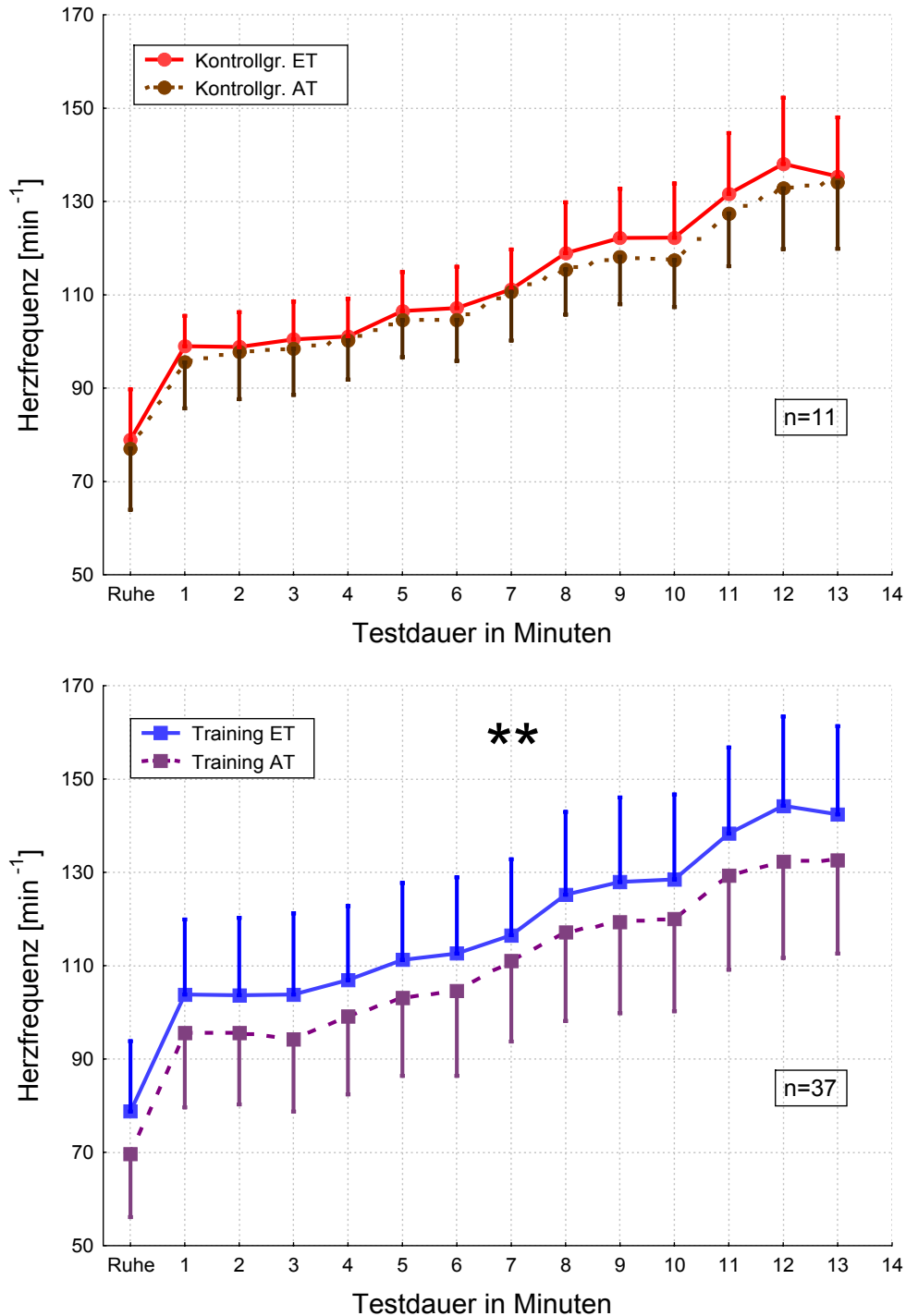


Abb. 13: Mittelwerte der HF-Leistungskurven des Trainingskollektivs und der Kontrollgruppe bei Eingangs- und Abschlusstest. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe

Die Analyse der im Liegen gemessenen HF_{Ruhe} berechnete eine hoch signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=14,42$; $p<0,001$). Die HF_{Ruhe} sank infolge des Ausdauertrainings im Mittel um $5,8 \text{ min}^{-1}$, während es in der Kontrollgruppe lediglich zu einer geringfügigen Absenkung um $0,3 \text{ min}^{-1}$ kam (vgl. Abb. 14).

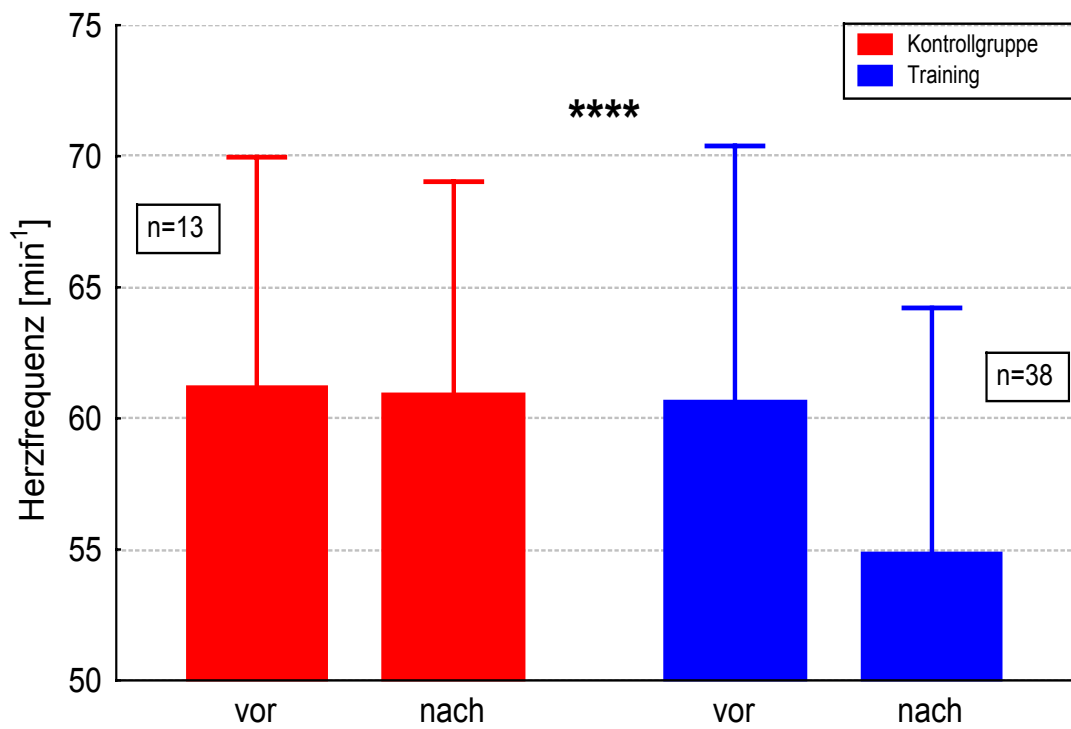


Abb. 14: Mittlere HF_{Ruhe} des Trainingskollektivs und der Kontrollgruppe bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe

Der Vergleich der ersten fünf Laktatwerte des Belastungstests zeigte einen signifikanten Effekt für den Faktor Belastungsdauer (Gesamteffekt: $F=58,17$; $p<0,001$). Ferner wurde eine signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=3,86$; $p=0,055$) berechnet (vgl. Abb. 15).

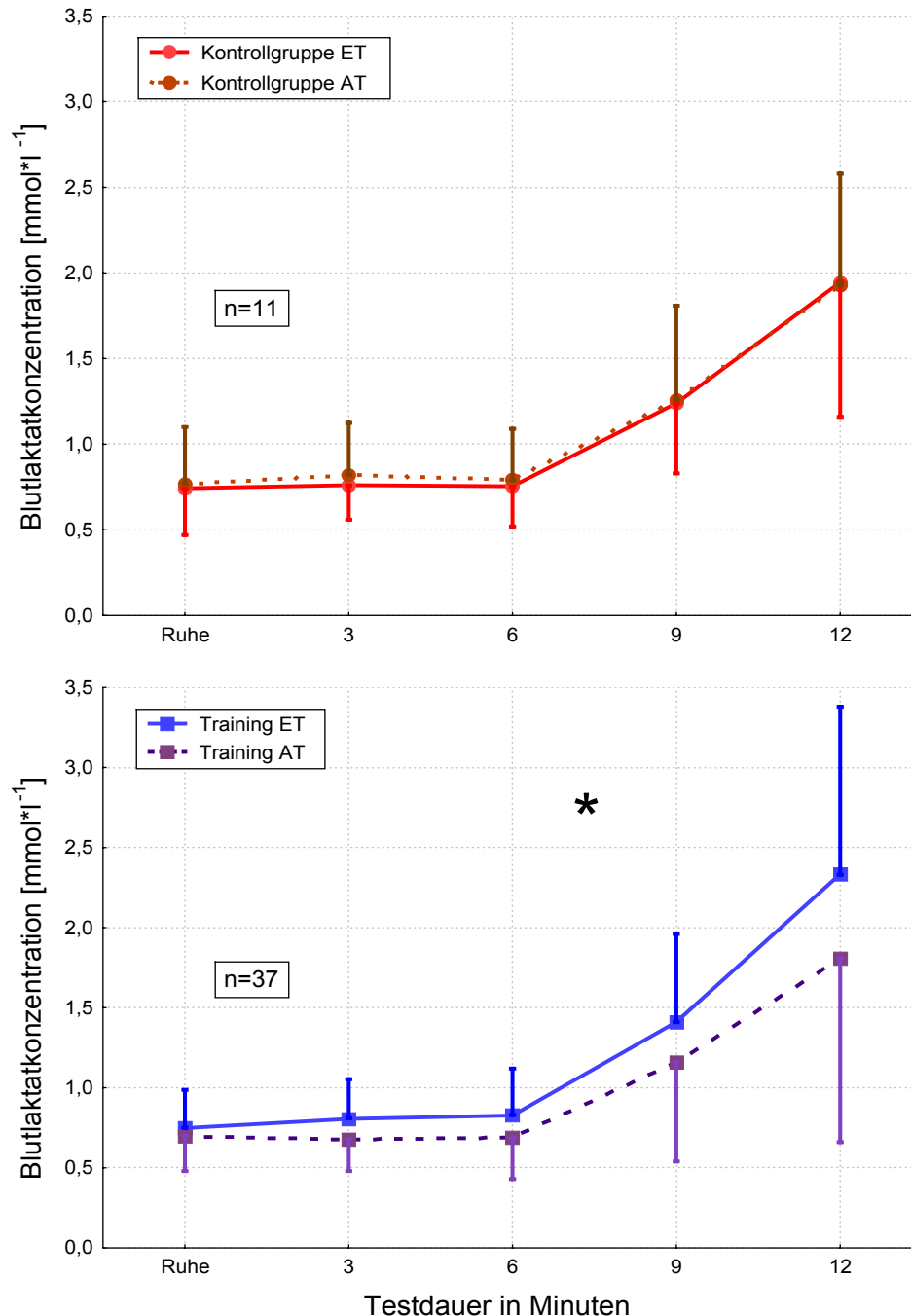


Abb. 15: Mittelwerte der Blutlaktatkonzentrationen im Verlauf der Belastungstests bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * \rightarrow Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe

Die mittlere Laktatkonzentration auf der vierten Belastungsstufe sank in den Trainingsgruppen im Vergleich zum Eingangstest um $0,53 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, während der entsprechende Wert in der Kontrollgruppe nur um $0,02 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ tiefer lag.

Der Vergleich der **Belastungsdauer an der Schw._{1,5}** ergab einen hoch signifikanten Effekt des Faktors Test ($F=17,20$; $p<0,001$) und eine signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=6,09$; $p<0,05$). Das Training resultierte in einem Anstieg der Testdauer an der Schw._{1,5} um 125 sek, der in der Kontrollgruppe lediglich 32 sek betrug (vgl. Abb. 16).

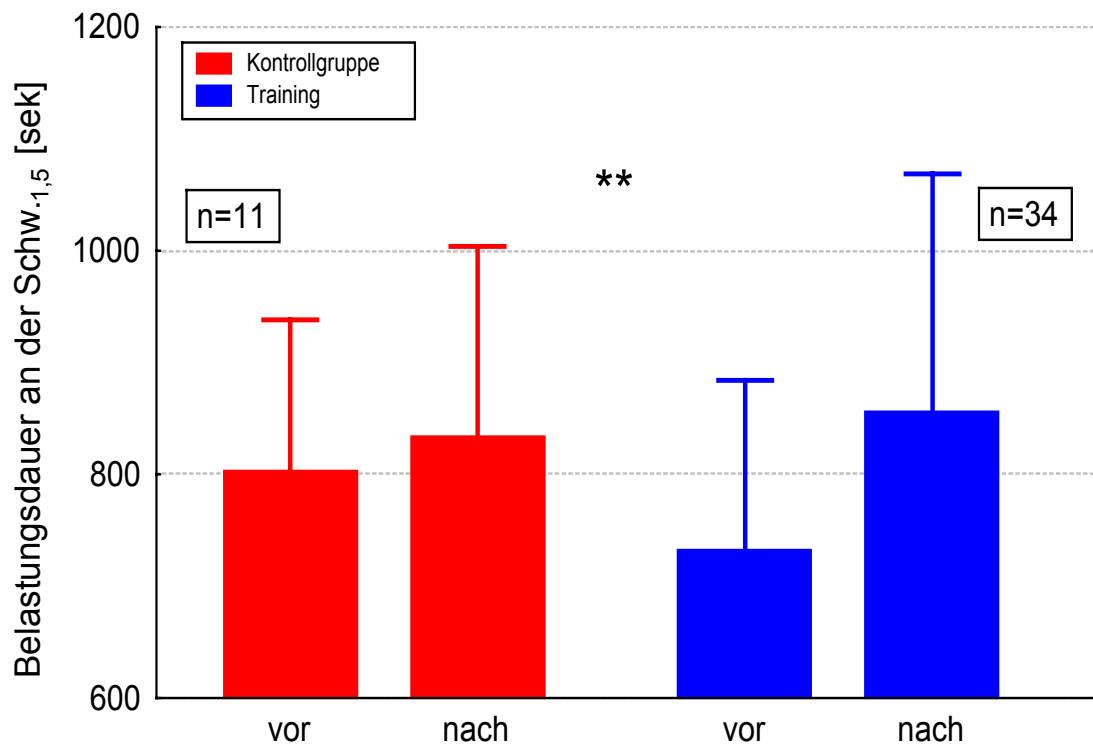


Abb. 16: Mittlere Testdauer an der Schw._{1,5} beider Gruppen während des Eingangs- und Abschlusstests. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe

3.2.2 Gesundheitsindikatoren

Der Vergleich des Körpergewichts ergab eine signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=6,30$; $p<0,05$) (vgl. Abb. 17). Die Trainingsteilnehmer senkten ihr Körpergewicht im Mittel um 1,4 kg. Im entsprechenden Untersuchungszeitraum blieb das mittlere Körpergewicht der Kontrollgruppe nahezu identisch (leichter Anstieg um 0,3 kg).

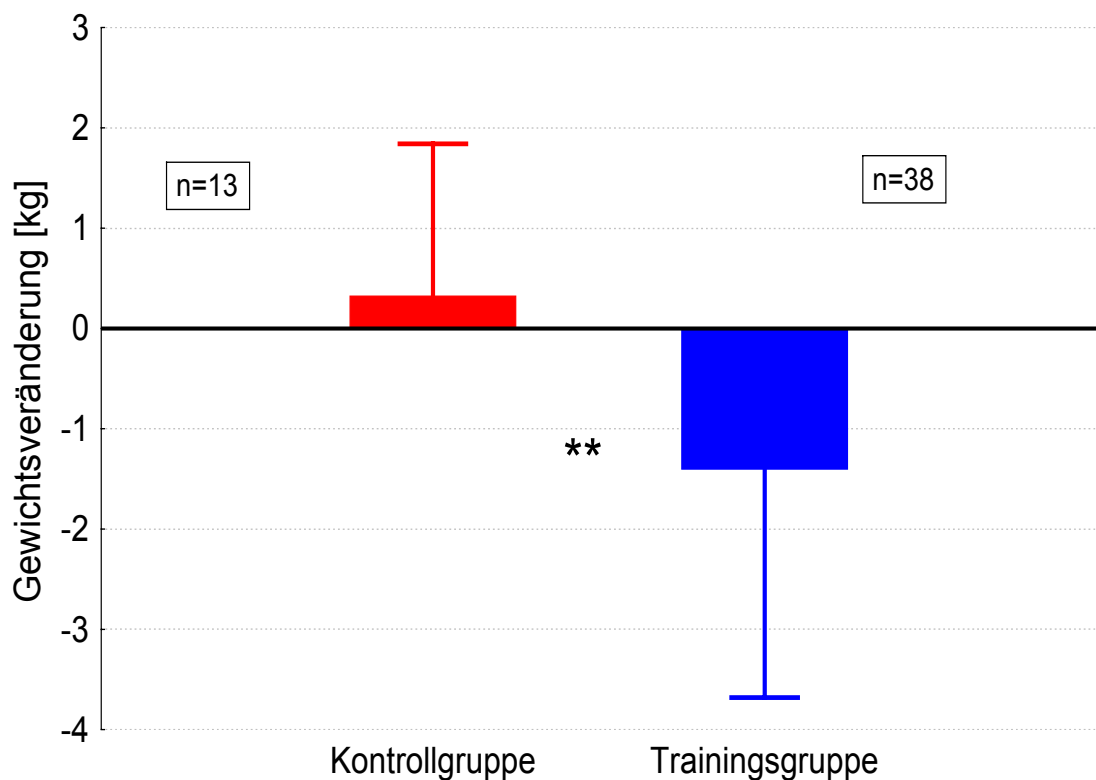


Abb. 17: Mittlere Körpergewichtsveränderung des Trainingskollektivs und der Kontrollgruppe. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe

Eine vergleichbare Interaktion Gruppe x Test ($F=6,30$; $p<0,05$) ergab die Analyse des BMI (ohne Abb.). Der BMI stieg im Mittel in der Kontrollgruppe um $0,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ und sank in den Trainingsgruppen um $0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

Die ANOVA des Körperfettanteils (KAL) ergab eine signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=3,95$; $p<0,1$) (vgl. Abb. 18).

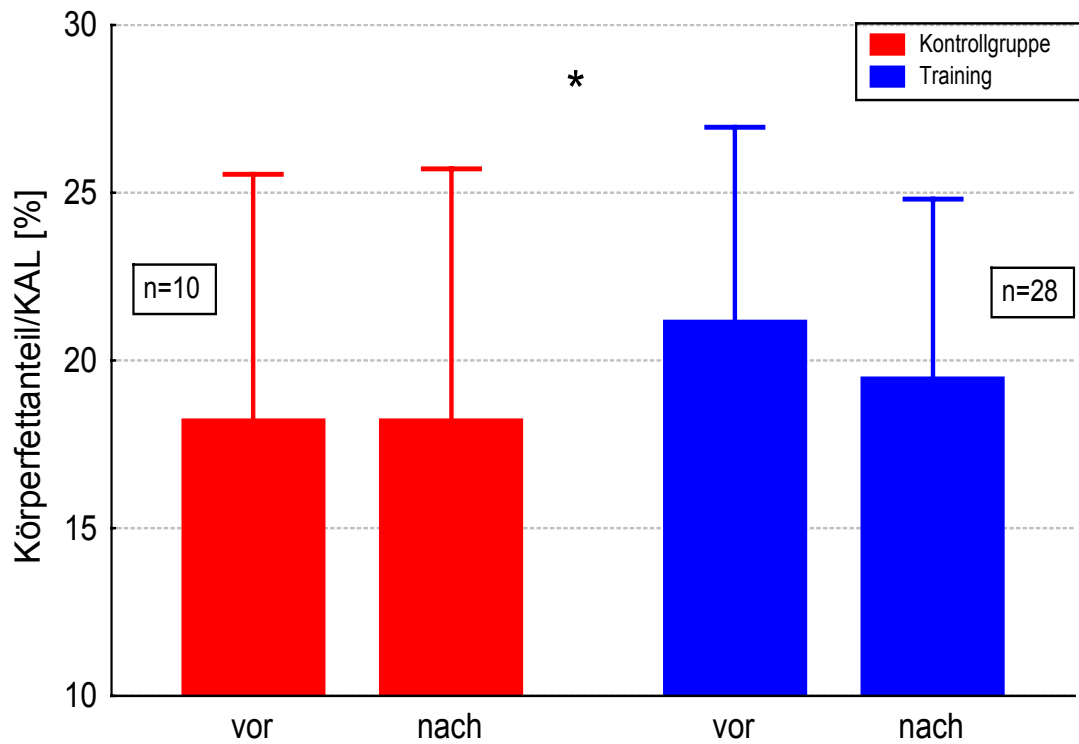


Abb. 18: Mittelwerte des Körperfettanteils (KAL) bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe

Der Vergleich des Körperfettanteils (BIA) ermittelte ebenfalls einen signifikanten Effekt der Interaktion Gruppe x Test ($F=10,18$; $p<0,01$) (vgl. Abb. 19).

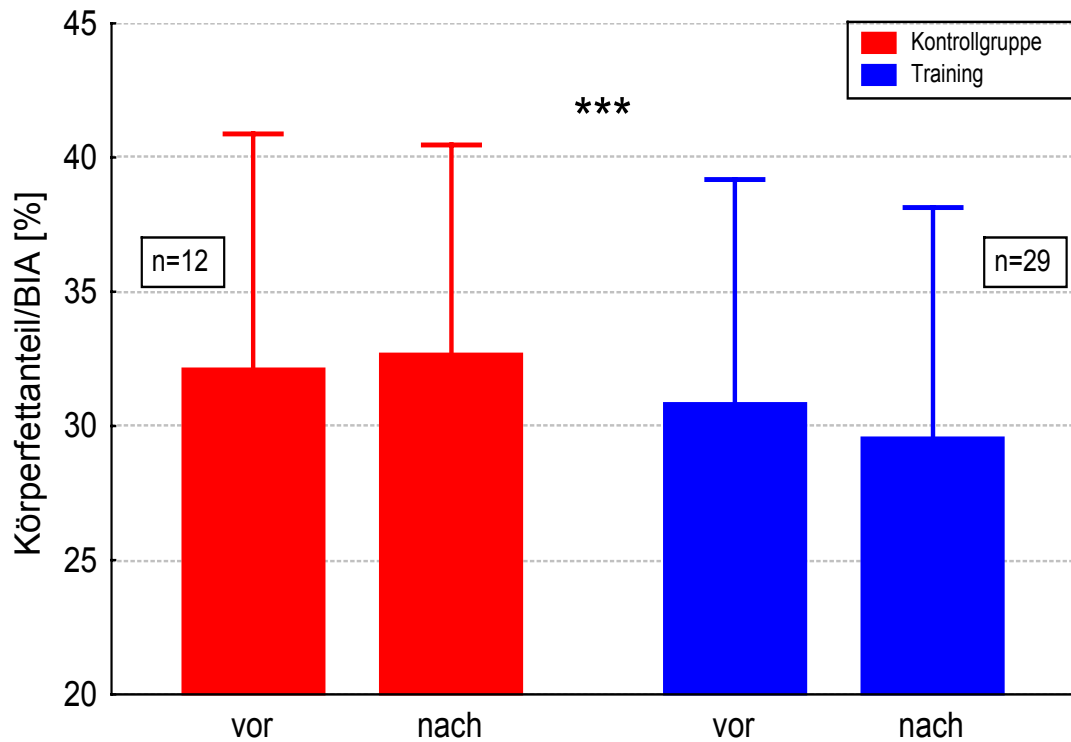


Abb. 19: Mittelwerte des Körperfettanteils (BIA) der Trainingsgruppe und der Kontrollgruppe bei Eingangs- und Abschlusstest. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe

Bei 29 Probanden wurde der Körperfettanteil mit beiden Messmethoden ermittelt. Eine Übereinstimmungsanalyse ergab beim Eingangstest ($r=0,77$) und beim Abschlusstest ($r=0,70$) eine signifikante Korrelation der beiden Methoden.

Der Vergleich des syst. Ruheblutdrucks zeigte eine signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=4,93$; $p<0,05$) (vgl. Abb. 20). Der mittlere syst. Ruheblutdruck sank als Folge des Treatments in den Trainingsgruppen um 4,7 mmHg. In der Kontrollgruppe wurde ein leichter Anstieg des mittleren syst. Ruheblutdrucks um 2,1 mmHg beobachtet.

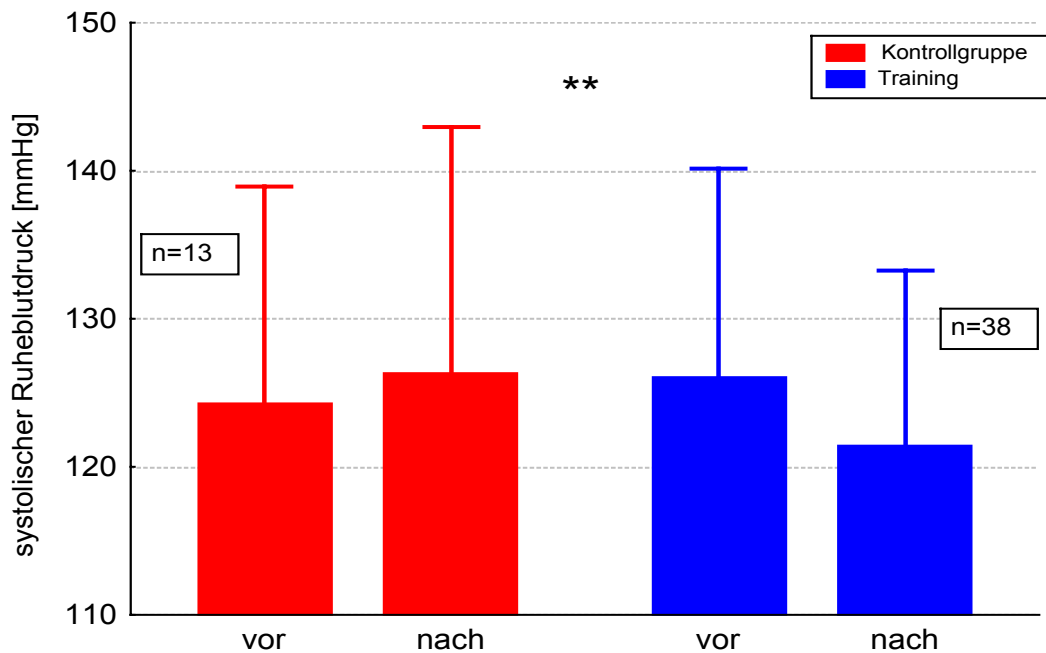


Abb. 20: Mittelwerte des syst. Ruheblutdrucks der Trainingsgruppe und der Kontrollgruppe bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe

In 34 Fällen wurde im Rahmen der ärztlichen Untersuchung der Ruheblutdruck in liegender Position dokumentiert. Die Varianzanalyse zeigte hier keinen signifikanten Effekt des Trainings ($F=1,90$; $p=0,18$). Dieses Ergebnis kann vermutlich auf die geringere n-Zahl, evtl. aber auch auf die Subjektivität der Messmethode zurückgeführt werden. Der mittlere syst. Blutdruck in den Trainingsgruppen verringerte sich von 135,5 auf 129,3 mmHg, während in der Kontrollgruppe ein durchschnittlicher Anstieg von 124,4 auf 126,1 mmHg gemessen wurde.

Für den diast. Ruheblutdruck wurde ebenfalls eine signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=8,30$; $p<0,01$) ermittelt (vgl. Abb. 21).

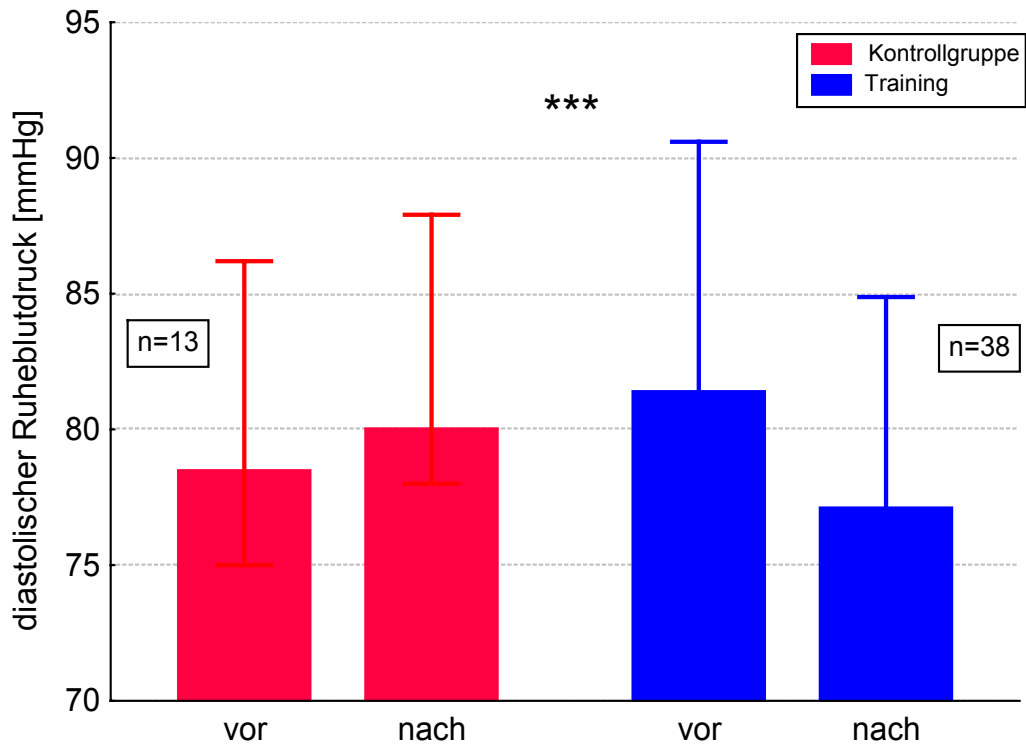


Abb. 21: Mittelwerte des diast. Ruheblutdrucks der Trainingsgruppe und der Kontrollgruppe bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe

Der Vergleich des im Verlauf der ärztlichen Untersuchung in liegender Körperposition gemessenen diast. Ruheblutdrucks ($n=34$) zeigte keine signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=2,22$; $p=0,15$). Auch hier wiesen die trainingsinduzierten Veränderungen eine vergleichbare Größenordnung auf. Bedingt durch die geringere n-Zahl wurde jedoch das Signifikanzniveau nicht erreicht.

Der Vergleich des sieben Minuten nach Belastungsende gemessenen syst. Blutdrucks zeigte eine signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=5,10$; $p<0,05$) (vgl. Abb. 22).

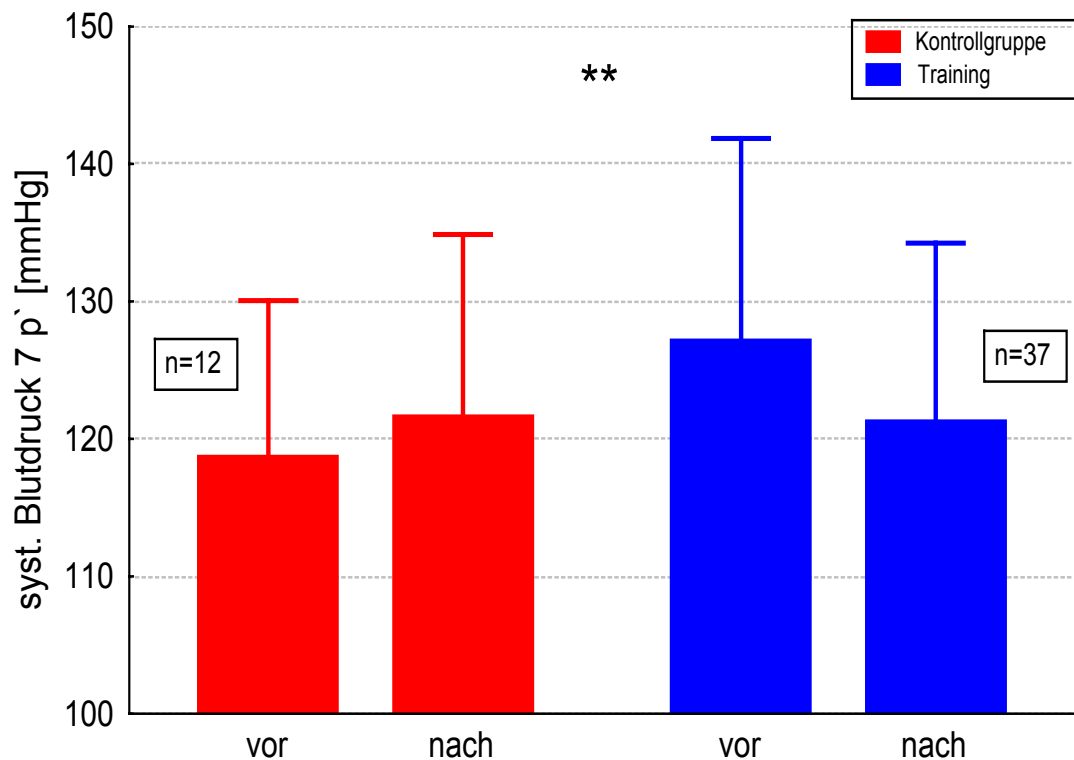


Abb. 22: Mittelwerte des sieben Minuten nach Belastungsende gemessenen syst. Blutdrucks bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe

Die Analyse des entsprechenden in Tab. 10 dargestellten diast. Nachbelastungsblutdrucks errechnete ebenfalls eine signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=8,54$; $p<0,01$).

Tab. 10: Mittlerer diast. Nachbelastungsblutdruck in den Untersuchungsgruppen. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppen

Parameter	Gruppe K		Trainingsgruppen	
	vor	nach	vor	nach
diast. Blutdruck 7 p' (n=49) [mmHG]	77,1	80,4	82,7	78,8*** p<0.01

Die varianzanalytischen Ergebnisse relevanter Laborparameter sind in Tab. 11 dargestellt. Das Ausdauertraining hatte keine signifikanten Einflüsse auf die Konzentrationen der kardiovaskulären Risikofaktoren Gesamt-, HDL- und LDL-Chol. sowie Triglyzeride, Apo A I, Apo B und Hcy. Auch Harnsäure und C-reaktives Protein (CRP) wurden infolge des Trainings nicht signifikant verändert.

Tab. 11: Mittelwerte relevanter Laborparameter, gemessen bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung

Parameter	Trainingsgruppe		Kontrollgruppe		Gruppe x Test
	Eingangstest	Abschlusstest	Eingangstest	Abschlusstest	p-Wert
Chol _{ges} [mg*dl ⁻¹]	204,1	203,5	211,0	213,6	0,80
HDL-Chol. [mg*dl ⁻¹]	54,5	54,6	55,4	52,2	0,40
LDL-Chol. [mg*dl ⁻¹]	121,7	121,7	123,8	130,2	0,44
TG [mg*dl ⁻¹]	96,4	88,4	103,5	82,3	0,37
Apo B [mg*dl ⁻¹]	113	113	111	111	0,90
Apo A-1 [mg*dl ⁻¹]	166	169	160	164	0,88
Apo B/ Apo A-I	0,72	0,68	0,71	0,69	0,70
Hcy [mg*dl ⁻¹]	13,4	13,4	13,6	13,8	0,82
Harnsäure [mg*dl ⁻¹]	4,86	4,87	5,12	4,88	0,27
CRP [mg*l ⁻¹]	1,17	1,27	0,75	1,24	0,57
Hämoglobin [g*dl ⁻¹]	14,0	13,8	14,6	14,5	0,65
Hämatokrit [%]	39,7	39,0	41,4	40,9	0,80

3.3 Gruppenvergleiche

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der vier untersuchten Gruppen einem statistischen Vergleich unterzogen.

3.3.1 Leistungsphysiologie

Die Gruppenvergleiche der allometrisch dargestellten VO_{2max} zeigten jeweils einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und Trainingsgruppe WW ($F=18,11$; $p<0,001$), Trainingsgruppe RMT ($F=4,58$; $p<0,05$) und Trainingsgruppe LOW ($F=5,90$; $p<0,05$) (vgl. Abb. 23).

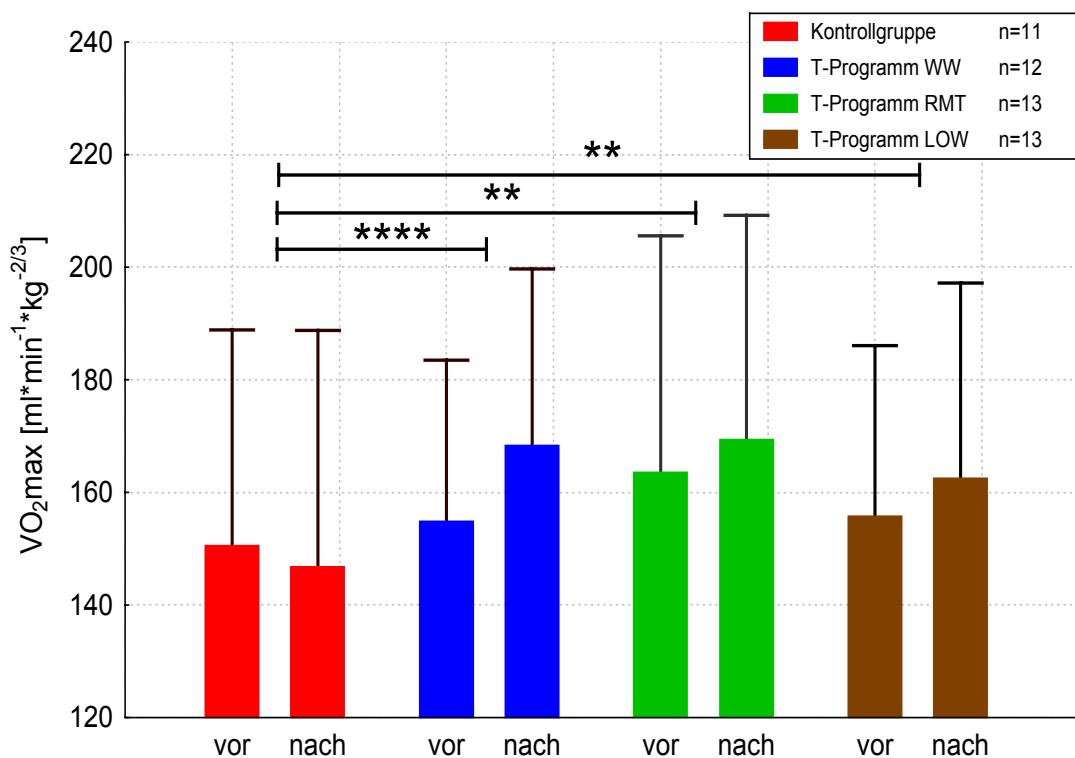


Abb. 23: Mittlere allometrisch dargestellte VO_{2max} der vier Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt des Eingangs- und Abschlusstests. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW

Auch die Gruppenvergleiche der allgemein gebräuchlichen relativen VO_{2max} [$ml*min^{-1}*kg^{-1}$] zeigten jeweils einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und den einzelnen Trainingsgruppen (vgl. Tab. 12).

Tab. 12: Relative VO_{2max} der vier Gruppen bei Eingangs- und Abschlusstest

Parameter	Gruppe K		Gruppe WW		Gruppe RMT		Gruppe LOW	
	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
VO_{2max} (n=49) [$ml*min^{-1}*kg^{-1}$]	35,7	34,7	36,8	40,2****	38,0	39,5**	36,0	37,7**

Die Gruppenvergleiche der Dauer der Belastungstests bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung ergaben jeweils einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und Trainingsgruppe WW ($F=61,4$; $p<0,001$), Trainingsgruppe RMT ($F=24,7$; $p<0,001$) und Trainingsgruppe LOW ($F=19,2$; $p<0,001$). Die Vergleiche der Trainingsgruppen zeigten keine signifikanten Unterschiede (vgl. Abb. 24).

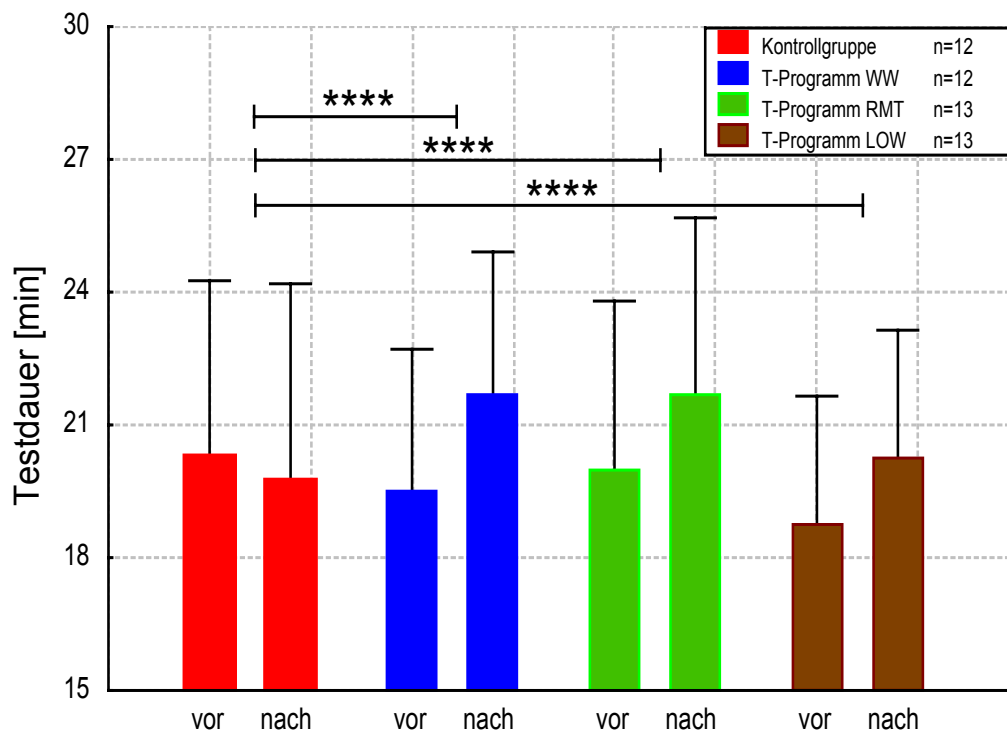


Abb. 24: Mittlere Testdauer der Stufentests der vier Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt des Eingangs- und Abschlusstests. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW

Der mittlere Zugewinn war in Trainingsgruppe WW mit 2,2 min am deutlichsten ausgeprägt. In Trainingsgruppe RMT betrug die mittlere Steigerung 1,7 min und in Trainingsgruppe LOW 1,5 min.

Die Mittelwerte der Ausbelastungsparameter HF_{\max} , RQ_{\max} , Lak_{\max} und der Borg-Angabe sind Tab. 13 zu entnehmen.

Tab. 13: Mittelwerte der Ausbelastungsparameter bei Eingangs- und Abschlusstest. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe LOW; % → Vergleich Gruppe RMT vs. Gruppe LOW

Parameter	Gruppe K		Gruppe WW		Gruppe RMT		Gruppe LOW	
	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
HF_{\max} (n=48) [min^{-1}]	180	176	180	176	188	180	180	181+
RQ_{\max} (n=49)	1,02	0,98	1,02	0,99	1,00	0,99	1,01	1,00
Lak_{\max} (n=50) [$\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$]	8,36	7,37	7,43	7,33	8,22	7,72	8,42	8,62**
Borg (n=50)	15,8	16,2	15,8	15,9	16,0	16,1	16,0	16,4

Die zweifaktorielle Analyse der HF_{\max} zeigte keine signifikanten Unterschiede für den Faktor Gruppe ($F=0,76$; $p=0,52$). Für den Faktor Test ($F=19,68$; $p<0,001$) und für die Interaktion Gruppe x Test ($F=3,06$; $p<0,05$) wurde ein signifikanter Effekt ermittelt. Einzelvergleiche der Gruppen zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen Trainingsgruppe RMT und LOW ($F=12,33$, $p<0,01$).

Die Varianzanalyse des RQ_{\max} zeigte einen signifikanten Effekt für den Faktor Test ($F=7,01$; $p<0,05$), jedoch keine signifikante Interaktion Gruppe x Test ($F=0,58$; $p=0,63$). Auch die Einzelvergleiche ermittelten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Die ANOVA des Lak_{\max} ergab keine signifikanten Effekte. Einzelvergleiche der Gruppen zeigten aber einen signifikanten Unterschied zwischen Kontrollgruppe und Trainingsprogramm LOW ($F=4,30$; $p<0,05$).

Die Varianzanalysen der Borg-Angaben ermittelten weder signifikante Gesamteffekte noch signifikante Gruppenunterschiede.

Die Analyse der HF-Leistungskurven zeigte signifikante Gesamteffekte für die Faktoren Test ($F=50,27$; $p<0,001$) und Belastungszeit ($F=554,9$; $p<0,001$). Die Einzelvergleiche der Gruppen ergaben signifikante Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und Trainingsprogramm WW (signifikante Interaktion: $F=8,00$; $p<0,05$) sowie Programm RMT ($F=3,42$; $p<0,1$). Ferner wurde ein signifikanter Unterschied zwischen Programm WW und Programm LOW berechnet ($F=5,15$; $p<0,05$) (vgl. Abb. 25).

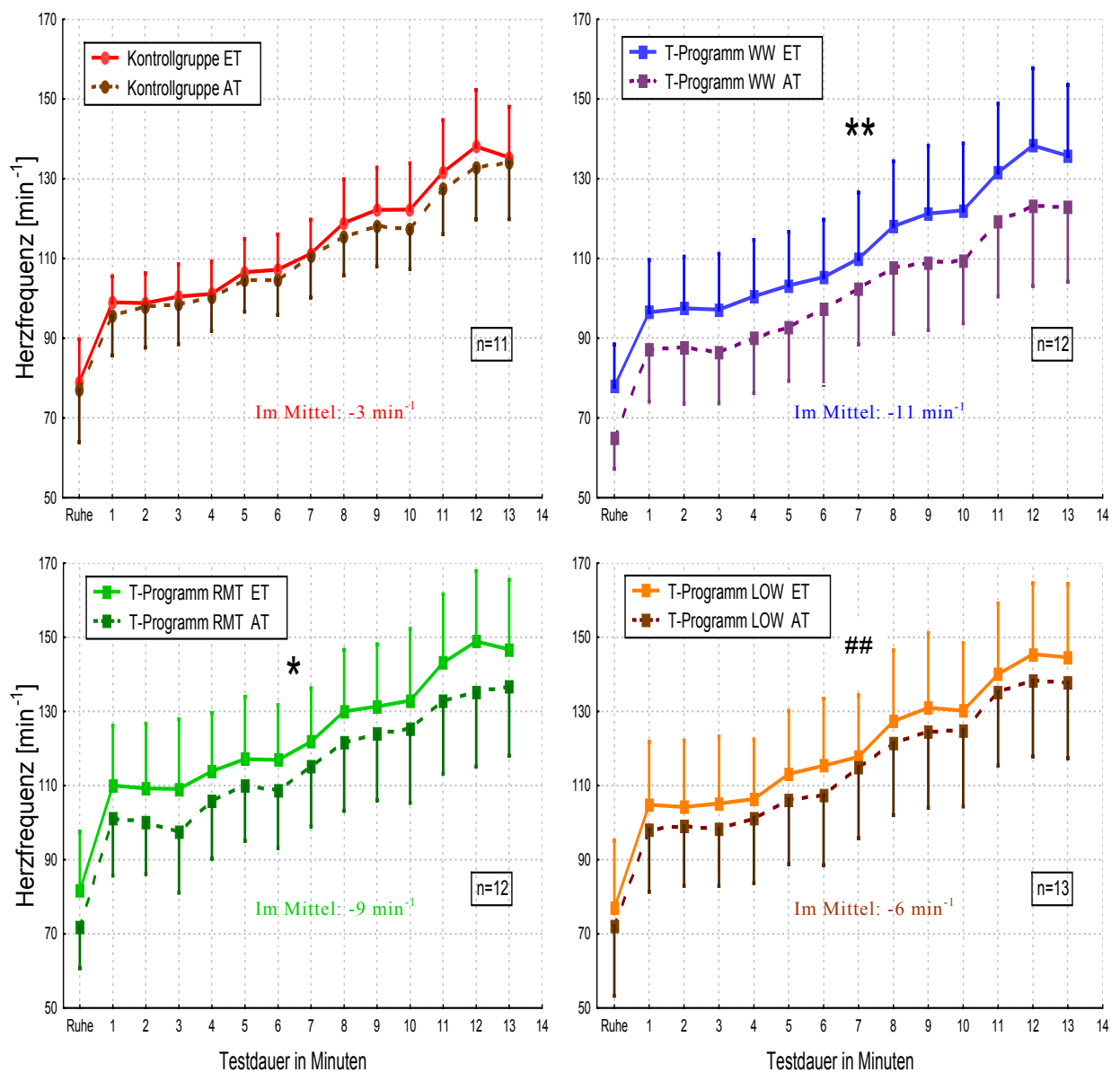


Abb. 25: HF-Leistungskurven der vier Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * \rightarrow Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT; # \rightarrow Vergleich Gruppe WW vs. Gruppe LOW

Die Gruppenvergleiche der in liegender Körperposition gemessenen Ruheherzfrequenz zeigten jeweils einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und Trainingsprogramm WW ($F=13,94$; $p<0,01$), Trainingsprogramm RMT ($F=10,11$; $p<0,01$) sowie Trainingsprogramm LOW ($F=3,27$; $p<0,1$). Der Vergleich der Trainingsgruppen ergab keine signifikanten Unterschiede (vgl. Abb. 26).

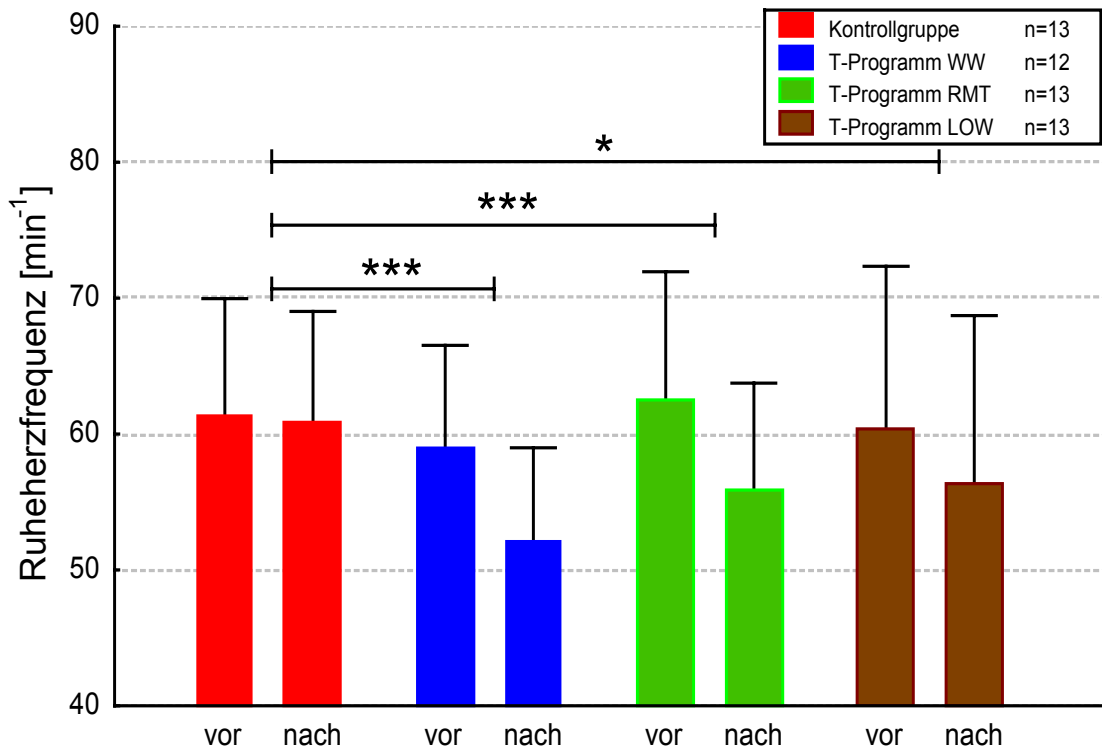


Abb. 26: Mittlere Ruheherzfrequenz der vier Untersuchungsgruppen bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW

Infolge der Trainingsprogramme WW und RMT konnte die HF_{Ruhe} um ca. 7 min^{-1} gesenkt werden, während das Trainingsprogramm LOW lediglich zu einer Verringerung um 4 min^{-1} führte. In der Kontrollgruppe blieb die HF_{Ruhe} praktisch unverändert.

Die Gegenüberstellung der Gruppen für die PWC 150 zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen Kontrollgruppe und Trainingsprogramm WW ($F=5,38$; $p<0,05$), zwischen Trainingsprogramm WW und Trainingsprogramm LOW ($F=10,33$; $p<0,01$) sowie zwischen Programm RMT und Programm LOW ($F=3,34$; $p<0,1$) (vgl. Abb. 27).

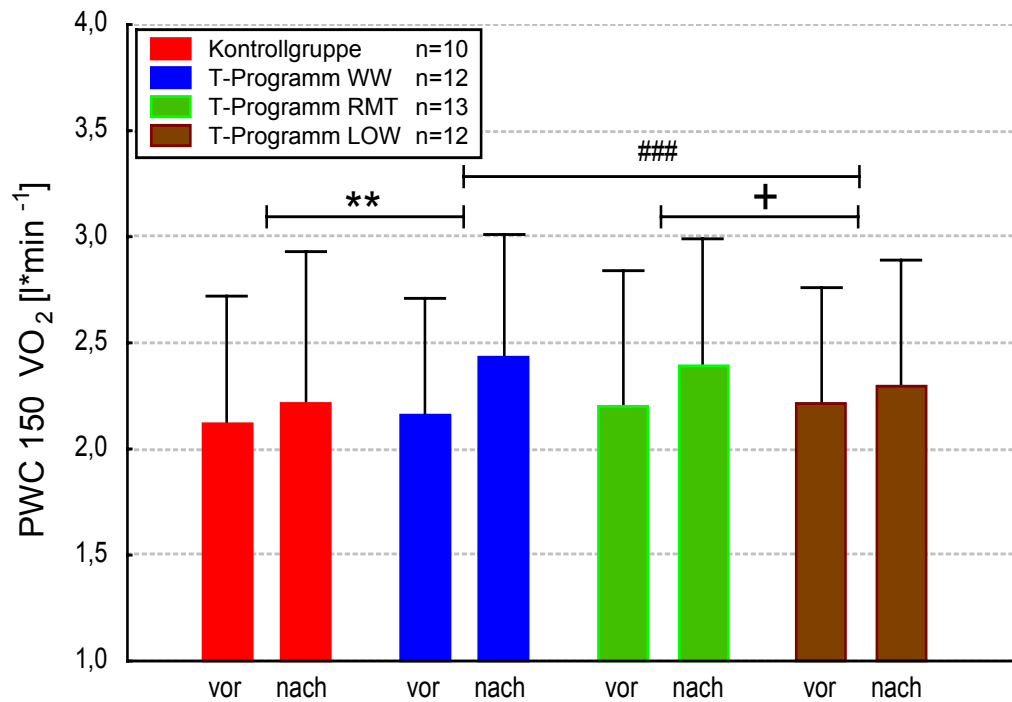


Abb. 27: Mittelwerte der PWC 150 der vier Untersuchungsgruppen bei Eingangs- und Abschlusstest. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW; # → Vergleich Trainingsgruppe WW vs. Trainingsgruppe LOW; + → Vergleich Trainingsgruppe RMT vs. Trainingsgruppe LOW

Die Analyse der Laktat-Leistungskurven zeigte einen signifikanten Gesamteffekt für den Faktor Test ($F=8,8$; $p<0,01$) und den Faktor Belastungszeit ($F=12,78$; $p<0,001$). Die Gruppenvergleiche ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und der Trainingsgruppe WW ($F=3,04$; $p<0,1$) sowie zwischen der Kontrollgruppe und Trainingsgruppe RMT ($F=3,42$; $p<0,1$) (vgl. Abb. 28).

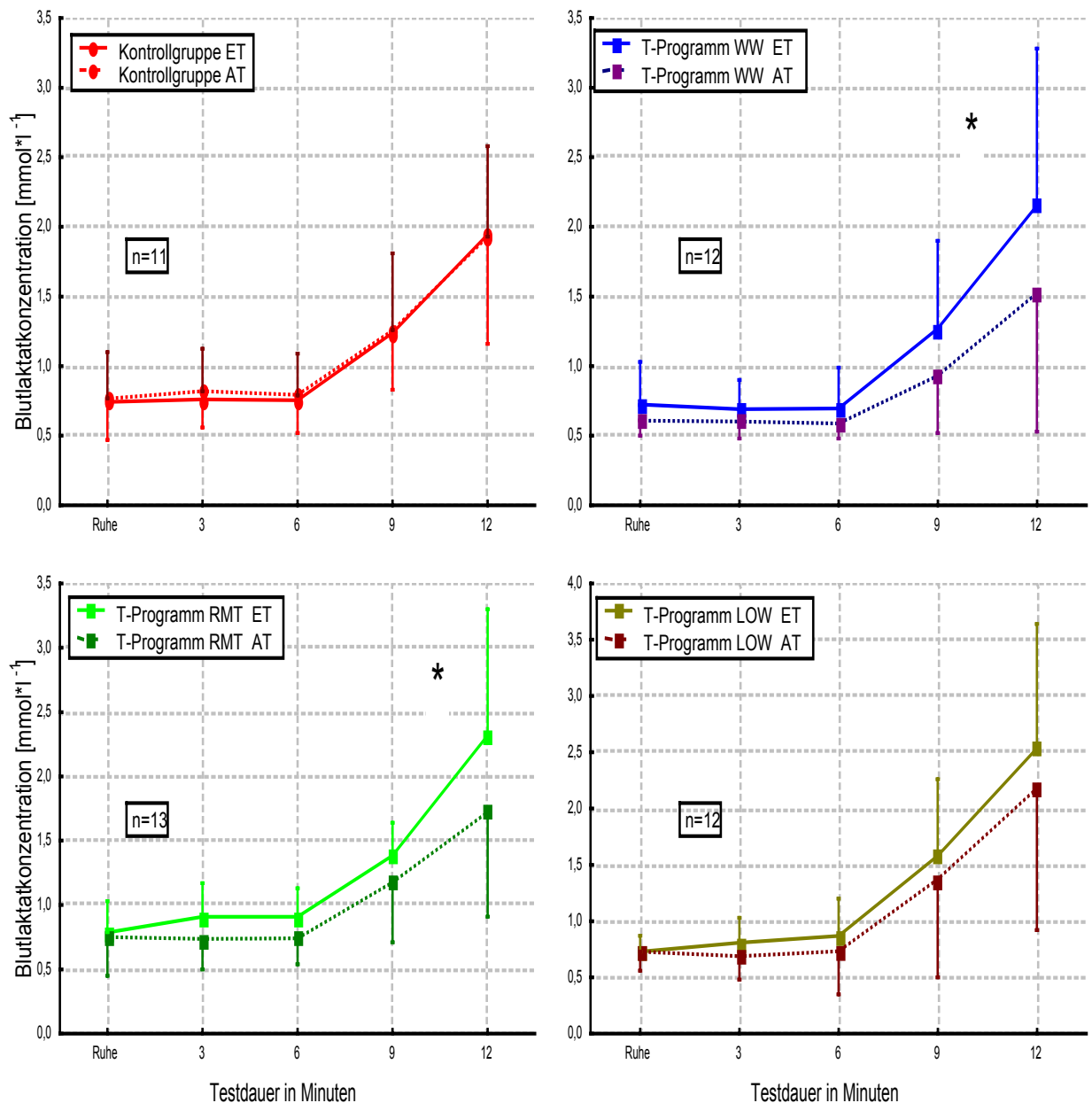


Abb. 28: Laktat-Leistungskurven der vier Untersuchungsgruppen bei Eingangs- und Abschlusstest. Zeichenerklärung/Statistik: * \rightarrow Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT

Die Einzelvergleiche der Testdauer an der Schw._{1,5} ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen Kontrollgruppe und Trainingsprogramm WW ($F=9,29$; $p<0,01$) sowie zwischen Kontrollgruppe und Trainingsprogramm RMT ($F=8,10$; $p<0,01$). Ferner zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen Trainingsprogramm WW und Trainingsprogramm LOW ($F=5,66$; $p<0,05$) sowie zwischen Trainingsprogramm RMT und Trainingsprogramm LOW ($F=5,37$; $p<0,05$) (vgl. Abb. 29).

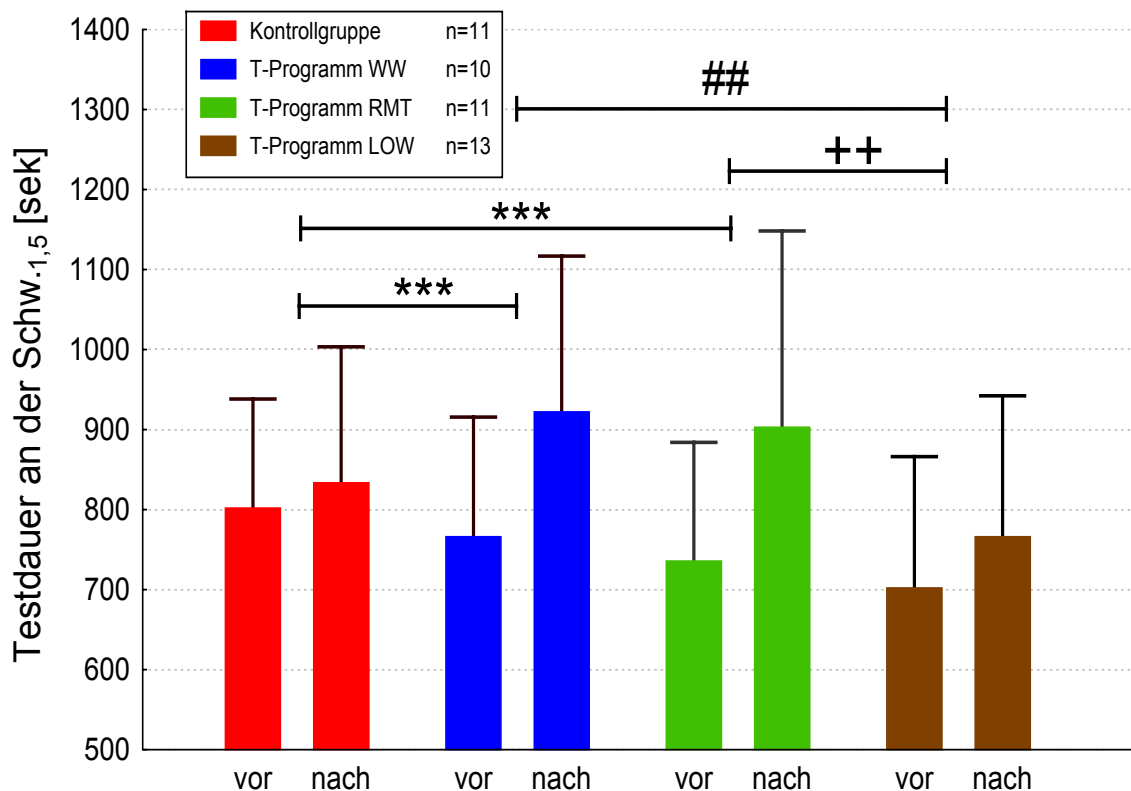


Abb. 29: Mittlere Testdauer der vier Untersuchungsgruppen an der Schw._{1,5} zum Zeitpunkt des Eingangs- und Abschlusstests. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT; # → Vergleich Trainingsgruppe WW vs. Trainingsgruppe LOW; + → Vergleich Trainingsgruppe RMT vs. Trainingsgruppe LOW

Die Analyse der Sauerstoffaufnahme während der Belastungstests ermittelte einen signifikanten Gesamteffekt für den Faktor Test ($F=12,98$; $p<0,001$) und den Faktor Belastungszeit ($F=359,3$; $p<0,001$). Die statistischen Einzelvergleiche der Gruppen ergaben keine signifikanten Unterschiede (vgl. Abb. 30).

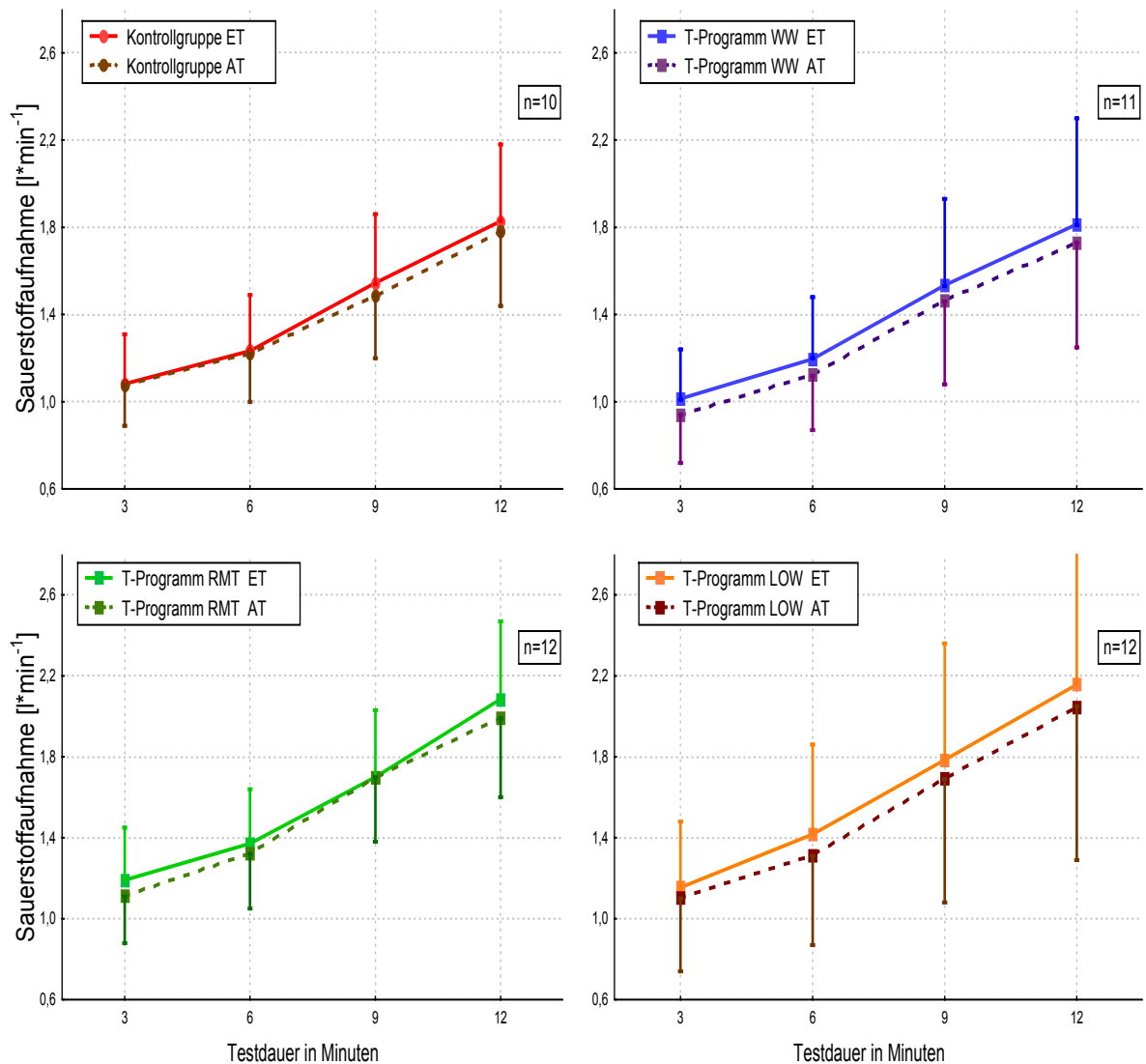


Abb. 30: Mittlere Sauerstoffaufnahme der vier Untersuchungsgruppen während der Belastungstests zum Zeitpunkt der Eingangs- und Abschlussuntersuchung

3.3.2 Zusammenfassung Leistungsphysiologie

Alle drei Trainingsprogramme führten zu einer signifikanten Verbesserung der VO_{2max} in Relation zum Körpergewicht, der Testdauer und der HF_{Ruhe} .

Die zentralen leistungsphysiologischen Zielparameter HF- und Laktat-Leistungskurve zeigten sich im Vergleich zur Kontrollgruppe lediglich bei Gruppe WW und RMT signifikant verbessert. Die Analyse der HF-Leistungskurve ergab zusätzlich einen signifikanten Unterschied zwischen den Trainingsprogrammen WW und LOW. Bei den abgeleiteten Parametern PWC 150 und Testdauer an der Schw._{1,5} zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Programmen mit der höheren Trainingsintensität (RMT und WW) und dem "Fettstoffwechseltraining" (LOW). Ein Vergleich der prozentualen Verbesserungen bei den einzelnen submaximalen Zielparametern deutet ausnahmslos auf eine Unterlegenheit des niedrig-intensiven Trainingsprogramms hin. Bei den Maximalparametern wurde möglicherweise deswegen kein Unterschied festgestellt, weil in Gruppe LOW, wie die Analysen der entsprechenden Parameter zeigten, eine höhere Ausbelastung beim Abschlusstest vorlag und damit eine Überschätzung der Trainingseffekte auf Maximalparameter anzunehmen ist.

Vergleicht man die Trainingseffekte der Trainingsgruppen WW und RMT, so deuten die nominellen Verbesserungen bei einigen Zielparametern (VO_{2max} , Testdauer, HF-Leistungskurve und PWC 150) auf eine höhere Effektivität des Trainingsprogramms "weekend warrior" hin. In keinem Fall jedoch ergaben die Analysen einen signifikanten Unterschied zwischen diesen beiden Trainingsgruppen.

3.3.3 Gruppenvergleich Gesundheitsindikatoren

Die Gruppenvergleiche des Körpergewichts ermittelten einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und Trainingsgruppe WW ($F=4,29$; $p<0,05$), Trainingsgruppe RMT ($F=4,62$; $p<0,05$) sowie Trainingsgruppe LOW ($F=5,62$; $p<0,05$). Am deutlichsten sank das Körpergewicht mit durchschnittlich 1,6 kg infolge des Trainingsprogramms LOW (vgl. Abb. 31).

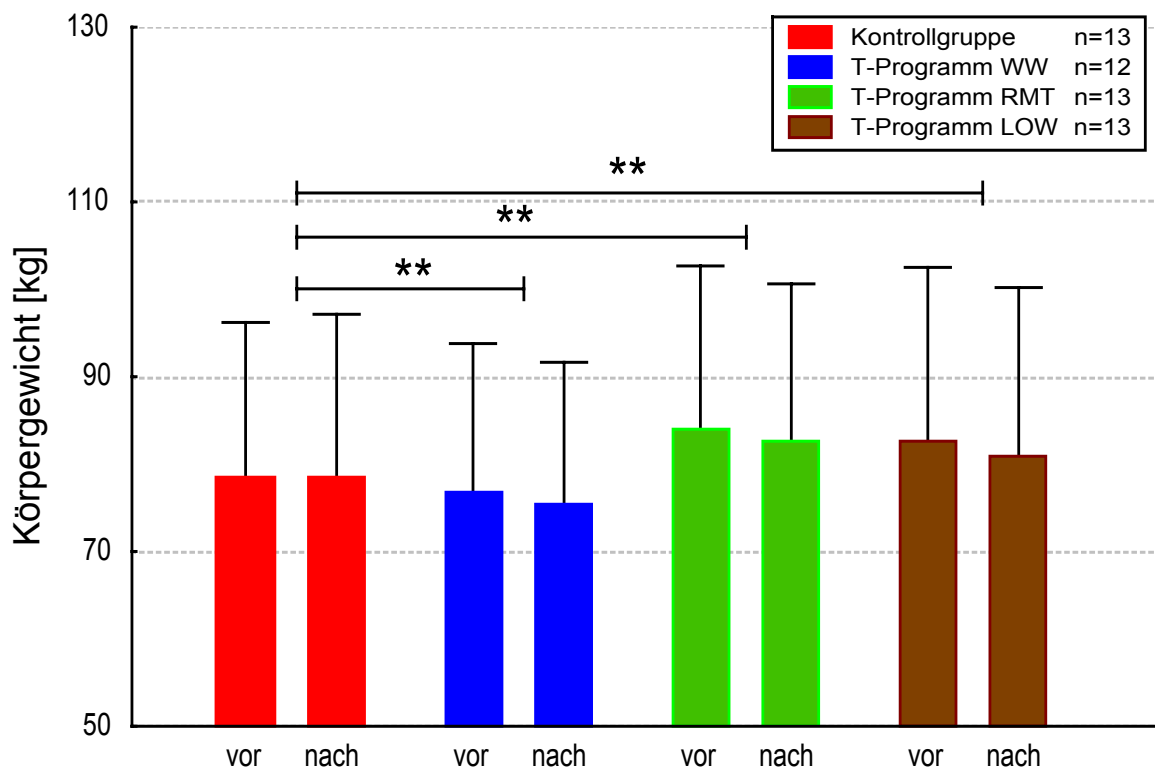


Abb. 31: Mittleres Körpergewicht der vier Untersuchungsgruppen bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW

Die Einzelvergleiche des Körperfettanteils (KAL) zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und Trainingsgruppe RMT ($F=4,61$; $p<0,05$) sowie Trainingsgruppe LOW ($F=5,58$; $p<0,05$). Der Vergleich zwischen Kontrollgruppe und Trainingsgruppe WW ergab keinen signifikanten Unterschied ($F=1,51$; $p=0,23$). Die Teilnehmer der Trainingsgruppe RMT konnten ihren Körperfettanteil mit durchschnittlich 2,3% am deutlichsten senken (vgl. Abb. 32).

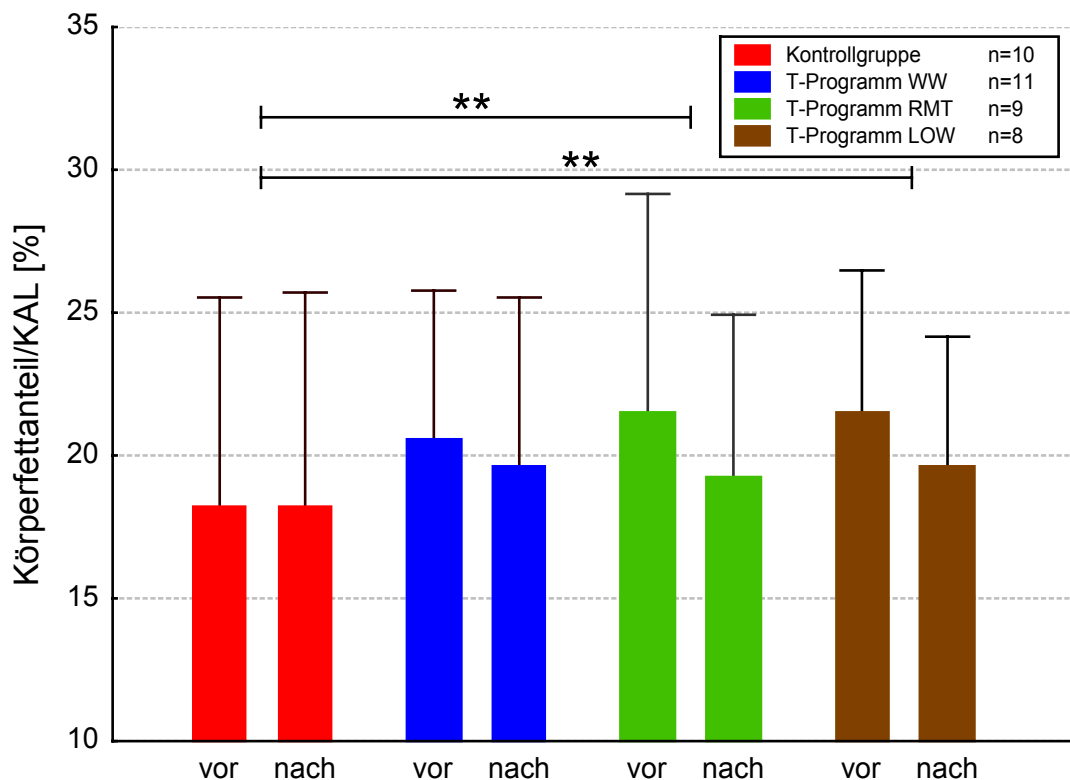


Abb. 32: Mittlerer Körperfettanteil (KAL) der vier Gruppen gemessen im Rahmen der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe RMT/LOW

Die Gruppenvergleiche des Körperfettanteils (BIA) ergaben signifikante Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsprogrammen WW ($F=5,09$; $p<0,05$) und RMT ($F=5,82$; $p<0,05$) sowie zwischen Kontrollgruppe und Trainingsprogramm LOW ($F=3,49$; $p<0,1$). Während der Körperfettanteil in der Kontrollgruppe um 0,5% zunahm, sank er infolge der beiden Trainingsprogramme WW und RMT um ca. 1,5% und infolge des Trainingsprogramms LOW um ca. 1% (vgl. Abb. 33).

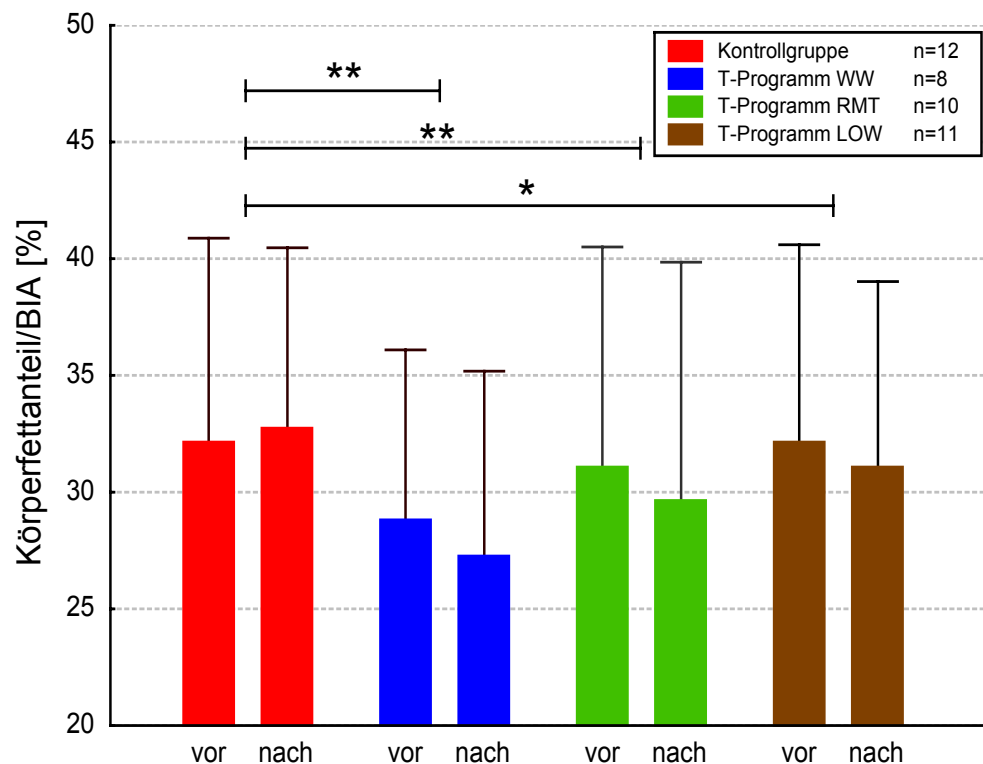


Abb. 33: Mittlerer Körperfettanteil (BIA) der vier Gruppen gemessen im Rahmen der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW

Die Gruppenvergleiche des in liegender Körperposition gemessenen syst. Ruheblutdrucks ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen Kontrollgruppe und Trainingsprogramm WW ($F=6,72$; $p<0,05$) sowie zwischen Kontrollgruppe und Trainingsprogramm LOW ($F=6,45$; $p<0,05$) (vgl. Abb. 34).

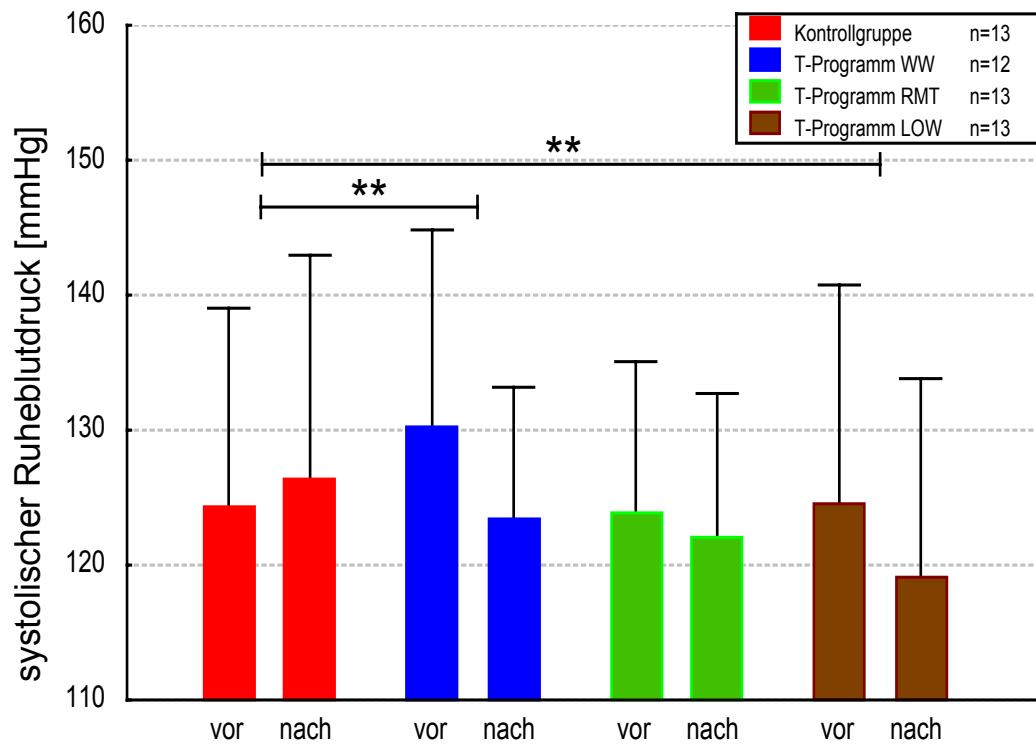


Abb. 34: Darstellung der Mittelwerte des syst. Ruheblutdrucks der vier untersuchten Gruppen bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik:
 * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/LOW

Die separaten Vergleiche des diast. Ruheblutdrucks der einzelnen Gruppen zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und Trainingsgruppe WW ($F=5,53$; $p<0,05$), Trainingsgruppe RMT ($F=5,47$; $p<0,05$) sowie Trainingsgruppe LOW ($F=7,85$; $p<0,01$) (vgl. Abb. 35).

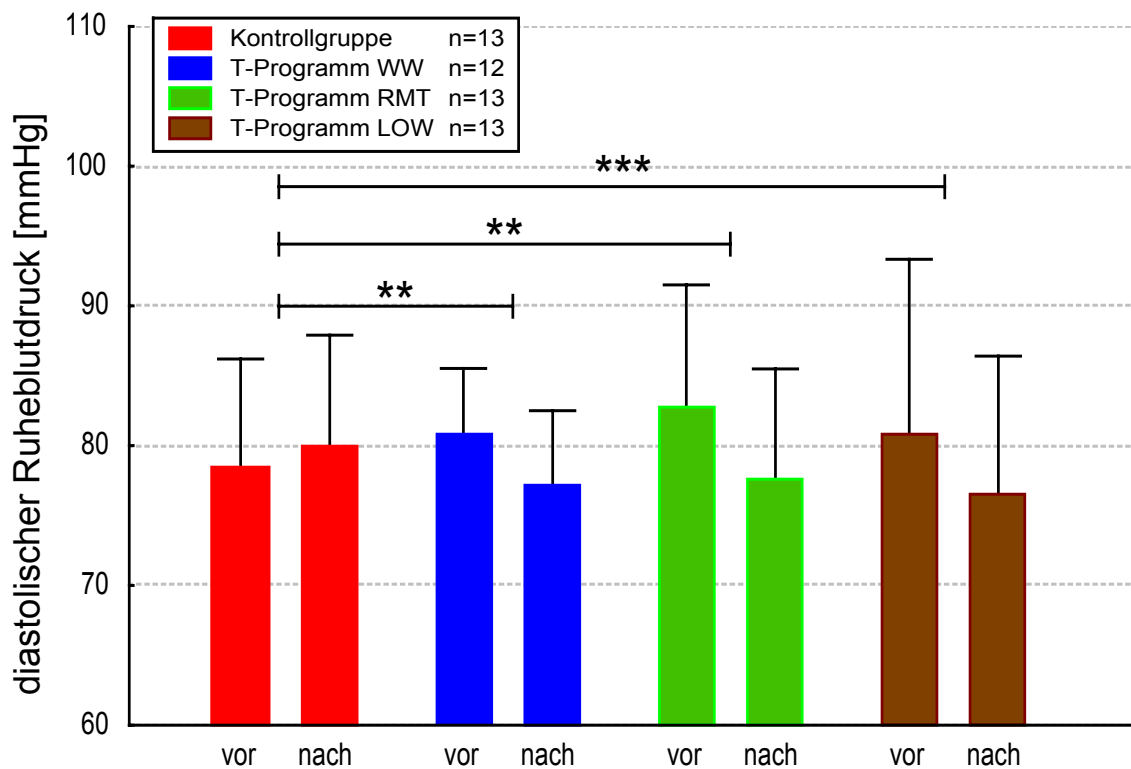


Abb. 35: Darstellung der Mittelwerte des diast. Ruheblutdrucks der vier untersuchten Gruppen bei der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik:
 * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW

Die globale Varianzanalyse des syst. Belastungsblutdrucks (die ersten drei Stufen und der Nachbelastungsblutdruck) ermittelte einen signifikanten Effekt für den Faktor Test ($F=5,3$; $p<0,05$) und den Faktor Belastungszeit ($F=86,0$; $p<0,001$). Die Einzelvergleiche der Gruppen zeigten keine signifikanten Unterschiede. Analysiert man jedoch ausschließlich die Nachbelastungswerte getrennt von den Belastungswerten, ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Kontrollgruppe und Trainingsgruppe RMT ($F=4,82$; $p<0,05$) sowie zwischen Kontrollgruppe und Gruppe LOW ($F=3,59$; $p<0,1$) (vgl. Abb. 36).

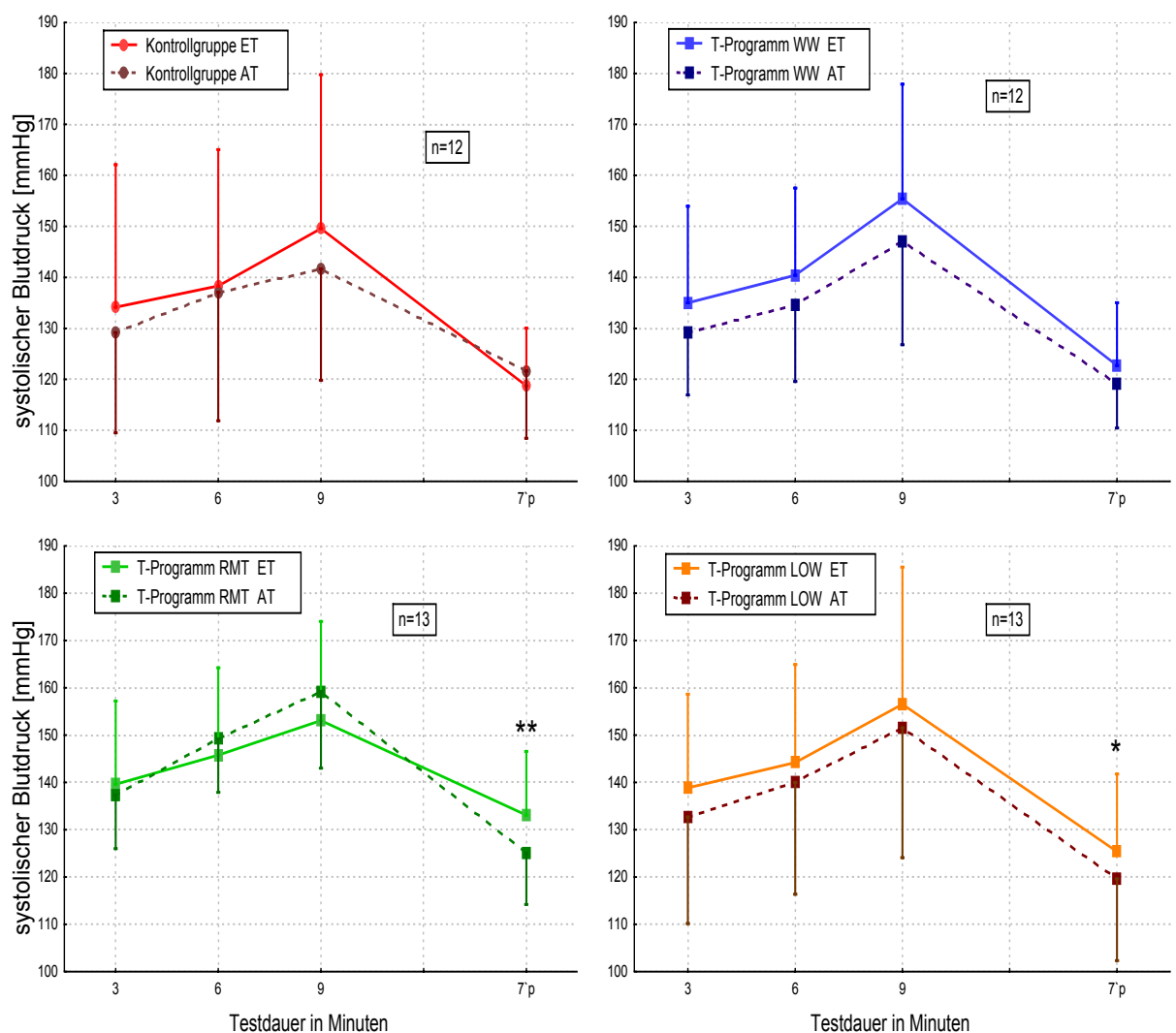


Abb. 36: Syst. Belastungs- und Nachbelastungsblutdruck der vier Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe RMT/LOW

Die globale Analyse des diast. Belastungsblutdrucks (die ersten drei Belastungsstufen und der Nachbelastungsblutdruck) ermittelte einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Test ($F=63,35$; $p<0,001$) und den Faktor Belastungszeit ($F=13,04$; $p<0,001$) (vgl. Abb. 37). Der statistische Vergleich der vier Gruppen zeigte keine signifikanten Unterschiede. Separate Analysen des Nachbelastungsblutdrucks ergaben jedoch jeweils einen signifikanten Unterschied zwischen Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen WW ($F=4,74$; $p<0,05$), RMT ($F=5,64$; $p<0,05$) und LOW ($F=8,0$; $p<0,01$).

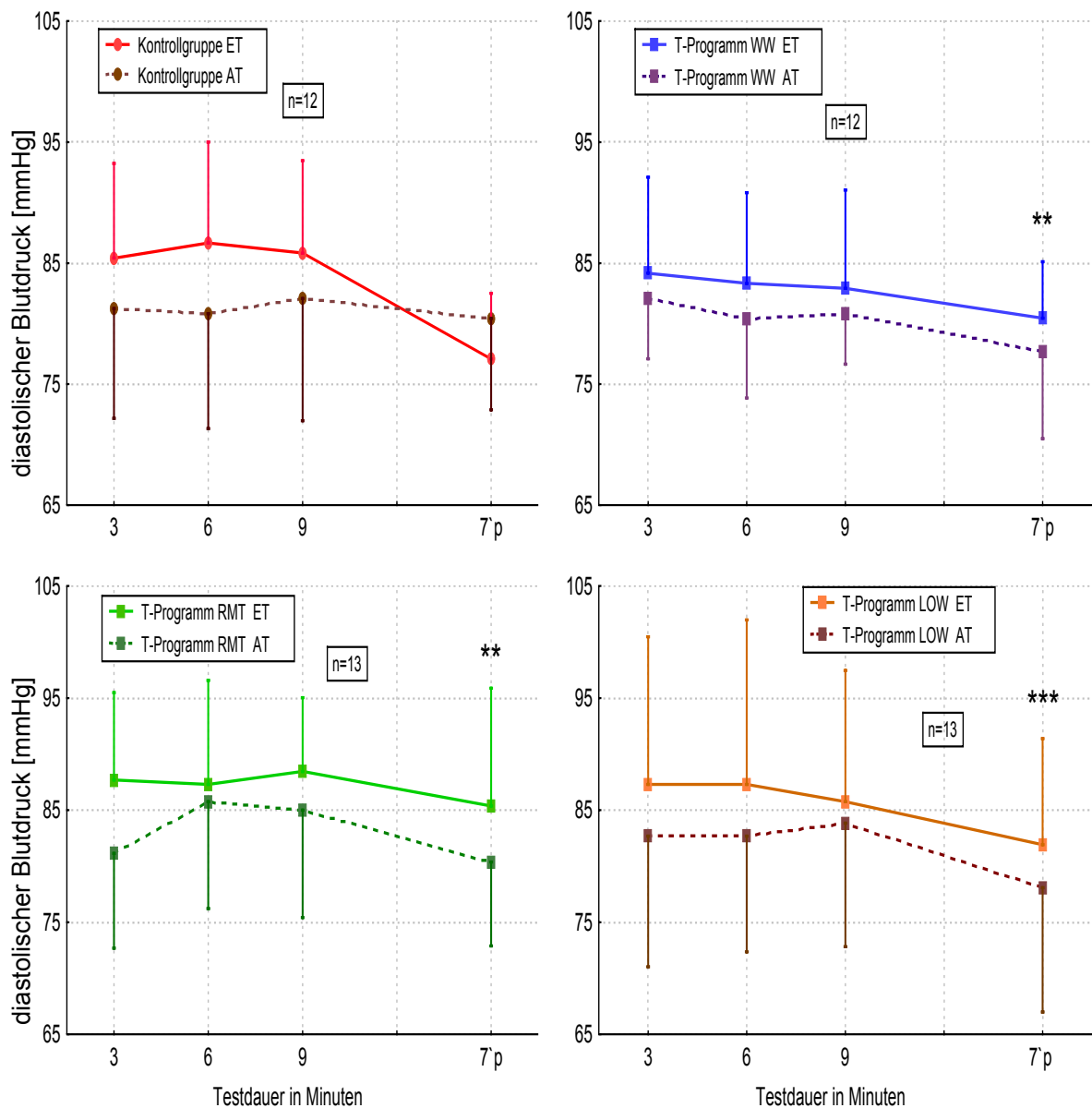


Abb. 37: Diast. Belastungs- und Nachbelastungsblutdruck der vier Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt der Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW/RMT/LOW

In Tab. 14 sind die im Rahmen der Untersuchung relevanten Laborergebnisse aufgeführt. Die Gruppenvergleiche ergaben bei keinem Parameter einen signifikanten Unterschied zwischen den untersuchten Gruppen.

Tab. 14: Mittelwerte der relevanten Laborparameter der vier Untersuchungsgruppen zum Zeitpunkt der Eingangs- und Abschlussuntersuchung

Parameter	Gruppe K		Gruppe WW		Gruppe RMT		Gruppe LOW	
	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
Chol _{ges} [mg*dl ⁻¹] (n=50)	211	214	188	193	217	209	206	208
HDL-Chol [mg*dl ⁻¹] (n=50)	55,4	52,2	52,8	54,1	58,6	56,4	52,1	53,3
LDL-Chol [mg*dl ⁻¹] (n=50)	124	130	110	113	129	126	125	125
LDL/HDL (n=50)	2,36	2,60	2,12	2,15	2,30	2,36	2,53	2,52
Chol/HDL (n=50)	3,96	4,23	3,59	3,64	3,83	3,89	4,13	4,11
TG [mg*dl ⁻¹] (n=50)	104	82	89	81	105	91	95	93
Apo A-1 [mg*dl ⁻¹] (n=51)	166	169	158	164	159	164	163	164
Apo B [mg*dl ⁻¹] (n=51)	113	113	101	102	117	115	114	115
Hcy [mg*dl ⁻¹] (n=51)	13,6	13,8	13,5	13,4	11,5	12,0	15,1	14,8
CRP [mg*l ⁻¹] (n=50)	0,75	1,24	1,44	1,52	0,84	0,88	1,27	1,47

3.3.4 Fragebogenergebnisse

3.3.4.1 Befindlichkeitsskalen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der acht Subskalen aufgeführt, die den 40 Items der Befindlichkeitsskalen (Abele-Brehm/Brehm 1986) zugrunde liegen. In diesem Zusammenhang entspricht die Zahl fünf völliger Zustimmung (Bejahung aller fünf Items der jeweiligen Subskala) und die Zahl zehn völliger Ablehnung (Verneinung aller fünf Items der Subskala).

Die Gruppenvergleiche der Skala Aktiviertheit zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und Trainingsgruppe RMT ($F=3,35$; $p<0,1$), im Sinne einer Verbesserung der Skala "Aktiviertheit" bei Trainingsgruppe RMT. Die weiteren Analysen ermittelten keine signifikanten Unterschiede (vgl. Abb. 38).

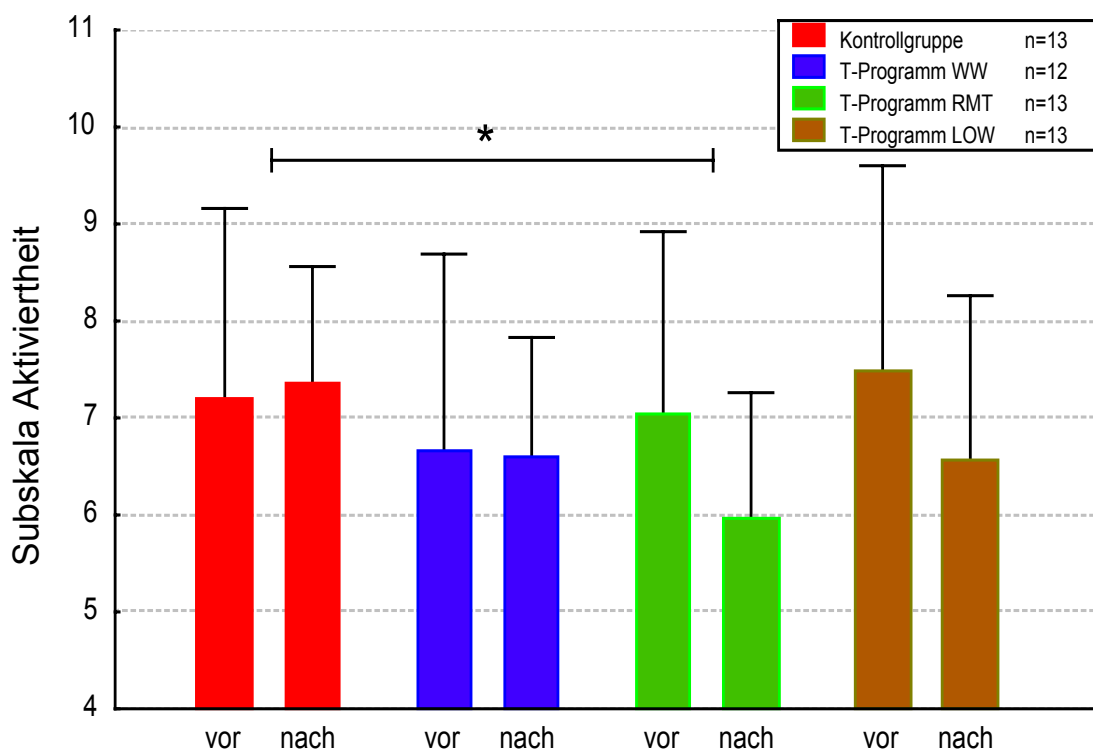


Abb. 38: Mittelwerte der Subskala Aktiviertheit bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe RMT

In Tab. 15 sind die Ergebnisse der weiteren sieben Subskalen der Befindlichkeitsskalen aufgeführt. Lediglich bei der Subskala Deprimiertheit, die bei der Kontrollgruppe im Rahmen des Abschlusstests deutlich weniger Zustimmung fand, zeigte sich überraschenderweise ein tendenzieller Unterschied zwischen Kontrollgruppe und Gruppe WW ($F=3,26$; $p<0,1$).

Tab. 15: Mittelwerte der Subskalen des Befindlichkeits-Fragebogens bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung (5=völlige Zustimmung; 10=völlige Verneinung). Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe WW

Subskala	Gruppe K (n=13)		Gruppe WW (n=12)		Gruppe RMT (n=13)		Gruppe LOW (n=13)	
	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
Gehobene Stimmung	7,5	7,0	6,8	6,8	7,2	6,5	7,2	6,7
Besinnlichkeit	6,9	7,2	7,4	8,1	7,2	7,6	7,2	7,2
Ruhe	6,9	6,8	6,8	6,5	7,2	6,4	7,6	6,6
Ärger	8,5	9,0	8,9	8,8	9,1	9,4	9,1	9,1
Erregtheit	7,3	8,4	7,9	8,8	7,9	8,8	8,4	8,4
Deprimiertheit	8,2	9,7	9,1	8,9 ^(*)	8,8	9,3	8,5	9,2
Energielosigkeit	8,0	8,7	8,8	9,6	8,0	9,6	8,1	8,9

Ergänzend durchgeführte Gesamtvergleiche (Kontrollgruppe vs. gesamtes Trainingskollektiv) ergaben bei den BFS keine signifikanten Gruppenunterschiede.

3.3.4.2 Frankfurter Selbstkonzeptskalen

Die Vergleiche der aus sechs Items bestehenden “Frankfurter Selbstkonzeptskala zur Empfindlichkeit und Gestimmtheit“ (FSEG) ergaben keine signifikanten Unterschiede der vier Gruppen (vgl. Abb. 39).

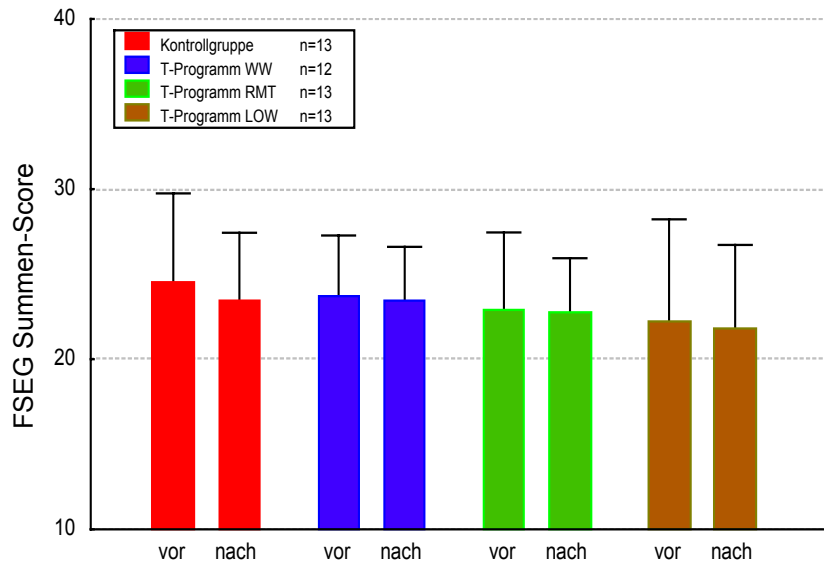


Abb. 39: Mittelwerte der FSEG bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung

3.3.4.3 Frankfurter Körperkonzeptskala

Die Gruppenvergleiche der “Frankfurter Körperkonzeptskala zur Gesundheit und zum körperlichen Befinden“ (SGKB) ergaben keine signifikanten Gruppenunterschiede (vgl. Abb. 40). Die globale Analyse zeigte jedoch einen signifikanten Effekt der Zeit ($F=8,18$; $p<0,01$).

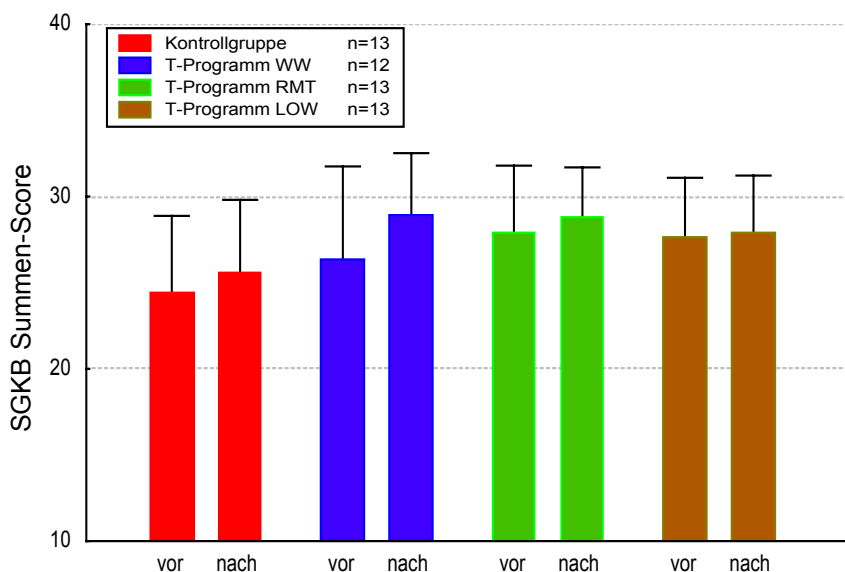


Abb. 40: Mittelwerte der SGKB bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung

Die Gruppenvergleiche der zehn Items umfassenden “Frankfurter Körperkonzeptskala zur körperlichen Effizienz“ (SKEF) zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen Kontrollgruppe und Trainingsgruppe RMT ($F=3,86$; $p<0,1$) (vgl. Abb. 41). Die globale Analyse ermittelte einen signifikanten Haupteffekt der Zeit ($F=18,5$; $p<0,001$).

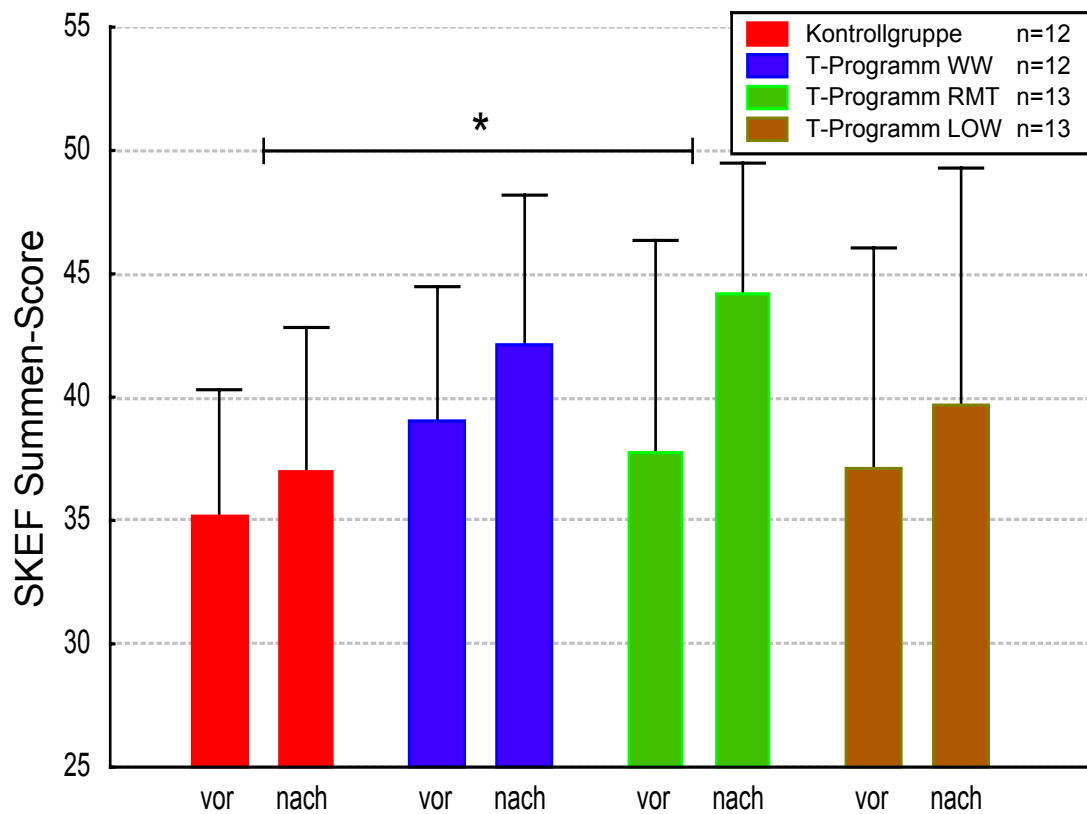


Abb. 41: Mittelwerte der Frankfurter Körperkonzeptskala zur körperlichen Effizienz bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung. Zeichenerklärung/Statistik: * → Vergleich Kontrollgruppe vs. Trainingsgruppe RMT

3.3.4.4 Beschwerdenliste

Der Vergleich des aus 24 Items bestehenden Summen-Score der Beschwerdenliste (B-L) (Zerssen 1976) ergab keine signifikanten Unterschiede der vier Untersuchungsgruppen (vgl. Abb. 42). Eine globale Analyse des Datensatzes zeigte einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Gruppe ($F=3,29$; $p<0,05$) und für den Faktor Zeit ($F=16,60$; $p<0,001$). Ein Summen-Score von 96 entspricht bezüglich der aufgeführten Leiden völlige Beschwerdefreiheit.

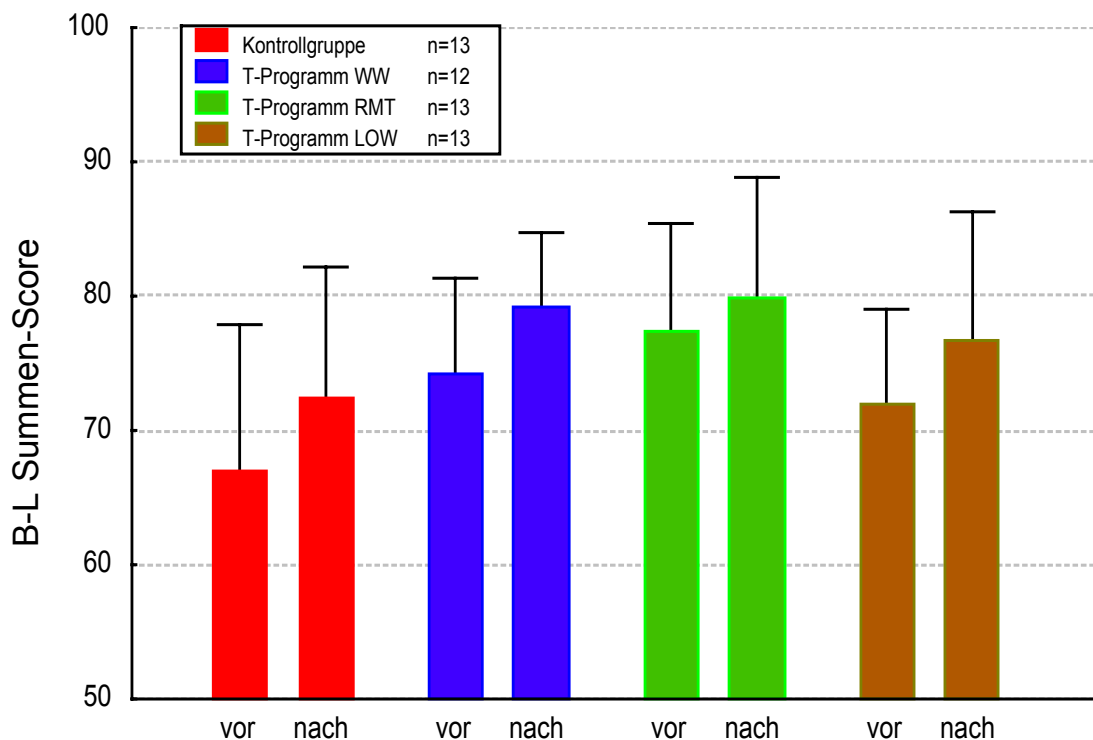


Abb. 42: Mittlerer Summen-Score der vier Untersuchungsgruppen bei Eingangs- und Abschlussuntersuchung

Auch ein separat berechneter Summen-Score aus 10 Items der Beschwerdenliste, die nach theoretischen Erwägungen besonders eng mit sportlicher Belastung und Trainingsverbesserungen assoziiert sind, zeigte keine signifikanten Unterschiede der vier Untersuchungsgruppen.

3.3.5 Zusammenfassung Gesundheitsindikatoren

Das Körpergewicht und der Körperfettanteil wurden – mit Ausnahme des Körperfettanteils (KAL) bei Gruppe WW – bei allen drei Trainingsgruppen signifikant reduziert.

Der syst. Ruheblutdruck verringerte sich im Vergleich zur Kontrollgruppe lediglich bei den Trainingsgruppen WW und LOW, während sich der diast. Ruheblutdruck bei allen Gruppen signifikant reduzierte. Der syst. Nachbelastungsblutdruck war nur bei den Trainingsgruppen RMT und LOW signifikant verringert. Der diast. Nachbelastungsblutdruck dagegen wurde wiederum durch alle drei Programme signifikant verbessert.

Keine Effekte hatte das Training auf den Belastungsblutdruck und sämtliche relevanten Labor-Parameter.

Die Ergebnisse der Fragebogen wiesen nur in wenigen Bereichen trainingsinduzierte Veränderungen aus. Es wurde eine signifikante Verbesserung der Subskala Aktiviertheit (BFS) und der Frankfurter Körperkonzeptskala zur körperlichen Effizienz (SKEF) bei Trainingsgruppe RMT festgestellt. Das Trainingsprogramm WW hingegen führte tendenziell zu einem Anstieg der Subskala Deprimiertheit (BFS) im Vergleich zur Kontrollgruppe.

3.4 Einflussfaktoren des Trainingseffekts

3.4.1 Altersabhängigkeit

Um die Altersabhängigkeit der Trainingsadaptabilität zu überprüfen, wurde der korrelative Zusammenhang zwischen dem Alter der Trainingsteilnehmer und der Höhe der Trainingseffekte (Differenz zwischen Eingangs- und Abschlusstest) einiger zentraler Zielparameter berechnet. Eine Auswahl der Ergebnisse ist in Tab. 16 dargestellt.

Tab. 16: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Alter der Trainingsteilnehmer und der Trainingsveränderung relevanter Zielparameter

	Pearson-Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient							
	HF _{Ruhe}	Gewicht	BMI	Körperfett (KAL)	syst. RR _{Ruhe}	diast. RR _{Ruhe}	VO _{2max}	Testdauer
n	38	38	38	28	38	38	38	38
Alter	0,02	0,13	0,26	0,17	0,02	0,11	0,12	-0,12

In keinem Fall wurde eine signifikante Altersabhängigkeit der Trainingseffekte ermittelt.

3.4.2 Gesetz des Ausgangsniveaus

Zur Evaluation der Abhängigkeit des Trainingseffektes (Differenz: Messwert Eingangstest – Messwert Abschlusstest) von der Höhe des Eingangswertes eines Parameters wurde der korrelative Zusammenhang berechnet. Zunächst werden die wichtigsten Laborparameter der Trainingsteilnehmer tabellarisch dargestellt (s. Tab. 17).

Tab. 17: Korrelationskoeffizienten zwischen den Eingangswerten und den Trainingsveränderungen relevanter Laborparameter

	Pearson-Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient						
	Chol _{ges}	HDL	LDL	Apo A-1	Apo B	TG	Hcy
n	38	38	38	38	38	38	38
Eingangswert (EW)	0,55*	0,36*	0,55*	0,27	0,39*	0,54*	0,33*

Die Korrelationskoeffizienten weiterer bedeutender Gesundheitsindikatoren sind in Tab. 18 dargestellt.

Tab. 18: Korrelationskoeffizienten zwischen den Eingangswerten und den Trainingsveränderungen einiger Gesundheitsindikatoren

	Pearson-Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient				
	Gewicht	Körperfett (KAL)	syst. RR _{Ruhe}	diast. RR _{Ruhe}	syst. RR _{7p}
n	38	28	38	38	38
EW	0,39*	0,43*	0,55*	0,56*	0,53*

Korrelative Zusammenhänge ausgewählter leistungsphysiologischer Parameter des Trainingskollektivs zur Höhe des Eingangswertes sind in Tab. 19 dargestellt.

Tab. 19: Korrelationskoeffizienten zwischen den Eingangswerten und den Trainingsveränderungen leistungsphysiologischer Parameter

	Pearson-Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient				
	VO _{2max}	Testdauer	PWC 150	HF _{Ruhe}	Schw.1,5 Testdauer
n	38	38	37	38	34
EW	0,12	0,09	0,09	0,30	-0,22

Bei keinem leistungsphysiologischen Parameter wurde ein korrelativer Zusammenhang der Trainingseffekte zur Höhe der Eingangswerte ermittelt.

3.4.3 Geschlechtsabhängigkeit

Der Zusammenhang zwischen dem Geschlecht der Trainingsteilnehmer und den Trainingseffekten wurde mittels einer zweifaktoriellen ANOVA geprüft. Die Ergebnisse sind in Tab. 20 aufgeführt. Lediglich bei den Trainingverbesserungen des syst. Blutdrucks zeigte sich ein signifikanter Einfluss des Geschlechts.

Tab. 20: Vergleich der Trainingseffekte bei Männern und Frauen; dargestellt sind die Mittelwerte und das Signifikanzniveau ausgewählter Zielparameter

Parameter	Männer (n=19)		Frauen (n=19)		Gruppe x Test
	Eingangstest	Abschlusstest	Eingangstest	Abschlusstest	p-Wert
Gewicht [kg]	87,2	85,6	75,1	73,9	0,49
Körperfett- anteil [%]	19,1 (n=16)	18,2	23,9 (n=12)	21,3	0,06 Tendenz
HDL Chol. [mg*dl ⁻¹]	51,1	49,2	58,0	60,0	0,35
HF _{Ruhe} [min ⁻¹]	59,0	52,9	62,3	56,8	0,69
syst. RR _{Ruhe} [mm Hg]	132	122	121	121	0,002
diast. RR _{Ruhe} [mm Hg]	84,7	78,7	78,2	75,5	0,12
VO _{2max} [L*min ⁻¹]	3,55	3,67	2,35	2,48	0,87
Testdauer [min]	20,7	22,5	18,1	19,9	0,99
PWC 150 [L*min ⁻¹]	2,59	2,77	1,76 (n=18)	1,95	0,84

3.4.4 Abhängigkeit des Trainingseffektes von der Compliance

Die Trainingseffekte, die bei einigen Zielparametern festgestellt wurden, korrelierten in keinem Fall signifikant mit der Compliance (vgl. Kap. 2.3.2).

4 Diskussion

Zunächst soll die Wirksamkeit eines Trainings mit dem beschriebenen Umfang erörtert werden. Da die drei untersuchten Trainingsprogramme trotz der dargestellten Unterschiede bei den Belastungsnormativen einen identischen Kalorienverbrauch aufwiesen (≈ 1.400 kcal), wurden die Ergebnisse der Trainingsgruppen in einem ersten Schritt zusammengefasst und mit der Kontrollgruppe verglichen. Bevor eine detaillierte Gegenüberstellung der Programme erfolgt, wird die Höhe und Ausprägung der wichtigsten Trainingseffekte in Bezug zum aktuellen Forschungsstand diskutiert. Schwierigkeiten bereitet in diesem Zusammenhang die häufig eingeschränkte Vergleichbarkeit zu anderen Trainingsstudien, welche bzgl. der untersuchten Zielgruppe, der Testprotokolle und der Studienlänge deutlich variieren.

4.1 Trainingseffekte auf leistungsphysiologische Parameter

4.1.1 Maximale Sauerstoffaufnahme

Zahlreiche Trainingsstudien berichten z.T. sehr deutliche Verbesserungen der VO_{2max} (Babcock et al. 1994; Dionne et al. 1991; Ferketich et al. 1998; Gilders et al. 1989; Greiwe et al. 1999; Hoppeler et al. 1985; Howley et al. 1995; Meredith et al. 1989; Seals et al. 1984a; Skinner et al. 2000; Spina et al. 1992; Takeshima et al. 1993; Thomas et al. 1985; Vanhees et al. 1992), in einigen Untersuchungen bereits nach relativ kurzer Trainingsdauer (Davis et al. 1979; Gaesser et al. 1984; Melanson et al. 1996; Winder et al. 1979). Das ACSM kommt in einem Review auf der Basis von Längsschnittstudien, die zwischen 6 und 12 Monaten dauerten, zu folgender Schlussfolgerung: „...a minimum increase in VO_{2max} of 10-15% is generally attained...“ (ACSM 1998, 977). Von Verbesserungen von maximal bis zu 30% wird berichtet. Kelley/Tran (1995) ermittelten in einer Meta-Analyse (34 Studien; mittlere Länge: 15,4 Wochen) u.a. eine Verbesserung der relativen VO_{2max} von durchschnittlich $5,3 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (14%). Diese Größenordnung bestätigt sich bei Durchsicht zahlreicher Trainingsstudien. Im Zuge der HERITAGE-Family-Study (Skinner et al. 2000) wurde bei 614 Probanden nach einem 20-wöchigen Training auf dem Fahrrad mit einer progressiven Steigerung des Umfangs und der Intensität (Beginn: $55\% VO_{2max}$; 30 min; $3 \text{ d} \cdot \text{wk}^{-1}$) eine mittlere Verbesserung der relativen VO_{2max} um $5,6 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (16%) festgestellt. Hoppeler et al. (1985) erzielten nach nur sechswöchigem Training ($5 \text{ d} \cdot \text{wk}^{-1}$; 30 min; progressive Intensitätserhöhung bis 90% der HF_{max}) eine Steigerung der VO_{2max} von $6,1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (14%).

Dahingegen konnte als Folge der drei untersuchten Trainingsregims lediglich eine mittlere Verbesserung der relativen VO_{2max} von $2,2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (5,9%) festgestellt werden. Die Verbesserung erreichte damit ein deutlich geringeres Ausmaß als in den zitierten Trainingsstudien. Dieses Ergebnis überrascht umso mehr, da Freund et al. (1986) feststellten, dass ein Belastungsprotokoll mit Steigerung der Laufbandneigung, insbesondere bei einem Training in profiliertem Gelände, VO_{2max} -Verbesserungen deutlicher abbildet als ein "horizontales" Laufbandprotokoll. Zum Teil, bei der Deutlichkeit der Unterschiede aber sicher nicht ausschließlich, lassen sich die Abweichungen auf die mit 12 Wochen etwas kurze Dauer des Trainings und die lediglich moderaten Intensitäten in der vorliegenden Studie zurückführen (vgl. dazu Kap. 4.4.1). Vermutlich kommen die häufig berichteten deutlichen Trainingsverbesserungen der VO_{2max} in einigen Arbeiten aber auch durch Differenzen der Ausbelastung beim Eingangs- und Abschlusstest zustande. Es ist anzunehmen, dass die im Verlauf des Trainings gewonnene höhere Erfahrung mit sportlichen Beanspruchungen die Probanden während des Abschlusstests in die Lage versetzt, sich stärker auszubelasten. Ferner wird jeder Proband nach umfangreichen Trainingsbemühungen hoch motiviert sein, sich stark anzustrengen, um deutliche Verbesserungen zu erzielen. Zusätzlich liegt der Verdacht nahe, dass viele Untersucher beim Eingangstest eher vorsichtig ausbelasten, während beim Abschlusstest ein hohes Belastungsniveau erzielt wird. Die Messung der VO_{2max} hängt aber vom Ausbelastungsgrad und damit auch von der Motivation der Probanden ab (vgl. Meyer et al. 2005). Eine Überprüfung der Ausbelastung durch objektive Kriterien ist folglich zwingend notwendig. In vielen Trainingsstudien erfolgt diese Prüfung allerdings gar nicht (z.B. Gaesser et al. 1984; Gaesser/Rich 1984) oder nur unter Verwendung sehr "weicher" Ausbelastungskriterien. Oftmals wird zwar überprüft, ob tatsächlich die VO_{2max} erreicht wurde, ein Vergleich der Ausbelastungswerte zwischen Eingangs- und Abschlusstest erfolgt aber nicht (z.B. Melanson et al. 1996; Skinner et al. 2000).

In dieser Studie wurde zur Vermeidung dieser Fehlerquellen großer Wert auf eine tatsächliche Ausbelastung gelegt. Howley et al. (1995) diskutieren in ihrem Review die Anwendung folgender vier Ausbelastungskriterien: "levelling off" der VO_2 bei einem Anstieg der Belastung; hohe Laktatkonzentrationen im Blut nach Belastungsende; erhöhter RQ und das Erreichen eines gewissen Prozentsatzes der, in Abhängigkeit vom Lebensalter, geschätzten HF_{max} . Da viele Probanden während eines Belastungstests kein "levelling off" der VO_2 zeigen (vgl. Bassett/Howley 2000; Duncan et al. 1997; Howley et al. 1995), wurde auf eine Verwendung dieses Kriteriums verzichtet

und lediglich ein statistischer Vergleich der übrigen Parameter durchgeführt. Die Ergebnisse der HF_{\max} und der Lak_{\max} deuten auf eine etwas höhere Ausbelastung der Gruppe LOW beim Abschlusstest im Vergleich zum Eingangstest und damit auf eine Überschätzung der Trainingseffekte anhand der Maximalparameter hin, während die weiteren Gruppen bei beiden Tests vergleichbare Ausbelastungswerte aufwiesen.

Möglicherweise lassen sich die geringen Steigerungen der $VO_{2\max}$ auch durch das hier verwendete Testprotokoll begründen, dass beim Eingangstest zu einer mittleren Testdauer von 19,5 min führte. Howley et al. (1995) empfehlen in ihrem Review eine Testdauer zur Bestimmung der $VO_{2\max}$ von 8-12 min. Es kann daher vermutet werden, dass das hier verwendete Protokoll für eine einwandfreie Bestimmung der $VO_{2\max}$ etwas zu lange dauerte.

4.1.2 Dauer des Belastungstests

Natürlich sind trainingsinduzierte Steigerungen der Testdauer eng mit dem verwendeten Belastungsprotokoll verknüpft. Zunächst ist eine Abhängigkeit der Ergebnisse von der Gesamtdauer des Tests zu erwarten. Protokolle mit langer Testdauer lassen auch deutlichere absolute Verbesserungen erwarten.

Das dargestellte Training in den drei Gruppen führte zu einer mittleren Verlängerung der **Testdauer** um 108 sek (9,2%). Melanson et al. (1996) ermittelten nach einem intensiven neunwöchigen Laufprogramm eine Steigerung der Testzeit um 91 sek (15,3%). Loimaala et al. (2000) dagegen stellten nach einem niedrig-intensiven 20-wöchigen Training (4-6 $d \cdot wk^{-1}$; 55% $VO_{2\max}$; mind. 30 min) eine Steigerung der Testzeit auf dem LB um lediglich 48 sek (4,9%) fest. Infolge eines 12-wöchigen Trainings auf einem Stepper (3 $d \cdot wk^{-1}$; Steigerung von 50% der $HF_{\text{Reserve}}/20$ min auf 75% der $HF_{\text{Reserve}}/40$ min) konnten Hass et al. (2001) unter Verwendung des Bruce-Protokolls (stufenweise Erhöhung der LB-Neigung/Geschwindigkeit) nur eine Verbesserung der LB-Zeit um 30 sek (4,8%) beobachten. Allen et al. (1986) führten mit 17 Untrainierten ein 12-wöchiges Lauftraining (65-85% der HF_{Reserve} ; 4 $d \cdot wk^{-1}$; 37 min) in flachem Gelände durch. Bei einem Protokoll mit Steigerung der LB-Neigung kam es zu einer Steigerung der Testzeit um 63 sek (10,4%) und bei einem horizontalen LB-Protokoll um 118 sek (18,2%).

Die dargestellten Beispiele zeigen, dass die Verbesserungen auch von der Spezifität eines Tests abhängig sind. Demnach sind die gemessenen Trainingsadaptationen dann besonders deutlich, wenn der Testmodus dem Trainingsmodus entspricht (vgl. Hass et al. 2001). Eine Nichtbeachtung dieses Prinzips kann dazu führen, dass ein Belastungstest nicht aufgrund einer allgemeinen Ermüdung, sondern bedingt durch lokale muskuläre Ermüdung

abgebrochen wird (vgl. Allen et al. 1986) und folglich die "wahre" Trainingsveränderung nicht präzise erfasst wird.

Die hier gemessene mittlere Verbesserung der Laufbandzeit um 108 sek bzw. 9,2% ist vergleichbar mit den zitierten Studienergebnissen. Somit konnte ein Ausdauertrainingseffekt des absolvierten Trainings nachgewiesen werden. Das Prinzip der Testspezifität wurde insofern eingehalten, als auf dem LB mit einer Steigerung der Neigung getestet wurde. Das Training wurde entsprechend in der Regel in hügeligem Gelände absolviert. Einige Probanden mussten jedoch während des Trainings joggen, um ihre Trainingsherzfrequenz einzuhalten. Möglicherweise stellte daher in Einzelfällen das verwendete Steigungsprotokoll mit Gehgeschwindigkeiten eine nicht völlig spezifische Belastung dar und provozierte vorzeitige Belastungsabbrüche.

4.1.3 Adaptationen der Laktat-Leistungskurve und der 1,5 mmol-Schwelle

Zahlreiche Trainingsstudien zeigen infolge eines Ausdauertrainings eine Rechtsverschiebung der **Laktat-Leistungskurve** (Hartard et al. 2000; Karlsson et al. 1972; MacRae et al. 1992; Seals et al. 1984b; Sjödin et al. 1982; Yerg et al. 1985; Yoshida et al. 1982; Yoshida et al. 1990). Gaesser et al. (1984, 245) resümierten schon 1984: „It is well documented that exercise training results in lower blood lactate concentration while exercising at a given submaximal exercise workload“. Dieser Zusammenhang konnte auch für identische relative Belastungen (%VO_{2max}) bestätigt werden (Bergman et al. 2000; Bergman et al. 1999; Karlsson et al. 1972).

Die getesteten Trainingsprogramme induzierten zusammengenommen eine moderate, aber signifikante Absenkung der Laktat-Leistungskurve auf identischen Belastungsstufen und gehen damit konform mit den zitierten Originalarbeiten. Nach 12 min auf dem LB betrug z.B. die Verringerung der Laktatkonzentration in den Trainingsgruppen 0,52 mmol·l⁻¹, während der mittlere Laktatwert der Kontrollgruppe lediglich um 0,02 mmol·l⁻¹ tiefer lag. Ein direkter Vergleich der Effekthöhe mit anderen Studienergebnissen ist an dieser Stelle aufgrund der differierenden Belastungsprotokolle und Referenzpunkte schwierig. Generell kann jedoch zunächst von eher moderaten Trainingserfolgen gesprochen werden. Dies lässt sich aber auch darauf zurückführen, dass bedingt durch die frühen Belastungsabbrüche einiger Probanden nur Daten bis zur 12. Belastungsminute in die Analyse einbezogen wurden, bei der die mittlere Konzentration nur ca. 2 mmol·l⁻¹ betrug.

Londeree (1997) subsumierte in seiner Meta-Analyse zu Trainingseffekten auf **Laktatschwellen** 34 Studien. In 29 wurde eine signifikante Erhöhung der VO₂

an der jeweiligen Schwelle beobachtet. Die drei Trainingsprogramme in dieser Studie führten entsprechend zu einer signifikanten Verlängerung der Testdauer bis zum Auftreten der Schw._{1,5} (125 vs. 32 sek, $p < 0,05$). Es sei jedoch angemerkt, dass die verwendete Schw._{1,5} auf einem anderen Konzept basiert als die Schwellen in der zitierten Meta-Analyse und daher ein direkter Vergleich der Trainingseffekte nicht möglich ist.

Für die genannten Veränderungen der Laktat-Kurve und der Laktat-Schwelle werden u.a. biochemische Anpassungen in der Arbeitsmuskulatur, eine Vergrößerung der Energiespeicher (ATP und KRP), verbesserte Laktat-Pufferungseigenschaften des Blutes (Erhöhung der Bikarbonatkonzentration (vgl. De Marées/Mester 1990)), eine Steigerung des Erythrozytenvolumens, eine verbesserte Kapillarisation der Muskulatur, eine Erhöhung der Mitochondrienanzahl und des Mitochondrienvolumens, eine veränderte Muskelfaser-Rekrutierung, ein höherer Anteil der Fettoxidation am Gesamtumsatz sowie mit Einschränkungen auch eine ökonomischere Arbeitsweise des Herzens verantwortlich gemacht (Bergman et al. 2000; Bergman et al. 1999; Favier et al. 1986; Hollmann/Hettinger 2000; Holloszy/Coyle 1984; Hurley et al. 1984; Karlsson et al. 1972; MacRae et al. 1992; Seals et al. 1984b; Sjödin et al. 1982; Yoshida et al. 1982; Yoshida et al. 1990). Die genannten Adaptationen, die zu einer Rechtsverschiebung der Laktat-Leistungskurve führen, sind im Gegensatz zu den VO_{2max} -Verbesserungen, für die eher zentrale Adaptationen maßgeblich sind, überwiegend im peripheren Bereich angesiedelt. Hurley et al. (1984) ermittelten in Einklang mit dieser Hypothese nach einem 12-wöchigen Ausdauertraining bei identischen relativen Intensitäten ($\%VO_{2max}$) signifikant niedrigere Laktatwerte. Der Zusammenhang wird ferner durch die Ergebnisse der Ein-Bein-Trainingsstudien von Henricksson und Saltin et al. (1977; 1976) gestützt, die eine geringere Laktatproduktion im trainierten Bein als im untrainierten Bein feststellen konnten. In diesem Sinne ließe sich auch die hier ermittelte unterschiedliche Höhe der Trainingseffekte im Bereich der VO_{2max} und der Laktat-Leistungskurve erklären.

4.1.4 Ruhe-Herzfrequenz und Herzfrequenz-Leistungskurve

Eine Senkung der HF_{Ruhe} durch ein ausdauerorientiertes Training, die sogenannte "Sportbradykardie", ist eine durch zahlreiche Studien gut belegte Trainingsadaptation (Boutcher/Stein 1995; Carter et al. 2003; Loimaala et al. 2000; Melanson 2000; Shi et al. 1995; Smith et al. 1989; Suter et al. 1995; Vanhees et al. 1992; Wilmore et al. 1996; Wilmore et al. 2001; Yamamoto et al. 2000). Die gemessenen Senkungen der HF_{Ruhe} in den zitierten Studien

liegen zwischen $2,7-9 \text{ min}^{-1}$. In Ausnahmefällen konnte jedoch – offensichtlich bedingt durch methodische Limitationen (schlechte Compliance und Standardisierung des Treatments sowie generell geringe Trainingseffekte) – keine signifikante Verringerung der HF_{Ruhe} gemessen werden (Allen et al. 1986; Uusitalo et al. 2002). Der dargestellte Trainingsumfang führte in der vorliegenden Studie zu einer mittleren Verringerung der HF_{Ruhe} um $5,8 \text{ min}^{-1}$. Damit entspricht die erzielte Steigerung nahezu exakt dem Ergebnis einer Meta-Analyse, die den Zusammenhang zwischen Ausdauertraining und der HF_{Ruhe} bei Personen über dem 60. Lebensjahr untersuchte (Huang et al. 2005). Auf der Datenbasis von 13 Studien (Dauer: 8-45 Wochen) mit insgesamt 651 Probanden ($\bar{O}=67$ Jahre) konnte infolge eines Ausdauertrainings eine signifikante Reduktion der HF_{Ruhe} ($p=0,014$) um im Mittel $5,5 \text{ min}^{-1}$ festgestellt werden. Interessanterweise zeigte eine Subgruppenanalyse, dass Studien mit einer Länge über 30 Wochen signifikant höhere Effekte erzielten als Studien kürzerer Dauer ($8,37\pm 3,22$ vs. $4,86\pm 1,69 \text{ min}^{-1}$) (Huang et al. 2005). Unklarheit herrscht darüber, welche Mechanismen zu einer Sportbradykardie führen. Sie scheinen sich jedoch von den Ursachen, die eine Verringerung der $\text{HF}_{\text{submax}}$ bedingen, zu unterscheiden. Diskutiert werden eine Senkung der intrinsischen HF und eine Zunahme des parasympathischen Einflusses auf die Herzarbeit (Carter et al. 2003; Löllgen/Gerke 2001; Smith et al. 1989; Wilmore et al. 1996; Wilmore et al. 2001; Yamamoto et al. 2000). Smith et al. (1989) konnten durch selektive Blockaden mit Atropin und Metoprolol die intrinsische HF und die Vagusaktivität quantifizieren. Sie gelangten zu dem Ergebnis, dass die Sportbradykardie sowohl durch eine Senkung der intrinsischen HF als auch durch eine Zunahme des Vagotonus verursacht wird. Wilmore et al. (1996) weisen darüber hinaus auf die Bedeutung einer Expansion des Blutvolumens mit der Folge einer Erhöhung des Schlagvolumens hin, die als schnellster Trainingseffekt gilt und maßgeblich zur Senkung der $\text{HF}_{\text{submax}}$ und der HF_{Ruhe} beiträgt.

Einige Trainingsstudien konnten zeigen, dass ein Ausdauertraining zu einer HF-Senkung bei einem **Dauertest mit konstanter Belastung** führt (Casaburi et al. 1995; Davis et al. 1979; Winder et al. 1979; Yoshida et al. 1982).

Auch eine deutliche Mehrheit der Trainingsstudien, die **ansteigende Belastungsprotokolle** verwendeten, berichten infolge eines Ausdauertrainings eine Verringerung der HF auf identischen Belastungsstufen, die in der Größenordnung zwischen $5-19 \text{ min}^{-1}$ angesiedelt ist (Badenhop et al. 1983; Davies/Knibbs 1971; Ferketich et al. 1998; Fox et al. 1975; Hartard et al. 2000; Seals et al. 1984a; Skinner et al. 2000; Vanhees et al. 1992; Wilmore et al. 1996; Wilmore et al. 2001; Yerg et al. 1985). Einige wenige Studien

konnten dagegen, möglicherweise bedingt durch eine unzureichende Kontrolle des Trainings bzw. einem zu guten Ausdauertrainingszustand bereits zu Beginn der Untersuchung, keine signifikante Senkung der HF_{submax} nachweisen (Gossard et al. 1986; Hoogeveen 2000).

Im Rahmen der dargestellten Trainingsstudie wurde auf den einzelnen Belastungsstufen (1.-13. min) eine signifikante Verringerung der HF um 6-11 min^{-1} festgestellt (Kontrollgruppe -3 min^{-1}). Dieses Ergebnis stimmt mit den aufgeführten Untersuchungen gut überein. Folglich wird die Wirksamkeit eines Ausdauertrainings mit dem geschilderten Trainingsumfang bestätigt.

4.2 Trainingseffekte auf kardiovaskuläre Risikofaktoren

4.2.1 Übergewicht/Körperfettanteil

Viele epidemiologische Untersuchungen und Querschnittstudien stellten bei aktiven Personen einen geringeren Körperfettanteil (KF), ein geringeres Körpergewicht (KG) und einen niedrigeren BMI fest (z.B. Dionne et al. 2000; Hunter et al. 1997; Kriska et al. 1992; Tremblay et al. 1990).

Das Training in dieser Längsschnittstudie führte in den drei Trainingsgruppen zu einer mittleren Verringerung des KG um 1,4 kg und des KF um 1,7% (KAL; n=28) bzw. 1,3% (BIA; n=29). Diese Ergebnisse gehen konform mit den Angaben in bedeutenden Reviews und Meta-Analysen. Wilmore (1983) resümiert auf der Basis von 32 Trainingsstudien eine mittlere Senkung des KG von 1,5 kg und des KF von 2,2%. Kelley/Tran (1995) konnten in ihrer Meta-Analyse (35 Studien; mittlere Dauer: 15,4 Wochen) eine geringe, aber signifikante Senkung des KG um 0,4 kg (31 Studien) und des KF um 0,5% (12 Studien) infolge eines Ausdauertrainings ermitteln. Miller (1999) bezog in seine Meta-Analyse Trainingsstudien der vorangegangenen 25 Jahre ein. Bei einer Durchschnittsdauer von 21 Wochen wurde eine mittlere KG-Senkung von 2,9 kg ermittelt. In einer Follow-up-Untersuchung nach einem Jahr konnte eine KG-Verringerung um 6,1 kg festgestellt werden. Diese "Langzeiteffekte", die evtl. auf trainingsinduzierte Steigerungen des Grundumsatzes zurückzuführen sind (vgl. Poehlman 1989), stehen im Gegensatz zu den Entwicklungen des KG nach Diäten. In der Regel wird nach Abschluss der Diät wieder ein KG-Anstieg beobachtet ("Jo-Jo-Effekt" (vgl. Miller 1999)).

Die Ergebnisse von Längsschnittstudien zum KG und KF sind inkonsistent. Während z.B. einige Studien eine signifikante Verringerung des KG zeigen (Abe et al. 1997; Allen et al. 1986; Crouse et al. 1997; Davies/Knibbs 1971; Hartard et al. 2000; van Hoof et al. 1989; Wood et al. 1983), konnten andere keine trainingsinduzierten Veränderungen feststellen (Bonanno/Lies 1974;

Henritze et al. 1985; Karlsson et al. 1972; King et al. 1995; Loimaala et al. 2000; Spina et al. 1993; Suter et al. 1995). Eine Studie zeigte nach sechsmonatigem Training keine Verringerung des KG, aber eine Senkung des KF (Suter et al. 1995). Dieses Ergebnis ist evtl. darauf zurückzuführen, dass durch ein Ausdauertraining neben einer Verringerung der Körperfettdepots auch eine Zunahme der Muskelmasse möglich ist. Senkungen des KF können daher bei reiner Betrachtung des KG unbemerkt bleiben. Die inkonsistente Studienlage ist vermutlich auch auf diverse Einflussfaktoren der Trainingsadaptabilität zurückzuführen. In diesem Kontext erscheinen insbesondere genetische Einflüsse (Bouchard et al. 1994), die Gestaltung des Trainings (ACSM 2001) und das Eingangsgewicht (Lynch et al. 2001; Tremblay et al. 1991) bedeutsam. Die Teilnehmer dieser Studie können als mäßig übergewichtig bezeichnet werden ($\bar{\text{Ø}} \text{ BMI} = 26,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$). Entsprechend wurden hier moderate Trainingseffekte erzielt. Generell bleibt festzuhalten, dass es sich bei der KG-Erfassung um eine sichere Messung handelt, während die indirekte KF-Bestimmung kritisch zu beurteilen ist (vgl. Kap. 1.3.3.1).

Zusammenfassend kann auf der Basis der aktuellen Forschungslage und der vorliegenden Studienergebnisse auf eine leichte trainingsinduzierte Verringerung des KG und des KF geschlossen werden, die bei längerer Studiendauer, höheren Belastungsumfängen und bei übergewichtigen Personen deutlicher auszufallen scheint. Die Tatsache, dass manche Studien ergebnislos blieben gründet sich evtl. auch auf eine kompensatorisch erhöhte Energieaufnahme (vgl. Grundy et al. 1999).

4.2.2 Blutdruck

Mehrere Review-Autoren folgern eine blutdrucksenkende Wirkung von Ausdauertraining. Keul et al. (1989) führen 27 kontrollierte und drei nichtkontrollierte Studien mit *Hypertonikern* auf, bei denen bis auf zwei Ausnahmen eine Blutdrucksenkung in Ruhe nachgewiesen wurde. Seals/Hagberg (1984) listen 12 Trainingsstudien (veröffentlicht von 1967-1983) mit Hypertonikern auf, von denen acht signifikante Senkungen des Ruheblutdrucks berichten, die im Mittel für den syst. 9 und den diast. 7 mmHg betragen. Die Autoren interpretieren ihre Ergebnisse jedoch mit großer Vorsicht: „However, in most cases, even the small changes in blood pressure reported must be interpreted with caution due to the poor study design and a number of methodological shortcomings“ (Seals/Hagberg 1984, 213). Beklagt wird u.a. der Verzicht auf Kontrollgruppen, geringe n-Zahlen und Unterschiede in der Messmethodik. Ferner ist erwähnenswert, dass in vielen Studien nicht angegeben wird, ob die Ruhemessung unter standardisierten

Bedingungen stattfand oder eine Untersucher-Blindung vorgenommen wurde. Unabhängig davon gelangt Fagard (1985) auf der Basis einiger kontrollierter Interventionsstudien mit *Normotensiven* zu der Auffassung, dass ein allgemeines dynamisches Training zu geringen Blutdrucksenkungen führt. Der Autor veröffentlichte 2001 eine Meta-Analyse, in der 44 Studien mit 2677 Personen ausgewertet wurden (Fagard 2001). Auf dieser Datenbasis konnte eine diast. und syst. Drucksenkung infolge eines Ausdauertrainings bei Normotensiven (2,6/1,8 mmHg) und bei Hypertensiven (7,7/5,8 mmHg) nachgewiesen werden. Eine weitere Meta-Analyse von Kelley/Tran (1995) wertete die Daten von 35 Trainingsstudien (veröffentlicht von 1963-1992) mit insgesamt 1076 Normotensiven aus. Es wurde eine diast. und syst. Drucksenkung festgestellt (3,3/4,4 mmHg).

Das gesamte Trainingskollektiv in der vorliegenden Untersuchung zeigte, in nahezu exakter Übereinstimmung mit der zuletzt zitierten Meta-Analyse, eine signifikante Senkung des diast. und syst. Blutdrucks (4,3/4,7 mmHg). Diese Werte liegen zwischen den Ergebnissen, die Fagard (2001) in seiner Meta-Analyse für Normotensive und Hypertoniker ermittelt hat. Dies erklärt sich evtl. durch das in dieser Untersuchung hoch angesetzte Ausschlusskriterium für den Ruheblutdruck (160/100 mmHg). Diese Wahl führte dazu, dass auch Personen teilnahmen, die nach Definition der WHO eine leichte Hypertonie aufwiesen und folglich, wie die zitierten Arbeiten andeuten, eine höhere Trainingsadaptabilität aufweisen könnten (vgl. Kap. 1.2.3.2).

Zusammenfassend kann eine moderate Senkung des diast. und syst. Blutdrucks durch ein Ausdauertraining angenommen werden. Die geringen Effekte sind durchaus von hoher Bedeutung, da sie einen signifikanten Einfluss auf die kardiovaskuläre Morbidität und Mortalität haben können (vgl. Kelley/Tran 1995). Eine Abhängigkeit der Trainingseffekte von der Ausgangshöhe des Blutdrucks ist wahrscheinlich, da Studien mit Hypertonikern in der Regel deutlicher ausgeprägte Blutdrucksenkungen berichten (vgl. Fagard 1985).

Die Studienlage zu den Trainingswirkungen auf den **Belastungsblutdruck** ist uneinheitlich und erlaubt kein klares Fazit (Hartard et al. 2000; Patyna 1983; van Hoof et al. 1989; Wilmore et al. 2001). In dieser Studie konnten keine Trainingswirkungen auf den Belastungsblutdruck festgestellt werden. Möglicherweise blieben eventuelle Trainingseffekte jedoch bedingt durch Schwächen der Messmethode unentdeckt. Der Blutdruck wurde hier nicht geblindet und lediglich bis zum sicheren Überschreiten der Schw._{1,5}, also nur bei geringer Belastung mit tendenziell geringen Blutdruckanstiegen und ausschließlich in den Stufenpausen gemessen. Zusätzlich erscheint eine

Interpretation dieser Daten durch die hohe Störanfälligkeit der Messmethode problematisch (nur einmalige Messung, psychische Störeinflüsse etc.).

4.2.3 Lipoproteine/Blutlipide

Viele epidemiologische Studien und Querschnittuntersuchungen berichten einen positiven Zusammenhang zwischen der körperlichen Fitness und verschiedenen Lipoproteinen sowie Blutlipiden (HDL-, LDL-, Chol_{ges}, TG) (Gibbons et al. 1983; Haddock et al. 1998; Hagberg et al. 2002; Kostka et al. 1999; McMurray et al. 1998; Schnabel/Kindermann 1982; Whaley et al. 1999). Auf dieser Basis folgert Kindermann: „In Querschnittuntersuchungen haben Ausdauertrainierte im Vergleich zu Untrainierten nicht nur geringere TG-Spiegel, sondern auch höhere Konzentrationen für HDL-Chol. und niedrigere für LDL-Chol.“ (Kindermann 1991, 36). Ergänzend dazu zeigten Kostka et al. (1999) einen Zusammenhang zwischen der VO_{2max} als Maß der Ausdauerleistungsfähigkeit und Apo A-I und Gabriel et al. (1996) wiesen bei 38 Ausdauerathleten im Vergleich zu einer untrainierten Gruppe neben tieferen LDL-Konzentrationen auch niedrigere Konzentrationen des Apo B und höhere Quotienten HDL/LDL sowie Apo A-I/Apo-B nach.

Die Ergebnisse von Interventionsstudien zu den Auswirkungen eines Ausdauertrainings auf den Fettstoffwechsel sind inkonsistent. „In many studies physical training has been shown to produce favorable changes in the lipid and lipoprotein profile; however in others these changes are not apparent“ (Lokey/Tran 1989, 424). Ursächlich sind vermutlich diverse weitere Einflussfaktoren wie z.B. saisonale Veränderungen (vgl. McMurray et al. 1998), Einflüsse der Ernährung oder die Dauer des Trainings.

Einige Meta-Analysen befassten sich mit den Trainingswirkungen auf die Lipide und Lipoproteine. Tran et al. (1983) analysierten 66 Studien mit insgesamt 2925 Probanden und ermittelten relativ deutliche und signifikante Trainingseffekte (ohne Angabe des Trainingsumfangs). Die mittlere Konzentration des Chol_{ges} sank um 10,0 mg*dl⁻¹, der TG um 15,8 mg*dl⁻¹, des LDL-Chol. um 5,1 mg*dl⁻¹, während HDL-Chol. um 1,2 mg*dl⁻¹ anstieg. Die Autoren mahnen jedoch bei der Interpretation der Ergebnisse zur Vorsicht und führen relevante Einflussfaktoren, wie z.B. die Eingangshöhe der Werte, die Trainingsdauer sowie das KG der Probanden an. In einer ergänzenden Meta-Analyse konnte insbesondere ein enger Zusammenhang der Trainingseffekte mit Senkungen des KG und der Trainingsdauer gezeigt werden (Tran/Weltman 1985). In einer weiteren Meta-Analyse (Lokey/Tran 1989) wurden 145 Studien (oft unkontrolliert) mit ausschließlich weiblichen Probanden einbezogen. Die Trainingseffekte waren hier, vermutlich bedingt durch die mit durchschnittlich

12 Wochen etwas kürzere Trainingsdauer, deutlich geringer. Der Chol_{ges}-Spiegel sank im Mittel um 4 und die TG-Konzentration um 9 mg*dl⁻¹, während der HDL- und LDL-Cholesterinspiegel unverändert blieb.

Die dargestellten Ergebnisse lassen auf leichte Verbesserungen der Konzentrationen bedeutender Lipoproteine durch ein Ausdauertraining schließen. Generell muss aber eine beträchtliche Heterogenität der Studienergebnisse konstatiert werden. Da weitere Einflussfaktoren auf die Blutlipide identifiziert werden konnten, ist zu vermuten, dass die differierenden Studienergebnisse auf unterschiedliche Belastungsintensitäten, Studiendauern, Ausgangswerte, saisonale Schwankungen, Änderungen des KG sowie simultane Ernährungsumstellungen zurückzuführen sind.

In der vorliegenden Trainingsstudie konnte trotz der Einschränkung saisonaler Einflüsse bei keinem der genannten Fettstoffwechselfparameter eine trainingsinduzierte Beeinflussung nachgewiesen werden. Dieser Befund mag insbesondere vor dem Hintergrund, dass einige Probanden eine positive Beeinflussung der "Cholesterinwerte" als wichtiges Motiv für die Teilnahme benannten, etwas enttäuschend sein. Eine Durchsicht der Literatur lässt jedoch den Schluss zu, dass eine Trainingsdauer von 12 Wochen nicht ausreichend ist, um Trainingswirkungen auf Blutlipide zu induzieren. King et al. (1995) konnten z.B. erst nach zweijährigem Ausdauertraining (n=269; 50-65 Jahre) einen Anstieg des HDL-Chol. feststellen, der nach einem Jahr noch nicht sichtbar war. Auch wurde in der vorliegenden Studie nur eine geringe Senkung des KG erreicht, deren Ausmaß nach Auffassung einiger Autoren eng mit Veränderungen der Blutlipide assoziiert ist (Lokey/Tran 1989; Tran/Weltman 1985). Eine weitere Ursache für den Befund könnten die eher niedrigen Ausgangswerte der Stichprobe sein, da Trainingseffekte insbesondere bei überhöhten Werten zu Tage treten (Lokey/Tran 1989; Tran et al. 1983).

4.2.4 Homocystein

Trainingseinflüsse auf den Hcy-Plasmaspiegel wurden bis dato nur durch wenige Studien untersucht. Erste Hinweise auf eine Beeinflussung durch ein Ausdauertraining ergaben sich aus einigen Querschnittuntersuchungen (Mennen et al. 2002; Nygard et al. 1995; Wright et al. 1998). Nygard et al. (1995) stellten beispielsweise bei körperlich aktiven Personen niedrigere Konzentrationen fest als bei einer Gruppe inaktiver Personen mit vergleichbarer Altersstruktur (n=16.176).

Auch die Ergebnislage der wenigen Längsschnittstudien muss bis dato als inkonsistent bezeichnet werden. König et al. (2003) ermittelten bei 42 Triathleten nach einem 30-tägigen Ausdauertraining genau wie Volek et al.

(2002) nach einem achtwöchigen Training keine Senkung der Hcy-Spiegel. Randeve et al. (2002) konnten dagegen bei 21 übergewichtigen jungen Frauen infolge eines sechsmonatigen Walking-Trainings eine signifikante Verringerung des Hcy-Spiegels um 27% messen.

Die dargestellten Trainingsprogramme führten hier nicht zu einer Veränderung der Hcy-Konzentration. In Bezugnahme auf den Forschungsstand war dies auch nicht zu erwarten, da vermutlich nur ein langfristiges und umfangreiches Training zu einer Hcy-Senkung führt. Die bereits dargestellten akuten Einflüsse körperlicher Aktivität auf die Hcy-Konzentration liefern dafür eine schlüssige Erklärung (vgl. Kap. 1.3.3.4): Da erst bei extensiven Belastungen langer Dauer ein Anstieg festgestellt werden konnte, ist zu vermuten, dass im Sinne einer gegenläufig zur akuten Auslenkung erfolgenden Adaptation auch nur solche Belastungen langfristig eine Senkung zur Folge haben. Weiß vermutet entsprechend: „Erst längerfristige permanente Beanspruchungen der Stoffwechselwege sind offenbar in der Lage, die notwendigen Anpassungen der vielen am Hcy-Stoffwechsel beteiligten Enzyme in allen daran beteiligten Organen herbeizuführen, um die Befunde niedrigerer Hcy-Spiegel bei aktiveren Menschen zu erklären“ (Weiß 2003, 105).

4.2.5 Sauerstoffaufnahme während der Belastungstests

Die Analyse der **VO₂ während der Belastungstests** zeigte bei allen vier Gruppen beim Abschlusstest eine gleichmäßige signifikante Absenkung der Werte auf den verschiedenen Stufen ($p < 0,001$). Im Sinne einer Gewöhnung an den Test auf dem LB lässt sich die etwas geringere VO₂ wahrscheinlich auf eine Verbesserung der neuromuskulären Koordination mit der Folge einer Ökonomisierung der Bewegung zurückführen (vgl. Hollmann et al. 1981; Sjödin et al. 1982). Die Verringerung der VO₂ in den Trainingsgruppen entspricht in etwa derjenigen in der Kontrollgruppe, so dass nicht von einer relevanten zusätzlichen Gewöhnung durch das Training auszugehen ist. Die Analyse dieses Parameters zeigt aber gleichfalls, wie wichtig die Führung einer Kontrollgruppe für eine korrekte Ergebnisinterpretation ist.

4.2.6 Trainingseffekte auf die “psychische Gesundheit“

4.2.6.1 Ausdauertraining und “psychisches Wohlbefinden“

Infolge vermehrter körperlicher Aktivität ist nach der derzeitigen Studienlage eine Abnahme von Ängstlichkeit und eine Verbesserung der allgemeinen Befindlichkeit zu erwarten (vgl. Knoll 1997), die besonders ausgeprägt bei den Personen ist, die zu Beginn besonders niedergeschlagen oder missgestimmt sind (vgl. Shephard 1995). Abele et al. (1994) berichten in ihrem Review

infolge sportlicher Aktivität bei neun von vierzehn einschlägigen Studien positive Veränderungen des habituellen Wohlbefindens, zumindest in einigen der untersuchten Bereiche. Knoll (1997) gelangt in ihrer Meta-Analyse zu dem Fazit, dass insbesondere ein Training mit hoher Ausdauerkomponente eine zeitlich begrenzte Steigerung des Wohlbefindens ermöglicht, während eine Veränderung des "habituellen Wohlbefindens" nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte. McAuley (1994) führt 23 Arbeiten zum Thema an und gelangt zu dem Ergebnis, dass eine Mehrheit dieser Studien (69%) einen positiven Einfluss körperlicher Aktivität auf das "psychische Wohlbefinden" zeigt.

Trainingsstudien zeichnen möglicherweise bedingt durch die unterschiedlichen Erhebungsinstrumente und die lediglich auf theoretischen Konstrukten basierenden psychologischen Parameter ein uneinheitliches Bild. Bonanno/Lies (1974) führten eine kontrollierte 12-wöchige Trainingsstudie mit Fragebogenerhebung zu psychologischen Parametern durch (Index zur Körperwahrnehmung und Adjektivliste zur Erfassung eines Persönlichkeitsprofils bzw. depressiver Stimmungslagen): Obwohl alle Teilnehmer angaben, dass sie sich nach dem Training besser fühlten, zeigten die psychologischen Tests keinerlei signifikante Trainingseffekte. Dagegen konnten Murphy et al. (2002) bei 32 Untrainierten unter Verwendung der "POMS" nach einem sechswöchigen Ausdauertraining eine signifikante Verringerung der Anspannung/Nervosität und der Ängstlichkeit nachweisen. Blumenthal et al. (1982) stellten ferner bei einer mit unserer Stichprobe vergleichbaren Personengruppe (Untrainierte; Durchschnittsalter 45 Jahre) nach zehnwöchigem Training (3*45 min/Woche, Intensität: 70-85% HF_{max}) unter Verwendung des "POMS" eine Senkung der Skalen Anspannung und Erschöpfung sowie einen Anstieg der Skala Vitalität fest.

Die Zusammenfassung der Fragebogendaten der drei Trainingsgruppen zeigte im Vergleich zur Kontrollgruppe zunächst keine signifikante Verbesserung der erfassten psychologischen Parameter. Weder bei den BFS, mit denen in acht Subskalen die Befindlichkeit der vergangenen zwei Wochen abgefragt wurde, noch bei der FSEG, mit der die Grundgestimmtheit ermittelt wurde, konnte das Ausdauertraining Verbesserungen bewirken. Möglicherweise war die Dauer des Trainings zu kurz, um eine nachhaltige positive Beeinflussung der dargestellten Parameter zu bewirken. Rejeski (1994) folgert in seinem Review, dass die Effekthöhe von Trainingsstudien zur Reduktion von Ängsten und depressiven Stimmungen dann besonders hoch ist, wenn sie eine Dauer von vier Monaten überschreiten. Die hier untersuchten Personen wiesen außerdem, im Gegensatz zu den meisten Stichproben der zitierten Studien, günstige

Ausgangswerte auf. Zu beachten sind sicherlich auch methodische Probleme der Fragebogenmessung.

Einzelvergleiche der Gruppen ließen demgegenüber in wenigen Kategorien signifikante Veränderungen erkennen (vgl. dazu Kap. 4.3 und 4.4).

4.2.6.2 Ausdauertraining und “physisches Wohlbefinden”

Abele et al. (1994) führen in ihrem Review vier Längsschnittstudien an, die eine positive Veränderung des “**perzipierten Beschwerdestatus**“ nach der Teilnahme an einem mehrwöchigen Trainingsprogramm nachweisen konnten. So ermittelten z.B. Blumenthal et al. (1982) nach einem zehnwöchigen Ausdauertraining mittels eines retrospektiv bearbeiteten Fragebogens eine signifikant bessere Wahrnehmung des Gesundheitszustandes. Eine weitere Studie mit Personen, die bereits vor Beginn des Trainings eine günstige Wahrnehmung des Gesundheitszustandes aufwiesen, zeigte aber keine veränderte Beschwerdenwahrnehmung (Myrtek/Villinger 1976).

Der Vergleich der mittels Beschwerdenliste (Zerssen 1976) erfassten perzipierten Beschwerden zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe. Unsere Ergebnisse stehen damit im Widerspruch zu einigen der zitierten Studien. Bei genauer Analyse der Ergebnisse kann festgestellt werden, dass es bei allen Gruppen zu einer nominellen Abnahme der wahrgenommenen Beschwerden kam. Durch die Verringerung der Beschwerdenwahrnehmung auch in der Kontrollgruppe war es schwieriger, eine signifikante Wirksamkeit des Trainings nachzuweisen. Möglicherweise ist die verbesserte Situation in allen Gruppen allein durch die während der Studie erfolgte Betreuung (medizinische Untersuchungen/ Telefonate/Gespräche etc.) zu erklären. Sox et al. (1981) berichten schon allein nach der Durchführung medizinischer Tests zur Diagnostik signifikante Verbesserungen psychologischer Variablen. Ein weiterer Erklärungsansatz für die ausbleibenden Effekte könnte die bereits beim ET geringe Beschwerdeshöhe der Stichprobe sein. Im Sinne eines Deckeneffekts wurden evtl. dadurch bedingt keine Trainingseffekte beobachtet.

Es ist plausibel, dass die in Kap. 4.1.1-4.1.4 dargestellten Verbesserungen diverser Parameter der Ausdauerleistungsfähigkeit in den Trainingsgruppen auch eine verbesserte **Wahrnehmung der körperlichen Leistungsfähigkeit** zur Folge haben. Alfermann et al. (1995) konnten nach einem halbjährigen Fitnessprogramm (1h/Woche) bei Untrainierten Verbesserungen des “Selbstkonzepts“ nachweisen, die besonders deutlich im Bereich “Körperselbstkonzept“ ausfielen. Nach einem zehnwöchigen Ausdauertraining

gaben in einer weiteren Studie die Trainingsteilnehmer in einem retrospektiv bearbeiteten Fragebogen signifikant häufiger eine verbesserte Wahrnehmung der persönlichen Leistungsfähigkeit an als die Teilnehmer der Kontrollgruppe (Blumenthal et al. 1982). McAuley (1994) listet in seinem Review 16 Artikel auf, die Trainingswirkungen auf den Zielparameter "self-efficacy" untersuchten. Auf dieser Basis folgert der Autor, dass körperliche Aktivität eine verbesserte Wahrnehmung der körperlichen Fähigkeiten bewirkt.

Weder bei der hier verwendeten "Frankfurter Körperkonzeptskala zur Gesundheit und zum körperlichen Befinden" noch bei der "Frankfurter Körperkonzeptskala zur körperlichen Effizienz" (Deusinger 1998) konnte ein signifikanter Unterschied zwischen dem Trainingskollektiv und der Kontrollgruppe festgestellt werden. Generell kam es bei allen Gruppen im Zuge des Abschlusstests zu einer signifikant besseren Selbsteinschätzung des körperlichen Befindens und der körperlichen Effizienz. Erneut scheint allein die Studienteilnahme und die damit verbundene Betreuung, eine Verbesserung der Fragebogenergebnisse bewirkt zu haben. Möglicherweise war auch die Trainingsdauer zu kurz, um messbare Unterschiede feststellen zu können.

Separat durchgeführte Gruppenvergleiche zeigten hingegen eine signifikante Verbesserung der Ergebnisse in der Skala SGKEF bei der Trainingsgruppe RMT im Vergleich zur Kontrollgruppe (vgl. dazu Kap. 4.3 und 4.4).

4.2.7 Einordnung und Bedeutung der Trainingseffekte

Ein 12-wöchiges Training mit dem dargestellten wöchentlichen Umfang führte zu leichten Verbesserungen einiger wichtiger kardiovaskulärer Risikofaktoren und leistungsphysiologischer Parameter. Bei einigen weiteren Parametern aus dem gesundheitlichen Bereich, insbesondere den Parametern des Fettstoffwechsels, konnten keine Trainingseffekte festgestellt werden.

Dieses Ergebnis mag insgesamt bei einem wöchentlichen Umfang von 2,5 Stunden (Gruppe WW/RMT) bzw. etwa 3 Stunden (Gruppe LOW), wie er nur von wenigen Menschen des untersuchten Personenkreises dauerhaft realisiert wird, eher enttäuschend sein. Andererseits muss in Erwägung gezogen werden, dass nur 12 Wochen trainiert wurde und eine längere Studiendauer, wie viele Arbeiten zeigen, vermutlich deutlichere Verbesserungen nach sich gezogen hätte (Babcock et al. 1994; King et al. 1995; Leon et al. 2002; Tremblay et al. 1991; Yerg et al. 1985). Manson et al. (1999) konnten z.B. in ihrer epidemiologischen Studie mit 72.488 Krankenschwestern infolge eines vergleichbaren, jedoch über mehrere Jahre hinweg absolvierten Trainings (3*1h/Wo. Walking) eine deutliche Senkung kardiovaskulärer Risikofaktoren und in der Folge eine Verringerung des KHK-Risikos um 30-40% ermitteln.

Weiterhin konnte in der vorliegenden Untersuchung speziell bei einigen Gesundheitsindikatoren (z.B. Ruheblutdruck oder KG) mittels signifikanter Korrelationen gezeigt werden, dass eben jene Personen mit sehr schlechten Ausgangswerten und somit einem hohen kardiovaskulären Risiko besonders deutliche Trainingseffekte aufweisen (vgl. Kap. 4.2.5). Dem Ausdauertraining ist daher eine besonders hohe präventive Wertigkeit zu konstatieren.

Ein weiterer bemerkenswerter Aspekt gründet sich auf der durchaus großen Bedeutung, die auch geringe Verbesserungen der untersuchten Zielparameter haben. So konnten z.B. Blair et al. (1995) in ihrer epidemiologischen Studie mit zwei Erhebungen im Abstand von 4,9 Jahren und Follow-up Untersuchungen der Probanden bis zum Tod bzw. einem Stichtag, bei einer Verbesserung der Laufbandzeit um nur eine Minute, eine Senkung der „All-Cause Mortality“ um 7,9% belegen.

4.2.8 Einflussfaktoren auf die Effektgröße eines Ausdauertrainings

In vielen Trainingsstudien wurde eine erhebliche interindividuelle Varianz der Trainierbarkeit beobachtet. Als Folge eines standardisierten Trainings über 12 Wochen stellten beispielsweise Dionne et al. (1991) bei 29 Männern VO_{2max} -Verbesserungen fest, die zwischen 0,07 und 0,96 $l \cdot min^{-1}$ lagen! Auch bei den Adaptationen anderer Parameter wurden z.T. erhebliche interindividuelle Variationen gemessen (vgl. Haskell 1994b). Daraus leitet sich die Frage ab, welche Faktoren für die auch in unserer Studie beobachtete interindividuell differierende Trainierbarkeit verantwortlich sind.

Von hoher Bedeutung sind sicherlich **genetische Einflüsse** (An et al. 2003a; An et al. 2003b; Hamel et al. 1986; Pollock 1973). An et al. (2003a; 2003b) ermittelten z.B. im Zuge der HERITAGE-Family-Study einen Einfluss der Erbllichkeit von 29-34% auf die Effekte der HF_{submax} und 22% auf den syst. Belastungsblutdruck. In der vorliegenden Studie ist jedoch keine Beurteilung dieses Faktors möglich.

Daneben gilt eine Abhängigkeit der Trainierbarkeit von der **Höhe des Ausgangsniveaus** eines Parameters als wahrscheinlich (vgl. Kiens et al. 1980; Pollock 1973; Takeshima et al. 1993; Wilmore et al. 2001). Demnach sprechen Personen mit besonders ungünstigen Werten (z.B. Hypertoniker) auch besser auf ein Ausdauertraining an, indem sie einen deutlicheren Trainingseffekt zeigen. Wilmore et al. (2001, 115) fanden in einer Trainingsstudie (n=507) einen inversen Zusammenhang zwischen dem Ausgangsniveau und den Trainingseffekten für einige Parameter: „The resulting correlation coefficients were -0,39, -0,29, and -0,35, indicating that those with higher pretraining values tended to have greater reductions in resting values for heart rate,

systolic blood pressure, and diastolic blood pressure, respectively ($p < 0,0001$)“. Dieser Zusammenhang wird durch die vorliegenden Ergebnisse der Risikofaktoren bestätigt. Korrelationsanalysen zeigten, dass Probanden mit besonders hohen Ausgangswerten der Laborparameter, des KG, des KF sowie des Ruheblutdrucks infolge des Trainings deutlichere Verbesserungen erzielen konnten. Im leistungsphysiologischen Bereich zeigte sich kein korrelativer Zusammenhang zwischen dem Ausgangsniveau und den Trainingseffekten.

Einige Autoren vermuten eine Abhängigkeit der Trainingseffekte vom **Lebensalter** (Makrides et al. 1990; Pollock 1973; Ready/Quinney 1982). Gemeinhin wird jüngeren Personen eine höhere und schnellere Adaptabilität zugesprochen als älteren Menschen (vgl. ACSM 1998). Young et al. (1993) konnten diesen Sachverhalt in ihrer epidemiologischen Studie mit wiederholten Messungen und Befragungen bestätigen. Ältere Personen wiesen als Folge einer erhöhten körperlichen Aktivität geringere Verbesserungen wichtiger Gesundheitsindikatoren auf als jüngere Menschen. Die Trainingserfolge der vorliegenden Studie zeigen keine Altersabhängigkeit. Bei keinem Parameter wurde eine signifikante Korrelation zwischen der Höhe der Trainingseffekte und dem Lebensalter ermittelt. Dieses Ergebnis ist bei der geringen Stichprobengröße und der geringen interindividuellen Varianz des Lebensalters aber nicht weiter überraschend und lässt keine abschließende Beurteilung der Altersabhängigkeit in Bezug auf die Trainingsadaptabilität zu.

Inwiefern das **Geschlecht** einen Einfluss auf die Trainingsanpassungen einiger Zielparame-ter hat, wird kontrovers diskutiert. Problematisch ist die Tatsache, dass deutlich mehr Trainingsstudien mit Männern als mit Frauen durchgeführt wurden und daher eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse schwierig ist. Pollock (1973) folgert in seinem Review, dass Frauen dieselben Anpassungen an ein Ausdauertraining zeigen wie Männer. Im Hinblick auf Verbesserungen der VO_{2max} vertritt das ACSM (1998) dieselbe Auffassung. Einige Autoren deuten allerdings, insbesondere in Bezug auf eine Senkung des KG und des KF, eine höhere Trainingsadaptabilität männlicher Teilnehmer an (Grundy et al. 1999; Hardman et al. 1992; Tremblay et al. 1984). Ferner scheint ein präventives Ausdauertraining bei Männern zu deutlicheren Senkungen der Lipoproteine zu führen (vgl. Lokey/Tran 1989). Diese Zusammenhänge konnten aber in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden. Es konnte lediglich eine deutlicher ausgeprägte Reduktion des syst. Blutdrucks bei den Männern nachgewiesen werden ($p < 0,01$). Dieser Effekt scheint jedoch eher auf die bei den Männern deutlich höheren Ausgangswerte zurückzuführen zu sein und ist somit im Sinne einer Abhängigkeit des Trainingseffektes von der Höhe des Ausgangsniveaus zu interpretieren (s.o.).

Bei keinem Parameter wurde eine Abhängigkeit der Trainingseffekte von der **Trainingscompliance** nachgewiesen. Dies legt erneut den Schluss nahe, dass in dieser Untersuchung keine Beeinflussung durch die ohnehin ausgezeichnete und ausgewogene Trainingscompliance zu verzeichnen war.

4.3 Konzentration des Trainings am Wochenende/“weekend warrior“

Sowohl das Trainingsprogramm “weekend warrior“ als auch das Programm RMT führte zu Verbesserungen einiger wichtiger leistungsphysiologischer und gesundheitsrelevanter Parameter im Vergleich zur Kontrollgruppe. Im leistungsphysiologischen Bereich erzielten beide Gruppen signifikante Steigerungen der relativen VO_{2max} , der Testdauer, der HF-Leistungskurve, der Laktat-Leistungskurve, der Schw._{1,5} und der HF_{Ruhe} . Eine signifikante Verbesserung der PWC 150 im Vergleich mit der Kontrollgruppe ergab sich jedoch nur infolge des Programms WW. Im direkten Vergleich wurde aber bei keinem leistungsphysiologischen Parameter ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Programmen festgestellt.

Auch im gesundheitlichen Bereich konnte bei keinem Parameter ein signifikanter Unterschied in der Trainingswirksamkeit der beiden Programme ermittelt werden. Es kam jeweils zu einer Verbesserung des KG, des KF (BIA) sowie des diast. Ruhe- und Nachbelastungsblutdrucks. Der syst. Ruheblutdruck konnte nur infolge des Trainingsprogramms WW und der syst. Nachbelastungsblutdruck ausschließlich bei Trainingsprogramm RMT signifikant reduziert werden. Ferner konnte der KF (KAL) nur durch das Programm RMT signifikant gesenkt werden. Sämtliche Laborparameter wurden durch die beiden Trainingsprogramme nicht beeinflusst.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung weisen darauf hin, dass eine Konzentration des Trainingsumfangs auf die Wochenenden nicht zwangsläufig zu einer Einschränkung der Trainingseffektivität führte. Bei einer vergleichbaren Ausbelastung der Trainingsgruppen zeigte sich weder bei den maximalen noch bei den submaximalen leistungsphysiologischen Parametern eine Überlegenheit des Trainingsprogramms RMT. Auch die Ergebnisse der Gesundheitsindikatoren lassen nicht auf Unterschiede zwischen den Trainingsprogrammen schließen. Die eingangs formulierten Hypothesen (H_{3+4}) müssen somit auf der Basis dieser Ergebnisse eindeutig falsifiziert werden. Bei keinem Zielparameter führte die Konzentration des Trainings im direkten Vergleich zu einer Reduktion des Trainingserfolgs. Gängige Trainingsempfehlungen renommierter Organisationen und Autoren (ACSM

1990; ACSM 1998; Fletcher et al. 1996; NIH 1996; Pearson et al. 2002), die eine gleichmäßige Verteilung des Trainings vorsehen, müssen evtl. auf der Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse überdacht bzw. modifiziert werden. Es konnte gezeigt werden, dass ein zweimaliges Training pro Woche genauso effektiv ist wie ein fünfmaliges Training, wenn der Energiegesamtumsatz gleich ist. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse kann geschlossen werden, dass der entscheidende Parameter zur Steuerung eines gesundheitssportlichen Trainings der tatsächliche Kaloriengesamtverbrauch sein dürfte und die Bedeutung der Trainingsfrequenz zumindest im Bereich zwischen 2-5 Einheiten pro Woche nicht von primärer Bedeutung ist.

Erstaunlicherweise deutet ein Vergleich der Steigerungen bei einigen wichtigen Zielparametern (relative $\text{VO}_{2\text{max}}$, HF-Leistungskurve, PWC 150 und Testdauer) sogar eine höhere Effektivität des Trainingsprogramms WW an, da hier ausgeprägtere Verbesserungen erzielt werden konnten. Bei aller gebotenen Zurückhaltung bzgl. der Interpretation, können diese Differenzen evtl. auf die unterschiedliche Dauer der einzelnen Trainingseinheiten zurückgeführt werden. Es ist denkbar, dass sehr lange Trainingseinheiten eine höhere Trainingswirksamkeit haben, weil sie eine stärkere Ausschöpfung der Leistungsreserven zur Folge haben. In diesem Kontext muss auch das in Abhängigkeit von der Trainingsdauer differierende Profil der beteiligten Energiebereitstellungsprozesse Beachtung finden (vgl. Ahlborg et al. 1974). Mit zunehmender Trainingsdauer werden beispielsweise verstärkt Fette zur Energiebereitstellung herangezogen. Im Widerspruch zu dieser Vermutung konnte Shephard (1968) nur einen marginalen Einfluss der Dauer einer Trainingseinheit auf die Trainingseffektivität feststellen. In jener Studie wurden aber lediglich Einheiten mit 5-, 10- und 20-minütiger Dauer geprüft. Vermutlich zeigen sich Unterschiede erst bei einer Dauer der Trainingseinheit von über 30 Minuten.

Beachtenswert erscheinen die Fragebogenergebnisse zum körperlichen und psychischen Wohlbefinden. Während nach dem Trainingsprogramm RMT eine signifikante Verbesserung der Subskala "Aktiviertheit" aus den BFS und der "Frankfurter Körperkonzeptskala zur körperlichen Effizienz" festgestellt wurde, zeigte sich bei dem Programm WW lediglich ein negativ zu interpretierender tendenzieller Anstieg der Subskala "Deprimiertheit" aus den BFS. Diese Ergebnisse deuten an, dass die konzentrierte Durchführung des Trainings an zwei Tagen von den Probanden vergleichsweise schlechter toleriert wurde. Eigene Beobachtungen des Untersuchers untermauern diese Annahme. Die "weekend warriors" äußerten sich im Verlauf der Untersuchung überdurchschnittlich häufig negativ über ihr Programm. Insbesondere am

zweiten Trainingstag wurde das Training bisweilen als belastend empfunden. Es darf daher vermutet werden, dass eine derartige Gestaltung des Trainings tendenziell langfristig nicht die erwünschten positiven, sondern eher sogar negative Einflüsse auf einige Komponenten der allgemeinen Befindlichkeit hat. Es gibt Hinweise darauf, dass es im Sinne einer Überlastung zu einem Anstieg depressiver Stimmungen und allgemeiner Ängstlichkeit sowie einer Verringerung der Kategorie "Vitalität" kommen kann (vgl. Rejeski 1994). Eine Überlastung scheint in diesem Zusammenhang auch durch hohe Trainingsumfänge innerhalb kurzer Zeit, wie sie von der Gruppe WW bewältigt wurden, möglich. Inwiefern die ungewöhnlich langen Einheiten und das konzentrierte Training auf zwei aufeinander folgende Tage zusätzlich negative Auswirkungen auf die Compliance und das Risiko der Entwicklung von Überlastungsschäden hat, kann bis dato nicht abschließend beurteilt werden. In dieser Studie war die Compliance in Gruppe WW vergleichbar mit den anderen Gruppen. Es bleibt aber festzuhalten, dass ein Proband der Gruppe WW aus orthopädischen Gründen (Knieprobleme) die Teilnahme abbrechen musste. Diese Zusammenhänge müssen künftig bei größeren Stichproben und längerfristigem Training überprüft werden (vgl. Kap 4.6).

4.3.1 Vergleich mit anderen Studien

Wie bereits konstatiert, konnte keine vergleichbare *Längsschnittstudie* recherchiert werden, die sich explizit mit diesem speziellen Untersuchungsschwerpunkt befasste. Es wurde jedoch 2004 eine Subgruppenanalyse der epidemiologischen "Harvard Alumni Health Study" veröffentlicht, in der "weekend warriors" (≥ 1000 kcal durch 1-2-malige körperliche Aktivität in der Woche, $n=580$) und "regularly active" (alle anderen Personen ≥ 1.000 kcal*wk⁻¹, $n=5261$) bzgl. ihrer Sterblichkeit über einen Beobachtungszeitraum von fünf Jahren miteinander verglichen wurden (Lee et al. 2004). Bei den "regularly active" wurden signifikant niedrigere Sterblichkeitsraten ermittelt als bei den "weekend warriors" ($p=0,03$). Erst eine separate Analyse der Probanden ohne Risikofaktoren ergab für die "weekend warriors" ebenfalls eine verringerte Sterblichkeit im Vergleich zur inaktiven Gruppe (Lee et al. 2004). Einschränkend muss allerdings zu dieser Studie angemerkt werden, dass im Gegensatz zur vorliegenden Studie der mittlere Energieumsatz bei der Gruppe der "regularly active" höher war als bei den "weekend warriors". Ferner ist zu beachten, dass die körperlichen Aktivitäten nicht auf ein reines Ausdauertraining beschränkt wurden.

Fox et al. (1975) führten jeweils ein sieben- und ein dreizehnwöchiges Intervalltraining mit einer Trainingsfrequenz von zwei bzw. vier Tagen die

Woche durch, um den Einfluss der Belastungsnormative Trainingslänge und Trainingsfrequenz zu prüfen. In den vier Gruppen wurde eine signifikante Senkung der HF_{submax} ermittelt, die umso deutlicher ausgeprägt war, je länger das Training dauerte und je höher die Trainingsfrequenz war. Bei den vorgenommenen Vergleichen lag jedoch ein unterschiedlicher Energiegesamtumsatz vor. Betrachtet man aber die Verbesserungen der Gruppe 4x/7 Wochen vs. 2x/13 Wochen (vergleichbarer Kalorienumsatz), lassen sich in Einklang mit den hier erzielten Ergebnissen sowohl bei der $VO_{2\text{max}}$ als auch bei der HF_{submax} ähnlich ausgeprägte Verbesserungen ableiten.

Weitere Längsschnittstudien überprüften zwar den Einfluss der Trainingsfrequenz auf die Trainingseffekte, ohne allerdings eine Synchronisation bzgl. des Kaloriengesamtverbrauchs vorzunehmen. Nur eine solche Gleichsetzung des Kalorienverbrauchs würde aber dem Vorgehen der "weekend warriors" in der Realität entsprechen, da diese ja am Wochenende ein umfangreiches Training ausüben, um quasi die Versäumnisse der Woche nachzuholen. Shephard (1968) verglich z.B. verschiedene Programme mit unterschiedlicher Trainingsfrequenz und konnte einen direkten Einfluss der Frequenz auf die Trainingseffektivität nachweisen. Die Intensität wurde jedoch nicht individuell gesteuert und die "aerobic power" lediglich geschätzt. In einer weiteren 20-wöchigen Trainingsstudie mit 56 Gefängnisinsassen wurde bei konstanter Intensität (85-90% HF_{max}) und Dauer der Trainingseinheiten (30 min) mit einer Frequenz von 1, 3 oder 5 mal pro Woche trainiert (Pollock et al. 1977). Die Autoren ermittelten eine Verbesserung der $VO_{2\text{max}}$, die in direkter Relation zur Trainingsfrequenz stand. Identische Ergebnisse werden in einer weiteren Veröffentlichung berichtet, die vermutlich auf dieselbe Stichprobe zurückgeht (55 Gefängnisinsassen) (Gettman et al. 1976). Ergänzend wird hier eine in Abhängigkeit von der Trainingsfrequenz erfolgte Verbesserung der Testdauer im Belastungstest und eine nur bei der Gruppe mit der höchsten Trainingsfrequenz erfolgte signifikante Reduktion der Hautfaltendicke erwähnt. Dagegen konnten in einer groß angelegten Trainingsstudie mit insgesamt 492 Probanden bei Programmen unterschiedlicher Frequenz (3-4 vs. 5-7) keine Unterschiede im Hinblick auf eine Verbesserung der $VO_{2\text{max}}$ und des Cholesterin-Profiles gezeigt werden (Duncan et al. 2005). Davies/Knibbs folgern dementsprechend auf der Basis der Ergebnisse ihrer Trainingsstudie (je drei verschiedene Intensitäten, Frequenzen und Trainingszeiten): „Analysis of the results showed that the two most important factors in training the $VO_{2\text{max}}$ were intensity and duration...“ (Davies/Knibbs 1971, 299). Bei einer n-Zahl von 27 entfallen jedoch auf jede Gruppe nur drei Personen, so dass aufgrund der begrenzten

statistischen Aussagekraft die Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden müssen. Der Einfluss der Trainingsfrequenz auf den Erhalt von Trainingsfortschritten wurde in einer Längsschnittuntersuchung mit 12 Personen beleuchtet (Hickson/Rosenkoetter 1981). Nach einem zehnwöchigen Aufbautraining an sechs Tagen pro Woche wurde in der folgenden 15-wöchigen Phase die Frequenz in einer Gruppe auf vier und in der anderen auf zwei Tage pro Woche reduziert bei identischer Gestaltung der Einheiten. Die mit 25% überraschend hohen Steigerungen der VO_{2max} nach dem ersten Untersuchungsabschnitt konnten in beiden Gruppen unabhängig von der Trainingsfrequenz erhalten werden. Somit scheint die Frequenz bei der Erhaltung von Trainingsfortschritten keine entscheidende Rolle zu spielen.

Alle im vorangegangenen Abschnitt zitierten Trainingsstudien verzichteten im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung auf eine Gleichsetzung des Gesamtkalorienverbrauchs, so dass ein direkter Vergleich der Ergebnisse mit unseren Daten unmöglich ist. Der von einigen Autoren ermittelte direkte Zusammenhang zwischen der Frequenz eines Trainings und der Effektivität scheint demzufolge u.U. durch die unterschiedliche Dauer und damit auch den unterschiedlichen Gesamtkalorienverbrauch der Programme begründet. Einige Autoren konnten jedoch selbst bei differierenden Kalorienumsätzen keinen Einfluss der Trainingsfrequenz feststellen (s.o.).

Insgesamt 26 junge Frauen nahmen an einer weiteren kontrollierten Trainingsstudie zur Untersuchung des Einflusses der Trainingsfrequenz auf den trainingsinduzierten Abbau von Körperfettdepots teil (Abe et al. 1997). Die Probanden trainierten 13 Wochen entweder 3-4 mal pro Woche ohne Veränderung der Ernährungsgewohnheiten oder 1-2 mal pro Woche bei gleichzeitiger Einschränkung ihrer Kalorienaufnahme um 200 kcal am Tag. Beide Gruppen erzielten signifikante Verringerungen des KG, des KF, der gesamten Fettmasse und der viszeralen Fettmasse. Trotz eines deutlich geringeren Kaloriendefizits (Training + Diät) konnte aber nur die Gruppe mit der höheren Frequenz eine Senkung der subkutanen Fettmasse erzielen und es wurde ein korrelativer Zusammenhang zwischen den Veränderungen dieses Parameters und der Trainingsfrequenz ermittelt. Neben methodischen Schwächen (Erfassung der Kalorienaufnahme über Fragebogen/nur zwei Messungen) ist die Vergleichbarkeit von Trainingsprogrammen mit und ohne Diät sicherlich eingeschränkt. Es bleibt jedoch festzustellen, dass auch in der vorliegenden Studie nur bei höherer Trainingsfrequenz (RMT) eine signifikante Senkung des KF (KAL) zu verzeichnen war. Möglicherweise lässt sich der Vorteil der höheren Trainingsfrequenzen in Bezug auf diesen Parameter durch die hier häufigeren und damit längeren evtl.

trainingswirksamen Aufwärm- und Nachbelastungszeiten erklären. Dieser Zusammenhang muss aber durch weitere Studien geklärt werden.

Es lag bis dato keine Längsschnittstudie vor, die sich explizit mit dem Untersuchungsgegenstand des "weekend warrior" auseinandersetzt. Sollten sich die hier erhobenen Ergebnisse, die nicht auf Einschränkungen der Trainingseffektivität hinweisen, zukünftig bestätigen, muss evtl. auch das im Zusammenhang mit Anpassungsprozessen an ein Training häufig angeführte Superkompensationsmodell (Jakowlew 1977) überdacht werden (vgl. Kap. 1.5). Wie der Trainingserfolg der Gruppe WW zeigte, scheint es speziell in Bezug auf Anpassungsprozesse, die einen längeren Zeitraum beanspruchen (z.B. Befüllung der Glykogenspeicher), zunächst nicht nachteilig zu sein, wenn der erneute Trainingsreiz vor einer vollständigen Regeneration der beteiligten Organ- und Funktionssysteme erfolgt. Vielleicht lassen sich die Ergebnisse aber im Sinne einer "summierten Wirksamkeit" erklären, die als eine Variante des Superkompensationsmodells zu betrachten ist (vgl. Abb. 43). Demzufolge könnte eine Effektsummierung mehrerer Trainingseinheiten zweckmäßig sein, um an den Organismus härtere Anforderungen zu stellen und in der folgenden langen Regenerationsphase eine bessere Anpassung seiner funktionellen Möglichkeiten zu erzielen (vgl. Matwejew 1972).

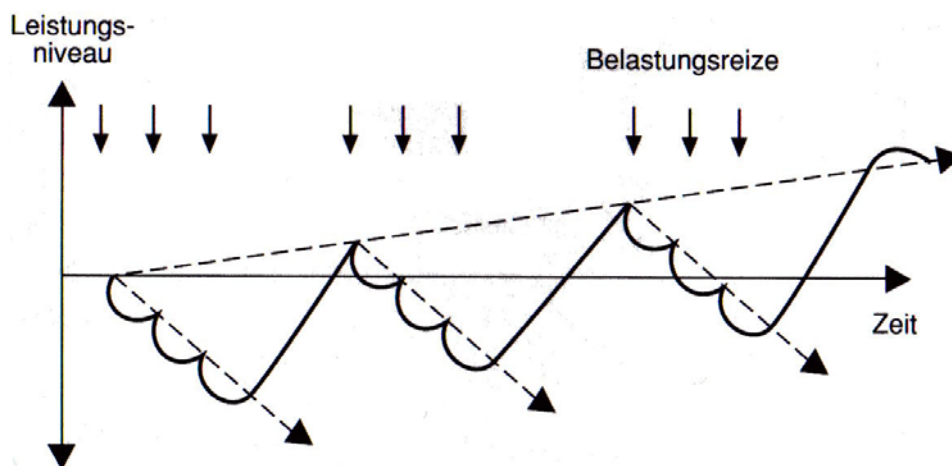


Abb. 43: Modell der "summierten Wirksamkeit" (nach Zintl/Eisenhut 2001)

Pollock (1973) listet in seinem **Review** fünf Trainingsstudien auf, die wie die vorliegende Studie bei identischem Energiegesamtumsatz keinen Einfluss der Trainingsfrequenz ermitteln konnten. Diese Studien sind jedoch kritisch zu beurteilen, da sie diverse Schwächen wie z.B. eine sehr kurze Trainingsdauer, geringe n-Zahlen und fragwürdige Zielparameter (VO_{2max}) aufweisen. In einer Studie wurde ein identischer Gesamtkalorienverbrauch erst durch ein fünf Wochen längeres Training der Gruppe mit der niedrigen Frequenz erreicht.

In ihrem Review resümieren Wenger/Bell (1986) auf der Basis zahlreicher Trainingsstudien eine Verbesserung der Trainingswirksamkeit bei einer Steigerung der Frequenz bis auf sechs Einheiten pro Woche. Subgruppenanalysen bzgl. des Fitnesszustandes zu Trainingsbeginn zeigten, dass insbesondere Personen mit einer VO_{2max} von $50-60 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ keine weiteren Verbesserungen der VO_{2max} erreichen können, wenn sie nur zweimal pro Woche trainieren. Demzufolge erscheint es möglich, dass bei einer besser trainierten Personengruppe Einschränkungen in der Trainingswirksamkeit des Programms WW feststellbar gewesen wären. Auch in diesem Review ist jedoch von Programmen mit unterschiedlichen Energieumsätzen die Rede, so dass die dargestellten Schlussfolgerungen nicht ohne weiteres übertragbar sind. Die Autoren verweisen ferner darauf, dass Studien mit unterschiedlichen Populationen, Protokollen und Stichprobengrößen zusammengefasst wurden.

Zusammenfassend messen viele Autoren der Trainingsfrequenz im Vergleich zur Intensität und Dauer eine eher untergeordnete Bedeutung zu (ACSM 1998; Pollock 1973). Dementsprechend konnte auch hier kein Einfluss der Trainingsfrequenz festgestellt werden. Erweiternd gilt dieser Zusammenhang auch dann, wenn das niedrig-frequente Programm an zwei aufeinander folgenden Tagen absolviert wird. In der Konsequenz müssen Personen, die ihr wöchentliches Ausdauertraining in konzentrierter Form am Wochenende durchführen auf der Grundlage dieser Ergebnisse keine Einbußen der Trainingseffekte befürchten. Diese Erkenntnisse sind von hoher Praxisrelevanz, da dieses Trainingsregime schon heute von vielen Personen ausgeübt wird und die Bedeutung dieser Trainingsgestaltung zukünftig vermutlich weiter steigen wird. Weitere Studien müssen jedoch den Zusammenhang zwischen dem Trainingsregime "weekend warrior" und der Auftretenswahrscheinlichkeit von Überlastungserscheinungen untersuchen.

4.4 Intensitätsvergleich

Ein Programm mit einer Intensität von 90% der Schw._{1,5} durchgeführt an fünf Tagen wöchentlich für jeweils 30 min (RMT) zeigte sich im Hinblick auf eine Verbesserung der verwendeten **leistungsphysiologischen Parameter** im Vergleich zu einem niedrig-intensiven Trainingsprogramm mit identischem Kalorienverbrauch und identischer Trainingsfrequenz (LOW) leicht überlegen. Während sich die bedeutenden submaximalen Parameter HF- und Laktat-Leistungskurve bei diesem Programm im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant verbesserten, wurden infolge des niedrig-intensiven Programms keine signifikanten Steigerungen beobachtet. Im direkten Vergleich wurden bei den submaximalen Parametern PWC 150 und Testdauer bis zur Schw._{1,5}

signifikante Unterschiede zu Gunsten des höher-intensiven Programms ermittelt. Ferner zeigte sich im leistungsphysiologischen Bereich bei Betrachtung der nominellen Verbesserungen der submaximalen Zielparameter ausnahmslos eine höhere Wirksamkeit des Programms RMT, ohne dass jedoch ein signifikanter Unterschied ermittelt wurde. Eine Bestätigung bei den Maximalparametern blieb aus. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass unabhängig von dem zunächst bei allen Gruppen zufriedenstellenden Ausbelastungsgrad, die Gruppe LOW beim Abschlusstest vergleichsweise etwas höher ausbelastet war (vgl. Kap. 3.3.1). Insbesondere bei Untrainierten ist es oft schwierig, einen identischen Ausbelastungsgrad im Längsschnitt zu gewährleisten. Nicht zuletzt deswegen wurde in dieser Studie den submaximalen Parametern a priori eine größere Bedeutung eingeräumt.

Keine nennenswerten Unterschiede zwischen den beiden Trainingsprogrammen ergab die Analyse der **Gesundheitsindikatoren**. So wurden bei den infolge des Trainings verbesserten Parametern KG, KF (KAL und BIA), diast. und syst. Nachbelastungsblutdruck sowie dem diast. Ruheblutdruck keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Programmen festgestellt. Genauso wenig ergaben sich Differenzen bei sämtlichen Laborparametern und dem Belastungsblutdruck, die generell nicht durch das Training beeinflusst wurden. Der syst. Ruheblutdruck verbesserte sich dagegen nur infolge des Trainingsprogramms LOW und blieb bei Programm RMT unverändert. Im Rahmen der Fragebogenergebnisse wurde hingegen bei der Subskala "Aktiviertheit" aus den BFS und der "Frankfurter Körperkonzeptskala zur körperlichen Effizienz" lediglich nach Durchlauf des Programms RMT eine signifikante Verbesserung beobachtet.

Zunächst bestätigen die Ergebnisse dieser Studie die bereits von vielen renommierten Review-Autoren vermutete Divergenz der trainingsinduzierten Adaptabilität im Bereich der Gesundheit und der Fitness (ACSM 1990; ACSM 1998; Després/Lamarche 1994; Haskell 1994b; Holly/Schaffrath 1998). Es wird davon ausgegangen, dass für eine Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit ein Training mit höherer Intensität angezeigt ist, während sich Verbesserungen im gesundheitlichen Bereich evtl. schon nach einem Ausdauertraining geringer Intensität einstellen (vgl. Holly/Schaffrath 1998). Entsprechend konnte in dieser Studie speziell im leistungsphysiologischen Bereich eine Überlegenheit des höher-intensiven Trainings konstatiert werden.

Generell scheint bei den hier untersuchten Parametern in Bezug auf die Belastungsintensität ein trainingswirksamer Intensitätsbereich zu existieren (vgl. Wenger/Bell 1986), der insbesondere im Hinblick auf Risikofaktoren im Bereich des Übergangs von der rein aeroben Energiebereitstellung zur

teilweisen anaeroben Energiebereitstellung liegen soll (vgl. Liesen et al. 1980). Die minimale trainingswirksame Intensität beträgt nach Auffassung der ACSM (1998) 40-50% der $VO_{2\text{Reserve}}$ bzw. der HF_{Reserve} (55-65% HF_{max}). Das Design dieser Studie zielte nicht auf eine Bestimmung der minimal wirksamen Intensität. Da aber auch infolge des niedrig-intensiven Trainings ($69 \pm 4\%$ der $HF_{\text{max}}/53 \pm 5\%$ der HF_{Reserve} oder $56 \pm 4\%$ der $VO_{2\text{max}}$) Trainingsanpassungen einiger gesundheitsrelevanter und leistungsphysiologischer Parameter identifiziert werden konnten, stehen die Ergebnisse nicht im Widerspruch zu der Stellungnahme der ACSM. Einige Autoren deuten an, dass eine Intensität entsprechend der anaeroben Schwelle auf der Intensitätsskala als "physiologischer breakpoint" bzw. obere Schwelle zu betrachten ist: „...training above the onset of blood lactate accumulation (OBLA) results in smaller gains, as well as increased risk of cardiovascular events, orthopedic injury, and lower compliance“ (Holly/Schaffrath 1998, 441). Eine solche obere Schwelle scheint im Hinblick auf eine Beeinflussung des Blutdrucks zu existieren, da bei höheren Intensitäten eine stärkere Stimulation des sympathischen Nervensystems zu verzeichnen ist (vgl. Haskell 1994a), in Bezug auf die $VO_{2\text{max}}$ scheinen dagegen höhere Intensitäten effektiver zu sein (vgl. Swain/Franklin 2002; Wenger/Bell 1986).

Vermutlich ist die Frage nach der optimalen Trainingsintensität nicht nur getrennt nach leistungsphysiologischen und gesundheitlichen Aspekten zu beantworten, sondern muss für jeden einzelnen Zielparameter neu gestellt werden. Bei Betrachtung der grundlegenden physiologischen Prozesse wird deutlich, dass beispielsweise für eine Verbesserung der HF-Leistungskurve andere Anpassungen maßgeblich sein dürften als für Steigerungen im Bereich der Laktat-Leistungskurve. Gestützt wird diese Auffassung durch Bouchard et al. (1993, 93): „Clinically significant health-related outcomes from exercise may be due to several biologic changes that have different dose-response profiles“. Entsprechend wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit die Studienlage zu den wichtigsten Zielparametern separat dargestellt und in Beziehung zu den Ergebnissen dieser Untersuchung gesetzt.

4.4.1 Vergleich mit anderen Studien

Das ACSM (1998) vertritt die Auffassung, dass Verbesserungen der $VO_{2\text{max}}$ in engem Zusammenhang zur Intensität eines Ausdauertrainings stehen. Einige Trainingsstudien lassen eine deutlichere Steigerung der $VO_{2\text{max}}$ bei höheren Intensitäten vermuten (Gossard et al. 1986; Henritze et al. 1985; Weltman et al. 1992). Gossard et al. (1986) konnten beispielsweise bei einem wöchentlichen Gesamtkalorienverbrauch von jeweils 1.750 kcal bei einem

niedrig-intensiven Training (42-60% VO_{2max} ; HF:102-122 min^{-1}) eine Verbesserung der VO_{2max} um 8% feststellen, die nach einem intensiveren Training (63-81% VO_{2max} ; HF: 128-148 min^{-1}) mit 17% signifikant deutlicher ausfiel. Bestätigt wird dieser Zusammenhang auch durch eine vergleichbare Trainingsstudie (identischer Kaloriengesamtverbrauch; höhere Intensität (80% VO_{2max}) \rightarrow + 23%; niedrige Intensität (50% VO_{2max}) \rightarrow + 15%) (Crouse et al. 1997) und eine epidemiologische Studie von Talbot et al. (2000), die bei den Personen, die intensiveren Aktivitäten nachgingen, eine höhere VO_{2max} nachweisen konnten. In einem konträren Untersuchungsansatz konnten Hickson et al. (1985) nach einem hochintensiven zehnwöchigen Ausdauertraining (Laufen/Radfahren) zunächst einen signifikanten Anstieg der VO_{2max} ermitteln, der sich in einer Abtrainingsphase (15 Wochen) mit gesenkter Intensität wieder reduzierte, jedoch signifikant über dem Ausgangsniveau blieb. In zwei Gruppen (Reduktion um 1/3 vs. 2/3 der Wattzahl bzw. der Laufgeschwindigkeit) wurde eine signifikante Verringerung der VO_{2max} festgestellt, die bei der niedrig-intensiven Gruppe deutlicher ausfiel. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Trainingsintensität eine wichtige Rolle zur Erhaltung der Ausdauerleistungsfähigkeit spielt. In deren Studie erfolgte aber keine Gleichsetzung bzgl. des Kaloriengesamtverbrauchs, sondern bzgl. der Trainingsdauer.

Im Gegensatz zu den bisher dargestellten Studien konnten in einigen weiteren Untersuchungen (Badenhop et al. 1983; Belman/Gaesser 1991; Gaesser/Rich 1984; Golden/Vaccaro 1984; Kearney et al. 1976) in Bezug auf VO_{2max} -Verbesserungen keine Unterschiede zwischen Programmen unterschiedlicher Intensität festgestellt werden. Duncan et al. (2005) konnten, allerdings ohne dass eine Synchronisation des Gesamtkalorienverbrauchs erfolgte, bei zwei Programmen mit vergleichbarer Intensität wie in der vorliegenden Studie (45-55% $HF_{Reserve}$ vs. 65-75% $HF_{Reserve}$) zwar nach 6 und 24 Monaten jeweils einen Anstieg der VO_{2max} im Vergleich zu einer nichtaktiven Gruppe nachweisen, der Vergleich der Trainingsgruppen zeigte jedoch keinen signifikanten Unterschied. Gaesser/Rich (1984) sahen bei zwei Intensitätsgruppen einen identischen Kalorienverbrauch vor. Die Autoren ermittelten nach 18 Wochen Training in der Gruppe mit hoher Intensität (80-85% VO_{2max} ; 3 $d \cdot wk^{-1}$; 25 min) eine VO_{2max} -Verbesserung um 13,9% und bei geringer Intensität, aber verlängerter Dauer (45% VO_{2max} ; 3 $d \cdot wk^{-1}$; 50 min) eine Steigerung um 17,2%, ohne dass dieser Unterschied signifikant war.

Die beiden hier gewählten Belastungsintensitäten führten bei identischem Energiegesamtumsatz zu Verbesserungen der **körpergewichtsbezogenen VO_{2max}** , ohne dass zwischen den Intensitäten Unterschiede in der

Trainingswirksamkeit zu beobachten waren. In Anbetracht des dargestellten Forschungsstandes sind somit mehrere Schlussfolgerungen möglich. Zum einen erscheint es denkbar, dass bei Überschreitung einer gewissen Minimalintensität, der entscheidende Trainingsparameter zur Verbesserung der VO_{2max} der Energiegesamtumsatz ist und somit – im Widerspruch zu der vom ACSM geäußerten Auffassung – die Wirksamkeit eines Trainings unabhängig von der Belastungsintensität ist. Andererseits könnten die Widersprüche zu den meisten zitierten Studienergebnissen auch auf methodische Schwierigkeiten bei der Bestimmung der VO_{2max} zurückzuführen sein (vgl. Kap. 4.1.1). Hier trat das Problem auf, dass sich die Gruppe LOW beim Abschlusstest im Vergleich zur Gruppe RMT stärker ausbelastete (HF_{max} und Lak_{max}). Schließlich erscheint es möglich, dass Unterschiede in der Trainingswirksamkeit zweier Belastungsintensitäten nur bei Programmen längerer Dauer oder bei einer größeren Differenz zwischen den geprüften Intensitäten für eine n-Zahl von 39 nachweisbar werden.

Die **Testdauer** des standardisierten Belastungstests konnte durch beide Programme etwa in gleichem Umfang gesteigert werden. Bestätigung finden diese Ergebnisse durch eine Studie von Loimaala et al. (2000), die bei einer vergleichbaren Gruppe (Untrainierte; 35-55 Jahre) nach einem fünfmonatigen Training infolge zweier Programme unterschiedlicher Intensität (75 vs. 55% VO_{2max}) ebenfalls bei beiden Gruppen ähnliche Verbesserungen der "Ausdauerzeit" im Vergleich zu einer Kontrollgruppe zeigen konnten. Auch Hartard et al. (2000) konnten nach zwei Trainingsinterventionen (8 Wochen) unterschiedlicher Intensität (individuelle aerobe vs. individuelle anaerobe Schwelle), aber identischen Gesamtkalorienverbrauchs bei beiden Gruppen, Verbesserungen der maximalen Leistung (Stufentest Fahrradergometer) feststellen. In Bezug auf die Steigerung der maximalen Leistungsfähigkeit scheinen somit zunächst zwischen zwei Intensitäten keine Unterschiede zu bestehen, solange diese Intensitäten sich in einem adäquaten Anpassungsbereich befinden. Dieser Zusammenhang muss aber durch weitere Studien bestätigt werden, da Unterschiede evtl. durch zu geringe Abstände zwischen den Intensitäten, einen divergierenden Ausbelastungsgrad oder zu geringe Stichprobengrößen unentdeckt blieben (s.o.).

Londeree (1997) ordnete in seiner Meta-Analyse zu den Trainingswirkungen auf die **Laktat-Schwelle** die 34 recherchierten Studien mit 85 Gruppen nach den gewählten Belastungsnormativen. Es ergaben sich jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den gewählten Bereichen für Trainingsintensität und -frequenz. Diese Ergebnisse lassen sich möglicherweise auf methodische Unterschiede der Einzelstudien,

beispielsweise bzgl. der Standardisierung der Intensität (differierende Schwellen etc.) und die vorgenommene Kategorisierung der Studien nach der verwendeten Intensität zurückführen. Der in einer Trainingsstudie vorgenommene Vergleich zwischen zwei Gruppen, die allerdings nur acht Wochen lang an drei Tagen die Woche mit unterschiedlicher Intensität (70% vs. 50% VO_{2max}) trainierten, zeigte zwar eine Steigerung der ventilatorischen Schwelle und der Laktat-Schwelle, jedoch keine Unterschiede zwischen den Gruppen (Poole/Gaesser 1985). Eine weitere Studie ermittelte demgegenüber nach einem 12-wöchigen Training bei einer Intensität über der aeroben Schwelle⁹ (Leistung an der Schwelle + 69 Watt; n=11) eine signifikante Rechtsverschiebung der **Laktat-Leistungskurve** bzw. eine signifikante Verbesserung der VO_2 an der aeroben Schwelle, während eine Gruppe, die im Bereich der Schwelle trainierte (n=12), keine signifikanten Verbesserungen aufwies (identischer Energiegesamtumsatz) (Henritze et al. 1985). In einer weiteren vergleichbaren Trainingsstudie führte zwar sowohl ein viermonatiges Training bei einer hohen Intensität über der aeroben Schwelle („midpoint between the velocity at lactate threshold and maximal velocity“ $\cong 80\% VO_{2max}$; n=8) als auch bei einer niedrigen Intensität an der aeroben Schwelle ($\cong 55\% VO_{2max}$; n=9) zu einer signifikanten Rechtsverschiebung der Laktat-Leistungskurve; im weiteren Verlauf der Studie konnten jedoch nur durch ein Training mit einer höheren Intensität weitere Fortschritte erzielt werden (Weltman et al. 1992). Die berichteten Ergebnisse finden durch die vorliegende Studie Bestätigung, da hier ebenfalls nur bei höherer Belastungsintensität eine signifikante Beeinflussung der Laktat-Kurve sichtbar wurde. Im Hinblick auf eine Verbesserung der Schw._{1,5} konnte sogar eine signifikante Überlegenheit des höher-intensiven Programms gezeigt werden.

Studien zur Trainingswirkung auf die **HF-Leistungskurve**, die Programme unterschiedlicher Intensität testeten, lassen vermuten, dass höhere Intensitäten ausgeprägtere Senkungen der HF_{submax} auf identischen Belastungsstufen ermöglichen (Badenhop et al. 1983; Casaburi et al. 1995; Hartard et al. 2000; Seals et al. 1984a). Die vorliegenden Ergebnisse deuten ebenfalls auf eine bessere Trainingswirksamkeit des höher-intensiven Trainings hin, da nur hier eine signifikante Senkung der HF-Leistungskurve um durchschnittlich 9 Schläge nachweisbar war. Der direkte Vergleich der beiden Programme zeigte

⁹ Belastungsintensität bei der es erstmals zu einem Laktatanstieg im arteriellen Blut über den Ruhewert kommt (Bemerkung: In dieser Arbeit wird die sogenannte ventilatorische Schwelle ebenfalls unter den Oberbegriff aerobe Schwelle gefasst (vgl. Kindermann et al. 1979)).

zwar, möglicherweise bedingt durch die kleine n-Zahl bzw. die hohe Streuung der Daten, keine signifikanten Unterschiede, es bleibt jedoch festzuhalten, dass ausnahmslos während der in die Berechnungen einbezogenen ersten 13 Belastungsminuten die trainingsinduzierte Verbesserung bei der Trainingsgruppe RMT nominell höher war. Die ergänzend durchgeführte Varianzanalyse der **PWC 150** wies ferner einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Programmen im Sinne einer deutlicher ausgeprägten Steigerung im Verlauf des Trainingsprogramms RMT aus. Basierend auf diesen Ergebnissen und den geschilderten Veröffentlichungen kann somit angenommen werden, dass die höhere Trainingsintensität (90% der Schw._{1,5}) ausgeprägtere Verbesserungen der HF-Leistungskurve als das hier getestete niedrig-intensive Training zur Folge hat.

Beide Trainingsprogramme bewirkten eine signifikante Senkung der **HF_{Ruhe}**, die im Falle der höheren Intensität etwas deutlicher ausfiel (-7 vs. -4 min⁻¹), ohne dass dieser Unterschied jedoch signifikant war. Loimaala et al. (2000) konnten nach einem fünfmonatigen Ausdauertraining nur infolge der höheren Trainingsintensität (75 vs. 55% VO_{2max}) eine signifikante Senkung der HF_{Ruhe} (-6 min⁻¹) nachweisen. Es muss jedoch in Bezug auf diese Studie angemerkt werden, dass hier keine Anstrengungen unternommen wurden, den Kalorienverbrauch der beiden Gruppen zu synchronisieren. Bestätigung finden unsere Ergebnisse dagegen durch eine umfangreiche Meta-Analyse zur Trainingsadaptabilität der HF_{Ruhe} bei älteren Erwachsenen (Durchschnittsalter=67 Jahre) (Huang et al. 2005). Hier zeigte sich kein Einfluss der Intensität auf die Höhe der Trainingseffekte.

Després/Lamarche (1994) beschäftigen sich in ihrem Review-Artikel mit den Trainingswirkungen auf den **Fettstoffwechsel** und berücksichtigen auch den Aspekt Belastungsintensität. Nach den Recherchen der Autoren, berichtet zwar eine Mehrzahl der zu dieser Thematik durchgeführten Studien langfristig nach einem intensiven Ausdauertraining eine Senkung der TG-Plasmakonzentration, einen Anstieg des HDL-Chol. und eine unveränderte Konzentration des LDL-Chol.. Im Zusammenhang mit den Trainingseffekten niedrig-intensiver Programme werden dagegen jedoch ausschließlich Studien mit positiver Beeinflussung der diversen Lipoproteine erwähnt, so dass eine Überlegenheit solcher Programme vermutet werden kann. Möglicherweise bedingt durch die mit 12 Wochen vergleichsweise kurze Trainingsdauer konnte in der vorliegenden Studie generell kein Trainingseffekt auf die Blutlipide nachgewiesen werden, so dass hier kein Einfluss der Intensität gefolgert werden kann. Crouse et al. (1997) stellten in ihrer Trainingsstudie mit zwei Intensitäten bei Männern mit Hypercholesterinämie erst nach einer längeren

Studiendauer von 24 Wochen leichte Verbesserungen einiger Lipoproteine fest, deren Veränderungen aber unabhängig von der Intensität waren.

Bezüglich der optimalen Ausgestaltung eines **blutdrucksenkenden Trainings** können bis dato keine exakten Angaben gemacht werden. Aufgrund des geringen belastungsinduzierten Blutdruckanstiegs wird aus Sicherheitsgründen zunächst ein allgemeines aerobes Ausdauertraining wie z.B. Laufen oder Radfahren angeraten (vgl. Kindermann 2003). Generell empfehlen die meisten Autoren insbesondere bei Hypertonikern eine eher moderate Belastungsintensität (Keul et al. 1989; Kindermann 2002; Kindermann 2003; Patyna 1983). Die ACSM (2004) empfiehlt z.B. für Hypertoniker eine Belastungsintensität von 40-60% $VO_{2\text{Reserve}}$. Gestützt werden diese Empfehlungen vmtl. auch durch eine bessere Wirksamkeit niedrig-intensiver Trainingsprogramme. So gelangen Gilders et al. (1989, 635) zu dem Fazit: „...several studies have demonstrated that conditioning at moderate intensities reduces blood pressure, whereas conditioning at greater intensities does not“. Die Arbeitsgruppe um Hagberg (1990) stellte fest, dass insbesondere bei älteren Personen ein niedrig-intensives Training den Blutdruck besser senkt als ein hoch-intensives Programm. Eine Analyse der vorliegenden Ergebnisse des syst. Ruheblutdrucks bestätigt zunächst diese Schlussfolgerung auch bei Erwachsenen mittleren Lebensalters, da sich nur infolge des regelmäßigen Trainings mit der niedrigen Intensität eine signifikante syst. Drucksenkung feststellen ließ. Möglicherweise ist somit für eine Senkung des syst. Blutdrucks tatsächlich der Einsatz niedrigerer Intensitäten bzw. längerer Trainingseinheiten/Trainingsdauer vorteilhaft. Im Hinblick auf die Senkung des diast. Ruheblutdrucks sowie des syst. und diast. Nachbelastungsblutdrucks bestätigt sich dieser Zusammenhang jedoch nicht, da es bei beiden Intensitäten jeweils zu signifikanten Reduktionen in vergleichbarer Größenordnung kam.

Ist die primäre Zielstellung eines Ausdauertrainings eine **Reduktion des KG**, empfiehlt das ACSM (1998, 982): „...regimens of greater frequency and duration of training and moderate intensity...“. Die Ergebnisse von Trainingsstudien zum **KG** und zum **KF**, die unterschiedliche Intensitäten testeten, sind inkonsistent. In der Regel konnten keine Unterschiede bei den Effekten auf das KG und den KF nachgewiesen werden (Abe et al. 1997; Crouse et al. 1997; Gaesser/Rich 1984; Harms/Hickson 1983; King et al. 1995; Weltman et al. 1992). Dagegen konnten Tremblay et al. (1990) in ihrer Querschnittstudie, die eine Kategorisierung in vier Intensitätsgruppen vorsah, einen inversen Zusammenhang zwischen der Trainingsintensität und der Höhe des KF ermitteln. Dieses Ergebnis ist vermutlich aber auch darauf zurückzuführen, dass Personen mit höherem KF tendenziell eine niedrigere

Intensität wählen (vgl. Ursache-Wirkungs-Problematik Kap. 1.3.1). In einer Längsschnittstudie konnten Hartard et al. (2000) infolge einer moderaten Intensität eine signifikante Reduktion des KG und des Gesamtkörperfettgehaltes beobachten, während eine höhere Intensität keine Effekte erzielte (gleicher Gesamtkalorienverbrauch). Demgegenüber konnte in einer 24-wöchigen Trainingsstudie mit übergewichtigen Frauen bei jeweils identischem Gesamtkalorienverbrauch kein Einfluss der Intensität auf das KG und die Körperzusammensetzung nachgewiesen werden (8 vs. 6,4 vs. 4,8 km*h⁻¹; an fünf Tagen die Woche jeweils 4,8 km) (Duncan et al. 1991). Ebenfalls keine Unterschiede in der Wirksamkeit des Trainings auf KG und KF zeigten sich in der vorliegenden Studie. Beide Trainingsintensitäten führten zu signifikanten Senkungen. Somit liegt in Einklang mit der Mehrzahl der zitierten Studien der Schluss nahe, dass zunächst der Gesamtkalorienverbrauch, der bei beiden Programmen ca. ≈1.400 kcal betrug, das maßgebliche Kriterium ist. Ob sich dieser Zusammenhang im relevanten trainingswirksamen Intensitätsbereich bestätigen lässt, muss jedoch durch weitere Studien mit längerer Dauer und höherer n-Zahl geprüft werden.

Sehr schwierig ist eine Annäherung an die Intensitätsfrage in Bezug auf das **psychische Wohlbefinden**, da in nur wenigen Studien und Reviews detailliert auf Aspekte der Trainingsdauer und Belastungsintensität eingegangen wird (vgl. Meyer/Brooks 2000). Sonstroem/Morgan (1989) deuten in ihrem Review die Verbesserung des Wohlbefindens durch vergleichsweise sehr intensive Belastungen an. Wenngleich auch bei der Gruppe RMT nicht von einer sehr intensiven Belastung gesprochen werden kann, so muss doch festgestellt werden, dass es nur im Verlauf dieses Programms in der Skala "Aktiviertheit" aus den Befindlichkeitsskalen (Abele-Brehm/Brehm 1986) zu einer signifikanten Verbesserung kam. Möglicherweise sind somit in diesem Bereich tendenziell höhere Trainingsintensitäten effektiver. Die betreffenden Ergebnisse müssen aber aufgrund der beschriebenen methodischen Schwierigkeiten zurückhaltend interpretiert werden (Parameter stellen nur theoretische Konstrukte dar, Fragebogenerhebung störanfällig). Moses et al. (1989) untersuchten die Wirkung zweier zehnwöchiger Trainingsprogramme unterschiedlicher Intensität auf die Stimmung und das psychische Wohlbefinden. Positive Veränderungen der Befindlichkeit traten bei der Gruppe mit moderater Intensität deutlich häufiger auf im Vergleich zur Gruppe mit der hohen Intensität. Die moderate Intensität entspricht jedoch tendenziell eher der höheren Intensität in der vorliegenden Studie (RMT).

Auch die im Bereich des **physischen Wohlbefindens** nur bei Trainingsgruppe RMT im Vergleich zur Kontrollgruppe beobachtete signifikante Steigerung

des Summenscore der SKEF (Deusinger 1986), muss aufgrund der methodischen Schwierigkeiten der Beweisführung zurückhaltend betrachtet werden. Hier lässt sich evtl. die verbesserte Wahrnehmung der "körperlichen Effizienz" plausibel mit den auch in dieser Gruppe deutlicher ausgeprägten Effekten im leistungsphysiologischen Bereich interpretieren und erklären.

In keiner Gruppe kam es zu einer Verbesserung des "perzipierten Beschwerdestatus", so dass zunächst nicht von einem Zusammenhang zu einem Ausdauertraining bzw. zur Intensität eines Trainings auszugehen ist.

Wie die bisherigen Ausführungen bereits andeuteten, sind Studien zur Trainingsintensität generell mit der Problematik der Interpedenz der Belastungsnormative behaftet. Dadurch ist eine eindeutige Zuordnung der Effekte zum Faktor Trainingsintensität nicht möglich. Zusätzlich ist bei der Auswertung des aktuellen Forschungsstandes die Gesamtlänge einer Trainingsintervention zu beachten. Viele Studien konnten Verbesserungen leistungsphysiologischer Parameter bereits nach einer Trainingsdauer von wenigen Wochen nachweisen, während sich Verbesserungen der Gesundheitsindikatoren häufig erst nach einigen Monaten bis Jahren einstellen. King et al. (1995) stellten z.B. in ihrer zweijährigen randomisierten Trainingsstudie frühzeitig eine Verbesserung der VO_{2max} fest, während erst im zweiten Trainingsjahr positive Effekte im Bereich der Lipoproteine (HDL) festzustellen waren. Es besteht somit die Möglichkeit, dass auch bei den Gesundheitsindikatoren die Trainingsintensität einen gewichtigen Einfluss hat, die betreffenden Unterschiede aber erst nach einem deutlich länger als 12 Wochen dauernden Training sichtbar werden.

4.5 Limitationen und Stärken der Untersuchung

4.5.1 Limitationen

Bei einer höheren n-Zahl in dieser Studie wären möglicherweise weitere signifikante Trainingseffekte zu beobachten gewesen und die Unterschiede zwischen den drei geprüften Trainingsprogrammen deutlicher zu Tage getreten. Aufgrund des hohen Aufwandes einer derartigen Längsschnittstudie und der schwierigen Rekrutierung motivierter Teilnehmer, die für ihr Engagement keine Aufwandsentschädigung erhielten, ist unter den gegebenen Bedingungen eine n-Zahl von deutlich über 51 unrealistisch. Dies zeigt sich auch dadurch, dass eine n-Zahl in dieser Größenordnung nur in wenigen Trainingsstudien mit vergleichbarer Trainingskontrolle realisiert wurde.

Der individuelle Trainingserfolg wird sehr wahrscheinlich durch einige zusätzliche Faktoren wie z.B. genetische Voraussetzungen oder das Alter der

Probanden beeinflusst (vgl. Kap. 4.2.5). Es ist daher möglich, dass die berichteten Unterschiede der Untersuchungsgruppen nicht nur auf die bewältigten Trainingsprogramme zurückzuführen sind. Durch die randomisiert stratifizierte Gruppenteilung konnten aber nachweislich sehr ähnliche Grundvoraussetzungen in den Untersuchungsgruppen erreicht werden.

In dieser Studie wurden unabhängige Stichproben untersucht, die naturgemäß eine stärkere Abhängigkeit von Individualreaktionen aufweisen, als dies bei einem Cross-Over-Design der Fall wäre. Neben der randomisiert und stratifiziert erfolgten Gruppenteilung, die eine homogene Gruppenverteilung sicherte, ließen auch diesbezüglich zusätzlich vorgenommene Betrachtungen der Einzelverläufe nicht auf eine systematische Beeinflussung der Ergebnisse durch ungewöhnliche Individualreaktionen schließen.

Im Rückblick waren die Intensitäten möglicherweise etwas niedrig angesetzt. Der aktuelle Forschungsstand lässt vermuten, dass insbesondere im leistungsphysiologischen Bereich die Wahl höherer Belastungsintensitäten auch zu höheren Trainingseffekten geführt hätte (Crouse et al. 1997; Gossard et al. 1986; Henritze et al. 1985; Loimaala et al. 2000; Pollock 1973; Swain/Franklin 2002; Weltman et al. 1992). Da aufgrund des Studiendesigns aber sichergestellt werden musste, dass die höhere Intensität von untrainierten Personen zwischen 30-60 Jahren über 75 Minuten sicher durchgehalten werden kann, musste eine konservative Auswahl der Intensitäten erfolgen.

Die Vergleichbarkeit bzw. Übertragbarkeit der verwendeten Intensitäten auf andere Trainingsstudien erscheint schwierig, da zahlreiche unterschiedliche Belastungsprotokolle sowie Maßstäbe zur Quantifizierung der Trainingsintensität eingesetzt werden. Die Anlehnung unserer Intensitäten an die submaximale Laktatkonzentration, die eine metabolismusorientierte Kenngröße zur Einschätzung der Intensität darstellt, ist weniger Störfaktoren unterworfen und ermöglicht eher eine Vergleichbarkeit als die kritisch zu beurteilende Trainingssteuerung über Maximalparameter (vgl. Kap. 1.6.1.1).

Es muss konstatiert werden, dass die Steuerung der Intensität über die HF problematisch sein kann: „Exercise heart rate may be influenced by a number of factors other than work intensity and the presence of such factors may uncouple the connection between a given intensity-related event (such as the OBLA or a 5-minute/mile pace) and a specific heart rate“ (Holly/Schaffrath 1998, 442). Zu diesen Störfaktoren werden insbesondere klimatische Verhältnisse gerechnet, die Einfluss auf die Temperaturregulation des Organismus nehmen. Von Bedeutung sind aber auch biorhythmische Schwankungen. Im Vorfeld der Belastungstests erfolgte eine standardisierte

Flüssigkeitsaufnahme, um zunächst einen vergleichbaren Status des Flüssigkeitshaushaltes zu gewährleisten (vgl. Kap. 2.3). Zur Minimierung biorhythmischer Schwankungen wurden individuell die Zeitabläufe beim Eingangs- und Abschlusstest synchronisiert. Ferner war die Raumtemperatur während der Belastungstests bei den vier Untersuchungsgruppen vergleichbar (vgl. Kap. 2.2.6). Das Training war jedoch klimatischen Schwankungen unterworfen. Da die Studie aber über einen Zeitraum von fast zwei Jahren durchgeführt wurde, konnte eine systematische Beeinflussung der Trainingsherzfrequenz minimiert werden. Somit ist hier generell nicht von einer systematischen Beeinflussung der Ergebnisse durch Störfaktoren der Herzfrequenzsteuerung des Trainings auszugehen. Ferner muss konstatiert werden, dass derzeit keine praktikable Alternative zu dieser Methode existiert.

Das Prinzip der Trainingspezifität wird allgemein anerkannt und konnte durch einige Studien bestätigt werden (Freund et al. 1986; Pierce et al. 1990). „The concept of training specificity suggests that, in order to accurately evaluate the maximal cardiorespiratory capability of a trained individual, it becomes imperative that the muscular involvement of the testing mode simulates the training mode“ (Allen et al. 1986, 586). Die Trainingsintensität in dieser Untersuchung wurde individuell aus den Ergebnissen eines Belastungstests auf dem LB ermittelt. Je nach Trainingsgruppe und Fitnesszustand mussten die Probanden laufen oder walken. In vielen Fällen reichte zunächst die Walking-Technik, während mit zunehmender Verbesserung des Trainingszustandes häufig gejoggt wurde. Unabhängig von der praktischen Gestaltung des Trainings sah jedoch das Belastungsprotokoll für alle Probanden lediglich Gehgeschwindigkeiten vor. Das Prinzip der Spezifität konnte daher nicht exakt eingehalten werden. Denkbar wäre in diesem Zusammenhang bei den Läufern ein vorzeitiger Belastungsabbruch durch eine lokale muskuläre Überbeanspruchung infolge der ungewohnten Gehbelastung. Beobachtungen seitens der Untersucher und Befragungen der Probanden identifizierten in der Regel jedoch „allgemeine Erschöpfung“ als Abbruchgrund. Ferner erscheinen die Unterschiede zwischen zügigem Gehen und langsamem Joggen in der Belastungsstruktur des kardiopulmonalen Systems jedoch eher marginal. Dies bestätigen auch die Ergebnisse von Hagberg/Coyle (1983), die bei Sport-Gehern infolge eines Geh- und Laufprotokolls eine identische VO_{2max} messen konnten. Außerdem ist ein systematischer Einfluss bei einem identischem Niveau der Ausdauerleistungsfähigkeit in den Gruppen auszuschließen (stratifizierte Randomisierung vgl. Kap. 2.1).

Die Probanden wurden während der Belastungstests dazu aufgefordert, sich maximal auszubelasten. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass die

Untersucher über die Gruppenzugehörigkeit des jeweiligen Probanden informiert waren. Aus organisatorischen Gründen war es jedoch unmöglich, die Abschlussuntersuchungen geblendet durchzuführen. Die Analyse der Ausbelastungsparameter ließ, abgesehen von der vergleichsweise etwas höheren Ausbelastung der Gruppe LOW beim Abschlusstest, nicht auf eine systematische Beeinflussung der Ergebnisse schließen.

In dieser Studie wurde kein Zwischentest mit Belastungsuntersuchung zur Kontrolle und gegebenenfalls zur Modifikation der Intensität im Training durchgeführt. Es wurde davon ausgegangen, dass die Einhaltung der im Eingangstest bestimmten Trainingsherzfrequenz im Verlauf der 12 Trainingswochen eine stete Erhöhung der Laufgeschwindigkeit und damit eine intra- und interindividuell konstante Beanspruchung des Organismus gewährleistet. Diese Annahme wird durch eine Studie von Denis et al. (1982) gestützt, die ein Training mit 40-wöchiger Dauer durchführten und alle zehn Wochen Zwischentests durchführten, um die Trainingsherzfrequenz neu zu bestimmen. Die Untersuchungen ergaben keine signifikante Veränderung der HF an der aeroben Schwelle.

Bei der Durchführung einer Trainingsstudie müssen Unterschiede in der Einhaltung der Trainingsvorgaben durch die Probanden einkalkuliert werden. Verschiedene Störfaktoren wie Erkrankungen, Verletzungen, berufliche Verpflichtungen oder Motivationsprobleme beeinflussen die Qualität der Studienteilnahme. Eine Kontrolle dieser Faktoren wurde durch ein vielfältiges Maßnahmenbündel, wie z.B. den gemeinsamen wöchentlichen Trainingstermin oder die Berechnung des Compliance-Score (vgl. Kap. 2.3.2) angestrebt, jedoch sicherlich nicht vollständig erreicht. Es konnte aber gezeigt werden, dass der Einfluss der Störfaktoren im Vergleich zu anderen Trainingsstudien gering gehalten werden konnte und die Compliance gut war. Möglicherweise kritisch erscheint lediglich das durchgeführte Verfahren bei Zwangspausen durch Verletzungen oder Erkrankungen. Trainingspausen bis zu drei Wochen wurden entsprechend nachgeholt, während bei Pausen bis zu fünf Wochen zusätzlich zum versäumten Training eine weitere Trainingswoche durchgeführt wurde (n=5). Bei Pausen längerer Dauer wurde der betreffende Proband ausgeschlossen. Es ist denkbar, dass dieses Verfahren zu einer (jedoch unsystematischen) Beeinflussung der Trainingsergebnisse führte. Der Faktor Trainingspausen fand aber Berücksichtigung bei der Berechnung des Compliance-Score, der in den drei Gruppen nachweislich nicht differierte.

4.5.2 Stärken

Bei dieser Untersuchung handelt es sich um eine stratifiziert randomisierte und kontrollierte Längsschnittstudie. Derartige Studien weisen bei entsprechender Stichprobengröße das höchstmögliche Evidenzniveau auf (Pearson et al. 2002), so dass die dargestellten Ergebnisse eine hohe statistische Aussagekraft aufweisen. Mittels der Stratifizierungskriterien Geschlecht und relative VO_{2max} konnte eine homogene Zusammensetzung der Gruppen erzielt werden. Durch die Führung einer Kontrollgruppe wurden außerdem relevante Fehlerquellen wie z.B. Gewöhnungseffekte eliminiert. Statistische Vergleiche konnten ferner zeigen, dass sich die Studienabbrecher hinsichtlich der anthropometrischen Daten nicht signifikant von den übrigen Studienteilnehmern unterschieden (Vergleich Studienteilnahme vs. Drop out: Alter → $p=0,50$; Geschlecht → $p=0,76$; Gewicht → $p=0,44$).

Ein umfangreiches Maßnahmenbündel diente der detaillierten Kontrolle, Dokumentation und Evaluation der Studienteilnahme:

- Ausführliches telefonisches Vorgespräch, in dessen Verlauf die Probanden über Inhalte und Verlauf der Studie aufgeklärt wurden und eine erste Kontrolle der Einschlusskriterien erfolgte.
- Telefonat am Vortag jeder Untersuchung zur Erinnerung an den Termin und die entsprechenden Verhaltensmaßnahmen.
- Dokumentation des zeitlichen und inhaltlichen Untersuchungsablaufs und entsprechend identisches Vorgehen beim Abschlusstest, um den Störeinfluss tageszeitlich bedingter Schwankungen zu eliminieren.
- Verwendung von Pulsuhren mit Aufzeichnungsfunktion zur Kontrolle der Belastungsnormative und vollständigen Speicherung der Trainingsdaten.
- Wöchentliche Durchführung eines Trainingstermins unter Anleitung. Hier zunächst gemeinsame Sichtkontrolle der geleisteten Einheiten mit entsprechenden Korrekturhinweisen, anschließend gemeinsames Training und Instruktion bzgl. der gewünschten Trainingsgestaltung.
- Bei zweimaliger unentschuldigter Abwesenheit zu den wöchentlichen Trainingsterminen erfolgte eine telefonische Rücksprache.
- Bei Verletzungen sowie technischen oder logistischen Problemen wurden entsprechende Hilfestellungen geleistet.
- Sorgfältige Speicherung und Dokumentation des absolvierten Trainings. Nach dem Studienende wurde für jeden Probanden die Anzahl der Trainingseinheiten, die gesamte Trainingsdauer und die mittlere

Trainingsherzfrequenz genau berechnet. Ferner wurden eventuelle Zwangspausen dokumentiert. Im Anschluss wurde die Trainingsdurchführung mit den Trainingsvorgaben verglichen und mittels eines Compliance-Score die Studienteilnahme evaluiert (vgl. Kap. 3.1).

Die dargestellten Maßnahmen begründen die Qualität der erhobenen Daten, die nach Sichtung der Forschungslage überdurchschnittlich erscheint.

Die Steuerung der Trainingsintensität erfolgte individuell anhand der Ergebnisse des Belastungstests. Ferner wurde die Intensität mit Hilfe eines inhaltlich begründeten submaximalen Parameters (Laktat-Leistungskurve) bestimmt. Dieses Vorgehen erscheint zuverlässiger als eine Steuerung über Maximalparameter (vgl. Kap. 1.6.1.1) und sichert die interindividuelle Vergleichbarkeit der eingesetzten Trainingsintensitäten.

Sämtliche Schwellenberechnungen und Trainingsdokumentationen wurden von einem Untersucher durchgeführt (M.A.). Die Erfassung der Zielparameter fand ferner unter standardisierten Bedingungen statt und wurde gegebenenfalls mehrfach wiederholt (Körperfettmessung (BIA)). Die Kriterien HF_{\max} , RQ_{\max} , Lak_{\max} und die Borg-Angabe dienen der Kontrolle der Ausbelastung und gewährleisten damit eine zuverlässigere Bestimmung der Maximalparameter bzw. eine Abschätzung des Unsicherheitsgrades.

Viele Trainingsstudien wurden nur während begrenzter Abschnitte des Kalenderjahres, häufig im Sommer, durchgeführt. Einige Parameter weisen aber bekanntermaßen saisonale Schwankungen auf. Leon et al. (2002) wiesen z.B. bei den Blutlipiden saisonale Unterschiede nach. Auch das KG ist sicherlich saisonalen Veränderungen unterworfen. Viele Studien können daher eine systematische Verfälschung der Ergebnisse nicht ausschließen. Die experimentelle Studienphase der vorliegenden Studie nahm knapp zwei Jahre in Anspruch und wurde auch während der Wintermonate fortgesetzt. Es ist daher anzunehmen, dass sich saisonale Veränderungen der Zielparameter nicht systematisch auf die Ergebnisse niederschlugen (vgl. Wilmore et al. 2001).

4.6 Schlussfolgerungen/Konsequenzen für die Praxis des Ausdauertrainings

Die vorgestellten Studienergebnisse legen nahe, die gängigen Ausdauertrainingsempfehlungen zu überdenken. Im Rahmen der hier verwendeten Trainingsintensitäten ist, wenn aus medizinischer Sicht keine Vorbehalte bestehen, die höhere (moderate) Intensität zu bevorzugen. Abgesehen von den Effekten auf den syst. Ruheblutdruck zeigte sich bei keinem Gesundheitsparameter eine Überlegenheit der niedrigen Intensität,

während umgekehrt bei fast allen leistungsphysiologischen Indikatoren die höhere Intensität (absolut betrachtet) auch eine höhere Trainingswirksamkeit aufwies. Zusätzlich zum höheren zeitlichen Aufwand (ca. 30 min/Woche) hat das niedrig-intensive Trainingsregime auch eine geringere Wirksamkeit im Hinblick auf eine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit vorzuweisen. Im Sinne einer Ökonomisierung des Trainings ist daher gesunden Personen im Einklang mit aktuellen Veröffentlichungen eher ein höher-intensives Training anzuraten (90% der Schw.^{1,5}).

Die häufig geäußerte Empfehlung, den wöchentlichen Trainingsumfang über möglichst viele Tage mit dementsprechend kurzen Einheiten zu streuen, kann auf der Basis dieser Studienergebnisse nicht uneingeschränkt aufrecht erhalten werden. Die Konzentration eines wöchentlichen Trainingsumfangs von 2,5 Stunden auf zwei aufeinander folgende Tage hatte im Vergleich zu einer gleichmäßigen Verteilung dieses Trainingsumfangs auf fünf Tage keine Einschränkung der Effektivität zur Folge. Betrachtet man die absoluten Trainingssteigerungen, deuten die leistungsphysiologischen Ergebnisse sogar auf eine höhere Effektivität des konzentrierten Trainings hin. Der "weekend warrior" muss somit keine Einbußen bei den Trainingseffekten befürchten. Ob eine solche Trainingsgestaltung jedoch das Risiko der Entwicklung von Überlastungsbeschwerden erhöht, kann bei der Stichprobengröße und Untersuchungsdauer in dieser Studie nicht abschließend beurteilt werden. In diesem Zusammenhang erscheint die Untersuchung des Risikos von Überlastungsschäden (z.B. Ansatzentzündungen oder Ermüdungsbrüche) und von durch Erschöpfung begünstigten akuten Verletzungen (z.B. Distorsionen oder Zerrungen) durch weitere Längsschnittstudien aufschlussreich.

Im Trainingsalltag des Gesundheitssports besteht in der Regel keine Möglichkeit, die Intensität eines Ausdauertrainings über die metabolische Beanspruchung, d.h. über die während eines Belastungstests ermittelte Laktat-Leistungskurve, zu steuern. Stattdessen werden die Trainingsherzfrequenzen meist über Faustformeln wie z.B. "180 minus Lebensalter" berechnet, die dann mittels Pulsuhr kontrolliert werden. Um die hier untersuchten Intensitäten in Bezug zu diesen Methoden der Trainingssteuerung zu setzen, wurde retrospektiv für die untersuchten Probanden die Trainingsherzfrequenz mittels dieser gängigen Faustformel berechnet und mit den im Belastungstest bestimmten Herzfrequenzvorgaben verglichen. Die im Verlauf der Belastungstests ermittelte Trainingsherzfrequenz war in beiden Gruppen, die mit der höheren Belastungsintensität trainierten, im Mittel um $1,7 \text{ min}^{-1}$ höher. Die Trainingsgruppe LOW trainierte im Durchschnitt $16,4 \text{ min}^{-1}$ unter der nach der Faustformel berechneten Trainingsherzfrequenz. Zunächst stellt sich

diese Form der Trainingssteuerung als praktikabel dar. Die Standardabweichung der kalkulierten Trainingsherzfrequenz von der tatsächlichen im Belastungstest bestimmten Herzfrequenz betrug jedoch alle drei Trainingsgruppen zusammengefasst im Durchschnitt $13,9 \text{ min}^{-1}$, so dass von einer erheblichen interindividuellen Variationsbreite auszugehen ist. Dies bedeutet, dass man im Einzelfall bei Anwendung der Faustformel deutlich über oder unter der im Belastungstest bestimmten Trainingsherzfrequenz liegt. Mangels praktikabler Alternativen muss diese Form der Trainingssteuerung derzeit jedoch für breite Bevölkerungsschichten als bestes Instrument der Trainingssteuerung gelten.

4.7 Ausblick/Forschungsperspektiven

Die Erforschung der grundlegenden Adaptationen eines präventiven Ausdauertrainings im leistungsphysiologischen und gesundheitlichen Bereich muss, aufgrund der hohen gesellschaftlichen Bedeutung durch qualitativ hochwertige Interventionsstudien unter Kontrolle bekannter Einflussfaktoren, weiter vorangetrieben werden. Das ACSM (1998, 977) beklagt in diesem Zusammenhang methodische Schwächen vieler wissenschaftlicher Studien, auf denen der aktuelle Forschungsstand basiert: „Despite an abundance of information available concerning the training of the human organism, the lack of standardization of testing protocols and procedures, of methodology in relation to training procedures and experimental design, and of a preciseness in the documentation and reporting of the quantity and quality of training prescribed make interpretation difficult“. Demzufolge müssen weitere stratifiziert randomisierte Interventionsstudien durchgeführt werden.

In vielen Studien konnte die Dauer der Trainingsintervention bzw. die Trainingsgesamtzeit als eine wichtige Determinante des Trainingseffektes identifiziert werden. So schließen viele Autoren (Miller 1999; Tran/Weltman 1985; Tran et al. 1983) auf eine enge Beziehung der Effekte zur Studiendauer. Daher sollten insbesondere die Langzeiteffekte eines Ausdauertrainings in Zukunft intensiver erforscht werden, wenngleich sich naturgemäß die Durchführung derartiger Langzeitstudien schwieriger gestaltet.

Die weiteren bekannten Einflussfaktoren der Trainingswirksamkeit (genetische Einflüsse, Abhängigkeit vom Ausgangsniveau, Alter etc.) müssen bei der Planung und Auswertung wissenschaftlicher Untersuchungen Berücksichtigung finden, um eine systematische Verfälschung der Ergebnisse auszuschließen. In diesem Zusammenhang sollte zukünftig die Erforschung der Effektgröße dieser Faktoren vorangetrieben werden. Insbesondere der genetische Einfluss auf die Trainierbarkeit darf, wie aktuelle und mit

modernen Methoden durchgeführte Studien zeigen (An et al. 2003a; An et al. 2003b; Leon et al. 2002; Leon et al. 2004), nicht unterschätzt werden.

Einige Autoren wie z.B. Berlin/Colditz (1990, 625) vermuten eine Beeinflussung des Forschungsstandes durch den sog. Publikationsfehler: „It is possible that the results we have observed are influenced by the selective publication of statistically significant or epidemiologically popular results showing a relation between lack of physical activity and coronary disease“. Zur Vermeidung dieses Fehlers ist ein sorgfältiges, von den berichteten Ergebnissen unabhängiges Review-Verfahren Voraussetzung. Möglicherweise kann dieses Ziel durch die Einbeziehung unabhängiger Gutachter aus anderen Fachbereichen und die Nutzung des Funnel-Plots bei Reviews erreicht werden.

Studien, die sich mit den Wirkungen eines Ausdauertrainings befassen, werden in der Regel von Sportwissenschaftlern oder Sportmedizinern konzipiert, durchgeführt und ausgewertet, die dem Sport per se eng verbunden sind. Bei einer kritischen Durchsicht der vielen Studien, die sich mit dem Thema auseinandersetzen, drängt sich bei einigen Studien, die sehr deutliche Verbesserungen auch schon nach kurzer Trainingsdauer berichten, der Verdacht auf, dass die Ergebnisse durch diese positive Grundeinstellung zur sportlichen Aktivität beeinflusst wurden. Es ist denkbar, dass bei der Messung (z.B. nicht geblindete Messung des Ruheblutdrucks) oder Auswertung von Zielparametern unbewusst der Wunsch, gute Effekte zu ermitteln, die Ergebnisse beeinflusst. Dies um so mehr, da populäre Ergebnisse die Veröffentlichungschancen vermutlich erhöhen (s.o.). So erscheint z.B. vorstellbar, dass bei Probanden, die vergleichsweise schlechte Trainingsergebnisse erzielten, intensiver nach Ausschlussgründen gefahndet wird als dies umgekehrt bei positiven Ergebnissen der Fall wäre oder die Ausbelastung in den Untersuchungsgruppen differierte. Um derartige Störeinflüsse zu minimieren, könnten Stichprobenkontrollen eingereicherter Studienergebnisse durch unabhängige Gremien hilfreich sein.

Zahlreiche Trainingsstudien befassten sich mit dem Schwerpunkt Intensität. Trotzdem muss die gegenwärtige Datenlage als uneinheitlich und unüberschaubar bezeichnet werden. Dies ist insbesondere auf die vielen unterschiedlichen Methoden zur Quantifizierung der Trainingsintensität zurückzuführen. Besonders kritisch muss die Steuerung der Intensität über Maximalparameter bewertet werden, die stark von der Ausbelastung der Probanden abhängig ist und bzgl. der Belastungsphysiologie zu erheblichen interindividuellen Abweichungen führen kann (Acevedo/Goldfarb 1989; Katch et al. 1978; Meyer et al. 1999; Sjödin et al. 1982; Weltman et al. 1989) (vgl. Kap. 1.6.1.1). Aber auch die vielen verschiedenen submaximalen

Steuerungsgrößen wie z.B. die ventilatorische Schwelle (Wasserman et al. 1973), die individuelle anaerobe Schwelle (Stegmann et al. 1981) oder auch die hier verwendete Schw._{1,5} (Dickhuth et al. 1991), die eine Beziehung zu leistungsphysiologischen Prozessen während ansteigender Belastung aufweisen, erleichtern nicht immer die Vergleichbarkeit der Studienergebnisse. Zukünftig ist daher in diesem Forschungsbereich eine einheitliche Quantifizierung und Kategorisierung der Intensität mittels eines submaximalen und an physiologischen Prozessen orientierten Parameters (z.B. eine der genannten Schwellen) auf internationaler Ebene einzufordern, um die Vergleichbarkeit der Studien zu verbessern und den globalen Erkenntnisgewinn zu beschleunigen. In diesem Kontext sollte auch eine Vereinheitlichung der verwendeten Messmethoden, insbesondere der Belastungsprotokolle angestrebt werden. So könnte bei entsprechenden Populationen ein direkter Vergleich der Belastungskurven erfolgen und die Störeinflüsse bei der Bestimmung der Maximalparameter, z.B. durch unterschiedlich lange Belastungsprotokolle, verringert werden.

Bis vor einigen Jahrzehnten wurde die Frage nach der optimalen Intensität eher undifferenziert betrachtet und untersucht. Man ging davon aus, dass es eine optimale Intensität gibt, bei der mehr oder weniger eine Optimierung aller relevanten Zielparameter zu erwarten wäre. Erst in den letzten Jahrzehnten wurde spezifischer nach den Zielen beispielsweise in leistungsphysiologischer oder gesundheitlicher Hinsicht differenziert. Nicht zuletzt die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass in der Fortsetzung dieses Prozesses, die Intensitätsfrage für jeden Zielparameter neu gestellt werden muss.

Wie bereits dargestellt, konnte keine Längsschnittstudie recherchiert werden, die sich speziell mit dem Untersuchungsschwerpunkt eines ausschließlichen Trainings an zwei Wochenendtagen ("weekend warrior") im Vergleich zu einem homogen verteilten Training befasste. Da dieses Sportverhalten aber in unserer Gesellschaft vermutlich von einem großen Personenkreis praktiziert wird und sich dieser Trend zukünftig wohl eher noch verstärken wird, sollten weitere Studien zu dieser Thematik durchgeführt werden. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang, ob die doch überraschenden Ergebnisse der vorliegenden Studie, die bzgl. der Trainingswirkungen zwischen den dargestellten Programmen keine relevanten Unterschiede aufzeigen, bestätigt werden können. Wenn weitere Studien feststellen, dass es im Hinblick auf die Trainingseffekte tatsächlich ohne Belang ist, ob der wöchentliche Trainingsumfang an zwei aufeinander folgenden Tagen absolviert wird oder gleichmäßig über die Woche verteilt wird, so hat dies weit reichende Konsequenzen für die Trainingspraxis und gängige Trainingsempfehlungen

müssen neu überdacht werden. Es müssen jedoch in jedem Fall Studien mit größeren Stichproben und längerer Dauer die Frage klären, ob das beschriebene Trainingsregime das Risiko der Entstehung von Überlastungsschäden und schlechter Compliance erhöht.

Das Trainingsprogramm WW war speziell im leistungsphysiologischen Bereich bei einigen Parametern tendenziell sogar etwas wirkungsvoller als das homogen verteilte Training. Wenngleich dieser Unterschied in keinem Fall signifikant war, erscheint dieser Umstand bemerkenswert, da er bei nahezu allen Fitnessparametern zu beobachten war und sehr wahrscheinlich auch nicht auf eine systematische Beeinflussung durch Störfaktoren zurückzuführen ist. Beide Programme wiesen einen identischen wöchentlichen Trainingsumfang, einen vergleichbaren Energieumsatz und eine identische Intensität auf. Der Unterschied bestand lediglich in der Frequenz und der Dauer der einzelnen Trainingseinheiten. Weitere Studien sollten sich daher detailliert mit dem zuletzt genannten Faktor auseinandersetzen. Sollte sich die Hypothese bestätigen, dass ein Ausdauertraining wirkungsvoller ist, wenn die einzelne Trainingseinheit sehr lange dauert, so muss dies bei den Trainingsempfehlungen im Gesundheitssport Berücksichtigung finden. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang auch die Frage, worauf diese höhere Wirksamkeit zurückzuführen ist. Gibt es trainingswirksame physiologische Prozesse während eines nach der Dauermethode durchgeführten allgemeinen Ausdauertrainings, die erst ab einer gewissen Dauer der einzelnen Trainingseinheit zum Tragen kommen? Muss eine Erschöpfung körperlicher Leistungsreserven stattfinden, um gewünschte Trainingsadaptationen provozieren zu können? Diese Fragen bergen interessante praxisrelevante Untersuchungsansätze für zukünftige Forschungsarbeiten.

5 Zusammenfassung

Die Bedeutung eines allgemeinen Ausdauertrainings im Hinblick auf eine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit und eine Gesundheitsprävention ist inzwischen gut belegt und allgemein anerkannt. Unsicherheit herrscht bzgl. der optimalen Gestaltung des Ausdauertrainings. Fachorganisationen empfehlen in der Regel an möglichst vielen Wochentagen relativ kurze Einheiten (20-40 min) mit einer eher moderaten Intensität. Dieser Empfehlung können in unserer Gesellschaft viele Personen nicht nachkommen, da sie aufgrund beruflicher Belastungen nur am Wochenende ausreichend Zeit finden. In jüngerer Vergangenheit wird ferner in der Laienpresse häufig ein Training mit niedriger Intensität favorisiert, da ihm eine Aktivierung des Fettstoffwechsels zugeschrieben wird. Es ergeben sich somit praxisrelevante Fragestellungen, die mittels einer kontrollierten Längsschnittstudie untersucht wurden. Zum einen sollte überprüft werden, ob die gleichmäßige Verteilung eines Ausdauertrainings über die Woche effektiver ist als eine Konzentration des identischen Trainingsumfangs auf zwei aufeinander folgende Tage (**“weekend warrior“**). Zum anderen erscheint interessant, inwiefern eine Senkung der **Trainingsintensität** bei identischem Energieumsatz die Trainingseffektivität beeinträchtigt.

Methodik: 51 untrainierte gesunde Probanden beiderlei Geschlechts (44 ± 8 Jahre, 80 ± 18 kg, VO_{2max} : 37 ± 9 ml*min⁻¹*kg⁻¹) wurden nach einer umfassenden Eingangsuntersuchung mit stufenförmiger Laufbandbelastung (Bestimmung der 1,5-mmol-Schwelle (Schw._{1,5}) zur Trainingssteuerung) stratifiziert randomisiert einer von drei Trainingsgruppen bzw. der Kontrollgruppe zugeteilt. Während die Probanden der Kontrollgruppe (n=13) unverändert ihren Alltagsaktivitäten nachgingen, absolvierten die Teilnehmer der drei Trainingsgruppen ein 12-wöchiges mittels Herzfrequenz gesteuertes Ausdauertraining (Laufen/Walking) mit identischem wöchentlichem Energieumsatz (≈ 1.400 kcal), jedoch differierender Trainingsintensität bzw. -frequenz. **Trainingsgruppe RMT (regelmäßiges moderates Training, n=13)** trainierte 5 mal pro Woche 30 min mit einer Intensität von 90% der Schw._{1,5}. **Trainingsgruppe WW (‘weekend warrior‘, n=12)** trainierte wie Gruppe RMT wöchentlich 2,5 h mit einer Intensität von 90% der Schw._{1,5}. Es wurde in dieser Gruppe jedoch 2 mal 75 min an aufeinander folgenden Tagen trainiert. **Trainingsgruppe LOW (n=13)** trainierte auch 5 mal pro Woche bei einer um 15 min⁻¹ niedrigeren HF als RMT (Verlängerung der Einheiten, so dass ein identischer Energieumsatz erreicht wurde). Die Trainingseffekte wurden mittels eines zum Eingangstest identischen Abschlusstests quantifiziert.

Ergebnisse: Die Auswertung der Trainingsdaten zeigte eine gute Einhaltung der Trainingsvorgaben und eine in den Gruppen vergleichbare Compliance. Ein allgemeines Ausdauertraining mit einem Energieumsatz von ≈ 1.400 kcal pro Woche führte für alle Trainingsteilnehmer zusammengefasst zu einer signifikanten Erhöhung der relativen VO_{2max} ($p < 0,001$) und der Dauer des Belastungstests ($p < 0,001$), zu einer Rechtsverschiebung der Laktat-Leistungskurve ($p < 0,1$), der Schw._{1,5} ($p < 0,001$) sowie der HF-Leistungskurve ($p < 0,05$) und zu einer Herabsetzung der HF_{Ruhe} ($p < 0,001$), des Körpergewichts ($p < 0,05$), des BMI ($p < 0,05$), des Körperfettanteils (Kalipermethode: $p < 0,1$; Bioimpedanzanalyse: $p < 0,01$), des syst. und diast. Ruheblutdrucks ($p < 0,05$; $p < 0,01$) sowie des syst. und diast. Nachbelastungsblutdrucks ($p < 0,05$; $p < 0,01$). Dagegen wies keiner der relevanten Laborparameter ($Chol_{ges}$, HDL-Chol, LDL-Chol, Triglyzeride, Apolipoprotein A-1, Apolipoprotein B und Homocystein) eine trainingsinduzierte Veränderung auf.

Der Vergleich zwischen dem Trainingsprogramm **WW** und **RMT** ergab bei keinem Parameter einen signifikanten Unterschied. Insbesondere bei den leistungsphysiologischen Parametern deuten wider Erwarten die absoluten Trainingsverbesserungen sogar eine höhere Wirksamkeit des Programms WW an. Mit Ausnahme der Testdauer an der Schw._{1,5} (156 vs. 168 sek) waren die Verbesserungen der VO_{2max} (3,4 vs. 1,5 $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$), der Testdauer (2,2 vs. 1,7 min), der HF-Leistungskurve (im Mittel -11 vs. -9 min^{-1}), der Laktat-Leistungskurve (0,34 vs. 0,21 $mmol \cdot l^{-1}$ auf der dritten Belastungsstufe) und der PWC 150 (0,28 vs. 0,20 $l \cdot min^{-1}$) durchweg bei Gruppe WW nominell höher ausgeprägt. Die Analyse der Gesundheitsindikatoren zeigte bei beiden Gruppen ähnliche Trainingseffekte. Der Körperfettanteil verbesserte sich jedoch lediglich infolge des Programms RMT ($p < 0,05$) und der syst. Ruheblutdruck nur durch das Programm WW ($p < 0,05$). Im Gegensatz zu Programm RMT war bei Gruppe WW im Rahmen der Fragebogenuntersuchung in einzelnen Kategorien keine Verbesserung zu verzeichnen. In der Subskala Deprimiertheit aus den Befindlichkeitsskalen war sogar ein negativ zu bewertender tendenzieller Anstieg zu beobachten.

Schlussfolgerung: Die Effizienz eines dreimonatigen Ausdauertrainings wird im leistungsphysiologischen Bereich und im Hinblick auf kardiovaskuläre Risikofaktoren durch ein konzentriertes Training am Wochenende aus dieser Sicht nicht eingeschränkt. Entgegen den allgemeinen Empfehlungen spricht somit nichts dagegen, die Zahl der Trainingseinheiten zu reduzieren, wenn simultan die Dauer einer einzelnen Einheit verlängert wird und der Energiegesamtumsatz konstant ist. Dieser erstmals in einer Längsschnittstudie geprüfte Schwerpunkt sollte weiter untersucht werden. Möglicherweise

können so die Wirkungszusammenhänge ergründet und die Bedeutung des Faktors "Dauer der Trainingseinheit" genauer umrissen werden.

Gruppenvergleiche bzgl. der **Intensitätswahl** förderten insbesondere bei den submaximalen leistungsphysiologischen Parametern eine Überlegenheit des höher-intensiven Programms zu Tage. HF- und Laktat-Leistungskurve verbesserten sich im Vergleich zur Kontrollgruppe nur bei Gruppe RMT ($p < 0,1$), während sich im direkten Vergleich bei den Parametern PWC 150 ($p < 0,1$) und Schw._{1,5} ($p < 0,05$) sogar eine signifikante Unterlegenheit des Programms LOW zeigte. Bei den Maximalparametern wurde, evtl. bedingt durch eine divergierende Ausbelastung der Gruppen ($HF_{\max} p < 0,01$), kein Unterschied sichtbar. Die Analyse der Gesundheitsindikatoren ergab keine Gruppenunterschiede. Der syst. Ruheblutdruck wurde jedoch nur infolge des Programms LOW verbessert, während die Fragebogenergebnisse nur bei RMT Steigerungen der Subskala Aktiviertheit ($p < 0,1$) und der Frankfurter Körperkonzeptskala zur körperlichen Effizienz ($p < 0,1$) zeigten.

Schlussfolgerung: Wenn keine entsprechende medizinische Kontraindikation vorliegt, erscheint ein präventives Ausdauertraining mindestens mit einer Intensität von 90% der Schw._{1,5} empfehlenswert. Abgesehen vom geringeren Zeitaufwand (ca. 30 min/Woche) ist ein solches Trainingsregime, insbesondere wenn auch eine effiziente Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit angestrebt wird, günstiger. Auch im Hinblick auf eine positive Beeinflussung psychischer Komponenten war in dieser Untersuchung das Programm RMT überlegen. Ob für eine Senkung des Blutdrucks möglicherweise eine geringere Trainingsintensität von Vorteil ist, muss durch weitere Studien geklärt werden.

6 Literaturverzeichnis

- Abe, T., Kawakami, Y., Sugita, M., et al.:** Relationship between training frequency and subcutaneous and visceral fat in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1997) 29:1549-1553.
- Abele, A., Brehm, W., und Gall, T.:** Sportliche Aktivität und Wohlbefinden. In A. Abele and P. Becker, eds., *Wohlbefinden: Theorie-Empirie-Diagnostik*, Vol. 2. Juventa-Verlag, 1994.
- Abele-Brehm, A., und Brehm, W.:** Zur Konzeptualisierung und Messung von Befindlichkeit. Die Entwicklung der "Befindlichkeitsskalen". *Diagnostica* (1986) 32:209-228.
- Acevedo, E. O., und Goldfarb, A. H.:** Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1989) 21:563-568.
- ACSM:** The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1990) 22:265-274.
- ACSM:** The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1998) 30:975-991.
- ACSM:** Physical activity in the prevention and treatment of obesity and its comorbidities. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1999) 31:502-509.
- ACSM:** Exercise and Type 2 Diabetes. Position Stand. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2000) 32:1345-1359.
- ACSM:** Appropriate intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2001) 33:2145-2156.
- ACSM:** Exercise and hypertension. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2004) 36:533-553.
- Agnew, R., und Levin, M. L.:** The effects of running on mood and perceived health. *Journal of Sport Behavior* (1987) 1:14-27.
- Ahlborg, G., Felig, P., Hagenfeldt, L., et al.:** Substrate turnover during prolonged exercise in man. *Journal of Clinical Investigation* (1974) 53:1080-1090.

- Ahmaidi, S., Masse-Biron, J., Adam, B., et al.:** Effects of intervall training at the ventilatory threshold on clinical and cardiorespiratory responses in elderly humans. *European Journal of Applied Physiology* (1998) 78:170-176.
- Alfermann, D., und Stoll, O.:** Befindlichkeitsveränderungen nach sportlicher Aktivität. *Zeitschrift Sportwissenschaft* (1996) 26:406-424.
- Alfermann, D., Stoll, O., Wagner, S., et al.:** Auswirkungen des Sporttreibens auf Selbstkonzept und Wohlbefinden: Ergebnisse eines kontrollierten Feldexperiments. In W. Schlicht and P. Schwenkmezger, eds., *Gesundheitsverhalten und Bewegung*. Hofman-Verlag, 1995.
- Allen, D., Freund, B. J., und Wilmore, J. H.:** Interaction of test protocol and horizontal run training on maximal oxygen uptake. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1986) 5:581-587.
- An, P., Borecki, I. B., Rankinen, T., et al.:** Evidence of major genes for exercise heart rate and blood pressure at baseline and in response to 20 weeks of endurance training: The HERITAGE-Family-Study. *International Journal of Sports Medicine* (2003a) 24:492-498.
- An, P., Perusse, L., Rankinen, T., et al.:** Familial aggregation of exercise heart rate and blood pressure in response to 20 weeks of endurance training: The HERITAGE-Family-Study. *International Journal of Sports Medicine* (2003b) 24:57-62.
- Andreoli, A., Melchiorri, G., De Lorenzo, A., et al.:** Bioelectrical impedance measures in different position and vs. dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* (2002) 42:186-189.
- Babcock, M. A., Paterson, D. H., und Cunningham, D. A.:** Effects of aerobic endurance training on gas exchange kinetics of older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1994) 26:447-452.
- Badenhop, D. T., Cleary, P. A., Schaal, S. F., et al.:** Physiological adjustments to higher- or lower-intensity exercise in elders. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1983) 15:496-502.
- Bagger, M., Petersen, P. H., und Pedersen, P. K.:** Biological variation in variables associated with exercise training. *International Journal of Sports Medicine* (2003) 24:433-440.
- Balke, B., und Ware, R. W.:** An experimental study of physical fitness of air force personnel. *U. S. Armed Forces Medical Journal* (1959) 10:675-688.

- Bassett, D. R., und Howley, E. T.:** Limiting factors for maximal oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2000) 32:70-84.
- Belman, M. J., und Gaesser, G. A.:** Exercise training below and above the lactate threshold in the elderly. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1991) 23:562-568.
- Bergh, U., Sjödin, B., Forsberg, A., et al.:** The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1991) 23:205-211.
- Bergman, B. C., Horning, M. A., Casazza, G. A., et al.:** Endurance training increases gluconeogenesis during rest and exercise in men. *American Journal of Physiology (Endocrinology Metabolism)* (2000) 278:E244- E251.
- Bergman, B. C., Wolfel, E. E., Butterfield, G. E., et al.:** Active muscle and whole body lactate kinetics after endurance training in men. *Journal of Applied Physiology* (1999) 87:1684-1696.
- Berlin, J. A., und Colditz, G. A.:** Meta-analysis of physical activity in the prevention of coronary heart disease. *American Journal of Epidemiology* (1990) 132:612-628.
- Bhambhani, Y., und Singh, M.:** The effects of three training intensities on VO_{2max} and VE/ VO_2 ratio. *Canadian Journal of Applied Sport Science* (1985) 10:44-51.
- Blair, S. N., Kohl III, H. W., Barlow, C. E., et al.:** Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *Journal of the American Medical Association* (1995) 273:1093-1098.
- Blech, J.:** Fit wie in der Steinzeit. *Spiegel* (2006) (5):134-145.
- Blumenthal, J. A., Williams, R. S., Needles, T. L., et al.:** Psychological changes accompany aerobic exercise in healthy middle-aged adults. *Psychosomatic Medicine* (1982) 44:529-536.
- Bonanno, J. A., und Lies, J. E.:** Effects of physical training on coronary risk factors. *The American Journal of Cardiology* (1974) 33:760-764.
- Booth, F. W., Gordon, S. E., Carlson, C. J., et al.:** Waging war on modern chronic diseases: Primary prevention through exercise biology. *Journal of Applied Physiology* (2000) 88:774-787.
- Borg, G.:** Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1982) 14:377-381.

- Bös, K., Singer, R., Eberspächer, H., et al.:** *Die ATPA-D-Skalen*. Limpert-Verlag, 1980.
- Bouchard, C., Shepard, R. J., und Stephens, T.:** *Physical activity, fitness and health - Consensus Statement*. Human Kinetics Publishers, 1993.
- Bouchard, C., Tremblay, A., Despres, J.-P., et al.:** The response to exercise with constant energy intake in identical twins. *Obesity Research* (1994) 2:400-410.
- Boushey, C. J., Beresford, S. A., Omenn, G. S., et al.:** A quantitative assessment of plasma homocysteine as a risk factor for vascular disease. Probable benefits of increasing folic acid intakes. *Journal of the American Medical Association* (1995) 13:1049-1057.
- Boutcher, S. H., und Stein, P.:** Association between heart rate variability and training response in sedentary middle-aged men. *European Journal of Applied Physiology* (1995) 70:75-80.
- Brandao, M. U. P., Wajngarten, M., Rondon, E., et al.:** Left ventricular function during dynamic exercise in untrained and moderately trained subjects. *Journal of Applied Physiology* (1993) 75:1989-1995.
- Broeder, C. E., Burrhus, K. A., Svanevik, L. S., et al.:** Assessing body composition before and after resistance or endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1997) 29:705-712.
- Bruce, R. A.:** Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *American Heart Journal* (1973) 85:545-562.
- Carrol, S., Cooke, C. B., und Butterly, R. J.:** Physical activity, cardiorespiratory fitness, and the primary components of blood viscosity. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2000) 32:353-358.
- Carter, J. B., Banister, E. W., und Blaber, A. P.:** Effect of endurance exercise on autonomic control of heart rate. *Sports Medicine* (2003) 33:33-46.
- Casaburi, R., Storer, T. W., Sullivan, C. S., et al.:** Evaluation of blood lactate elevation as an intensity criterion for exercise training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1995) 27:852-862.
- Coggan, A. R.:** Plasma glucose metabolism during exercise: Effect of endurance training in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1997) 29:620-627.
- Coyle, E. F., Martin, W. H., Ehsani, A. A., et al.:** Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients. *Journal of Applied Physiology* (1983) 54:18-23.

- Crouse, S. F., O'Brien, B. C., Grandjean, P. W., et al.:** Training intensity, blood lipids, and apolipoproteins in men with high cholesterol. *Journal of Applied Physiology* (1997) 82:270-277.
- Davies, C. T. M., und Knibbs, A. V.:** The training stimulus. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie* (1971) 29:299-305.
- Davis, J. A., Frank, M. H., Whipp, B. J., et al.:** Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *Journal of Applied Physiology: Respiration Environmental Exercise Physiology* (1979) 46:1039-1046.
- De Geus, E. J. C., Kluft, C., De Bart, A. C. W., et al.:** Effects of exercise training on plasminogen activator inhibitor activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1992) 24:1210-1219.
- De Marées, H., und Mester, J.:** *Sportphysiologie*, Vol. 2. Verlag Diesterweg, 1990.
- Denis, C., Fouquet, R., Poty, P., et al.:** Effect of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine* (1982) 3:208-214.
- Després, J. P., und Lamarche, B.:** Low-intensity endurance exercise training, plasma lipoproteins and the risk of coronary heart disease. *Journal of Internal Medicine* (1994) 236:7-22.
- Deusinger, I. M.:** *Die Frankfurter Selbstkonzeptskalen (FSKN)*. Hogrefe-Verlag, 1986.
- Deusinger, I. M.:** *Die Frankfurter Körperkonzeptskalen (FKKS) - Handanweisung mit Bericht über vielfältige Validierungsstudien*. Hogrefe-Verlag, 1998.
- Dickhuth, H.-H., Huonker, M., Münzel, T., et al.:** Individual anaerobic threshold for evaluation of competitive athletes and patients with left ventricular dysfunction. In N. Bachl, T. E. Graham, and H. Löllgen, eds., *Advances in Ergometry*. Springer-Verlag, 1991.
- Dionne, F. T., Turcotte, L., Thibault, M.-C., et al.:** Mitochondrial DNA sequence polymorphism, VO_{2max} , and response to endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1991) 23:177-185.
- Dionne, I., Almeras, N., Bouchard, C., et al.:** The association between vigorous physical activities and fat deposition in male adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2000) 32:392-395.
- Drygas, W., Jegler, A., und Kunski, H.:** Study on threshold dose of physical activity in coronary heart disease prevention. Part I. Relationship between leisure time

- physical activity and coronary risk factors. *International Journal of Sports Medicine* (1988) 9:275-278.
- Duncan, G. E., Anton, S. D., Sydeman, S. J., et al.:** Prescribing exercise at varied levels of intensity and frequency. *Archiv of Internal Medicine* (2005) 165:2362-2369.
- Duncan, G. E., Howley, E. T., and Johnson, B. N.:** Applicability of VO_{2max} criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1997) 29:273-278.
- Duncan, J. J., Gordon, N. F., and Scott, C. B.:** Women walking for health and fitness: how much is enough? *Journal of the American Medical Association* (1991) 266:3295-3299.
- Eriksson, J., Taimela, S., and Koivisto, V. A.:** Exercise and the metabolic syndrome. *Diabetologia* (1997) 40:125-135.
- Fagard, R.:** Habitual physical activity, training, and blood pressure in normo- and hypertension. *International Journal of Sports Medicine* (1985) 6:57-67.
- Fagard, R. H.:** Exercise characteristics and the blood pressure response to dynamic physical training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2001) 33:484-492.
- Favier, R. J., Constable, S. H., Chen, M., et al.:** Endurance exercise training reduces lactate production. *Journal of Applied Physiology* (1986) 61:885-889.
- Ferketich, A. K., Kirby, T. E., and Alway, S. E.:** Cardiovascular and muscular adaptations to combined endurance and strength training in elderly women. *Acta Physiologica Scandinavia* (1998) 164:259-267.
- Findeisen, D. G. R., Linke, P.-G., and Pickenhain, L.:** *Grundlagen der Sportmedizin für Studenten, Sportlehrer und Trainer*. Johann Ambrosius Barth, 1980.
- Fitzgerald, M. D., Tanaka, H., Tran, Z. V., et al.:** Age-related declines in maximal aerobic capacity in regularly exercising vs. sedentary women: a meta-analysis. *Journal of Applied Physiology* (1997) 83:160-165.
- Fletcher, G. F., Balady, G., Blair, S. N., et al.:** Statement on exercise: benefits and recommendations for physical activity programs for all americans. *Circulation* (1996) 94:857-862.
- Fox, E. L., Bartels, R. L., Billings, C. E., et al.:** Frequency and duration of interval training programs and changes in aerobic power. *Journal of Applied Physiology* (1975) 38:481-484.

- Freund, B. J., Allen, D., und Wilmore, J. H.:** Interaction of test protocol and inclined run training on maximal oxygen uptake. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1986) 5:588-592.
- Friedlander, A. L., Casazza, G. A., Horning, M. A., et al.:** Effects of exercise intensity and training on lipid metabolism in young women. *American Journal of Physiology (Endocrinol.Metab.)* (1998) 275:E853-E863.
- Fry, R. W., Morton, A. R., und Keast, D.:** Periodisation of training stress - a review. *Canadian Journal of Sport Science* (1992) 17:234-240.
- Gabriel, H., Rothe, G., Korpys, M., et al.:** Apolipoprotein E phenotypes, (apo-) lipoprotein metabolism and endurance athletes. *International Journal of Sports Medicine* (1996) 17((Suppl. 1)):S 29.
- Gaesser, G. A., Poole, D. C., und Gardner, B. P.:** Dissociation between VO_{2max} and ventilatory threshold responses to endurance training. *European Journal of Applied Physiology* (1984) 53:242-247.
- Gaesser, G. A., und Rich, R. G.:** Effects of high- and low-intensity exercise training on aerobic capacity and blood lipids. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1984) 16:269-274.
- Gettman, L. R., Pollock, M. L., Durstine, J. L., et al.:** Physiological responses of men to 1,3 and 5 day per week training programs. *The Research Quarterly* (1976) 47:638-646.
- Gibbons, L. W., Blair, S. N., Cuoper, K. H., et al.:** Association between coronary heart disease risk factors and physical fitness in healthy adult women. *Circulation* (1983) 67:977-983.
- Gilders, R. M., Voner, C., und Dudley, G. A.:** Endurance training and blood pressure in normotensive and hypertensive adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1989) 21:629-636.
- Golden, H. P., und Vaccaro, P.:** The effects of endurance training intensity on the anaerobic threshold. *Journal of Sports Medicine* (1984) 24:205-211.
- Gossard, D., Haskell, W. L., Taylor, C. B., et al.:** Effects of low- and high-intensity home-based exercise training on functional capacity an healthy middle-aged men. *American Journal of Cardiology* (1986) 57:446-449.
- Greiwe, J. S., Hickner, R. C., Hansen, P. A., et al.:** Effects of endurance exercise training on muscle glycogen accumulation in humans. *Journal of Applied Physiology* (1999) 87:222-226.
- Grundy, S. M., et al.:** Primary prevention of coronary heart disease: Guidance from framingham. *Circulation* (1998) 97:1876-1887.

- Grundy, S. M., Blackburn, G., Higgins, M., et al.:** Physical activity in the prevention and treatment of obesity and its comorbidities: Evidence report of independent panel to assess the role of physical activity in the treatment of obesity and its comorbidities. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1999) 31:1493-1499.
- Haddock, B. L., Hopp, H. P., Mason, J. J., et al.:** Cardiorespiratory fitness and cardiovascular disease risk factors in postmenopausal women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1998) 30:893-898.
- Hagberg, J. M.:** Exercise, fitness and hypertension. In Bouchard, C. et al., ed., *Exercise, fitness and health: a consensus of current knowledge*, Vol. Champaign, IL. Human Kinetics Publishers, 1990.
- Hagberg, J. M., und Coyle, E. F.:** Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1983) 15:287-289.
- Hagberg, J. M., McCole, S. D., Ferrell, R. E., et al.:** Physical activity, hormone replacement therapy and plasma lipoprotein-lipid levels in postmenopausal women. *International Journal of Sports Medicine* (2002) 24:22-29.
- Halle, M.:** Sekundärprävention der koronaren Herzerkrankung: Einfluss von körperlichem Training auf Morphologie und Funktion der Koronargefäße. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (2004) 55:66-69.
- Hamel, P., Simoneau, J.-A., Lortie, G., et al.:** Heredity and muscle adaptation to endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1986) 18:690-696.
- Hamilton, M. T., und Booth, F. W.:** Skeletal muscle adaptation to exercise: a century of progress. *Journal of Applied Physiology* (2000) 88:327-331.
- Hardman, A. E., Jones, P. R. M., Norgan, N. G., et al.:** Brisk walking improves endurance fitness without changing body fatness in previously sedentary women. *European Journal of Applied Physiology* (1992) 65:354-359.
- Harms, S. J., und Hickson, R. C.:** Skeletal muscle mitochondria and myoglobin, endurance, and intensity of training. *Journal of Applied Physiology* (1983) 54:798-802.
- Hartard, M., Richter, M., Lorenz, R., et al.:** Hämodynamik und sympathoadrenerges System unter einem Ausdauertraining unterschiedlicher Intensitäten, jedoch gleichem trainingsbedingten Kalorienmehrverbrauch. *Zeitschrift Spectrum* (2000) 2:36-52.

- Haskell, W. L.:** Dose-response issues from a biological perspective. In C. Bouchard, R. J. Shephard, und T. Stephens, eds., *Physical activity, fitness and health*. Human Kinetics Publishers, 1994a.
- Haskell, W. L.:** Health consequences of physical activity: understanding and challenges regarding dose-response. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1994b) 26:649-660.
- Hass, C. J., Garzarella, L., de Hoyos, D. V., et al.:** Concurrent improvements in cardiorespiratory and muscle fitness in response to total body recumbent stepping in humans. *European Journal of Applied Physiology* (2001) 85:157-163.
- Heil, D. P.:** Body mass scaling of peak oxygen uptake in 20- to 79-year-old adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1997) 29:1602-1608.
- Henriksson, J.:** Training induced adaptation of skeletal muscle and metabolism during submaximal exercise. *Journal of Physiology (London)* (1977) 270:661-675.
- Henritze, J., Weltman, A., Schurrer, R. L., et al.:** Effects of training at and above the lactate threshold on the lactate threshold and maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology* (1985) 54:84-88.
- Herm, K.-P.:** Methoden der Körperfettbestimmung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (2003) 54:153-154.
- Hickson, R. C., Foster, C., Pollock, M. L., et al.:** Reduced training intensities and loss of aerobic power, endurance, and cardiac growth. *Journal of Applied Physiology* (1985) 58:492-499.
- Hickson, R. C., und Rosenkoetter, M. A.:** Reduced training frequencies and maintenance of increased aerobic power. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1981) 13:13-16.
- Hollmann, W., und Hettinger, T.:** *Sportmedizin*, Vol. 4. Schattauer, 2000.
- Hollmann, W., Rost, R., und Liesen, H.:** Die Bedeutung des Sports für das Herz des älteren Menschen. *Zeitschrift für Kardiologie* (1985) 7:39-48.
- Hollmann, W., Rost, R., Liesen, H., et al.:** Assessment of different forms of physical activity with respect to preventive and rehabilitative cardiology. *International Journal of Sports Medicine* (1981) 2:67-80.
- Holloszy, J. O., und Coyle, E. F.:** Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology* (1984) 56:831-838.
- Holly, R. G., und Schaffrath, J. D.:** Cardiorespiratory Endurance. In ACSM, ed., *Guidelines for exercise testing and prescription*. Williams/Wilkins, 1998.

- Hoogeveen, A. R.:** The effect of endurance training on the ventilatory response to exercise in elite cyclists. *European Journal of Applied Physiology* (2000) 82:45-51.
- Hoppeler, H., Howald, H., Conley, K., et al.:** Endurance training in humans: aerobic capacity and structure of skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology* (1985) 59:320-327.
- Howley, E. T., Bassett Jr, D. R., und Welch, H. G.:** Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1995) 27:1292-1301.
- Huang, G., Shi, X., Davis-Brezette, J. A., et al.:** Resting heart rate changes after endurance training in older adults: A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2005) 37:1381-1386.
- Huang, Y., Macera, C. A., Blair, S. N., et al.:** Physical fitness, physical activity, and functional limitation in adults aged 40 and older. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1998) 30:1430-1435.
- Hunter, G. R., Kekes-Szabo, T., Snyder, S. W., et al.:** Fat distribution, physical activity, and cardiovascular risk factors. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1997) 29:362-369.
- Huonker, M., Halle, M., Frey, I., et al.:** Stellenwert von körperlicher Mehraktivität in der ambulanten kardiovaskulären Prävention. *Zeitschrift Kardiologie* (1998) 87:881-890.
- Hurley, B. F., Hagberg, J. M., Allen, W. K., et al.:** Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology* (1984) 56:1260-1264.
- Jakowlew, N. N.:** *Sportbiochemie*. Johann Ambrosius Barth, 1977.
- Jessup, J. V., Lowenthal, D. T., Pollock, M. L., et al.:** The effects of endurance exercise training on ambulatory blood pressure in normotensive older adults. *Journal of Geriatric Nephrology and Urology* (1998) 8:103-109.
- Jeukendrup, A. E., Saris, W. H. M., und Wagenmakers, A. J. M.:** Fat metabolism during exercise: A review. Part 1: Fatty acid mobilization and muscle metabolism. *International Journal of Applied Physiology* (1998a) 1998:231-244.
- Jeukendrup, A. E., Saris, W. H. M., und Wagenmakers, A. J. M.:** Fat metabolism during exercise: A review. Part 2: Regulation of metabolism and the effects of training. *International Journal of Sports Medicine* (1998b) 19:293-302.
- Kannel, W. B., und Sorlie, P.:** Some health benefits of physical activity. The Framingham Study. *Archives of Internal Medicine* (1979) 139:857-861.

- Karlsson, J., Nordesjö, L.-O., Jorfeldt, L., et al.:** Muscle lactate, ATP and CP levels during exercise after physical training in man. *Journal of Applied Physiology* (1972) 32:199-203.
- Katch, V., Weltman, A., Sady, S., et al.:** Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* (1978) 39:219-227.
- Kearney, J. T., Stull, G. A., Ewing, J. L. J., et al.:** Cardiorespiratory responses of sedentary college women as a function of training intensity. *Journal of Applied Physiology* (1976) 41:822-825.
- Kelley, G., und Tran, Z. V.:** Aerobic exercise and normotensive adults: a meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1995) 27:1371-1377.
- Kellmann, M., und Golenia, M.:** Skalen zur Erfassung der aktuellen Befindlichkeit im Sport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (2003) 54:329-330.
- Keul, J., Lehmann, M., und Dickhuth, H.-H.:** Hypertonie, Herz und körperliche Aktivität (Sport). *Zeitschrift für Kardiologie* (1989) 78 Suppl. 7:199-209.
- Kiens, B., Jörgensen, I., Lewis, S., et al.:** Increased plasma HDL-cholesterol and apo A-1 in sedentary middle-aged men after physical conditioning. *European Journal of Clinical Investigation* (1980) 10:203-209.
- Kindermann, W.:** Trainingsauswirkungen auf das Herz-Kreislaufsystem und den Stoffwechsel. In J. Forgo, ed., *Sportmedizin für alle*. Hofmann-Verlag, 1983.
- Kindermann, W.:** Ergometrie-Empfehlungen für die ärztliche Praxis. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (1987) 38:244-268.
- Kindermann, W.:** Sport und Gesundheit. Beeinflussung des koronaren Risikos. In M. Weiß und H. Rieder, eds., *Sportmedizinische Forschung*. Springer-Verlag, 1991.
- Kindermann, W.:** Körperliche Aktivität und Hypertonie. In G. Semitz und G. Mensink, eds., *Körperliche Aktivität in Prävention und Therapie-Evidenzbasierter Leitfaden für Klinik und Praxis*. Hans Marseille Verlag, 2002.
- Kindermann, W.:** Kann körperliches Training den Blutdruck senken? *CardioVasc* (2003) 4:34-40.
- Kindermann, W., Simon, G., und Keul, J.:** The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology* (1979) 42:25-34.
- King, A. C., Haskell, W. L., Young, D. R., et al.:** Long-term effects of varying intensities and formats of physical activity on participation rates, fitness, and

- lipoproteins in men and women aged 50 to 65 years. *Circulation* (1995) 91:2596-2604.
- Klinke, R., und Silbernagel, S.:** *Lehrbuch der Physiologie*, Vol. 4. Georg Thieme Verlag, 2001.
- Knoll, M.:** *Sporttreiben und Gesundheit: Eine kritische Analyse vorliegender Befunde*. Hofmann-Verlag, 1997.
- König, D., Bissé, E., Deibert, P., et al.:** Influence of training volume and acute physical exercise on the homocysteine levels in endurance-trained men: Interactions with plasma folate and vitamin B12. *Annals of Nutrition and Metabolism* (2003) 47:114-118.
- Kostka, T., Lacour, J.-R., Berthouze, S. E., et al.:** Relationship of physical activity and fitness to lipid and lipoprotein (a) in elderly subjects. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1999) 31:1183-1189.
- Kriska, A. M., LaPorte, R. E., und Knowler, W. C.:** The association of physical activity, obesity, fat distribution and glucose tolerance in pima indians. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1992) 24:S61.
- Kristiansen, S., Gade, J., Wojtaszewski, F. P., et al.:** Glucose uptake is increased in trained vs. untrained muscle during heavy exercise. *Journal of Applied Physiology* (2000) 89:1151-1158.
- Kullmer, T., und Kindermann, W.:** Apolipoproteine und Lipoproteine bei unterschiedlicher körperlicher Aktivität und Leistungsfähigkeit. *Klinische Wochenschrift* (1985) 63:1102-1109.
- Kullmer, T., Müller, U., Sroka, G., et al.:** Verhalten der Lipoproteine und Apo-Lipoproteine bei Untrainierten und Ausdauertrainierten. In I.-W. Franz, H. Mellerowicz, und W. Noack, eds., *Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt*. Springer-Verlag, 1985.
- Lampman, R. M., und Schteingart, D. E.:** Effects of exercise training on glucose control, lipid metabolism, and insulin sensitivity in hypertriglyceridemia and non-insulin dependent diabetes mellitus. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1991) 23:703-712.
- Lee, I.-M., Sesso, H. D., Oguma, Y., et al.:** The "weekend warrior" and risk of mortality. *American Journal of Epidemiology* (2004) 160:636-641.
- Lee, K. W. J., Hill, J. S., Walley, K. R., et al.:** Relative value of multiple plasma biomarkers as risk factors for coronary artery disease and death in an angiography cohort. *Canadian Medical Association Journal* (2006) 174:461-466.

- Leon, A. S., Gaskill, S. E., Rice, T., et al.:** Variability in the response of HDL-cholesterol to exercise training in the HERITAGE-Family-Study. *International Journal of Sports Medicine* (2002) 23:1-9.
- Leon, A. S., Togashi, K., Rankinen, T., et al.:** Association of apolipoprotein E polymorphism with blood lipids and maximal oxygen uptake in the sedentary state and after exercise training in the HERITAGE-Family-Study. *Metabolism* (2004) 53:108-116.
- Liang, M. T. C., Su, H.-F., and Lee, N.-Y.:** Skin temperature and skin blood flow affect bioelectric impedance study of female fat-free mass. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2000) 32:221-227.
- Liesen, H., Rost, R., Dufaux, B., et al.:** Trainingsadaptationen im präventivmedizinischen und rehabilitativen Sinne in Abhängigkeit von Trainingsintensität und -dauer. In P. E. Nowacki und P. Böhmer, eds., *Sportmedizin - Aufgaben und Bedeutung für den Menschen in unserer Zeit*. Thieme-Verlag, 1980.
- Loimaala, A., Huikuri, H., Oja, P., et al.:** Controlled 5-month aerobic training improves heart rate but not heart rate variability or baroreflex sensitivity. *Journal of Applied Physiology* (2000) 89:1825-1829.
- Lokey, E. A., und Tran, Z. V.:** Effects of exercise training on serum lipid and lipoprotein concentrations in women: A meta-analysis. *International Journal of Sports Medicine* (1989) 10:424-429.
- Löllgen, H., und Gerke, R.:** Bradykardie im Sport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (2001) 52:180-181.
- Londeree, B. R.:** Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1997) 29:837-843.
- Lynch, N. A., Nicklas, B. J., Berman, D. M., et al.:** Reductions in visceral fat during weight loss and walking are associated with improvements in VO_{2max} . *Journal of Applied Physiology* (2001) 90:99-104.
- MacRae, H. S.-H., Dennis, S. C., Bosch, A. N., et al.:** Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. *Journal of Applied Physiology* (1992) 72:1649-1656.
- Mader, A.:** Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (1990) 41:40-58.
- Makrides, L., Heigenhauser, G. J. F., und Jones, N. L.:** High-intensity endurance training in 20- to 30- and 60- to 70-year-old healthy men. *Journal of Applied Physiology* (1990) 69:1792-1798.

- Manetta, J., Brun, J. F., Perez-Martin, A., et al.:** Fuel oxidation during exercise in middle-aged men: role of training and glucose disposal. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2002) 33:423-429.
- Manson, J. E., Hu, F. B., Rich-Edwards, J. W., et al.:** A prospective study of walking as compared with vigorous exercise in the prevention of coronary heart disease in women. *The New England Journal of Medicine* (1999) 341:650-658.
- Martin, D., Carl, K., und Lehnertz, K.:** *Handbuch Trainingslehre*. Verlag Hofmann, 2001.
- Matwejew, L. P.:** *Periodisierung des sportlichen Trainings*. Verlag Bartels und Wernitz KG, 1972.
- Mayer-Davies, E. J., D'Agostino, R., Karter, A. J., et al.:** Intensity and amount of physical activity in relation to insulin sensitivity. The insulin resistance atherosclerosis study. *Journal of the American Medical Association* (1998) 279:669-674.
- Mayring, P.:** Die Erfassung subjektiven Wohlbefindens. In A. Abele und P. Becker, eds., *Wohlbefinden: Theorie-Empirie-Diagnostik*, Vol. 2. Juventa-Verlag, 1994.
- McAuley, E.:** Physical activity and psychosocial outcomes. In C. Bouchard, R. J. Shephard, und T. Stephens, eds., *Physical activity, fitness, and health*. Human Kinetics Publishers, 1994.
- McMurray, R. G., E., A. B., Harrell, J. S., et al.:** Is physical activity or aerobic power more influential on reducing cardiovascular disease risk factors? *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1998) 30:1521-1529.
- Melanson, E. L.:** Resting heart rate variability in men varying in habitual physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2000) 32:1894-1901.
- Melanson, E. L., Freedson, P. S., und Jungbluth, S.:** Changes in VO_{2max} and maximal treadmill time after 9 wk of running or in-line skate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1996) 28:1422-1426.
- Mennen, L. I., de Courcy, G. P., Guillard, J. C., et al.:** Homocysteine, cardiovascular disease risk factors, and habitual diet in the French Supplementation with Antioxidant Vitamins and Minerals Study. *American Journal of Clinical Nutrition* (2002) 76:1279-1289.
- Meredith, C. N., Frontera, W. R., Fisher, E. C., et al.:** Peripheral effects of endurance training in young and old subjects. *Journal of Applied Physiology* (1989) 66:2844-2849.

- Meyer, T., und Brooks, A.:** Therapeutic impact of exercise on psychiatric diseases- Guidelines for exercise testing and prescription. *Sports Medicine* (2000) 30:269-279.
- Meyer, T., Gabriel, H. H. W., und Kindermann, W.:** Is determination of exercise intensities as percentage of VO_{2max} or HR_{max} adequate? *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1999) 31:1342-1345.
- Meyer, T., Scharhag, J., und Kindermann, W.:** Peak oxygen uptake - Myth and truth about an internationally accepted reference value. *Zeitschrift Kardiologie* (2005) 94:255-264.
- Miller, W. C.:** How effective are traditional dietary and exercise interventions for weight loss? *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1999) 31:1129-1134.
- Mokdad, A. H., Marks, J. S., Stroup, D. F., et al.:** Actual causes of death in the United States, 2000. *Journal of the American Medical Association* (2004) 291:1238-1245.
- Morris, J. N., Heady, J. A., Raffle, P. A. B., et al.:** Coronary heart disease and physical activity of work. *Lancet* (1953) 2:1053-1057.
- Moses, J., Steptoe, A., Mathews, A., et al.:** The effects of exercise training on mental well-being in the normal population: a controlled trial. *Journal of Psychosomatic Research* (1989) 33:47-61.
- Murphy, M., Nevill, A., Neville, A., et al.:** Accumulating brisk walking for fitness, cardiovascular risk, and psychological health. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2002) 34:1468-1474.
- Myrtek, M., und Villinger, U.:** Psychological and physiological effects of a 5-week ergometer training in healthy young men. *Medizinische Klinik* (1976) 71:1623-1630.
- NCEP:** Executive summary of the third report of the National Cholesterol Education Program (NCEP). Expert panel on detection, evaluation and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III). *Journal of the American Medical Association* (2001) 285:2486-2497.
- Nething, K., Stroth, S., Wabitsch, M., et al.:** Primärprävention von Folgeerkrankungen des Übergewichts bei Kindern und Jugendlichen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (2006) 57:42-45.
- Neves, C. E., und Souza, M. N.:** A method for bio-electrical impedance analysis based on a step-voltage response. *Physiological Measurement* (2000) 21:395-408.

- Nho, H., Tanaka, K., Kim, H. S., et al.:** Exercise training in female patients with a family history of hypertension. *European Journal of Applied Physiology* (1998) 78:1-6.
- NIH:** Physical activity and cardiovascular health. *Journal of the American Medical Association* (1996) 276:241-246.
- Nygaard, O., Vollset, S. E., und Refsum, H.:** Total plasma homocysteine and cardiovascular risk profile. The Hordaland homocysteine study. *Journal of the American Medical Association* (1995) 274:1526-1533.
- Oscai, L. B., Spirakis, C. N., Wolff, C. A., et al.:** Effects of exercise and of food restriction on adipose tissue cellularity. *Journal of Lipid Research* (1972) 13:588-592.
- Paffenbarger Jr, R. S.:** Contributions of epidemiology to exercise science and cardiovascular health. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1988) 20:426-438.
- Paffenbarger Jr., R. S., Blair, S. N., Lee, I. M., et al.:** Measurements of physical activity to assess health effects in free-living populations. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1993) 25:60-70.
- Paffenbarger Jr, R. S., Hyde, R. T., Wing, A. L., et al.:** Physical activity, all-cause mortality, and longevity of college alumni. *The New England Journal of Medicine* (1986) 314:605-613.
- Parizková, J., und Buzková, P.:** Relationship between skinfold thickness measured by Harpenden caliper and densitometric analysis of total body fat in men. *Human Biology* (1971) 42:16-21.
- Paterson, D. H., und Cunningham, D. A.:** The gas transport systems: Limits and modifications with age and training. *Canadian Journal of Applied Physiology* (1999) 24:28-40.
- Patyna, W. D.:** Der therapeutische Effekt eines täglichen Ergometertrainings auf das Blutdruckverhalten unter körperlicher Belastung. *Zeitschrift Herz/Kreislauf* (1983) 11:566-569.
- Pearson, T. A., Blair, S. N., Daniels, S. R., et al.:** AHA-Guidelines for primary prevention of cardiovascular disease and stroke: 2002 update. Consensus panel guide to comprehensive risk reduction for adult patients without coronary or other atherosclerotic vascular diseases. *Circulation* (2002) 106:388-391.
- Pelayo, P., Mujika, I., Sidney, M., et al.:** Blood lactate recovery measurements, training, and performance during a 23-week period of competitive swimming. *European Journal of Applied Physiology* (1996) 74:107-113.

- Pierce, E. F., Weltman, A., Seip, R. L., et al.** Effects of training specificity on the lactate threshold and VO_{2peak} . *International Journal of Sports Medicine* (1990) 11:267-272.
- Poehlman, E. T.:** A review: exercise and its influence on resting energy metabolism in man. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1989) 21:515-525.
- Pollock, M. L.:** The quantification of endurance training programs. *Exercise Sport Science Reviews* (1973) 1:155-188.
- Pollock, M. L., Gettman, L. R., Milesis, C. A., et al.:** Effects of frequency and duration of training on attrition and incidence of injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1977) 9:31-36.
- Poole, D. C., und Gaesser, G. A.:** Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. *Journal of Applied Physiology* (1985) 58:1115-1121.
- Powell, K. E., und Blair, S. N.:** The public health burdens of sedentary living habits: theoretical but realistic estimates. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1994) 26:851-856.
- Randeva, H. S., Lewandowski, K. C., Drzewoski, J., et al.:** Exercise decreases plasma total homocysteine in overweight young women with polycystic ovary syndrom. *Journal of Clinical Endocrinology Metabolism* (2002) 87:4496-4501.
- Ready, A. E., und Quinney, H. A.:** Alterations in anaerobic threshold as the result of endurance training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1982) 14:292-296.
- Rejeski, W. J.:** Dose-response issues from a psychosocial perspective. In C. Bouchard, R. J. Shephard, und T. Stephens, eds., *Physical activity, fitness and health*. Human Kinetics Publishers, 1994.
- Röcker, K., Schotte, O., Niess, A., et al.:** Laufbandtestdaten und Wettkampfprognosen für den Langstreckenlauf. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (1997) 48:315-323.
- Röcker, K., Schotte, O., Niess, A. M., et al.:** Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1998) 30:1552-1557.
- Röcker, K., Striegel, H., und Dickhuth, H.-H.:** Heart-rate recommendations: Transfer between running and cycling? *International Journal of Sports Medicine* (2003) 24:173-178.

- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., et al.:** Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity. *American Journal of Physiology* (1993) 265:E380-391.
- Rost, R.:** *Sport- und Bewegungstherapie bei Inneren Krankheiten*, Vol. 2. Deutscher Ärzte-Verlag, 1995.
- Saltin, B., Nazar, K., Costill, D. L., et al.:** The nature of the training response: peripheral and central adaptations to one-legged exercise. *Acta Physiologica Scandinavica* (1976) 96:289-305.
- Sattar, N., Williams, D., Sniederma, A. D., et al.:** Comparison of the associations of apolipoprotein B and non-high-density lipoprotein cholesterol with other cardiovascular risk factors in patients with the metabolic syndrome in the insulin resistance atherosclerosis study. *Circulation* (2004) 110(2687-2693).
- Scharhag, J., Urhausen, A., Schneider, G., et al.:** Vergleich echokardiographischer Methoden zur linksventrikulären Muskelmassenbestimmung mit der MRT bei Ausdauerathleten mit Sportherz und Untrainierten. *Zeitschrift Kardiologie* (2003) 92:309-318.
- Schettler, G., und Mörl, H.:** Artherosklerose. In K.-D. Hüllemann, ed., *Präventivmedizin*. Thieme Verlag, 1982.
- Schmidt, A., Lim, W.-K., Haaker, R., et al.:** Akuter Einfluß eines intensiven Trainings auf Leistungsfähigkeit, Herzfrequenz- und Laktatverhalten während Laufbandergometerbelastung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (1993) 44:184-195.
- Schmidt, R. F., Thews, G., und Lang, F.:** *Physiologie des Menschen*, Vol. 28. Springer Verlag, 2000.
- Schnabel, A., und Kindermann, W.:** Effect of maximal oxygen uptake and different forms of physical training on serum lipoprotein. *European Journal of Applied Physiology* (1982) 48:263-277.
- Schnabel, G., Harre, D., und Borde, A.:** *Trainingswissenschaft. Leistung - Training - Wettkampf*. Sportverlag, 1994.
- Seals, D. R., und Chase, P. B.:** Influence of physical training on heart rate variability and baroreflex circulatory control. *Journal of Applied Physiology* (1989) 66:1886-1895.
- Seals, D. R., und Hagberg, J. M.:** The effect of exercise training on human hypertension: a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1984) 16:207-215.

- Seals, D. R., Hagberg, J. M., Hurley, B. F., et al.:** Endurance training in older men and women I. Cardiovascular responses to exercise. *Journal of Applied Physiology* (1984a) 57:1024-1029.
- Seals, D. R., Hurley, B. F., Schultz, J., et al.:** Endurance training in older men and women. II. Blood lactate response to submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology* (1984b) 57:1030-1033.
- Shephard, R. J.:** Intensity, duration and frequency of exercise as determinants of the response to a trainings regime. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie* (1968) 26:272-278.
- Shephard, R. J.:** Physical activity, health, and well-being at different life stages. *Research Quarterly for Exercise and Sport* (1995) 66:298-302.
- Shi, X., Stevens, G. H. J., Foresman, B. H., et al.:** Autonomic nervous system control of the heart: endurance exercise training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1995) 27:1406-1413.
- Simon, G., Schmidt, A., Lim, W.-K., et al.:** Sportartspezifische Leistungsdiagnostik bei Gehern auf dem Laufband. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (1992) 43:428-434.
- Sjödin, B., Jacobs, I., und Svedenhag, J.:** Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European Journal of Applied Physiology* (1982) 49:45-57.
- Skinner, J. S., Wilmore, K. M., Krasnoff, J. B., et al.:** Adaptation to a standardized training program and changes in fitness in a large, heterogeneous population: the HERITAGE-Family-Study. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2000) 32:157-161.
- Smith, M. L., Hudson, D. L., Graitzer, H. M., et al.:** Exercise training bradycardia: the role of autonomic balance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1989) 21:40-44.
- Snell, P. G., und Mitchell, J. H.:** Physical inactivity. An easily modified risk factor? *Circulation* (1999) 100:2-4.
- Sonstroem, R. J., und Morgan, W. P.:** Exercise and self-esteem: rationale and model. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1989) 21:329-337.
- Sox, H. C., Margulies, I., und Sox, C. H.:** Psychologically mediated effects of diagnostic tests. *Annual Internal Medicine* (1981) 95:680-685.
- Spina, R. J., Ogawa, T., Kohrt, W. M., et al.:** Differences in cardiovascular adaptations to endurance exercise training between older men and women. *Journal of Applied Physiology* (1993) 75:849-855.

- Spina, R. J., Ogawa, T., Martin III, W. H., et al.:** Exercise training prevents decline in stroke volume during exercise in young healthy subjects. *Journal of Applied Physiology* (1992) 72:2458-2462.
- Stegmann, H., Kindermann, W., und Schnabel, A.:** Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine* (1981) 2:160-165.
- Suter, E., Hoppeler, H., Claassen, H., et al.:** Ultrastructural modification of human skeletal muscle tissue with 6-month moderate-intensity exercise training. *International Journal of Sports Medicine* (1995) 16:160-166.
- Suter, E., Marti, B., Tschopp, A., et al.:** Effects of self-monitored jogging on physical fitness, blood pressure and serum lipids: a controlled study in sedentary middle-aged men. *International Journal of Sports Medicine* (1990) 11:425-432.
- Swain, D. P., und Franklin, B. A.:** $VO_{2\text{reserve}}$ and the minimal intensity for improving cardiorespiratory fitness. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2002) 34:152-157.
- Swan, P. D., und McConnell, K. E.:** Anthropometry and bioelectrical impedance inconsistently predicts fatness in women with regional adiposity. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1999) 31:1068-1075.
- Takehima, N., Tanaka, K., Kobayashi, F., et al.:** Effects of aerobic exercise conditioning at intensities corresponding to lactate threshold in the elderly. *European Journal of Applied Physiology* (1993) 67:138-143.
- Talbot, L. A., Metter, E. J., und Fleg, J. L.:** Leisure-time physical activities and their relationship to cardiorespiratory fitness in healthy men and women 18-95 years old. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2000) 32:417-425.
- Thews, G., Mutschler, E., und Vaupel, P.:** *Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen*, Vol. 5. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, 1999.
- Thomas, S. G., Cunningham, D. A., Thompson, J., et al.:** Exercise training and "ventilation threshold" in elderly. *Journal of Applied Physiology* (1985) 59:1472-1476.
- Tran, Z. V., und Weltman, A.:** Differential effects of exercise on serum lipid and lipoprotein levels seen with changes in body weight. A meta-analysis. *Journal of the American Medical Association* (1985) 254:919-924.
- Tran, Z. V., Weltman, A., Glass, G. V., et al.:** The effects of exercise on blood lipids and lipoprotein: a meta-analysis of studies. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1983) 15:393-402.

- Tremblay, A., Després, J. P., Leblanc, C., et al.:** Sex dimorphism in fat loss in response to exercise training. *Journal of Obesity Weight Regulation* (1984) 3:103-303.
- Tremblay, A., Després, J.-P., Leblanc, C., et al.:** Effect of physical activity on body fatness and fat distribution. *American Journal of Clinical Nutrition* (1990) 51:153-157.
- Tremblay, A., Despres, J.-P., Maheux, J., et al.:** Normalization of the metabolic profile in obese women by exercise and a low fat diet. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1991) 23:1326-1331.
- Tsuji, H., Larson, M. G., Venditti, F. J., et al.:** Impact of reduced heart rate variability on risk for cardiac events. The Framingham Heart Study. *Circulation* (1996) 94:2850-2855.
- Turcotte, L. P., Richter, E. A., und Kiens, B.:** Increased plasma FFA uptake and oxidation during prolonged exercise in trained vs. untrained humans. *American Journal of Physiology Endocrinology Metabolism* (1992) 262:E791-E799.
- Twisk, J. W. R., Kemper, H. C. G., und Van Mechelen, W.:** Tracking of activity and fitness and the relationship with cardiovascular disease risk factors. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2000) 32:1455-1461.
- Utter, A. C., Nieman, D. C., Ward, A. N., et al.:** Use of the leg-to-leg bioelectrical impedance method in assessing body-composition change in obese women. *American Journal of Clinical Nutrition* (1999) 69:603-607.
- Uusitalo, A. L. T., Laitinen, T., Väisänen, S. B., et al.:** Effects of endurance training on heart rate and blood pressure variability. *Clinical Physiology and Functional Imaging* (2002) 22:173-179.
- Van Hoof, R., Hespel, P., Fagard, R., et al.:** Effect of endurance training on blood pressure at rest, during exercise and during 24 hours in sedentary men. *American Journal of Cardiology* (1989) 63:945-949.
- Vanhees, L., Hespel, P., Van Hoof, R., et al.:** Effect of physical training on systemic and brachial artery haemodynamics in normal men. *International Journal of Sports Medicine* (1992) 13:145-151.
- Volek, J. S., Gomez, A. L., Love, D. M., et al.:** Effects of a 8-week weight-loss program on cardiovascular disease risk factors and regional body composition. *European Journal of Clinical Nutrition* (2002) 56:585-592.
- Wahrig, G.:** *Deutsches Wörterbuch*; 7. Auflage. Bertelsmann Lexikon Verlag, 2000.

- Wasserman, K., Whipp, B. J., Koyal, S. N., et al.:** Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology* (1973) 32:236-243.
- Weiß, M.:** Homocystein - ein kardiovaskulärer Risikofaktor? - betrachtet unter sportmedizinischen Aspekten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (2003) 54:102-107.
- Weiß, M., Schmid, A., Baum, A., et al.:** Einfluß einer extensiven Belastung auf das Aminosäurespektrum und die Homocysteinkonzentration. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (1999) 50:152-158.
- Weltman, A., Seip, R. L., Snead, D., et al.:** Exercise training at and above the lactate threshold in previously untrained women. *International Journal of Sports Medicine* (1992) 13:257-263.
- Weltman, A., Weltman, J., Rutt, R., et al.:** Percentages of maximal heart rate, heart rate reserve, and VO_{2peak} for determining endurance training intensity in sedentary women. *International Journal of Sports Medicine* (1989) 10:212-216.
- Wenger, H. A., und Bell, G. J.:** The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Medicine* (1986) 3:346-356.
- Weyerer, S., und Kupfer, S.:** Sport und psychische Gesundheit. In H. Rieder, G. Huber, und J. Werle, eds., *Sport mit Sondergruppen*. Hofmann-Verlag, 1996.
- Whaley, M. H., Kampert, J. B., Kohl III, H. W., et al.:** Physical fitness and clustering of risk factors associated with the metabolic syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1999) 31:287-293.
- WHO:** Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference, New York, 19-22 June, 1946; signed on 22 July 1946 by the representatives of 61 States. *Official Records of the World Health Organization* (1946) 2:100.
- WHO:** *Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications: Report of WHO consultation*. WHO, 1999.
- Wilmore, J. H.:** Body composition in sport and exercise: directions for future research. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1983) 15:21-31.
- Wilmore, J. H., Stanforth, P. R., Gagnon, J., et al.:** Endurance exercise training has a minimal effect on resting heart rate: the HERITAGE-Study. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (1996) 28:829-835.

- Wilmore, J. H., Stanforth, P. R., Gagnon, J., et al.:** Heart rate and blood pressure changes with endurance training: The HERITAGE-Family-Study. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2001) 33:107-116.
- Winder, W. W., Hickson, R. C., Hagberg, J. M., et al.:** Training-induced changes in hormonal and metabolic responses to submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology: Respiration Environmental Exercise Physiology* (1979) 46:766-771.
- Wood, P. D., Haskell, W. L., Blair, S. N., et al.:** Increased exercise levels and plasma lipoprotein concentrations: A one-year, randomized, controlled study in sedentary, middle-aged men. *Metabolism* (1983) 32:31-39.
- Wright, M., Francis, K., und Cornwell, P.:** Effect of acute exercise on plasma homocysteine. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* (1998) 38:262-265.
- Yamamoto, K., Miyachi, M., Saitoh, T., et al.:** Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (2000) 33:1496-1502.
- Yerg, J. E. I., Seals, D. R., Hagberg, J. M., et al.:** Effect of endurance exercise training on ventilatory function in older individuals. *Journal of Applied Physiology* (1985) 58:791-794.
- Yoshida, T., Suda, Y., und Takeuchi, N.:** Endurance training regimen based upon arterial blood lactate: Effects on anaerobic threshold. *European Journal of Applied Physiology* (1982) 49:223-230.
- Yoshida, T., Udo, M., Chida, M., et al.:** Specificity of physiological adaptation to endurance training in distance runners and competitive walkers. *European Journal of Applied Physiology* (1990) 61:197-201.
- Young, D. R., Haskell, W. L., Jatulis, D. E., et al.:** Associations between changes in physical activity and risk factors for coronary heart disease in a community-based sample of men and women: The Stanford five-city project. *American Journal of Epidemiology* (1993) 138:205-216.
- Zendzian-Piotrowska, M., und Górski, J.:** Metabolic adaptation to daily exercise of moderate intensity to exhaustion in the rat. *European Journal of Applied Physiology* (1993) 67:77-82.
- Zerssen, D.:** *Die Beschwerdenliste*. Hogrefe Verlag, 1976.
- Zintl, F., und Eisenhut, A.:** *Ausdauertraining: Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung*. BLV-Verlag, 2001.

7. Anhang

7.1 Einverständniserklärung

Einverständniserklärung zur Teilnahme an der “Ausdauerstudie“

Ich erkläre mich damit einverstanden, an der Ausdauertrainingsstudie einschließlich der erforderlichen Blutentnahmen teilzunehmen. Über Ziel, Ablauf, mögliche Risiken und Gegenanzeigen der Studie wurde ich ausreichend informiert. Ich werde den ärztlichen Anweisungen, die für die Durchführung der Studie erforderlich sind, Folge leisten, behalte mir jedoch das Recht vor, meine Mitwirkung jederzeit und ggf. ohne Angabe von Gründen zu beenden. Ich bestätige, dass die Angaben über meinen Gesundheitszustand vollständig und wahrheitsgemäß sind.

Name, Vorname: _____

Geburtsdatum: _____

Anschrift: _____

Telefonnr.: _____

E-mail (ggf.): _____

Saarbrücken, den _____

Unterschrift: _____

7.2 Kurzanleitung zur Studie

Informationen zur Ausdauertrainingsstudie

Ziele der Untersuchung

Seit Anfang der 60er Jahre hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass körperliche Aktivität einen wertvollen Beitrag sowohl zur Heilung als auch zur Vorbeugung der wichtigsten Herz-Kreislauf- und Stoffwechselerkrankungen leisten kann. Gestützt durch zahlreiche Untersuchungen ist die günstige Wirkung insbesondere eines Ausdauertrainings heute unumstritten. Es existieren jedoch im Hinblick auf die Belastungsparameter Intensität und Umfang eines solchen Ausdauertrainings sehr unterschiedliche Empfehlungen.

In dieser Untersuchung soll eine Prüfung der Effektivität unterschiedlicher Belastungsintensitäten über 12 Wochen erfolgen. Ferner ist angesichts der Tatsache, dass viele Menschen in unserer Gesellschaft lediglich am Wochenende sportlich aktiv werden, die Analyse zweier Trainingsprogramme mit unterschiedlicher zeitlicher Verteilung (gehäuftes vs. gleichmäßig verteiltes Training) beabsichtigt. Es wird erwartet, dass anhand der Ergebnisse eine Optimierung des präventiven Ausdauertrainings erfolgen kann.

Ablauf des Forschungsvorhabens

Insgesamt sollen 60 Personen an dieser Studie teilnehmen, von denen per Zufallsprinzip jeweils 15 Personen drei unterschiedliche Ausdauertrainingsprogramme absolvieren bzw. als Kontrollgruppe (kein Training) untersucht werden (vgl. Abb.1). Trainingsprogramm A und B soll bei einer höheren Belastung über 2,5 Stunden/Woche in einem Zeitraum von 12 Wochen durchgeführt werden, Trainingsprogramm C bei einer niedrigeren Belastung jedoch verlängerter Trainingsdauer.

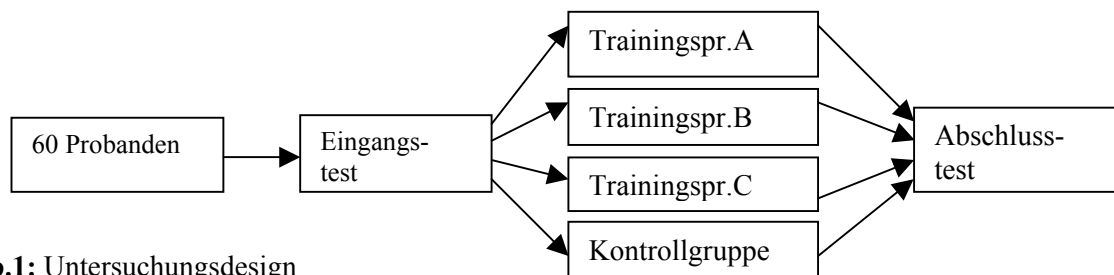


Abb.1: Untersuchungsdesign

Während mit dem Trainingsprogramm A der sog. "weekend-warrior" simuliert werden soll, der lediglich am Wochenende aktiv wird (gesamter Belastungsumfang innerhalb von 2 Tagen), wird im Verlauf des Trainingsprogramms B und C der Belastungsumfang gleichmäßig über die Woche verteilt (5 fl 30 min bzw. 5 fl 30 min + X).

Die Steuerung der Belastungsintensität der drei Trainingsprogramme wird anhand der Herzfrequenz (=Puls) erfolgen. Dadurch ist eine ständige Anpassung an den im Verlauf des Ausdauertrainings verbesserten Fitnesszustand gewährleistet. Vor und nach Abschluss des Programms wird eine umfassende **sportmedizinische Gesundheits- und Fitnessbeurteilung** durchgeführt, u.a. bestehend aus einem Belastungstest auf dem Laufband, um ein individuelles Training zu gewährleisten und die Effekte zu dokumentieren. Anschließend soll die Wirkungsweise und Wirksamkeit der drei Trainingsprogramme untereinander und mit der Kontrollgruppe verglichen werden.

Folgende für die Gesundheit wichtige Werte sollen erfasst werden:

1. HDL-/LDL-Cholesterin und Gesamtcholesterin
2. Blutdruck
3. Herzfrequenzvariabilität
4. Allgemeine Befindlichkeit (Fragebogen)
5. Körperfett/BMI/Körpergewicht

Darüber hinaus werden verschiedene Kennwerte der körperlichen Fitness gemessen.

Zeitlicher Aufwand: Reine Trainingszeit 2,5 Stunden pro Woche über einen Zeitraum von 3

Monaten. Für den Eingangs- und Abschlusstest müssen jeweils ca. 3 h einkalkuliert werden.

Kosten: Keine

7.3 Fragebogen zur Erfassung des psychischen und physischen Wohlbefindens

Fragebogen **Testanweisungen**

Wir möchten Sie nun bitten, einen ganz allgemeinen Fragebogen zum psychischen und körperlichen Befinden zu bearbeiten.

Lesen Sie sich bitte die Anweisungen und Fragestellungen sorgfältig durch und antworten Sie zügig, ohne lange nachzudenken.

Bei einigen Fragen stehen Ihnen mehrere Antwortmöglichkeiten zur Wahl, während Sie bei der abschließenden Adjektivliste nur mit ja oder nein antworten können. Wenn Ihnen die Antwort schwer fällt, kreuzen Sie bitte die Antwort an, die am ehesten zutrifft.

Bitte beantworten Sie den Fragebogen vollständig und lassen Sie keine Antwort aus!
Haben sie noch Fragen?

“Frankfurter Körperkonzeptskala zur Gesundheit und zum körperlichen Befinden“ (SGKB)

Name: _____ Datum der Untersuchung: _____

Uhrzeit: _____

Im Folgenden finden Sie Feststellungen oder Aussagen zur Gesundheit und zum körperlichen Befinden. Bitte lesen Sie jede Aussage sorgfältig durch und entscheiden Sie, in welchem Ausmaß die Aussage auf Sie zutrifft oder nicht zutrifft. Es gibt für Sie sechs verschiedene Antwortmöglichkeiten, drei zustimmende und drei ablehnende.

zustimmende Antworten	ablehnende Antworten
Die Aussage	Die Aussage
trifft sehr zu (1)	trifft eher nicht zu (4)
trifft zu (2)	trifft nicht zu (5)
trifft etwas zu (3)	trifft gar nicht zu (6)

Kreuzen Sie bitte das für Sie zutreffende Kästchen an. Bitte beantworten Sie alle Fragen.

Beispiel: Bisher war ich selten krank.

Wenn für Sie für die Aussage „Bisher war ich selten krank“ die Antwort „trifft zu“ am besten passt, kreuzen Sie bitte das Kästchen mit „trifft zu“ (2) an.

Haben Sie noch Fragen? –

Bitte antworten Sie zügig, und entscheiden Sie sich umgehend für eine Antwort. Bitte beantworten Sie alle Fragen.

	trifft sehr zu	trifft zu	trifft etwas zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu	trifft gar nicht zu
1. Zumeist fühle ich mich körperlich wohl.	1	2	3	4	5	6
2. Ich fühle mich oft so kraftlos.	1	2	3	4	5	6
3. Ich bin häufiger krank.	1	2	3	4	5	6
4. Ich stoße oft an meine körperlichen Grenzen.	1	2	3	4	5	6
5. Manchmal verlassen mich im entscheidenden Augenblick meine körperlichen Kräfte.	1	2	3	4	5	6
6. Ich fühle mich gesund.	1	2	3	4	5	6

“Frankfurter Körperkonzeptskala zur körperlichen Effizienz“ (SKEF) und “Frankfurter Selbstkonzeptskala zur Empfindlichkeit und Gestimmtheit“ (FSEG)

Nachfolgend finden Sie Feststellungen oder Aussagen zur körperlichen Beweglichkeit und Stärke. Bitte lesen Sie jede Aussage sorgfältig durch und entscheiden Sie, in welchem Ausmaß die Aussage auf sie zutrifft oder nicht zutrifft.

	trifft sehr zu	trifft zu	trifft etwas zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu	trifft gar nicht zu
1. Ich bin gut im Sport.	1	2	3	4	5	6
2. Ich bin motorisch sehr ungeschickt.	1	2	3	4	5	6
3. Ich empfinde mich als ausgesprochen steif.	1	2	3	4	5	6
4. Ich habe oft das Gefühl, daß mein Gang steif und hölzern wirkt.	1	2	3	4	5	6
5. Ich bin ein sportlicher Typ.	1	2	3	4	5	6
6. Ich bin stark.	1	2	3	4	5	6
7. Ich bin froh über meine körperliche Zähigkeit.	1	2	3	4	5	6
8. Ich treibe viel Sport.	1	2	3	4	5	6
9. Die Schwerfälligkeit meiner Bewegungen ärgert mich.	1	2	3	4	5	6
10. Ich bin allgemein sehr verkrampft.	1	2	3	4	5	6

Im Folgenden finden Sie 6 Aussagen, die sich auf Stimmung und Verhalten im Alltag beziehen. Bitte lesen Sie jede Aussage sorgfältig durch und entscheiden Sie, in welchem Maße die Aussage auf Sie zutrifft oder nicht zutrifft.

	trifft sehr zu	trifft zu	trifft etwas zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu	trifft gar nicht zu
1. Ich bin ein fröhlicher Mensch.	1	2	3	4	5	6
2. Ich bin sensibler, als es für mich gut ist.	1	2	3	4	5	6
3. Oft bin ich recht linkisch*.	1	2	3	4	5	6
4. Meine Gefühle sind leicht verletzbar.	1	2	3	4	5	6
5. Ich bin zu empfindlich.	1	2	3	4	5	6
6. Ich kann Anschuldigungen ertragen, ohne gleich aus der Haut zu fahren.	1	2	3	4	5	6

* linkisch, das heißt ungeschickt

Befindlichkeitsskalen

Dies ist eine Liste von Wörtern, mit denen man beschreiben kann, wie man sich fühlt. Bitte gehen Sie die Wörter der Liste nacheinander durch und entscheiden Sie zügig bei jedem Wort, ob es für Ihr allgemeines Befinden in der letzten Zeit zutrifft oder nicht.

Wichtig:

- Beurteilen Sie nur, wie Sie sich durchschnittlich in letzter Zeit (ca. während der letzten zwei Wochen) fühlten.
- Geben Sie die Antwort, die Ihnen unmittelbar in den Sinn kommt.
- Wenn Ihnen die Antwort schwerfällt, nennen Sie diejenige, die am ehesten zutrifft.
- Bitte kreuzen Sie bei jedem Wort eine Antwort an und lassen Sie keines der Wörter aus.

		ja	nein
1	gedrückt		
2	ruhelos		
3	unbeschwert		
4	betrübt		
5	nachdenklich		
6	frisch		
7	passiv		
8	mißmutig		
9	traurig		
10	beschaulich		
11	ärgerlich		
12	nach innen gekehrt		
13	angeregt		
14	locker		
15	nervös		
16	niedergeschlagen		
17	gelöst		
18	träumerisch		
19	angenehm		
20	verkrampft		
21	energielos		
22	lasch		
23	unglücklich		
24	sauer		
25	träge		
26	angespannt		
27	gereizt		

		ja	nein
28	ausgezeichnet		
29	entspannt		
30	voller Energie		
31	besinnlich		
32	ruhig		
33	tatkräftig		
34	aktiv		
35	kribbelig		
36	gut gelaunt		
37	mürrisch		
38	gelassen		
39	freudig		
40	lahm		

7.6 Kurzanleitung zur Bedienung der Pulsuhr

Ausdauertrainingsstudie Kurzanleitung zur Bedienung der Pulsuhr

➤ Das Display der Pulsuhr zeigt immer zwei Funktionen an.

Zum „Durchblättern“ der oberen Hauptfunktionen die obere rechte Taste und zum „Durchblättern“ der unteren Hauptfunktionen die untere rechte Taste mehrmals drücken. Während des Trainings sollte die Pulsuhr so eingestellt sein, dass oben die **Herzfrequenz** (Symbol: Herz) und unten die **Stoppuhr** (Symbol: STW) zur Kontrolle der Trainingszeit zu sehen ist.

➤ Nachdem Sie sich aufgewärmt und ein kurzes Dehnprogramm durchgeführt haben, aktivieren Sie bitte die **Herzfrequenzalarmfunktion**, indem Sie die obere linke Taste vier Sekunden gedrückt halten, bis oben rechts im Display das Alarmsignal erscheint. Sobald Sie sich außerhalb des anvisierten Trainingsbereichs befinden, wird nun Alarm gegeben. Kontrollieren Sie bitte trotzdem möglichst häufig die Herzfrequenzanzeige während des Trainings, um eine genaue Einhaltung der Trainingsvorgaben zu gewährleisten.

➤ Nach Aktivierung der Alarmfunktion starten Sie bitte die **Aufzeichnungsfunktion**, indem Sie die obere linke und die untere linke Taste gleichzeitig vier Sekunden lang gedrückt halten bis ein langer **Signalton** ertönt und im Display die blinkende Anzeige **“rec“** erscheint. Von diesem Moment an werden sämtliche Daten zur anschließenden Computeranalyse gespeichert.

➤ Aktivieren Sie nun noch die **Stoppuhr** durch ein kurzes Drücken der rechten seitlichen Taste und beginnen Sie mit dem Training.

➤ Nach Abschluß des Trainings beenden Sie zuerst die **Aufzeichnung**, indem Sie wiederum die obere und die untere linke Taste vier Sekunden lang gedrückt halten bis der **Signalton** ertönt und das Symbol **“rec“** nicht mehr auf dem Display zu sehen ist.

➤ Drücken Sie nun die obere linke Taste, um die **Herzfrequenzalarmfunktion** zu stoppen und die seitliche Taste rechts, um die **Stoppuhr** anzuhalten.

➤ Durch längeres Drücken der unteren linken Taste können Sie die Stoppuhr wieder auf Null zurückstellen.

Schließlich sollten Sie sich zur Kontrolle Ihrer abgeleisteten Trainingseinheit noch die Unterfunktionen zur Herzfrequenzanzeige durch mehrfaches kurzes Drücken der oberen linken Taste anschauen. Als erstes wird Ihnen hier die durchschnittliche Herzfrequenz (AV) angezeigt, die Sie bitte in Ihrem Trainingsprotokoll vermerken. Im weiteren wird Ihnen noch die maximal erreichte Herzfrequenz, der Erholungspuls (irrelevant), die Trainingszeit unterhalb des unteren Pulslimits, die Trainingszeit im anvisierten Pulsbereich und schließlich noch die Trainingszeit oberhalb des oberen Pulslimits angezeigt. Nun können sie die Pulsuhr bis zum nächsten Training in der Aufbewahrungstasche verstauen.

Wichtige Hinweise:

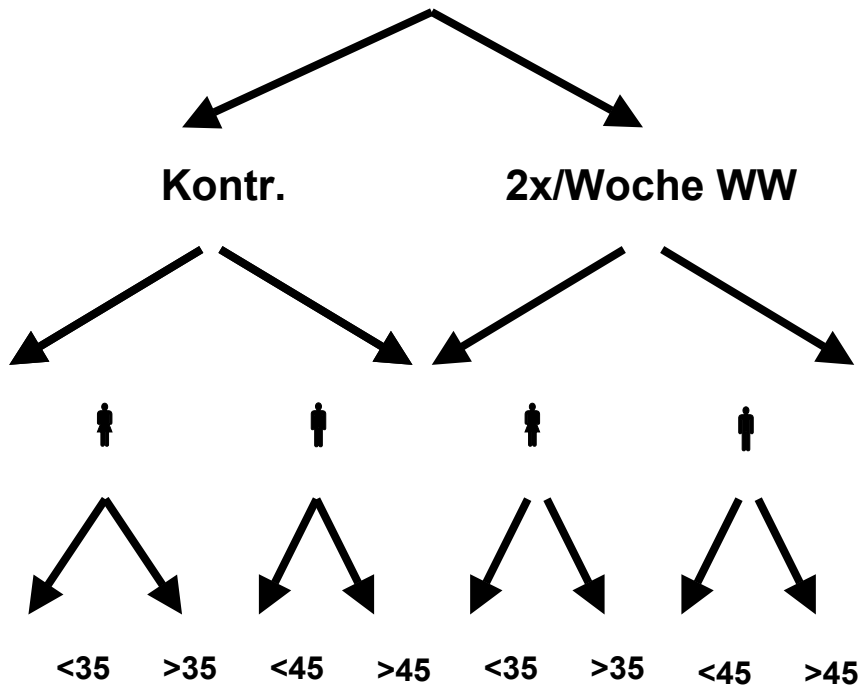
- Bitte nicht die individuell auf Sie abgestimmten Grundeinstellungen verändern.
- Bitte niemals die Uhr komplett ausstellen, da sonst gespeicherte Daten verloren gehen.

Bei Problemen bitte ich Sie in der beiliegenden ausführlichen Bedienungsanleitung der Pulsuhr nachzuschauen oder mich telefonisch zu benachrichtigen (Tel.: 0681/376203).

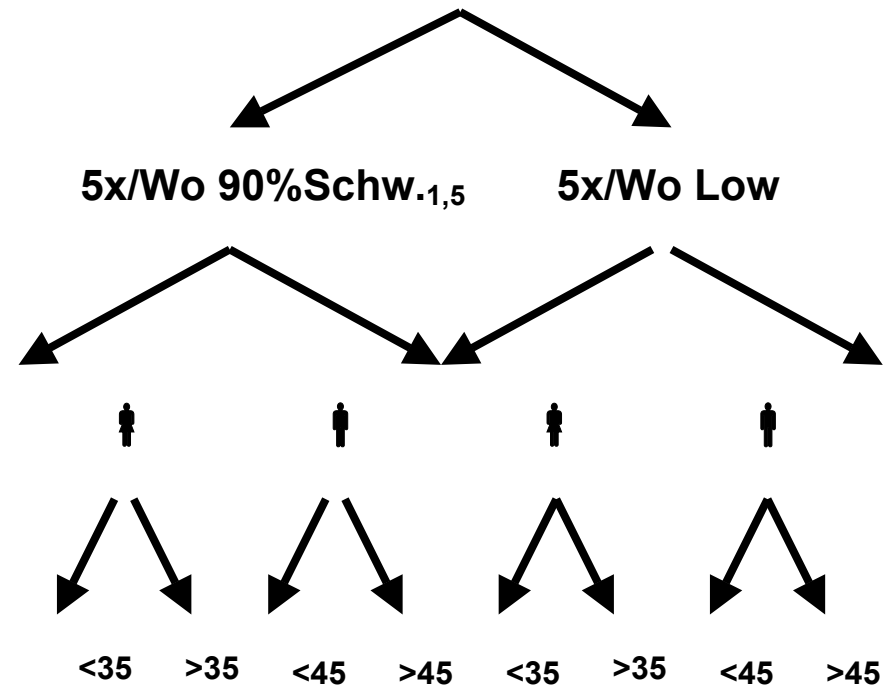
Viel Spaß beim Training!!! ☺

7.7 Randomisierungsliste

Teilnehmer



--	--	--	--	--	--	--	--



--	--	--	--	--	--	--	--

7.8 Beispiel einer Trainingsbeurteilung

Trainingsbeurteilung

Name: XXXXXXXXXXXX **Trainingsprog:** 12 Wochen ° 2 x 75 min/Woche 90%IAS

Belastungsprotokoll: Beginn 4 km/h, Stufendauer 3 min, Stufenhöhe 1 km/h, ab 6 km/h nur noch Steigerung der Neigung um 3 % alle 3 min bis zur Ausbelastung.

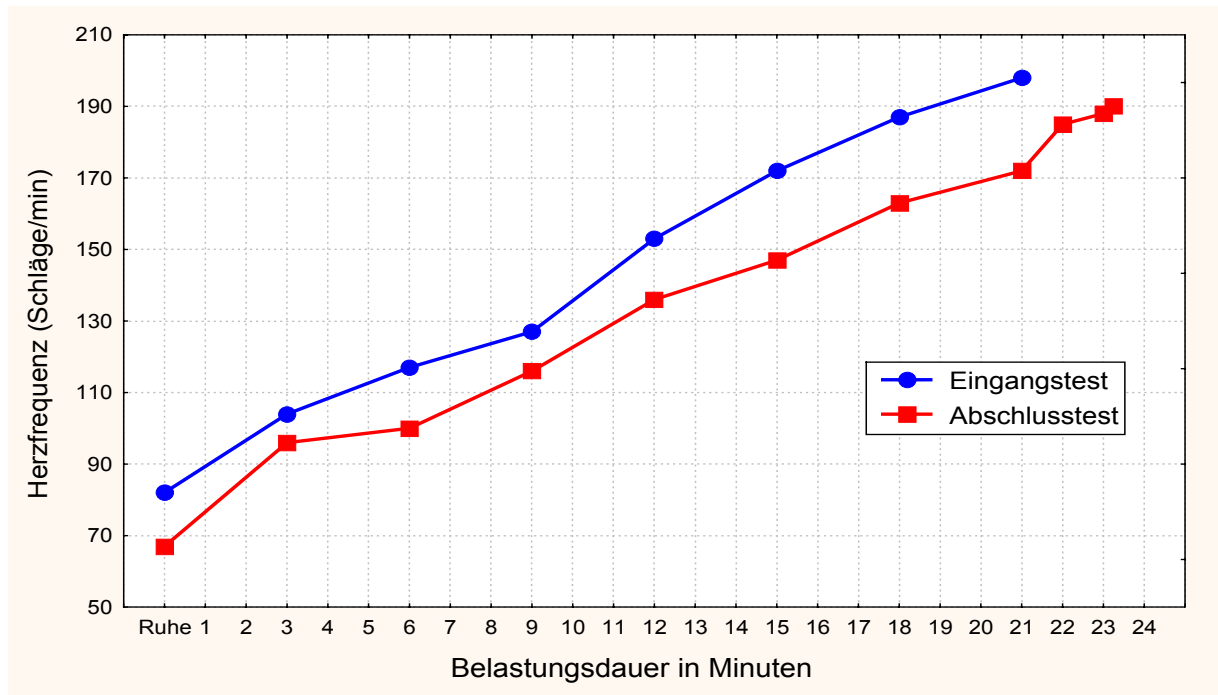


Abb1: Herzfrequenzleistungskurven der Belastungstests

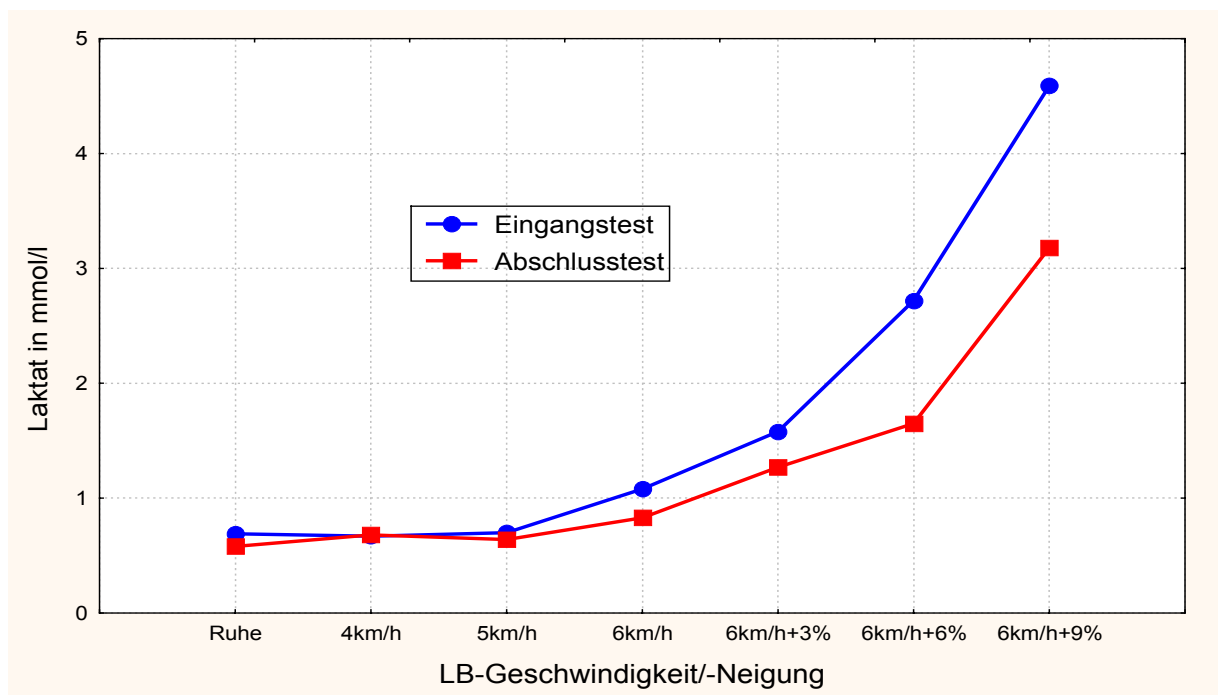


Abb.2: Laktatleistungskurven der Belastungstests

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

	Eingangstest: 10.10.03	Abschlusstest: 23.1.04
Körpergewicht	60,6 kg	63,8 kg
Körperfettanteil (Zange)	20,7 %	23,9 %
Körperfettanteil (Waage)	28,7 %	27,3 %
Maximale Sauerstoffaufnahme	1,98 l/min	2,37 l/min
Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht	32,65 ml/min	37,07 ml/min
Dauer des Belastungstests	21 min	23,25 min
Ruheherzfrequenz liegend	67	59
Ruheherzfrequenz stehend	82	67
Ruheblutdruck	120/85 mmHg	115/75 mmHg
Gesamtcholesterin	221 mg/dl	189 mg/dl
HDL-Cholesterin	73 mg/dl	71 mg/dl
LDL-Cholesterin	122 mg/dl	97 mg/dl
Harnsäure	3,6 mg/dl	4,0 mg/dl

Fazit: Gute Verbesserung sämtlicher leistungsphysiologischer Parameter (maximale Sauerstoffaufnahme, Ruheherzfrequenz, Belastungsdauer sowie Laktat- und Herzfrequenzleistungskurve). Uneinheitliches Bild bei den Gesundheitsindikatoren: Während sich das Cholesterinprofil deutlich und der Blutdruck leicht verbessert zeigt, ging das Körpergewicht und vmtl. auch der Körperfettanteil etwas hoch.

Insgesamt gute Trainingsfortschritte!

Besondere Hinweise:

Trainingsempfehlungen

Herzfrequenz IAS (individuelle anaerobe Schwelle): 153 Schläge/min

	<i>Herzfrequenzvorgabe</i>	<i>Trainingsdauer</i>
Intensive Trainingseinheit:	150-160 Schläge/min	30-45min
Extensive Trainingseinheit:	140-150 Schläge/min	45-90min
Regenerative Trainingseinheit:	<140 Schläge/min	30min

Bei Belastungen auf dem Fahrrad müssen die Vorgaben um 10-15 Schläge nach unten korrigiert werden !

Danke für die gute Mitarbeit und viel Erfolg beim weiteren Training !!!

7.9 Aushang

Institut für Sport- und Präventivmedizin
Universität des Saarlandes
66041 Saarbrücken
Kontakt: Markus Auracher XXXXXXXXX
Dr. Tim Meyer XXXXXXXXX

30.4.2003

Kostenlose Teilnahme an einem wissenschaftlich betreuten Ausdauertraining !!!

Voraussetzung: % Alter 30-60 Jahre
% während der letzten 6 Monate kein regelmäßiges Ausdauertraining

Leistungen:

- % Teilnahme an einem wissenschaftlich betreuten **dreimonatigen Ausdauertraining**
- % Umfassende **kostenlose** sportmedizinische Gesundheitsuntersuchung (Belastungs-EKG/ Kontrolle von gesundheitlichen Risikofaktoren etc.)
- % Trainingsempfehlungen für das Heimtraining

Inhalte der Studie: Verschiedene Ausdauertrainingsprogramme werden hinsichtlich ihrer Effektivität miteinander verglichen. Es wird zunächst ein Eingangstest und im Anschluss eines von drei Ausdauertrainingsprogrammen durchgeführt. Aufgrund der Ergebnisse eines Abschlusstests erfolgt dann die Beurteilung der verschiedenen Trainingsprogramme.

Interessenten melden sich bitte bei

**Markus Auracher
Tel.: XXXXXXXX**

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Markus Auracher, an Eides Statt, dass ich mich bisher noch keinem Promotionsverfahren unterzogen habe.

Zusätzlich erkläre ich, dass ich die vorliegende und mit meinem Namen gekennzeichnete Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt habe. Die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Quellen sind entsprechend kenntlich gemacht.

Weiterhin erkläre ich, dass ich bei der Auswahl und Auswertung von Material und bei der inhaltlich-materiellen Anfertigung der Arbeit nur von den genannten Personen in der jeweils angegebenen Weise Hilfe erfahren und insbesondere nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten in Anspruch genommen habe.

Saarbrücken, den 04.04.2007

(Markus Auracher)

Danksagungen

Zunächst danke ich Herrn Prof. Dr. W. Kindermann für die Möglichkeit, diese aufwändige experimentelle Untersuchung am Institut für Sport- und Präventivmedizin durchzuführen. Sehr hilfreich war für mich seine freundliche und konstruktive Begleitung der Studie.

Sehr herzlich möchte ich mich auch bei Herrn Prof. Dr. E. Emrich bedanken, der sich nach dem tragischen Tod von Prof. Dr. R. Daus ohne Zögern bereit erklärte, die Betreuung dieses Promotionsverfahrens zu übernehmen.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. Tim Meyer, der mir als mein langjähriger wissenschaftlicher Mentor die Möglichkeit bot, dieses Promotionsvorhaben durchzuführen und in allen Phasen, von der Ideengebung über die praktische Durchführung bis hin zur schriftlichen Verfassung der Dissertation, maßgeblich zum Gelingen der Studie beitrug. Die Zusammenarbeit mit Ihm gestaltete sich menschlich äußerst angenehm. Selbst an sehr arbeitsreichen Tagen und sogar während seiner Zeit bei der Fußballweltmeisterschaft war er stets ansprechbar, jederzeit bereit sich in kürzester Zeit in die jeweilige Problemstellung hineinzudenken und nie um eine wertvolle Hilfestellung verlegen.

Besonders hervorheben möchte ich auch die umfassende Unterstützung durch meine Lebensgefährtin Renate Wobken. Sie stärkte mir auch in kritischen Phasen den Rücken, konnte während der Ausführung der Studie häufig mit nützlichen Ratschlägen dienen, stellte sich selbstlos für Probetests zur Verfügung und half entscheidend mit, etwaige Fehler aus der Arbeit zu tilgen. Ohne ihren Beistand hätte ich vermutlich nicht die *Ausdauer* gehabt, diese *Trainingsstudie* bis zum Ende durchzuführen.

Meinen Eltern bin ich zu ganz besonderem Dank verpflichtet. Sie ermöglichten mir u.a. das Studium in Saarbrücken und zeigten auch während der Dissertation stets kritisch-tolerant Interesse am Verlauf und den Studienergebnissen.

Kathrin Heeg danke ich für die praktische Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchung und der Aufnahme der Daten.

Bedanken möchte ich mich weiterhin bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Sport- und Präventivmedizin, die mich während der praktischen Durchführung der Studie unterstützt haben. Besonders hervorheben möchte ich in diesem Zusammenhang Dr. med. Lars Lippelt und Dr. med. Jürgen Scharhag, die wiederholt und widerstandslos die medizinische Betreuung der Tests übernahmen.

Diese Promotion wurde mittels eines Stipendiums nach dem Landesgraduiertenförderungsgesetz durch die Universität des Saarlandes unterstützt. Ohne dieses Stipendium wäre die Durchführung dieser umfangreichen Untersuchung nicht möglich gewesen. Für die mir gewährte Förderung und das in mich gesetzte Vertrauen, möchte ich hiermit der Vergabekommission meinen Dank aussprechen.

Zuletzt möchte ich mich ganz herzlich bei den insgesamt 64 Probanden bedanken, die an dieser Studie teilnahmen. Sie haben diese Untersuchung erst ermöglicht und waren die tragende Säule des Projekts. Ohne ihre unentgeltliche Bereitschaft, sich den z.T. sicher sehr unangenehmen Untersuchungen und Tests zu unterziehen und über einen Zeitraum von drei Monaten bei jedem Wetter zu trainieren, wäre der Erfolg dieser Studie undenkbar gewesen. Nicht zuletzt seien die vielen inhaltlichen Impulse erwähnt, die von einzelnen Probanden ausgingen und in die Ausarbeitung der Dissertation mit einfließen.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Auracher, Markus
Straße	Schönfeldstr.5
Wohnort	76131 Karlsruhe
Telefon	0721/6649062
E-mail	markus.auracher@gmx.de
Geburtsdatum	12.04.1974
Geburtsort	Leonberg
Staatsangehörigkeit	Deutsch
Familienstand	Ledig

Zeit

Schule und Studium

1985 - 1993	Johannes-Kepler-Gymnasium Leonberg, Abschluß: Allgemeine Hochschulreife, Gesamtnote: 2,7 Leistungsfächer: Deutsch/Physik
WS 95/96	Aufnahme des Diplomstudiums der Sportwissenschaft in Saarbrücken
WS 96/97	Aufnahme des Studienfaches Biologie für das Lehramt an Real- und Gesamtschulen als Zweitfach
11.7.2001	Erlangung des Akademischen Grades eines Diplom-Sportlehrers mit dem Schwerpunkt Präventions- und Rehabilitationssport Gesamtnote: 1,4 (sehr gut) Diplomarbeit mit dem Thema: Der Einfluss einer Kohlenhydratsubstitution auf Energiebereitstellung und belastungsinduzierte Entzündungsreaktion während vierstündiger Dauerbelastungen Note: 1,0 (sehr gut)
22.5.2002	Erlangung des Ersten Staatsexamens für das Lehramt an Real- und Gesamtschulen Fächerkombination: Sport/Biologie Gesamtnote: 11,78 Punkte (gut)

Seit 1.4.2002 **Promotion am Sportwissenschaftlichen Institut der Universität des Saarlandes mit dem Thema:**
„Die Effektivität präventiver Ausdauertrainingsprogramme: Eine kontrollierte Längsschnittstudie zur Problematik der Weekend Warrior und der Intensitätswahl“ *gefördert durch ein Grundstipendium nach dem Landesgraduiertengesetz des Saarlandes*

Februar 2003 **Verleihung des Hermann Neuberger Wissenschaftspreises im Bereich Diplomarbeiten**

1.8.2004 - 31.1.2006 **Erlangung des Zweiten Staatsexamens für das Lehramt an Realschulen (Studienseminar Trier)**
Fächerkombination Biologie/Sport
Gesamtnote: 12,8 Punkte (1,73/gut)
Zusatzqualifikationen: Wahlpflichtfachbereich Mathematik/Naturwissenschaften; Zertifikat: Intel – Lehren für die Zukunft

1.2.2006 - 31.8.2006 Fertigstellung der Promotionsarbeit

11.12.2006 Disputation

Zeit Berufliche Aktivitäten

1.8.1999 - 31.12.1999 Anstellung als Studentische Hilfskraft am Institut für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes

21.5.01 - 15.4.02 Anstellung als Sporttherapeut an der Sonnenbergklinik in Saarbrücken

1.1.01 – 1.1.05 Leitung und Betreuung verschiedener Gesundheitssportgruppen im Gesundheitspark Saarpfalz

seit 20.9.06 Realschullehrer an der August-Renner-Realschule in Rastatt

Weitere Qualifikationen

Computerkenntnisse -MS Office
-Statistica

Sprachkenntnisse Gutes Englisch

Fachübungsleiter -Innere Organe -Orthopädie

Publikationsliste

- | Zeit | Kongressbeiträge (Sportärztekongress 01/03/05) |
|-------------|--|
| 2001 | <ol style="list-style-type: none">1. <i>Auracher M, Meyer T, Gabriel HHW, Kindermann W</i>: Effekt unterschiedlicher Kohlenhydratgaben auf Energiebereitstellung und leistungsphysiologische Parameter während 4-stündiger Belastungen. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 52 S (7-8) (2001), S91.2. <i>Meyer T, Gabriel HHW, Scharhag J, Auracher M, Kindermann W</i>: Einfluss einer abgestuften Gabe von Kohlenhydraten auf die Akute-Phase-Reaktion nach 4-stündigen Dauerbelastungen. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 52 S (7-8) (2001), S37.3. <i>Scharhag J, Gabriel HHW, Meyer T, Auracher M, Kindermann W</i>: Kohlenhydratinduzierte Veränderungen des oxidativen Bursts bei vierstündigen Fahrradbelastungen. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 52 (2001), S37. |
| 2003 | <ol style="list-style-type: none">4. Posterpräsentation
<i>Auracher M, Meyer T, Kindermann W</i>: Nichtinvasive Bestimmung hämodynamischer Parameter: Überprüfung einer spiroergometrischen Methode. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 54 S (7-8) (2003), S67. |
| 2005 | <ol style="list-style-type: none">5. Kurzvortrag
<i>Meyer T, Auracher M, Heeg K, Kindermann W</i>: Verteilung des Ausdauertrainings über eine Woche: regelmäßiger Jogger vs. „Weekend Warrior“- eine Längsschnittstudie. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 56 S (2005), S6. Posterpräsentation
<i>Meyer T, Auracher M, Heeg K, Kindermann W</i>: Ist eine betont niedrige Intensität im gesundheitssportlichen Ausdauertraining angemessen? Eine randomisierte, kontrollierte Längsschnittstudie. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 56 S (2005), S7. Posterpräsentation
<i>Schwarz L, Heeg K, Meyer T, Auracher M, Kindermann W, Urhausen A</i>: Einfluss eines 12-wöchigen Ausdauertrainings auf die Herzfrequenzvariabilität. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 56 S (2005), S |
| | Publikationen |
| 2002 | <ol style="list-style-type: none">8. <i>Meyer T, Gabriel HHW, Auracher M, Scharhag J, Kindermann W</i>: Metabolic profile of 4 hours cycling in the field with varying amounts of carbohydrate supply. Eur J Appl Physiol 87 (2002), 584-587. |
| 2003 | <ol style="list-style-type: none">9. <i>Scharhag J, Meyer T, Gabriel HHW, Auracher M, Kindermann W</i>: Mobilization and oxidative burst of neutrophils are influenced by carbohydrate supplementation during prolonged cycling in humans. Eur J Appl Physiol 88 (2003), 431-437. |
| 2005 | <ol style="list-style-type: none">10. <i>Auracher M, Meyer T, Kindermann W</i>: Abschätzung von Herzzeit- und Schlagvolumen unter ansteigender Belastung anhand des Verlaufs der Sauerstoffleistungskurve: Anwendung der nichtinvasiven Stringer-Methode an KHK-Patienten und Ausdauertrainierten. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 56 (2005), 171-177. |

2006

5. *Scharhag J, Meyer T, Auracher M, Gabriel H.H, Kindermann W*: Effects of graded carbohydrate supplementation on the immune response in cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28 (2006), 286-292.
6. *Meyer T, Auracher M, Heeg K, Urhausen A, Kindermann W*: Does cumulating endurance training at the weekend impair training effectiveness? *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation* 13 (2006), 578-584.
7. *Meyer T, Auracher M, Heeg K, Urhausen A, Kindermann W*: Effectiveness of low-intensity endurance training. *International Journal of Sports Medicine* 28 (2007) 33-39.

Saarbrücken, 05.04.07

(Markus Auracher)