

Einfluss von präventivem Krafttraining auf Ruheumsatz und anthropometrische Daten

**Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Philosophie
der Philosophischen Fakultät III
der Universität des Saarlandes**

**vorgelegt von
Arne Morsch
aus Neunkirchen/Saar**

Saarbrücken, 2014

Tag der Disputation:

21.07.2014

Dekan der Philosophischen Fakultät III:

Univ.-Prof. Dr. Roland Brünken

Berichtersteller:

1. Univ.-Prof. Dr. Tim Meyer
2. PD Dr. Michael Fröhlich

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	6
TABELLENVERZEICHNIS	8
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	11
1 ZUSAMMENFASSUNG	13
2 EINLEITUNG.....	17
2.1 Krafttraining aus leistungsphysiologischer Sicht.....	20
2.1.1 Definition und Erscheinungsformen der motorischen Fähigkeit Kraft	20
2.1.2 Einflussgrößen und Adaptationen	21
2.1.3 Trainingsmethoden.....	25
2.1.4 Belastungssteuerung im präventiven Krafttraining	27
2.2 Gesundheitsprotektive Wirkungen von Krafttraining	29
2.2.1 Körpergewichtsstabilisation und Körpergewichtsverlust	30
2.2.2 Veränderungen von Körperfettanteil und fettfreier Körpermasse	33
2.2.3 Veränderungen des Ruheumsatzes.....	36
2.3 Krafttraining und epidemiologisch bedeutsame Risikofaktoren	40
2.3.1 Abdominale Adipositas	41
2.3.2 Erhöhter Ruheblutdruck	42
2.3.3 Blutglukosespiegel	43
2.3.4 Blutlipidprofil.....	45
2.4 Untersuchungsziel und Operationalisierung	47
3 METHODIK	53
3.1 SAusE-Studiendesign.....	53
3.1.1 Allgemeiner Studienablauf.....	53
3.1.2 Einschluss/Ausschluss der Probanden.....	54
3.1.3 Zwischenausschlusskriterien.....	56
3.2 Ablauf und Messmethodik von Eingangs- und Abschlusstest.....	56
3.2.1 Ärztliche Untersuchung.....	57
3.2.2 Ruheparameter und Blutuntersuchung	57
3.2.3 Erfassung von anthropometrischen Daten.....	58
3.2.4 Laufband-Spiroergometrie	61

3.3	Ruheumsatzmessungen.....	63
3.4	Erfassung der Ernährungsgewohnheiten.....	66
3.5	Krafttests	67
3.5.1	1-RM	67
3.5.2	20-RM	67
3.5.3	10-RM	68
3.6	Kraftausdauertraining.....	68
3.6.1	Organisation und Ablauf	68
3.6.2	Übungsauswahl und Übungsdurchführung	70
3.6.3	Vorbereitungsphase.....	71
3.6.4	Treatment Kraftausdauer.....	72
3.6.5	Trainingskontrollen Kraftausdauer.....	74
3.7	Hypertrophietraining.....	74
3.7.1	Organisation und Ablauf Hypertrophietraining.....	74
3.7.2	Treatment Hypertrophietraining.....	75
3.7.3	Trainingskontrollen Hypertrophie.....	76
3.7.4	Körperumfangmessungen.....	77
3.8	Waiting-Control-Gruppe.....	77
3.9	Trainingscompliance.....	77
3.10	Kontrollbedingungen	78
3.11	Statistik	78
3.11.1	Stichprobengröße	78
3.11.2	Auswertung des Datenmaterials.....	79
4	ERGEBNISSE	82
4.1	Probanden.....	82
4.1.1	Dropouts und Compliance Kraftausdauergruppe	82
4.1.2	Dropouts und Compliance Kontrollgruppe	83
4.1.3	Probandendaten der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe.....	84
4.1.4	Dropouts, Probandendaten und Compliance der Hypertrophiegruppe.....	84
4.1.5	Dropouts, Probandendaten und Compliance der Waiting-Control-Gruppe.....	85
4.2	Effekte Kraftausdauertraining	86
4.2.1	Trainingsreiz Kraftausdauertraining.....	86
4.2.2	Leistungsphysiologische Effekte Kraftausdauertraining.....	88

4.2.3	Kraftausdauertraining und Ruheumsatz	91
4.2.4	Kraftausdauertraining und anthropometrische Daten.....	94
4.2.5	Kraftausdauertraining und ausgewählte Gesundheitsparameter.....	98
4.2.6	Ernährung.....	101
4.2.7	Einfluss von Alter, Geschlecht und Ausgangsniveau.....	101
4.3	Effekte Hypertrophietraining	103
4.3.1	Trainingsreiz Hypertrophietraining.....	103
4.3.2	Leistungsphysiologische Effekte Hypertrophietraining	105
4.3.3	Hypertrophietraining und Ruheumsatz	109
4.3.4	Hypertrophietraining und anthropometrische Daten	111
4.3.5	Hypertrophietraining und ausgewählte Gesundheitsparameter	113
4.4	Effekte Waiting-Control-Gruppe	114
4.4.1	Leistungsphysiologische Effekte in der Waiting-Control-Gruppe	114
4.4.2	Waiting-Control-Gruppe und Ruheumsatz.....	116
4.4.3	Waiting-Control-Gruppe und anthropometrische Daten	117
4.4.4	Waiting-Control-Gruppe und ausgewählte Gesundheitsparameter	118
5	DISKUSSION	120
5.1	Gruppenzusammensetzung und Trainingscompliance.....	121
5.2	Leistungsphysiologische Adaptationen	123
5.2.1	Wirkung des Trainingsreizes.....	123
5.2.2	Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit.....	125
5.2.3	Veränderungen der Kraftleistungsfähigkeit	127
5.3	Veränderung von Ruheumsatz und anthropometrischen Daten	130
5.3.1	Präventives Krafttraining und Ruheumsatz.....	130
5.3.2	Präventives Krafttraining und anthropometrische Daten	134
5.3.3	Mögliche Wirkmechanismen	137
5.4	Veränderungen weiterer Gesundheitsindikatoren.....	138
5.5	Methodenkritik	140
5.6	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	144
LITERATURVERZEICHNIS	147	
ERKLÄRUNG	167	

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Gesamtaufbau der SAusE-Studie.....	53
Abb. 2:	Teilnehmerrekrutierung bei der SAusE-Studie	55
Abb. 3:	Impedanzanalysegerät Nutriguard-MS, Data Input GmbH, Darmstadt	60
Abb. 4:	Platzierung der Hand- und Fußelektroden bei der B.I.A.....	61
Abb. 5:	Beispiel eines Laufbandtestprotokolls.....	62
Abb. 6:	Für die Laufband-Spiroergometrie vorbereiteter Proband.....	63
Abb. 7:	Ablauf und Datenaufnahme im Studienabschnitt Kraftausdauer	69
Abb. 8:	Formblatt für die Teilnehmer zur individuellen Geräteeinstellung	70
Abb. 9:	Ablauf Vorbereitungsphase.....	72
Abb. 10:	Ablauf und Datenaufnahme im Studienabschnitt Hypertrophie.....	75
Abb. 11:	Maximale und durchschnittliche prozentuale Trainingsintensität beim Kraftausdauertraining in Bezug zur HF_{max} ($MW \pm SD$; $n=8$).....	87
Abb. 12:	Beispiel eines Herzfrequenzprofils beim Kraftausdauertraining	88
Abb. 13:	Veränderung der maximalen Laufgeschwindigkeit bei der Laufbandergometrie ($MW \pm SD$)	89
Abb. 14:	Bewältigte Gesamtlast pro Trainingseinheit im Trainingsverlauf ($MW \pm SD$; $n=37$).....	91
Abb. 15:	Veränderungen des absoluten Ruheumsatzes von ET zu AT 1 ($MW \pm SD$).....	92
Abb. 16:	Veränderungen des Ruheumsatzes pro kg Körpergewicht von ET zu AT 1 ($MW \pm SD$)	93
Abb. 17:	Veränderungen des Ruheumsatzes pro kg fettfreie Körpermasse von ET zu AT 1 ($MW \pm SD$)	94
Abb. 18:	Veränderungen bei Körpergewicht (A), BMI (B) und WHR (C) von ET zu AT 1 ($MW \pm SD$). 95	
Abb. 19:	Veränderungen des prozentualen Körperfettanteils bei der Kalipermetrie (A) und der B.I.A.(B) von ET zu AT 1 ($MW \pm SD$).....	96
Abb. 20:	Veränderungen der fettfreien Körpermasse (A) und der Body-Cell-Mass (B) von ET zu AT 1 ($MW \pm SD$).....	97
Abb. 21:	Veränderungen der Ruheherzfrequenz von ET zu AT 1 ($MW \pm SD$)	98
Abb. 22:	Veränderungen des Ruheblutdrucks rechts von ET zu AT 1 ($MW \pm SD$).....	99
Abb. 23:	Veränderungen des Gesamtcholesterins von ET zu AT 1 ($MW \pm SD$).....	100
Abb. 24:	Veränderungen der Blutglukose von ET zu AT 1 ($MW \pm SD$).....	100

Abb. 25: Maximale und durchschnittliche prozentuale Trainingsintensität beim Hypertrophietraining (MW±SD; n=7).....	104
Abb. 26: Beispiel eines Herzfrequenzprofils beim Hypertrophietraining	105
Abb. 27: Veränderung der V_{max} im Interventionsverlauf (MW±SD)	105
Abb. 28: Veränderung der Maximalkraft im Interventionsverlauf (MW±SD)	106
Abb. 29: Veränderungen im 10-RM von AT 1 zu AT 2 (MW±SD, MIN-MAX; n=17)	107
Abb. 30: Gesamtlast pro Trainingseinheit – Vergleich von Kraftausdauer- und Hypertrophiemethode (MW±SD).....	109
Abb. 31: Absoluter Ruheumsatz der Hypertrophiegruppe im Interventionsverlauf (MW±SD)	110
Abb. 32: Ruheherzfrequenz der Hypertrophiegruppe im Interventionsverlauf (MW±SD)	113
Abb. 33: Absoluter Ruheumsatz in der Waiting-Control-Gruppe im Interventionsverlauf (MW±SD)	116

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Medizinische und sonstige Ausschlussgründe für die Studienteilnahme	55
Tab. 2:	Messpunkte bei der 10-Punkt-Kalipermetrie.....	59
Tab. 3:	Betreute und freie Trainingszeiten für das Krafttraining	69
Tab. 4:	Belastungsgefüge beim Kraftausdauertraining.....	73
Tab. 5:	Belastungsgefüge beim Hypertrophietraining.....	75
Tab. 6:	Dropouts und auswertbare Probanden der Kraftausdauergruppe.....	83
Tab. 7:	Dropouts und auswertbare Probanden der Kontrollgruppe	84
Tab. 8:	Gegenüberstellung der Probandendaten von Kraftausdauer- und Kontrollgruppe beim Eingangstest (MW±SD, MIN-MAX).....	84
Tab. 9:	Probandendaten der Hypertrophiegruppe beim Eingangstest (MW±SD, MIN-MAX; n=17)	85
Tab. 10:	Probandendaten der Waiting-Control-Gruppe beim Eingangstest (MW±SD, MIN-MAX; n=10)	86
Tab. 11:	Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden beim Kraftausdauertraining (MW±SD, MIN-MAX; n=8).....	86
Tab. 12:	Höchste (HF_{peak}) und durchschnittliche Trainingsherzfrequenzen (HF_{\emptyset}) beim Kraftausdauertraining (MW±SD, MIN-MAX; n=8).....	87
Tab. 13:	Ergebnisse im 1-RM beim ET und AT 1 (Mediane (Quartile), MIN-MAX; n=37)	89
Tab. 14:	Ergebnisse im 20-RM beim ET und AT 1 (Mediane (Quartile), MIN-MAX; n=37)	90
Tab. 15:	Trainingsintensität in Bezug zum 1-RM zu Trainingsbeginn und zum Ende der Kraftausdauerphase (MW±SD, MIN-MAX; n=37)	90
Tab. 16:	Bewältigte Gesamtlast pro Trainingseinheit zu den Testzeitpunkten TW 6, TW 12, TW 18 und TW 24 im Studienabschnitt Kraftausdauer (MW±SD, MIN-MAX, n=37).....	91
Tab. 17:	Raumtemperatur während der Ruheumsatzmessungen beim ET und AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)	92
Tab. 18:	Absoluter Ruheumsatz und Differenzen von ET zu AT 1 (MW±SD, MIN-MAX).....	92
Tab. 19:	Ruheumsatz pro kg Körpergewicht und Differenzen von ET zu AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)	93
Tab. 20:	Ruheumsatz pro kg fettfreie Körpermasse und Differenzen von ET zu AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)	94
Tab. 21:	Anthropometrische Daten der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe beim ET und AT 1 (MW±SD, MIN-MAX).....	95

Tab. 22:	Prozentualer Körperfettanteil (Kalipermetrie und B.I.A.) der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe beim ET und AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)	97
Tab. 23:	Fettfreie Körpermasse und Body-Cell-Mass der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe beim ET und AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)	98
Tab. 24:	Ruheblutdruck der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe beim ET und AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)	99
Tab. 25:	Kalorienaufnahme der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe beim ET und AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)	101
Tab. 26:	Ergebnisse der Kovarianzanalyse hinsichtlich der Hauptzielparameter	102
Tab. 27:	Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden beim Hypertrophietraining (MW±SD, MIN-MAX; n=8).....	103
Tab. 28:	Höchste (HF _{peak}) und durchschnittliche Trainingsherzfrequenzen (HF _Ø) beim Hypertrophietraining (MW±SD, MIN-MAX, n=7)	104
Tab. 29:	Trainingsintensität in Bezug zum 1-RM zu Beginn und zum Ende des Hypertrophietrainings (MW±SD, MIN-MAX; n=17)	108
Tab. 30:	Vergleich der pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast beim Kraftausdauer- und Hypertrophietraining in TW 6, TW 12, TW 18 und TW 24 (MW±SD, MIN-MAX; n=17)	108
Tab. 31:	Ergebnisse der Ruheumsatzmessungen im Zeitverlauf (MW±SD, MIN-MAX; n=17)	111
Tab. 32:	Entwicklung von Körpergewicht, BMI und WHR in der Hypertrophiegruppe (MW± SD, MIN-MAX; n=17)	111
Tab. 33:	Prozentualer Körperfettanteil und fettfreie Körpermasse bzw. Body-Cell-Mass der Hypertrophiegruppe zu den drei Messzeitpunkten (MW±SD, MIN-MAX; n=17)	112
Tab. 34:	Ergebnisse der Umfangmessungen beim Hypertrophietraining (MW±SD, MIN-MAX; n=17).....	112
Tab. 35:	Ruheblutdruck in der Hypertrophiegruppe zu den drei Messzeitpunkten (MW±SD, MIN-MAX; n=17)	113
Tab. 36:	Ergebnisse und Veränderungen der Waiting-Control-Gruppe im 1-RM (MW±SD, Mediane (Quartile), MIN-MAX; n=10)	114
Tab. 37:	Trainingsintensität in Bezug zum 1-RM in der Waiting-Control-Gruppe zu Beginn und zum Ende der Trainingsphase (MW±SD, MIN-MAX; n=10)	115
Tab. 38:	Pro Trainingseinheit bewältigte Gesamtlast in der Waiting-Control-Gruppe in TW 6, TW 12, TW 18 und TW 24 (MW±SD, MIN-MAX; n=10)	115
Tab. 39:	Ruheumsatz zu den drei Messzeitpunkten und Differenzen in der Waiting-Control-Gruppe (MW±SD, MIN-MAX; n=10).....	117

Tab. 40: Entwicklung von Körpergewicht, BMI und WHR in der Waiting-Control-Gruppe (MW \pm SD, MIN-MAX)	117
Tab. 41: Ergebnisse von Kalipermetrie und B.I.A. in der Waiting-Control-Gruppe (MW \pm SD, MIN-MAX)	118
Tab. 42: Ergebnisse der Ruheblutdruckmessungen in der Waiting-Control-Gruppe (MW \pm SD, MIN-MAX; n=10)	118

Abkürzungsverzeichnis

ACSM	American College of Sports Medicine
AHA	American Heart Association
ANCOVA	Kovarianzanalyse
ANOVA	Varianzanalyse
AT 1	Abschlusstest nach Ende des Kraftausdauertrainings
AT 2	Abschlusstest nach Ende des Hypertrophietrainings
BCM	Body-Cell-Mass; bei der B.I.A. errechnete Muskel- und Organzellmasse
B.I.A.	Bio-Impedanz-Analyse
BMI	Body-Mass-Index
CO ₂	Kohlendioxid
d	Tag
DHfPG	Deutsche Hochschule für Prävention und Gesundheitsmanagement
EDTA	Ethylendiamintetraacetat
EKG	Elektrokardiogramm
EPCs	endotheliale Progenitor-Zellen
EPOC	excess post-exercise oxygen consumption
ET	Eingangstest
F	Prüfgröße der ANOVA
FFM	fettfreie Körpermasse
FFQ	Food-Frequency-Questionnaire
HbA _{1c}	Glykohämoglobin, roter Blutfarbstoff, der an Glukose gebunden ist
HDL-Cholesterin	High-density-lipoprotein oder Lipoprotein hoher Dichte
HF	Herzfrequenz
HF _Ø	durchschnittliche Trainingsherzfrequenz beim Krafttraining
HF _{max}	maximale Herzfrequenz im Laufbandtest
HF _{peak}	höchste Trainingsherzfrequenz beim Krafttraining
HF _{Ruhe}	Ruheherzfrequenz
HYP	Hypertrophiegruppe
KA	Kraftausdauergruppe
kcal	Kilokalorien
KG	Körpergewicht
KO	Kontrollgruppe
LDL-Cholesterin	Low Density Lipoprotein oder Lipoprotein niederer Dichte
MAX	Maximum
MET	Metabolisches Äquivalent (englisch: metabolic equivalent of task)
MIN	Minimum
mmHg	Millimeter auf der Quecksilbersäule

Abkürzungsverzeichnis

MW	Mittelwert
MZ	Mesozyklus
n	Anzahl der Versuchspersonen
O ₂	Sauerstoff
RM	Repetition-maximum (Wiederholungsmaximum)
1-RM	maximale Last bei einer Wiederholung
10-RM	maximale Last bei zehn Wiederholungen
20-RM	maximale Last bei 20 Wiederholungen
RQ	respiratorischer Quotient
RR	Blutdruck
RR _{Ruhe}	Ruheblutdruck
RU	Ruheumsatz
SD	Standardabweichung
TE	Trainingseinheit
TW	Trainingswoche
U	Prüfgröße beim Mann-Whitney-Test
V _{max}	maximale Laufgeschwindigkeit
VCO ₂	Kohlendioxidabgabe
V _E	Atemminutenvolumen
VO ₂	Sauerstoffaufnahme
VO _{2max}	maximale Sauerstoffaufnahme
WAIT	Waiting-Control-Gruppe
WHR	Waist-to-hip-ratio
α	Signifikanzgrenze
1 - β	Teststärke
Δ	Differenz
♀	weiblich
♂	männlich

1 Zusammenfassung

Zum Körpergewichtsmanagement wie auch zur Reduktion kardiovaskulärer Risikofaktoren wird Krafttraining im Bereich der Primärprävention zunehmend als Belastungsform empfohlen. Eine Erhöhung des Ruheumsatzes sowie eine gesundheitsförderliche Veränderung der Körperkomposition werden neben einer Vorbeugung von gesundheitlichen Risiken für Herz-Kreislauf-Erkrankungen als wesentliche Effekte angenommen. Zur Wirksamkeit eines isolierten Krafttrainings liegen allerdings widersprüchliche Ergebnisse vor und viele Trainingsstudien überprüften bislang nur kurze Zeiträume.

Im Rahmen der SAusE-Studie (Saarländische Ausdauer-Etappe), einer randomisierten, kontrollierten Trainingsstudie, wurden daher die Effekte eines Kraftausdauertrainings auf den Ruheumsatz, anthropometrische Parameter und ausgewählte Gesundheitsindikatoren bei gesunden 30- bis 60-jährigen initial untrainierten Erwachsenen über einen Zeitraum von sechs Monaten untersucht. Darüber hinaus wurden in einem zweiten Studienabschnitt über ebenfalls sechs Monate die zusätzlichen Effekte eines intensitätsorientierten Krafttrainings nach der Hypertrophiemethode überprüft. Dieser Studienteil wurde ohne Kontrollgruppe durchgeführt. Mit einem Teil der Probanden der Kontrollgruppe wurde im Anschluss an die Kontrollphase ebenfalls ein Kraftausdauertraining durchgeführt (Waiting-Control-Gruppe [WAIT]).

Die Kraftausdauergruppe [KA] ($n=37$, ♀: $n=20$, ♂: $n=17$; Alter: 47 ± 7 Jahre; Body-Mass-Index [BMI]: $25,0\pm 3,4$ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; maximale Laufgeschwindigkeit [V_{\max}]: $10,0\pm 1,4$ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) absolvierte nach einer zweiwöchigen Vorbereitungsphase über 24 Wochen ein standardisiertes gerätgestütztes Kraftausdauertraining mit drei Trainingseinheiten pro Woche gemäß den Empfehlungen wissenschaftlicher Fachgesellschaften ohne zusätzliche Ernährungsmodifikation. Die Kontrollgruppe [KO] ($n=37$, ♀: $n=25$, ♂: $n=12$; Alter: 50 ± 7 Jahre; BMI: $24,2\pm 3,2$ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; V_{\max} : $10,1\pm 1,6$ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) behielt während der Kontrollphase ihre bisherige Alltagsaktivität bei. Im Rahmen der Eingangs- und Abschlussuntersuchungen wurden von allen Probanden die anthropometrischen Daten (Körpergewicht [KG], BMI, Waist-to-hip-ratio [WHR]), die Körperkomposition (10-Punkt-Kalipermetrie, Bio-Impedanz-Analyse [B.I.A.]), die Ruheherzfrequenz [HF_{Ruhe}] und der Ruheblutdruck [RR_{Ruhe}] sowie das Gesamtcholesterin und die Blutglukose erfasst. Der Ruheumsatz wurde unter standardisierten Bedingungen mittels indirekter Kalorimetrie (MetaMax II, Cortex Biophysik, Leipzig) gemessen. Veränderungen der Kraftleistungsfähigkeit wurden über das One-repetition-maximum [1-RM] und Mehrwiederholungstests ermittelt [RM].

Insgesamt 17 Probanden der Kraftausdauergruppe absolvierten ein anschließendes Hypertrophietraining (Hypertrophiegruppe [HYP]: n=17, ♀: n=7, ♂: n=10; Alter: 47±5 Jahre; BMI: 24,9±3,6 kg·m⁻²; V_{max}: 10,0±1,0 km·h⁻¹) über ebenfalls 24 Wochen mit drei Einheiten pro Woche. Zusätzlich konnten zehn vollständige Datensätze von den Teilnehmern der WAIT (n=10, ♀: n=6, ♂: n=4; Alter: 53±6 Jahre; BMI: 23,7±3,3 kg·m⁻²; V_{max}: 9,9±1,8 km·h⁻¹) generiert werden, die im Anschluss an die Kontrollphase ein Kraftausdauertraining absolvierten. Nach diesen Studienabschnitten wurden Ruheumsatz, anthropometrische Daten, Körperkomposition und Kraft wie oben beschrieben erfasst.

Im ersten Studienabschnitt steigerten sich in der KA sowohl die Maximalkraft (1-RM: Beinpresse +16±7 %, Brustpresse +25±9 %) als auch die Kraftausdauer (20-RM: Beinpresse +29±12 %, Brustpresse +28±13 %) signifikant (jeweils p<0,001). Der absolute Ruheumsatz steigerte sich in der KA (von 1671±356 auf 1843±385 kcal·d⁻¹) im Vergleich zur KO (von 1587±285 auf 1602±294 kcal·d⁻¹) signifikant (p<0,01). Die entsprechenden Veränderungen waren nach Adjustierung auf Ausgangsniveau, Alter und Geschlecht weiterhin signifikant (p<0,01). In Bezug zum Körpergewicht (KA von 22,4±3,2 auf 24,9±3,6 kcal·d⁻¹·kg KG⁻¹; KO von 23,1±3,6 auf 23,2±3,6 kcal·d⁻¹·kg KG⁻¹; p<0,01) und zur fettfreien Körpermasse (KA von 29,1±4,0 auf 31,9±4,4 kcal·d⁻¹·kg FFM⁻¹; KO von 30,3±4,6 auf 30,2±4,1 kcal·d⁻¹·kg FFM⁻¹; p<0,01) waren die Ruheumsatzsteigerungen der KA im Vergleich zur KO ebenfalls signifikant. Keine trainingsbedingten Veränderungen im Gruppenvergleich konnten bei Körpergewicht (KA von 75,2±14,3 auf 74,7±14,7 kg; KO von 69,7±13,6 auf 69,8±13,6 kg; p=0,29), BMI (KA von 25,0±3,4 auf 24,8±3,5 kg·m⁻¹; KO von 24,2±3,2 auf 24,3±3,2 kg·m⁻¹; p=0,09) und WHR (KA von 0,84±0,09 auf 0,85±0,09; KO von 0,79±0,10 auf 0,81±0,10; p=0,07) festgestellt werden. Eine Veränderung des Körperfettanteils konnte weder bei der Kalipermetrie (KA von 23,0±4,8 auf 21,9±4,9 %; KO von 23,9±5,1 auf 23,2±4,6 %; p=0,54) noch bei der B.I.A. (KA von 25,9±5,9 auf 25,1±6,5 %; KO von 28,0±5,4 auf 27,7±6,3 %; p=0,37) gemessen werden. Auch die Muskelmasse blieb jeweils unverändert (FFM Kalipermetrie: KA von 57,7±10,7 auf 58,1±10,6 kg; KO von 52,9±9,8 auf 53,5±10,1 kg; p=0,59 / Body-Cell-Mass B.I.A.: 29,0±7,1 auf 29,3±7,0 kg; KO von 25,6±6,8 auf 25,8±6,7 kg; p=0,81). Bei HF_{Ruhe} (KA von 68±10 auf 62±9 min⁻¹; KO von 63±11 auf 60±10 min⁻¹; p=0,13), RR_{Ruhe} (systolisch: KA von 127±13 auf 124±11 mmHg; KO von 127±17 auf 128±19 mmHg; p=0,10 / diastolisch: KA von 83±8 auf 81±7 mmHg; KO von 82±10 auf 82±10 mmHg; p=0,58), Gesamtcholesterin (KA von 207±44 auf 211±43 mg·dl⁻¹; KO von 215±38 auf 220±33 mg·dl⁻¹; p=0,87) und Blutglukose (KA von 96±8 auf 94±7 mg·dl⁻¹; KO von 96±9 auf 95±10 mg·dl⁻¹; p=0,69) zeigten sich im Gruppenvergleich keine interventionsbedingten Veränderungen.

Das im zweiten Studienabschnitt durchgeführte Hypertrophietraining führte zu einer weiteren signifikanten Steigerung des 1-RM (Beinpresse: $+8\pm 7\%$, $p<0,001$; Brustpresse: $+9\pm 7\%$, $p<0,01$), wie auch zu einer Verbesserung der Kraftleistung im 10-RM (Beinpresse: $+13\pm 8\%$, $p<0,001$; Brustpresse: $+8\pm 8\%$, $p<0,001$). In HYP stieg der mittlere absolute Ruheumsatz im Zeitverlauf signifikant ($p<0,001$) von $1677\pm 435\text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$ beim Eingangstest (ET) auf $1850\pm 486\text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$ nach Abschluss des Kraftausdauertrainings (AT 1) und nochmals auf $1968\pm 388\text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$ nach Abschluss des Hypertrophietrainings (AT 2). Hierbei war die Veränderung von ET zu AT 1 signifikant ($p=0,03$), die von AT 1 zu AT 2 nicht mehr ($p=0,16$). Keine Veränderungen über das komplette Trainingsjahr hinweg konnten bei KG (ET: $77,7\pm 16,1\text{ kg}$, AT 1: $77,3\pm 15,5\text{ kg}$, AT 2: $77,7\pm 16,3\text{ kg}$; $p=0,73$), BMI (ET: $24,9\pm 3,6\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$, AT 1: $24,7\pm 3,4\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$, AT 2: $24,9\pm 3,6\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$, $p=0,47$) und WHR (ET: $0,86\pm 0,10$, AT 1: $0,87\pm 0,09$, AT 2: $0,85\pm 0,09$; $p=0,24$) gemessen werden. Beim kalipermetrisch ermittelten Körperfettanteil (ET: $22,8\pm 3,8\%$, AT 1: $21,8\pm 3,9\%$, AT 2: $20,4\pm 3,8\%$; $p<0,001$) wie auch bei der fettfreien Körpermasse (ET: $59,9\pm 12,3\text{ kg}$, AT 1: $60,4\pm 12,0\text{ kg}$, AT 2: $61,6\pm 12,2\text{ kg}$; $p<0,001$) waren die Veränderungen im Zeitverlauf signifikant, wobei post-hoc jeweils nur der Effekt von AT 1 zu AT 2 signifikant war (Körperfettanteil: $p=0,01$; FFM: $p<0,01$). Die B.I.A. konnte diese Ergebnisse allerdings nicht bestätigen (Körperfettanteil ET: $24,7\pm 5,8\%$, AT 1: $24,5\pm 5,8\%$, AT 2: $24,9\pm 5,3\%$; $p=0,57$; Body-Cell-Mass ET: $31,2\pm 7,3\%$, AT 1: $31,4\pm 7,3\%$, AT 2: $31,8\pm 7,3\%$; $p=0,10$). Bei den ausgewählten Gesundheitsindikatoren konnte lediglich bei der HF_{Ruhe} (ET: $66\pm 10\text{ min}^{-1}$, AT 1: $59\pm 6\text{ min}^{-1}$, AT 2: $58\pm 6\text{ min}^{-1}$; $p<0,001$) ein signifikanter Zeiteffekt im Interventionsverlauf gemessen werden. Post-hoc war die Veränderung ET zu AT 1 signifikant ($p<0,01$), die von AT 1 zu AT 2 nicht mehr ($p=0,93$). Keine Veränderungen zeigten sich bei RR_{Ruhe} (systolisch ET: 129 ± 15 , AT 1: 126 ± 11 , AT 2: $128\pm 10\text{ mmHg}$; $p=0,37$ / diastolisch ET: 85 ± 8 , AT 1: 83 ± 7 , AT 2: $84\pm 9\text{ mmHg}$; $p=0,40$), Gesamtcholesterin (ET: 216 ± 47 , AT 1: 215 ± 40 , AT 2: $212\pm 51\text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$; $p=0,89$) und Blutglukose (ET: 95 ± 9 , AT 1: 97 ± 10 , AT 2: $96\pm 10\text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$; $p=0,30$).

Anhand der zusätzlichen Datensätze der WAIT konnten die Befunde der KA erhärtet werden. Hier kam es ebenfalls zu signifikanten Kraftsteigerungen im 1-RM und 20-RM (jeweils $p<0,001$). Während der Ruheumsatz von Beginn ($1462\pm 281\text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$) bis zum Abschluss der Kontrollphase ($1486\pm 360\text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$) nahezu unverändert blieb ($p=0,96$), stieg er nach dem Kraftausdauertraining ($1723\pm 282\text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$) signifikant an ($p=0,03$). Bei den anthropometrischen Daten und den ausgewählten Gesundheitsparametern zeigten sich wiederum keine interventionsbedingten Veränderungen.

Neben einer Verbesserung von Maximalkraft und Krafftausdauer führte das regelmäßige gesundheitssportliche Krafttraining bei initial untrainierten Frauen und Männern zu einer Erhöhung des Ruheumsatzes und kann damit als potenziell günstiger Faktor für eine langfristige Gewichtsstabilisation im Erwachsenenalter angesehen werden. Keine signifikanten Veränderungen konnten hingegen bei anthropometrischen Parametern und ausgewählten Gesundheitsindikatoren aufgezeigt werden. Die Ruheumsatzerhöhung war auch in Bezug zum Körpergewicht und zur fettfreien Körpermasse signifikant und somit nicht vordergründig auf eine Zunahme an Muskelmasse zurückzuführen. Dass für trainingsbedingte Anstiege des Ruheumsatzes hauptsächlich eine Veränderung der Körperkomposition verantwortlich ist, kann nicht bestätigt werden. Vielmehr stützen die Befunde die Theorie, dass die erhöhten Energieanforderungen vordergründig auf eine gesteigerte Stoffwechselaktivität der Muskulatur zurückzuführen sind. Der genaue Mechanismus der Ruheumsatzerhöhung kann anhand der vorliegenden Daten nicht beantwortet werden und sollte in zukünftigen Studien weiter erforscht werden.

Aufgrund einer vergleichsweise hohen Probandenzahl und langen Interventionsdauer liefert die durchgeführte Studie eine wichtige Datenbasis für die methodische Ausgestaltung eines gesundheitssportlichen Krafttrainings und zur Verbesserung der empirischen Beweislage der damit erzielbaren Effekte.

2 Einleitung

Das Leben der Menschen in den industrialisierten Staaten hat sich im Laufe des letzten Jahrhunderts dramatisch verändert. Die Tatsache, dass körperlich anstrengende Aktivitäten aus dem Alltag der meisten Menschen weitgehend verschwunden sind, hat nicht zu einem gesünderen Leben, sondern zu einer massiven Zunahme zivilisatorisch bedingter Erkrankungen geführt (Danaei et al., 2009; Dunstan, Thorp & Healy, 2011; Lee et al., 2012). Chronische Erkrankungen, und hierbei insbesondere die Herz-Kreislauf-Erkrankungen, bilden das größte Gesundheitsproblem, dem sich die westlichen Länder gegenübersehen, und die diesbezügliche Krankheitslast steigt rapide (Bouchard, Blair & Haskell, 2012). Wenngleich in den vergangenen Jahren ein Rückgang der Mortalitätsraten aufgrund von Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems zu verzeichnen ist, sind diese in Deutschland nach wie vor die dominierende Todesursache (Robert Koch-Institut [RKI], 2011).

Die fünf weltweit führenden Risikofaktoren für eine erhöhte Sterblichkeit sind Bluthochdruck, Tabakkonsum, erhöhte Blutzuckerwerte, Übergewicht und Adipositas sowie körperliche Inaktivität (World Health Organization [WHO], 2009). Diese wenigen Faktoren determinieren eine enorme Krankheitslast und erhöhen das Risiko einer kardiovaskulären Erkrankung (Ebrahim et al., 1996). So zählt ein erhöhter Ruheblutdruck zu den Hauptrisikofaktoren für eine koronare Herzerkrankung bzw. einen Schlaganfall (Dishman, Heath & Lee, 2013; Pierdomenico, 2010; Pringle et al., 2003). Auch eine erhöhte Ruheherzfrequenz (Cooney et al., 2010) sowie eine reduzierte aerobe Kapazität (Bouchard et al., 2012; Wisloff et al., 2005) sind als Prädiktoren für die Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen anzusehen. Erhöhte Blutfettwerte gelten ebenfalls als primäre Risikofaktoren für die Entwicklung von koronaren Herzerkrankungen und Atherosklerose (Dishman et al., 2013; Preiss & Sattar, 2009). Die Verbreitung von Übergewicht und Adipositas in den entwickelten Ländern hat nahezu einen Pandemie-Status erreicht (Dishman et al., 2013). Sie sind sowohl als unabhängige Risikofaktoren zu betrachten, als auch mit weiteren Gesundheitsrisiken wie einer eingeschränkten Insulinsensitivität assoziiert (Wisloff et al., 2005). Das gemeinsame Auftreten von abdomineller Fettleibigkeit, Bluthochdruck, erhöhten Blutfettwerten und gestörter Glukosetoleranz wird als Metabolisches Syndrom bezeichnet, das sich zu einem zentralen Krankheitsbild der Industriestaaten entwickelt hat und in allererster Linie auf eine hyperkalorische Ernährung sowie einen Mangel an körperlicher Aktivität zurückzuführen ist (Dishman et al., 2013).

Durch die Verschiebung des Morbiditätsspektrums in Richtung der chronischen Zivilisationserkrankungen kommt der Prävention eine zunehmende Bedeutung zu. Entstehung und Verlauf dieser Gesundheitsrisiken sind maßgeblich von individuellen Verhaltens- und Konsum-

mustern beeinflusst (Sachverständigenrat zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen, 2006). Bewegungsmangel und eine unzureichende körperliche Leistungsfähigkeit müssen als zentrale Risikofaktoren angesehen werden (Dishman et al., 2013). Eine angemessene körperliche Aktivität führt bei einem gesunden Organismus zu funktionellen wie morphologischen Adaptationen. Ein Mangel an Bewegungsreizen bedingt hingegen eine chronische organismische Unterforderung und geht mit vielfältigen negativen Konsequenzen für die verschiedenen Organsysteme einher (Israel, 1995, S. 33). Betrachtet man das zunehmende Ausmaß der chronischen Erkrankungen, lässt sich feststellen, dass das Potenzial präventiver Interventionen zur Vermeidung dieser Risiken bzw. zur Förderung der Gesundheitsressourcen derzeit nicht hinreichend genutzt wird (Bouchard et al., 2012; Stamatakis & Weiler, 2010).

Es ist wissenschaftlich belegt, dass eine ausreichende körperliche Aktivität Risikofaktoren für die Entwicklung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen positiv beeinflusst (Bouchard et al., 2012; Ekblom-Bak, Ekblom, Vikström, Faire & Hellénus, 2014; Moore et al., 2012) und die Sterblichkeit aufgrund dieser Erkrankungen reduziert (Blair et al., 1995; Erikssen et al., 1998; Moore et al., 2012; Samitz, Egger & Zwahlen, 2011). Solche Erkenntnisse stammen allerdings meist aus Beobachtungsstudien, die die Lebensverlängerung und die kardioprotektive Wirkung untersucht haben. Auch die aktuellen Empfehlungen der American Heart Association (AHA) und des American College of Sports Medicine (ACSM) zur Dosierung von körperlicher Aktivität stützen sich weitgehend auf Beobachtungsstudien (American College of Sports Medicine [ACSM], 2009, 2011; Haskell et al., 2007; Williams et al., 2007). Randomisierte kontrollierte Interventionsstudien, die die Vergleichbarkeit von Interventions- und Kontrollgruppe sicherstellen, finden sich hingegen selten (Dishman et al., 2013). Der Grund hierfür ist offensichtlich in diversen methodischen Herausforderungen eines solchen Untersuchungsdesigns zu suchen. Interventionsstudien mit harten Endpunkten erfordern eine sehr lange Laufzeit, was praktisch kaum umsetzbar ist. Auch müssen potenzielle Teilnehmer damit rechnen, der Kontrollgruppe zugeteilt zu werden und nicht die gewünschte Intervention zu erhalten, wodurch die Motivation zur Teilnahme sinken kann. Die Rekrutierung von Teilnehmern für lang angelegte Trainingsstudien ist daher oft schwierig, weshalb für die Durchführung meist selektierte Stichproben herangezogen werden. Dies wiederum reduziert die externe Validität und Verallgemeinerbarkeit der Studienergebnisse (Dishman et al., 2013). Intentionenstudien im Sportbereich sind im Vergleich zu pharmakologischen Studien mit einem aufwändigeren Design verbunden. Hier sind sportmedizinische Untersuchungsverfahren und ergometrische Testungen für ein qualitätsgesichertes methodisches Vorgehen kaum verzichtbar, und der mit einem regelmäßigen Training verbundene Aufwand erschwert die Rekrutierung und Compliance der Probanden.

Dem großen Aufwand entsprechend, können viele Studien nur kleine Probandenzahlen aufweisen. Dadurch, dass die genannten Empfehlungen nicht hinreichend durch vergleichende Interventionen innerhalb identischer Klientele gestützt sind, erreichen diese auch kaum den erwünschten Evidenzgrad (Wenger et al., 1995). Die grundsätzliche Wirksamkeit körperlicher Aktivität ist zwar belegt, aber weder die genaue Dosierung noch das Ausmaß gesundheitlicher Effekte bei unterschiedlichen Belastungsformen sind ausreichend untersucht.

Aufgrund einer fortschreitenden Reduzierung der energetischen Anforderungen im Alltag scheinen präventive Trainingsprogramme gut geeignet zu sein, um die individuellen Gesundheitsressourcen zu verbessern. Hierbei handelt es sich um geplante, strukturierte und regelmäßige Aktivitäten mit dem Ziel der Förderung und Erhaltung der körperlichen Leistungsfähigkeit (Cavill, Kahlmeier & Racioppi, 2006). Da körperliches Training in unterschiedlichen Formen, Intensitäten und Umfängen erfolgen kann, sollten im Rahmen einer kontrollierten Trainingsstudie, der sogenannten SAusE-Studie (Saarländische Ausdauer-Etappe), die präventiven Effekte eines Ausdauertrainings nach der Dauer- und der Intervallmethode sowie eines Krafttrainings untersucht werden, um den gesundheitlichen Nutzen dieser Trainingsformen einschätzen und einander gegenüberstellen zu können. Es war zu erwarten, dass die erzielbaren Effekte von der jeweiligen Art der Belastung abhängig sind und physiologische Anpassungen an eine bestimmte körperliche Aktivität sich in spezifischen Veränderungen einzelner Komponenten der körperlichen Leistungsfähigkeit und Gesundheit niederschlagen (Dishman et al., 2013, S. 70).

Die vorliegende Untersuchung war Teil der SAusE-Studie, einer randomisierten, kontrollierten und präventivmedizinisch ausgerichteten Trainingsstudie mit vier unabhängigen Stichproben. Hierbei wurden die leistungsphysiologischen und gesundheitlichen Effekte eines präventiven Krafttrainings über insgesamt ein komplettes Trainingsjahr untersucht. Nachdem Gesundheitssport lange Zeit schwerpunktmäßig auf das klassische Ausdauertraining ausgerichtet war, wird Krafttraining zunehmend als Belastungsform empfohlen (ACSM, 2011). Für die Aufwertung eines Krafttrainings im Bereich der Prävention sprechen Befunde zu der möglichen gesundheitlichen Wirkungsbreite (Westcott, 2012), die weit über eine bloße Steigerung der Kraftleistungsfähigkeit hinausgehen. Aus gesundheitlicher Perspektive wird vor allem die positive Veränderung der Körperkomposition im Sinne des Erhalts bzw. der Zunahme von Muskelmasse und der Reduktion des Körperfettanteils sowie einer damit verbundenen Erhöhung des Ruheumsatzes (RU) diskutiert (Speakman & Selman, 2003; Treserras & Balady, 2009). Die Überbetonung des Ausdauertrainings im Bereich der sportmedizinischen und sportwissenschaftlichen Forschung hat dazu geführt, dass der gegenwärtige Kenntnisstand zum Krafttraining in der Primärprävention lückenhaft ist. Daher werden drin-

gend weitere Forschungsarbeiten zur Bedeutung eines primärpräventiv ausgerichteten Krafttrainings für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit benötigt (Zimmermann, 2002, S. 19). Übergeordnetes Studienziel war es daher, die Auswirkungen eines präventiven Krafttrainings auf den Ruheumsatz, anthropometrische Daten und ausgewählte Gesundheitsparameter innerhalb des ersten Trainingsjahres bei gesunden untrainierten Erwachsenen zu untersuchen.

2.1 Krafttraining aus leistungsphysiologischer Sicht

Die für jegliche Bewegung zuständige Willkürmuskulatur ist das mit Abstand massigste Organ des menschlichen Körpers und beträgt beim Mann etwa 40 und bei der Frau etwa 35 Prozent des Gesamtkörpergewichtes (Israel, 1995, S. 5). Für jegliche körperliche Tätigkeiten im Alltag wie auch im Sport kommt der motorischen Fähigkeit Kraft eine zentrale Bedeutung zu. Im Folgenden soll zunächst definiert werden, was unter Kraft im trainingswissenschaftlichen Sinne zu verstehen ist und von welchen leistungsdeterminierenden Faktoren die Realisierung von Kraftleistungen abhängig ist.

2.1.1 Definition und Erscheinungsformen der motorischen Fähigkeit Kraft

Im biologischen Sinne kann Kraft definiert werden als die Fähigkeit des Nerv-Muskel-Systems durch Muskeltätigkeit Widerstände zu überwinden (konzentrische Arbeitsweise), ihnen entgegenzuwirken (exzentrische Arbeitsweise) bzw. sie zu halten (isometrische Arbeitsweise) (Baechle & Earle, 2008, S. 78; Ehlenz, Grosser & Zimmermann, 2003, S. 11, Ehlenz et al., 2003, S. 11; Fleck & Kraemer, 2004, S. 4). Im trainingswissenschaftlichen Sinne wird erst dann von Kraftleistungsfähigkeit gesprochen, wenn Kräfteinsätze realisiert werden, die größer sind als 30 Prozent der individuell realisierbaren Maximalkraft (Martin, Lehnertz & Carl, 2001, S. 102; Schmidtbleicher, 1989, S. 12). Durch die Angabe der Schwelle von einem Drittel des individuellen Leistungsvermögens ergibt sich eine Differenzierungsmöglichkeit zwischen Kraft- und Ausdauerleistungen.

In der Trainingspraxis hat sich eine Unterteilung der Erscheinungsformen der Kraft in Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer bewährt. Diese Subkategorien sind jedoch nicht gleichrangig auf einer Ebene einzuordnen, sondern die Maximalkraft bildet die Basisfähigkeit für Schnellkraft und Kraftausdauer. Dies bedeutet, dass eine Verbesserung der Maximalkraft in der Regel mit höheren Schnellkraft- und Kraftausdauerleistungen einhergeht (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 224). Als Maximalkraft bezeichnet man die höchstmögliche Kraft, die das Nerv-Muskelsystem bei maximaler willkürlicher Kontraktion auszuüben vermag (Mar-

tin et al., 2001, S. 103). Unter Kraftausdauer versteht man die Fähigkeit, bei einer bestimmten Wiederholungszahl von Kraftstößen innerhalb eines definierten Zeitraums den Kraftverlust möglichst gering zu halten (Martin et al., 2001, S. 109). Die Subkategorie Schnellkraft wird definiert als die Fähigkeit, optimal schnell Kraft bilden zu können (Martin et al., 2001, S. 106). Die jeweiligen Krafdimensionen können isoliert voneinander entwickelt werden und erfordern verschiedene Trainingsmethoden.

2.1.2 Einflussgrößen und Adaptationen

Zu den grundlegenden Zielsetzungen eines allgemeinen Krafttrainings zählen die Verbesserung der Innervationsfähigkeit der Skelettmuskulatur sowie die Erweiterung des Energiepotenzials der Muskulatur (Zimmermann, 2002, S. 26). Die Innervationsfähigkeit ist dabei vor allem vom willkürlichen Aktivierungsvermögen des vorhandenen Muskelpotenzials abhängig und von der Fähigkeit, schnell hohe Kraftimpulse zu realisieren. Eine Erweiterung des Energiepotenzials kann zum einen durch eine Vergrößerung des Muskelquerschnitts gelingen, zum anderen durch eine Verbesserung der Ermüdungswiderstandsfähigkeit aufgrund metabolischer Anpassungen im Muskel (Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Adaptationen an Krafttrainingsreize sind unter anderem von folgenden verschiedenen morphologischen und physiologischen Einflussgrößen abhängig:

Muskelquerschnitt:

Die muskuläre Krafftähigkeit wird durch die Bindung von Actin-Myosin-Querbrücken in den Sarkomeren erzeugt. Insofern scheint es logisch, dass eine größere Muskelmasse eine höhere Anzahl an Querbrücken ermöglicht, was eine höhere Kraftentfaltung und damit eine höhere Maximalkraft zur Folge hat (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 226). Somit hängt die Fähigkeit eines Muskels zur Kraftentfaltung von seinem physiologischen Querschnitt ab, und Muskeln mit einem großen physiologischen Querschnitt können größere Kräfte entwickeln als vergleichbare Muskeln mit einem geringen Querschnitt (Roy & Edgerton, 1994, S. 121; Zaciorskij & Kraemer, 2008, S. 71). Krafttrainingsreize mit mehr als 60 bis 70 Prozent der individuellen Maximalkraft führen beim erwachsenen Menschen zu einer Querschnittszunahme der Muskulatur (MacDougall, 1994, S. 232). Für den Prozess der Massenzunahme der Muskulatur werden verschiedene Mechanismen verantwortlich gemacht. Dass ein Krafttraining zu einer Zunahme der Muskelfasergröße führen kann, gilt als wissenschaftlich gesichert (MacDougall, 1994; McDonagh & Davies, 1984). Diese Anpassung beruht auf einer Steigerung der kontraktilen Proteine Aktin und Myosin, wodurch es sowohl zu einer Vergrößerung der Myofibrillenfläche als auch der Myofibrillenzahl kommt (Ratamess, 2008, S. 100). Der Effekt einer trainingsbedingten Zunahme der Muskelfaserzahl (Hyperplasie) wird hingegen kontrovers diskutiert. Während verschiedene Studien die Theorie der Hyperplasie stüt-

zen bzw. zumindest nicht ausschließen, geht die gegenwärtige Lehrmeinung davon aus, dass die trainingsinduzierte Zunahme des Muskelquerschnitts nicht bzw. nicht vordergründig mit einer Zunahme der Muskelfaserzahl einhergeht, sondern auf einer Zunahme der Fasergröße und des interstitiellen Bindegewebes beruht (MacDougall, 1994; Ratamess, 2008; Schoenfeld, 2010).

Muskelfaserspektrum

Die Kraftentfaltung eines Muskels wird auch durch die kontraktile Fähigkeiten und Stoffwechseleigenschaften der Muskelfasern bestimmt. Während sich ein hoher Anteil an Fast-Twitch-Fasern (Typ II-Fasern) durch deren hohe Kontraktionsgeschwindigkeit positiv auf die Maximalkraft auswirkt, zeichnen sich die Slow-Twitch-Fasern (Typ I-Fasern) durch eine höhere oxidative Kapazität und Ermüdungsresistenz aus (Friedmann, 2007, S. 14). Die Muskelfaserverteilung ist individuell unterschiedlich und genetisch determiniert. Wenngleich grundsätzlich durch Krafttrainingsreize alle Muskelfasertypen angesprochen werden und auf Krafttrainingsreize reagieren, zeigen die Typ I- und Typ II-Fasern unterschiedliche Adaptationscharakteristika. So findet der bevorzugte Effekt der Muskelfaserhypertrophie bei den beiden Hauptfasertypen nicht gleichmäßig statt, sondern Typ II-Fasern zeigen manifest größere Potenziale für ein Dickenwachstum als Typ I-Fasern (Ratamess, 2008, S. 101). Hierfür scheinen aufgrund der hohen Reizschwelle der Typ II-Fasern sehr hohe Intensitäten erforderlich (MacDougall, 1994, S. 233), wobei diese auf den Trainingsreiz mit einer höheren Wachstumsanpassung als die Typ I-Fasern reagieren (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 227). Das Potenzial einer Muskelquerschnittvergrößerung durch Krafttraining ist damit auch genetisch determiniert und abhängig von der individuellen Faserverteilung bzw. einem hohen Anteil an Typ II-Fasern (Ratamess, 2008, S. 101). Ebenso scheinen längerfristige anaerob-laktazide Trainingsbelastungen die oxidative Kapazität und damit die Ermüdungswiderstandsfähigkeit der Fast-Twitch-Fasern verbessern zu können (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 227; Ratamess, 2008, S. 101). Für den umgekehrten Weg, also die Kontraktionseigenschaften der Fast-Twitch-Fasern auf die Slow-Twitch-Fasern zu übertragen, gibt es bislang keine hinreichende wissenschaftliche Evidenz (Ratamess, 2008, S. 102).

Neuromuskuläre Einflüsse und Adaptationen

Die willkürliche Aktivierung der Muskulatur ist abhängig von der Fähigkeit, einen möglichst großen Anteil an Muskelfasern anzusteuern. Während ein untrainierter Organismus bei einer Willkürkontraktion nur etwa zwei Drittel der zur Verfügung stehenden motorischen Einheiten aktivieren kann, kann dies durch Training deutlich gesteigert werden.

Im Wesentlichen hängt die Kontraktionskraft eines Muskels von der Fähigkeit ab, eine möglichst hohe Anzahl motorischer Einheiten (Rekrutierung) mit einer möglichst hohen Impuls-

frequenz (Frequenzierung) gleichzeitig (Synchronisation) in einen Kontraktionsvorgang einzubeziehen (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 227). Dieses gezielte Zusammenwirken von Zentralnervensystem und Skelettmuskulatur in Bezug auf Einsatz und Beanspruchungsgröße der motorischen Einheiten innerhalb eines Zielmuskels wird als intramuskuläre Koordination bezeichnet (Radliner, Bachmann, Homburg, Leuenberger & Thaddey, 1997, S. 227). Ein weiterer wichtiger Aspekt ist das adäquate Zusammenspiel von agonistischen und antagonistischen Muskelgruppen innerhalb eines Bewegungsablaufs, was als intermuskuläre Koordination bezeichnet wird. Durch die sensomotorische Leistung, sowohl die Aktivität von Agonisten und Antagonisten als auch mehrere synergetisch zusammengeschaltete Muskeln bzw. Muskelgruppen gezielt zu steuern, werden flüssige und harmonische Bewegungsabläufe ermöglicht. Außerdem führt eine verbesserte intermuskuläre Koordination bei gegebenen Bewegungsabläufen zu einem geringeren Energieverbrauch, was zu einer Vergrößerung der Leistungsreserve führt (Radliner et al., 1997, S. 227). Gerade bei Untrainierten sind Leistungssteigerungen in der Anfangsphase eines Krafttrainings ausschließlich auf neuronale Anpassungen zurückzuführen, wohingegen Hypertrophieeffekte anfangs nicht existent sind und erst allmählich in den Vordergrund rücken (Moritani, 1994, S. 267; Schoenfeld, 2010, S. 2857).

Metabolische Einflüsse und Adaptationen

Unterschiedliche sportliche Aktivitäten haben unterschiedliche Anforderungen an das metabolische System zur Folge. Die Energiebereitstellung bei einem Krafttraining hängt im Wesentlichen von der Belastungsintensität und der Belastungsdauer (Anzahl der durchgeführten Wiederholungen) im Verhältnis zu den Pausenzeiten ab. In allererster Linie beansprucht ein Krafttraining den anaerob-laktaziden und weniger den aeroben Stoffwechsel (Fleck & Kraemer, 2004, S. 76). Somit ist die anaerobe Glykolyse, bei der der Abbau von Kohlenhydraten ohne Sauerstoff, dafür aber unter Bildung von Laktat erfolgt, die primäre Form der Energiebereitstellung und garantiert einen hohen Energiefluss pro Zeiteinheit. Mit steigender Intensität diffundiert allerdings zunehmend Laktat ins Blut. Dabei versuchen verschiedene Puffersysteme den Laktat induzierten Abfall des pH-Wertes zu kompensieren. Gelingt es dem Puffersystem nicht das Laktat hinreichend anzubauen und sinkt der pH-Wert weiter, kommt es zu einer zunehmenden Übersäuerung, was zu einem Ausfall der anaeroben Glykolyse aufgrund der weitgehend eingeschränkten Enzymaktivität führt. Da eine zu starke Übersäuerung eine Zerstörung der intrazellulären Proteinstrukturen zur Folge hätte, ist dies als eine Art Schutzmechanismus zu sehen (Radliner et al., 1997, S. 96). Die Laktatazidose führt letztlich zur subjektiven Ermüdung und reduziert die Fähigkeit der Muskulatur Kräfte zu entwickeln (Fleck & Kraemer, 2004, S. 77). Entsprechend ist die Kapazität der anaeroben Glykolyse eng an die Fähigkeit der Muskulatur gekoppelt, den Anstieg von Wasserstoff-Ionen

abpuffern zu können. Krafttrainingsbelastungen mit geringerem Widerstand, größerer Wiederholungszahl und kürzeren Regenerationsphasen führen zu höheren Laktatkonzentrationen als höhere intensive Belastungen mit geringerer Wiederholungszahl (Tesch, 1994, S. 240). Bei Serien von 20 bis 25 Wiederholungen bzw. bei drei Serien à zehn Wiederholungen des Wiederholungsmaximums erfolgt die Energiebereitstellung hauptsächlich anaerob-laktazid (Fleck & Kraemer, 2004, S. 80).

Aus metabolischer Sicht ist ein Krafttraining mit höheren Wiederholungszahlen und geringerer Intensität zu präferieren, da es hierdurch zu verschiedenen günstigen Stoffwechsellanpassungen, wie z. B. zu einem gesteigerten Enzymgehalt und zu einer verbesserten Pufferkapazität der Muskulatur, kommt (Fröhlich, 2003). Allerdings ist bisher nicht bekannt, welche Bedeutung der metabolischen Belastung per se bei der Entwicklung von Anpassungserscheinungen, also der Steigerung von Kraft und Muskelmasse, zukommt (Tesch, 1994, S. 140).

Alter und Geschlecht

Die qualitative und quantitative Ausprägung der Skelettmuskulatur ist von angemessenen adaptiven Stimuli abhängig. Dabei hängt das Kraftpotenzial der Muskulatur nicht nur von der Intensität der Belastung ab, sondern auch von der Fähigkeit des Muskels auf Belastungsreize zu reagieren. Mit zunehmendem Alter ist diese diversen Veränderungen unterworfen (Israel, 1994, S. 315). Es kann davon ausgegangen werden, dass das Maximum an Muskelkraft bereits im jungen Erwachsenenalter erreicht wird und danach Muskelkraft, Muskelmasse und Kraftausdauer kontinuierlich abnehmen. Verbunden ist dies mit einer Verringerung der Arbeitsökonomie der Muskulatur, die sich vor allem in einer Verschlechterung der inter- und intramuskulären Koordination sowie einem erhöhten ATP-Bedarf und einem erhöhten Sauerstoffbedarf bei vergleichbarer Arbeit ausdrückt (Mayer, Scharhag-Rosenberger, Carlsohn, Cassel & Scharhag, 2011; Zimmermann, 2002). Verschiedene Befunde zeigen, dass durch Krafttraining altersbedingten Krafteinbußen und Funktionsverlusten sowohl im mittleren Lebensalter (Israel, 1994) als auch im hohen Lebensalter entgegengewirkt werden kann (Aagaard, Suetta, Caserotti, Magnusson & Kjaer, 2010). Ein wichtiger Aspekt für die Aufrechterhaltung der Aktivitäten des täglichen Lebens scheint die Ermüdungsresistenz der Muskulatur zu sein (Katsiaras et al., 2005).

Der derzeitige Kenntnisstand legt nahe, dass ein Krafttraining eine sichere und effektive Methode zur Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit darstellt. Dies gilt für Männer und Frauen aller Altersgruppen gleichermaßen, unabhängig von den Leistungsvoraussetzungen (Faigenbaum, 2008, S. 157). Die grundsätzliche Trainierbarkeit der Skelettmuskulatur bleibt

bis ins hohe Alter gegeben und muskuläre Deadaptationen sind nicht lediglich auf Altersprozesse zurückzuführen, sondern auch inaktivitätsbedingt (Zimmermann, 2002, S. 59).

2.1.3 Trainingsmethoden

In Abhängigkeit von den Zielsetzungen eines Krafttrainings und den erreichbaren Adaptationen werden verschiedene Trainingsmethoden differenziert. Das Belastungsgefüge einer Trainingsmethode im gerätegestützten Krafttraining wird typischerweise anhand folgender Variablen beschrieben:

- Reizintensität (Widerstand bzw. Gewichtslast in kg)
- Reizumfang (Gewichtslast in kg multipliziert mit der Anzahl der absolvierten Wiederholungen bezogen auf eine einzelne Übung oder eine Trainingseinheit)
- Reizhäufigkeit (Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche)
- Reizdauer (zeitliche Dauer der Belastung bezogen auf eine einzelne Wiederholung, eine Serie oder die gesamte Trainingseinheit)
- Reizdichte (Pausenzeiten zwischen den Serien)

Spezifische Anpassungseffekte im Trainingsprozess sind von der systematischen Gestaltung und Veränderung dieser Variablen abhängig. Krafttrainingsprogramme scheinen dann am effektivsten zu sein, wenn sie auf ein spezifisches Trainingsziel hin ausgerichtet werden (ACSM, 2009, S. 688). Wenngleich die Kennzeichnung der Methoden zur Entwicklung der einzelnen Kraftdimensionen und der damit verbundenen Belastungsparameter in der nationalen und internationalen Literatur nicht einheitlich erfolgt, werden im Wesentlichen vier Trainingsmethoden unterschieden, welche im Folgenden kurz charakterisiert werden sollen (ACSM, 2009; Fleck & Kraemer, 2004; Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Martin et al., 2001).

(1) *Maximalkraftmethoden („muscular strength“) - Trainingsmethoden zur Steigerung der neuromuskulären willkürlichen Aktivierungsfähigkeit*

Diese Methoden sind charakterisiert durch wenige explosiv ausgeführte maximale Kontraktionen (bis zu fünf Wiederholungen) bei einer möglichst hohen Reizintensität von >90 % des One-repetition-maximum (1-RM), mehreren Serien pro Übung und langer Serienpause, da diese Trainingsform nur im ermüdungsfreien Zustand effektiv angewendet werden kann (Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Ziel ist es, die willkürlich realisierbare neuromuskuläre Aktivierung zu steigern, was oft auch als Training zur Verbesserung der intramuskulären Koordination bezeichnet wird.

(2) Hypertrophiemethoden („muscle hypertrophy“) - Trainingsmethoden zur Steigerung der Muskelmasse

Zur Auslösung von Hypertrophieprozessen sind submaximale Kontraktionen bis zur Erschöpfung, die zu einer weitgehenden energetischen Ausbelastung der Arbeitsmuskulatur führen besonders effektiv (Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Für Anfänger werden acht bis zwölf Wiederholungen bei moderater Bewegungsgeschwindigkeit und ein bis drei Serien bei einer Intensität von 70 bis 85 % des 1-RM empfohlen. Die Serienpause sollte ein bis zwei Minuten betragen. Bei Fortgeschrittenen kann der Serienumfang auf bis zu sechs Serien gesteigert werden, und die Pause zwischen den Serien ist der Trainingsintensität anzupassen (ACSM, 2009).

(3) Schellkraftmethoden („muscular power“) - Trainingsmethoden zur Erhöhung der Kraftbildungsgeschwindigkeit

Hierunter werden Methoden gefasst, bei denen überwiegend mehrgelenkige Übungen mit einer leichten bis mittleren Intensität von 30-60 % des 1-RM und in Abhängigkeit von der Trainingserfahrung und Intensität bis zu sechs Serien mit jeweils drei bis sechs Wiederholungen und einer Serienpause von ein bis drei Minuten durchgeführt werden (ACSM, 2009). Darunter sind auch die Methoden zur Entwicklung der Reaktivkraft im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus, die für vielfältige Bewegungen in Alltag, Beruf und Sport von wichtiger Bedeutung sind, zu erfassen.

(4) Kraftausdauermethoden („muscular endurance“) - Trainingsmethoden zur Steigerung der metabolischen Kapazität der Muskulatur

Ein Training der Kraftausdauer ist gekennzeichnet durch eine hohe Anzahl an durchgeführten Wiederholungen (10 bis 25 Wiederholungen und mehr) bei geringer bis mittlerer Intensität (ca. 40 bis 60 % des 1-RM) und kurzer Serienpause von ein bis zwei Minuten bei mehreren Serien (ACSM, 2009). Die muskuläre Ermüdung im Sinne einer möglichst weitgehenden Beanspruchung der anaerob-laktaziden Energiebereitstellung ist eine notwendige Voraussetzung, um eine Verbesserung der Kraftausdauer im Sinne einer gesteigerten Ermüdungsresistenz der Arbeitsmuskulatur gegenüber einer gegebenen Belastung zu erzielen (ACSM, 2009).

Bei näherer Betrachtung der vorgestellten Krafttrainingsmethoden ist festzustellen, dass die Vorgaben bei unterschiedlichen Autoren sehr variabel ausfallen und große Interpretationsspielräume für die Festlegung der Belastungsparameter im präventiven Krafttraining lassen. Hinzu kommt, dass sich die einzelnen Krafttrainingsmethoden aus dem leistungsbezogenen Sport heraus entwickelt haben und nicht ohne Weiteres auf den Gesundheitssport übertragen werden können (Zimmermann, 2002, S. 28).

Die maximal mögliche Steigerung der Kraft wie auch eine überdimensionale Zunahme der Muskelmasse stellen aus präventiver Sicht keine primären Zielsetzungen dar. Aus gesundheitlicher Sicht stehen beim präventiven Krafttraining die optimale Ausprägung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit der Gesamtkörpermuskulatur und die Vermeidung entsprechender Einbußen im Vordergrund.

Des Weiteren soll sich das Training positiv auf Funktion und Leistung weiterer Organ- und Funktionssysteme (z. B. Herz-Kreislaufsystem und Stoffwechsel) auswirken. Erst daran lässt sich die gesundheitliche Effizienz eines präventiven Krafttrainings messen (Zimmermann, 2002, S. 31).

Ordnet man das präventive Krafttraining in die trainingswissenschaftlichen Methodenkomplexe ein, so stehen der Erhalt bzw. die Zunahme von Muskelmasse sowie die für Alltagsbelastungen wichtige Ermüdungsresistenz der Muskulatur im Vordergrund (Martin et al., 2001). Für die methodische Gestaltung eines Krafttrainings bei gesunden Erwachsenen sind daher die Kraftausdauermethoden sowie die Methoden zur Steigerung der Muskelmasse von besonderem Belang. Die Gesundheitswirksamkeit der aus dem Leistungssport hervorgegangenen Krafttrainingsmethoden kann aufgrund der teilweise hohen Belastungswiderstände und Belastungsumfänge nicht per se angenommen werden. Die Bestimmung der Methoden bzw. Methodenvarianten, die aus primärpräventiver Sicht besonders wertvoll sind und zu gesundheitsprotektiven Effekten führen sollen, bleibt eine bislang nicht zur Zufriedenheit gelöste Aufgabe der Trainingswissenschaften (Zimmermann, 2002, S. 33).

2.1.4 Belastungssteuerung im präventiven Krafttraining

Im gerätegestützten Krafttraining ist die auferlegte Gewichtslast in Kilogramm die Hauptvariable für die Beurteilung von Kraftveränderungen und die Belastungssteuerung in Bezug zur angewandten Trainingsmethode (Fleck & Kraemer, 2004, S. 167). Traditionell gilt das 1-RM, also der größtmögliche Widerstand, der bei kontrollierter Ausführung und korrekter Haltung über die volle Bewegungsamplitude einmal bewegt werden kann, als Standard zur Bestimmung der Maximalkraft (American College of Sports Medicine [ACSM], 2010, S. 90). Ebenso wird das 1-RM häufig als Referenzwert für die Ableitung submaximaler Trainingsintensitäten herangezogen (ACSM, 2009, 2010; Fleck & Kraemer, 2004; Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Martin et al., 2001). Insofern gilt die Maximalkraft als wichtiger Parameter zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit und die Steuerung eines Krafttrainings. Auch die aktuellen Trainingsempfehlungen anerkannter Fachgesellschaften beziehen sich bei den Intensitätsvorgaben für die Gestaltung eines Krafttrainings mit gesunden Erwachsenen auf prozentuale Angaben in Abhängigkeit vom 1-RM (ACSM, 2009, 2011; Williams et al., 2007).

Valide Messungen der Maximalkraft und die Ableitung von submaximalen Trainingsintensitäten auf der Basis dieser Tests sind in der Trainingspraxis gerade bei Anfängern mit diversen Problemen verbunden (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999; Fleck & Kraemer, 2004). Aufgrund der ungewohnt hohen Belastung ist ein Maximalkrafttest bei Beginnern kritisch zu betrachten. Er birgt die Gefahr der Überforderung des Muskel- und Skelettsystems und liefert häufig keine vernünftigen Testergebnisse. Hinzu kommt, dass die Maximalkraft gerade bei Trainingsanfängern in kurzen Abständen neu bestimmt werden muss, da hier die schnellsten Fortschritte zu verzeichnen sind und sich ansonsten die Trainingsintensität reduziert (Fleck & Kraemer, 2004, S. 168).

Auch die Ableitung submaximaler Trainingsintensitäten auf Grundlage des 1-RM ist kritisch zu hinterfragen, da der Zusammenhang zwischen Belastungsintensität und maximaler Wiederholungszahl keineswegs geklärt scheint. Verschiedene Studien zeigen, dass die Anzahl an Wiederholungen, die bei einem vorgegebenen prozentualen Anteil des 1-RM absolviert werden kann, mitunter deutlich variiert (Hoeger, Hopkins, Barette & Hale, 1990; Marschall & Fröhlich, 1999; Shimano et al., 2006). Insofern ist fraglich, ob die so festgelegten Intensitäten und ausgeführten Wiederholungen tatsächlich den Grad der Ausschöpfung physiologischer Ressourcen bei einem spezifischen Trainingsziel widerspiegeln. Die generelle Ableitung submaximaler Wiederholungszahlen auf Grundlage des 1-RM scheint somit für die Trainingssteuerung im präventiven Krafttraining problematisch (Fleck & Kraemer, 2004, S. 168; Hoeger et al., 1990; Marschall & Fröhlich, 1999; Shimano et al., 2006). Es muss davon ausgegangen werden, dass gleiche Intensitätsvorgaben interindividuell zu einer unterschiedlichen Beanspruchung führen, wodurch auch unterschiedliche Anpassungsreaktionen zu erwarten wären.

Für ein gerätegestütztes Krafttraining scheint es von wichtiger Bedeutung, die Intensität in Bezug zum Trainingsziel für jede einzelne Übung sorgfältig zu ermitteln (Fleck & Kraemer, 2004, S. 168). Den unterschiedlichen Zielen und Trainingsmethoden im Krafttraining sind entsprechende Wiederholungszahlen zugeordnet. Es liegt daher nahe, nicht die Maximalkraft, sondern die mit einer bestimmten Wiederholungszahl erreichte maximale Beanspruchung der Muskulatur als Grundlage der Belastungsdosierung und Trainingssteuerung zu wählen (Marschall & Fröhlich, 1999). Diagnostisch kann die Intensität über das Wiederholungsmaximum (RM) ermittelt werden, wobei das maximal zu bewältigende Gewicht für eine zuvor definierte und für dieses Trainingsziel geeignete Wiederholungszahl bestimmt wird (ACSM, 2010; Fleck & Kraemer, 2004, S. 167). Übertragen auf die für ein präventives Krafttraining vorrangig geeigneten Krafttrainingsmethoden bedeutet dies, dass für die Durchführung eines Mehrwiederholungstests jeweils geeignete Wiederholungszahlen für ein Kraft-

ausdauertraining und ein eher intensitätsorientiertes Hypertrophietraining festzulegen sind. Das bei der festgelegten Wiederholungszahl bewältigte Gewicht bildet anschließend die Grundlage für die Trainingssteuerung.

Alternativ zu den genannten Testverfahren werden im Gesundheitssport als weitere Möglichkeit der Belastungsdosierung und Trainingsteuerung Instrumente zur Erfassung des subjektiven Belastungsempfindens eingesetzt (ACSM, 2011, S. 1344). Ein häufig eingesetztes Instrument, welches auch im Bereich des Krafttrainings Verwendung findet, ist die BORG-Skala (Borg, 1982). Problematisch ist, dass das subjektive Belastungsempfinden interindividuell erheblich variieren kann und nicht zwangsläufig ein Zusammenhang zwischen objektiven Trainingsparametern und der subjektiven Belastungseinschätzung besteht. Eine interindividuell standardisierte Trainingssteuerung zur Untersuchung der Effekte eines präventiven Krafttrainings ist über das subjektive Belastungsempfinden kaum möglich, da dieses nur äußerst schwierig zu operationalisieren ist (Fröhlich & Schmidtbleicher, 2003). Auch das ACSM kommt zu dem Ergebnis, dass die derzeitige Erkenntnislage unzureichend ist, das subjektive Belastungsempfinden als primäre Methode der Trainingssteuerung heranzuziehen (ACSM, 2011, S. 1344).

2.2 Gesundheitsprotektive Wirkungen von Krafttraining

Eine Zunahme des Körpergewichts (KG) im Erwachsenenalter von mehr als fünf Prozent geht mit vermehrten gesundheitlichen Risiken einher (Stevens, Truesdale, McClain & Cai, 2006; Stevens, Truesdale, Wang & Cai, 2009). Neben den USA gehört auch Deutschland zu den Ländern mit hohen Übergewichts- und Adipositasprävalenzen (Dishman et al., 2013). Übergewicht und Adipositas werden meist anhand des Body-Mass-Index (BMI) definiert. Laut der Klassifikation der WHO wird von Übergewicht bei einem BMI zwischen 25,0 und 29,9 kg·m⁻², von Adipositas ab einem BMI von 30,0 kg·m⁻² gesprochen (World Health Organization [WHO], 2005). Den aktuellen Ergebnissen der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland zufolge sind derzeit 67 % der Männer und 53 % der Frauen im Alter zwischen 18 und 79 Jahren übergewichtig (Mensink et al., 2013, S. 788). Durchschnittlich nimmt ein deutscher Erwachsener jährlich 400 Gramm zu, was im Verlauf des Erwachsenenalters vom 20. bis zum 60. Lebensjahr zu einer mittleren Gewichtszunahme von etwa 15 Kilogramm führt (Wirth, 2008, S. 113). Logischerweise steigt auch der BMI mit zunehmendem Lebensalter bei beiden Geschlechtern bis zum siebten Lebensjahrzehnt kontinuierlich an (Wirth, Holle & Teuner, 2013, S. 26). Eine zusätzliche Information zur Beurteilung der Körperkomposition liefert der Taillenumfang bzw. die Waist-to-hip-ratio (WHR).

Die entsprechenden Werte gelten als Maß zur Beurteilung der abdominalen Fettverteilung und spiegeln das Risiko eine metabolische und/oder kardiovaskuläre Erkrankung zu erleiden besser wider als der BMI (Hauner, Bösy-Westphal & Müller, 2013, S. 3; Wirth, 2008, S. 11). Der Taillenumfang steigt mit zunehmendem Alter an, wobei die meisten Personen beider Geschlechter die Grenzwerte für ein erhöhtes Erkrankungsrisiko im 5. Lebensjahrzehnt überschreiten (Wirth et al., 2013, S. 26).

Neben einer hyperkalorischen Ernährung wird für die Gewichtszunahme im Erwachsenenalter vor allem eine alters- und inaktivitätsbedingte Veränderung der Körperkomposition verantwortlich gemacht. Anteilig am Körpergewicht kommt es zu einer Reduktion der Muskelmasse (Marcell, 2003) und Zunahme an Fettgewebe (Strasser & Schobersberger, 2011), was mit einem verminderten Energieverbrauch in Ruhe einhergeht (Westcott, 2012) und bei gleicher Ernährung eine weitere Zunahme an Körpergewicht zur Folge hat. Definiert man Übergewicht bzw. Adipositas als eine Vermehrung von Körperfett, die über das Normalmaß hinausgeht und zu einer erhöhten Gesundheitsgefährdung führt (Hauner et al., 2013, S. 2), muss die Stabilisation eines normalen Körpergewichts über die Lebensspanne hinweg als zentrale Präventionsstrategie angesehen werden (Stevens et al., 2006). Als effektivste Maßnahmen zur Gewichtsreduktion und nachhaltigen Stabilisation gelten die Steigerung der körperlichen Aktivität inklusive Krafttraining in Verbindung mit einer Reduktion der Kalorienaufnahme (Dishman et al., 2013; Donnelly et al., 2009). Entsprechend kann eine ausgeglichene bzw. negative Bilanz von Energieaufnahme und Energieverbrauch auch nur durch die Modifikation dieser beiden Faktoren erreicht werden (Alexander, 2002; Wolfe, 2006). Im Folgenden soll die Studienlage zu den durch Krafttraining erzielbaren Veränderungen von Körpergewicht, Körperzusammensetzung und Energieverbrauch skizziert werden.

2.2.1 Körpergewichtsstabilisation und Körpergewichtsverlust

Die Aufnahme eines präventiven Trainingsprogramms ist häufig mit dem Wunsch einer Gewichtsabnahme oder Gewichtsstabilisation verbunden. Wie jede andere Art körperlicher Aktivität führt ein Krafttraining zu einem unmittelbaren Energieverbrauch und müsste, eine gleichbleibende Energieaufnahme vorausgesetzt, bei Trainingsanfängern zu einem initialen Verlust an Körpergewicht führen. Die Kalkulation der bei einem Krafttraining verbrauchten Energiemenge liefert daher eine wichtige Information für das Körpergewichtsmanagement.

Der für körperliche Aktivität erforderliche Energiebedarf kann mithilfe der metabolischen Äquivalente (MET) quantifiziert werden. Diese sind definiert als das Verhältnis zwischen dem Energieverbrauch bei körperlicher Aktivität und dem Ruheenergieverbrauch von $3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ Sauerstoffaufnahme (VO_2) oder umgerechnet $1 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

(Ainsworth et al., 2011). Im Vergleich zu einem typischen Ausdauertraining ist der direkte Kalorienumsatz bei einem Krafttraining geringer (Alexander, 2002; ACSM, 2010). Dem Compendium zur Quantifizierung des Energieverbrauchs bei körperlicher Aktivität von Ainsworth et al. (2011) zufolge, werden bei einem moderatem bis anstrengendem Krafttraining etwa 3,5 bis 6 METs benötigt, was bei einer 70 kg schweren Person und einer einstündigen Trainingsdauer einem Kalorienverbrauch von 245 kcal ($3,5 \text{ METs} \times 70 \text{ kg} \times 1,0 \text{ h}$) bis 420 kcal ($6 \text{ METs} \times 70 \text{ kg} \times 1,0 \text{ h}$) entspricht. Im Gegensatz dazu wäre bei einem Lauftraining nach der Dauerperiode mit etwa $6,5$ bis $11 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ bei dieser Person ein Energieverbrauch von 6 bis 10,5 METs, entsprechend 420 bis 735 kcal zu erwarten (Ainsworth et al., 2011). Bei einem dreimaligen Krafttraining pro Woche über 30 bis 45 Minuten und einem angenommenen durchschnittlichen Energieverbrauch von 5 METs wäre von dieser Person ein direkter wöchentlicher Energieverbrauch von 525 ($5 \text{ METs} \times 70 \text{ kg} \times 1,5 \text{ h}$) bis 788 kcal ($5 \text{ METs} \times 70 \text{ kg} \times 2,25 \text{ h}$) zu erzielen. Es scheint angebracht, diese auf den ersten Blick geringen Werte auf einen längeren Zeitraum hochzurechnen. Ein Unterschied im Energieverbrauch von 100 Kalorien pro Tag entspricht auf ein Jahr bezogen dem Brennwert einer Fettmasse von etwa 4,7 kg (Wolfe, 2006, S. 477). Geht man von dem dargestellten Energieverbrauch aus, so müsste sich der durch das Krafttraining erzielte energetische Mehraufwand bei gleicher Ernährung in einer Körpergewichtsreduktion niederschlagen.

Neben dem unmittelbaren Energieverbrauch geht mit einem Krafttraining auch eine erhöhte Stoffwechselaktivität in der Nachbelastungsphase einher. Der Effekt der über den Ruhewert hinausgehenden temporär erhöhten Sauerstoffaufnahme im Anschluss an eine körperliche Belastung wird in der internationalen Literatur als „excess post-exercise oxygen consumption“ (EPOC) bezeichnet und konnte in verschiedenen Studien nachgewiesen werden (Haddock & Wilkin, 2006; Schuenke, Mikat & McBride, 2002; Speakman & Selman, 2003). Der Energie-Mehrumsatz im Anschluss an die Belastung wird unter anderem durch einen erhöhten Sauerstoffverbrauch für die Kreatinphosphat-Resynthese in der Skelettmuskulatur sowie die erhöhte Aktivität der Atem- und Herzmuskulatur erklärt (Baum & Schuster, 2008). Ein Zirkelkrafttraining mit einem Energieumsatz von ungefähr 250 kcal pro Trainingseinheit bewirkt innerhalb der ersten Stunde nach der Belastung einen zusätzlichen Energiebedarf von etwa 50 kcal für Regenerationsprozesse (Haltom et al., 1999). Darüber hinaus werden als akute Antwort auf ein Krafttraining in der Arbeitsmuskulatur Mikrotraumen ausgelöst, die aufgrund erforderlicher Reparaturprozesse eine verstärkte Proteinsynthese zur Folge haben (Westcott, 2012, S. 210) und einen erhöhten Energieumsatz von etwa $100 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$ über einen Zeitraum von bis zu 72 Stunden bedingen können (Heden, Lox, Rose, Reid & Kirk, 2011).

Die Angaben in der Literatur zur Dauer des Mehrverbrauchs in der Nachbelastungsphase und zum erzielbaren Ausmaß sind allerdings unterschiedlich. Intensive Kraftbelastungen scheinen zu größeren Effekten zu führen, wobei insgesamt über den zugrundeliegenden Mechanismus des Energiemehrverbrauchs nach körperlichem Training noch wenig bekannt ist (Borsheim & Bahr, 2003).

Einem Review von Strasser und Schobersberger (2011) zufolge liefern Untersuchungen zur Gewichtskontrolle durch Krafttraining unterschiedliche Ergebnisse. Verschiedene Studien zeigen, dass Krafttraining den Gewichtsverlust bei Übergewichtigen unterstützen kann (Rice, Janssen, Hudson & Ross, 1999; Sarsan, Ardic, Ozgen, Topuz & Sermez, 2006): Eine ganze Anzahl weiterer Untersuchungen legt nahe, dass es zu keiner wesentlichen Gewichtsreduktion kommt (Dunstan et al., 2002; Hunter, Bryan, Wetzstein, Zuckerman & Bamman, 2002; Hunter, Wetzstein, Fields, Brown & Bamman, 2000; Schmitz, Jensen, Kugler, Jeffery & Leon, 2003; Treuth et al., 1994). Gewöhnlich beträgt der Verlust an Körpergewicht durch ein isoliertes Krafttraining weniger als ein Kilo (Dishman et al., 2013, S. 230).

Das ACSM kommt zu dem Ergebnis, dass Krafttraining ohne eine begleitende Modifikation der Ernährung für eine Gewichtsabnahme nicht effektiv zu sein scheint (Donnelly et al., 2009, S. 466). Auch die Effekte eines Krafttrainings zur Vermeidung einer Gewichtszunahme sind aufgrund einer unzureichenden Datenlage weitgehend unbekannt (Donnelly et al., 2009, S. 467). Anscheinend wird die Höhe des durch Krafttraining erzielbaren Energieverbrauchs und somit die gewichtsreduzierende Wirkung überschätzt (Alexander, 2002, S. 65). Ebenso zeigen Studien, dass körperliches Training zu einer kompensatorischen Steigerung der Kalorienaufnahme führen kann (Blundell, Stubbs, Hughes, Whybrow & King, 2003; Martins, Morgan, Bloom & Robertson, 2007). Zudem muss bedacht werden, dass körperliches Training und/oder eine hypokalorische Ernährung nicht zu einer stetigen Gewichtsabnahme führen. Ein negative Energiebilanz führt nur so lange zu einer Gewichtsreduktion, bis der Körper auf einer niedrigeren Ebene ein Energiegleichgewicht eingestellt hat (Wirth, 2008, S. 113).

Geht man davon aus, dass es bei einem zum Gewichtsmanagement durchgeführten Krafttraining insbesondere auf den Energieverbrauch ankommt, muss dies bei der Gestaltung des Trainingsdesigns berücksichtigt werden. Ein Krafttraining in Zirkelform mit kurzen Pausen scheint geeignet, einen Energieumsatz von bis zu acht METs zu erzielen (Ainsworth et al., 2011) und auch den EPOC-Effekt zu steigern (Haltom et al., 1999).

2.2.2 Veränderungen von Körperfettanteil und fettfreier Körpermasse

Eine ausbleibende Gewichtsabnahme bzw. geringfügige Gewichtszunahme wird meist damit erklärt, dass regelmäßiges Krafttraining zu einer Reduzierung der Fettmasse bei gleichzeitig gesteigerter Muskelmasse (Fleck & Kraemer, 2004, S. 91) und somit zu einer gesundheitsförderlichen Veränderung der Körperkomposition führt (Zimmermann, 2002, S. 116). Der Körperfettanteil wird dabei in der Regel als Prozentsatz vom Körpergewicht angegeben. Die fettfreie Körpermasse (FFM) errechnet sich aus Körpergewicht minus Fettmasse in Kilogramm (Fleck & Kraemer, 2004, S. 204).

Die Studienlage, inwiefern Krafttraining eine Reduktion der Körperfettmasse bzw. des prozentualen Körperfettanteils bewirken kann, ist allerdings uneinheitlich (Donnelly et al., 2009). Einige Untersuchungen zeigen einen Verlust an Körperfett (Campbell, Crim, Young & Evans, 1994; Hunter & Bryan et al., 2002; Ibanez et al., 2005; Schmitz et al., 2003; Sillanpää et al., 2008; Sillanpää et al., 2009), während andere keine Effekte nachweisen konnten (Glowacki et al., 2004; Jennings et al., 2009; Olson, Dengel, Leon & Schmitz, 2007; Willis et al., 2012). Etwas konsistenter sind die Ergebnisse zum Anstieg der fettfreien Körpermasse durch Krafttraining. Hier berichten etwas mehr Studien von einem Anstieg an Muskelmasse durch Krafttraining ohne begleitende Ernährungsmodifikation (Glowacki et al., 2004; Hunter & Bryan et al., 2002; Lemmer et al., 2001; Schmitz et al., 2003; Sillanpää et al., 2008; Sillanpää et al., 2009; Willis et al., 2012) als jene, die keine oder nur geringfügige Veränderungen feststellen konnten (Jennings et al., 2009; Sale, McCargar, Crawford & Taunton, 1995; Taaffe, Pruitt, Reim, Butterfield & Marcus, 1995).

In einer Studie von Campbell et al. (1994) führte ein 12-wöchiges Krafttraining mit zuvor untrainierten Personen (♀: n=4, ♂: n=8) im Alter von 56 bis 80 Jahren bei unverändertem Körpergewicht zu einer mittleren Reduktion der Fettmasse von 1,8 kg und einem Anstieg der fettfreien Körpermasse um 1,4 kg. Schlussfolgernd wurde Krafttraining als effektive Methode zur Reduktion von Körperfett sowie zum Erhalt von Muskelmasse und somit als wichtige ergänzende Maßnahme zur Gewichtskontrolle angesehen. Bei Lemmer et al. (2001) zeigte sich eine zum Teil unterschiedliche Response auf ein Krafttraining über 24 Wochen in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht (20 bis 30 Jahre: ♀: n=9; ♂: n=10; 65 bis 75 Jahre: ♀: n=10; ♂: n=11). Unabhängig von Alter und Geschlecht konnte ein signifikanter Anstieg der fettfreien Körpermasse verzeichnet werden. Zusätzlich zeigten jüngere Probanden stärkere Zuwächse als ältere. Im Gegensatz dazu waren Veränderungen der Fettmasse vom Geschlecht, nicht aber vom Alter der Probanden abhängig. Eine Reduktion des prozentualen Körperfettanteils zeigte sich nur bei älteren Männern, nicht hingegen bei der jüngeren Altersgruppe und den Frauen (Lemmer et al., 2001).

Hunter und Bryan et al. (2002) ermittelten sowohl bei älteren Frauen (n=12) als auch bei Männern (n=14) zwischen 61 und 77 Jahren eine Zunahme der fettfreien Körpermasse (♀: +1,0 kg; ♂: +2,8 kg) durch dreimaliges Krafttraining pro Woche über einen Zeitraum von 25 Wochen. Der Anstieg fiel bei den Männern signifikant höher aus. Die Reduktion von Körperfett war bei beiden Geschlechtern annähernd gleich (♀: -1,7 kg; ♂: -1,8 kg), das Körpergewicht blieb unverändert. Die entsprechende Studie wurde ohne eine Kontrollgruppe durchgeführt. Bei Schmitz et al. (2003) führte ein angeleitetes Krafttraining (30 bis 50 jährige Frauen; BMI zwischen 20 und 35 kg·m⁻²) im Vergleich zur Kontrollgruppe zu einer Zunahme der fettfreien Körpermasse (+0,89 kg) sowie zu einer Reduktion der Fettmasse (-0,98 kg) und des prozentualen Körperfettanteils (-1,63 %). Körpergewicht und Bauchumfang blieben unverändert. Eine Studie von Ibanez et al. (2005) zeigte eine signifikante Reduktion des abdominalen Körperfetts bei älteren Männern mit Diabetes mellitus Typ 2 durch zweimaliges Krafttraining pro Woche. Eine Gewichtsreduktion blieb aus. Die Studie wurde allerdings mit lediglich neun Probanden und ohne Kontrollgruppe durchgeführt. In den Jahren 2008 und 2009 wurden zwei Studien mit gleichem Design zum Vergleich der Anpassungseffekte durch Ausdauer und/oder Krafttraining bei Männern (Sillanpää et al., 2008) und Frauen (Sillanpää et al., 2009) veröffentlicht. Hierzu wurden zum einen 53 Männer im Alter von 40 bis 65 Jahren randomisiert entweder einem Ausdauertraining, einem Krafttraining, einem kombinierten Kraft- und Ausdauertraining oder der Kontrollgruppe zugewiesen. Bei allen Trainingsgruppen reduzierte sich der prozentuale Körperfettanteil im Vergleich zur Kontrollgruppe ähnlich, wobei nur das Krafttraining auch zu einem Anstieg der fettfreien Körpermasse führte (Sillanpää et al., 2008). In der zweiten Studie wurden insgesamt 62 Frauen im Alter von 39 bis 64 Jahren den entsprechenden Gruppen zugeteilt. Alle Trainingsmethoden führten zu einer Zunahme der fettfreien Körpermasse. Die Reduktion des Körperfettanteils war jedoch bei einem Ausdauertraining im Vergleich zum Krafttraining deutlicher (Sillanpää et al., 2009).

Dagegen stehen verschiedene Studien, die indifferente Effekte bezüglich einer Veränderung der Körperkomposition zeigen. Den Befunden von Sale et al. (1995) zufolge führte ein dreimonatiges Kraft- oder Ausdauertraining bei übergewichtigen Frauen im Alter zwischen 25 und 49 Jahren im Vergleich zur Kontrollgruppe zu einer signifikanten Abnahme des Körperfettanteils, allerdings zu keiner Veränderung der fettfreien Körpermasse. Auch bei Taaffe et al. (1995) führte ein Krafttraining über einen Zeitraum von 52 Wochen bei älteren Frauen lediglich zu geringfügigen Veränderungen der Körperkomposition. Eine Untersuchung von Glowacki et al. (2004) zeigte eine signifikante Körpergewichtszunahme, keine Veränderung des prozentualen Körperfettanteils, allerdings einen signifikanten Anstieg der fettfreien Körpermasse durch ein dreimonatiges Krafttraining mit gesunden Männern im Alter von 18 bis 40 Jahren.

Olson et al. (2007) untersuchten in einer randomisierten, stratifizierten Studie die Effekte eines einjährigen Krafttrainings bei übergewichtigen Frauen ($\text{BMI} > 25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) im Alter von 25 bis 44 Jahren auf die Körperkomposition sowie weitere gesundheitsrelevante Parameter. Die Krafttrainingsgruppe zeigte im Vergleich zur Kontrollgruppe keine interventionsbedingten Veränderungen beim prozentualen Körperfettanteil. Allerdings zeigte sich ein signifikanter Anstieg der Muskelmasse. Die Tatsache, dass bei der Körperkomposition nur geringfügige Unterschiede aufgezeigt werden konnten, führen die Autoren unter anderem auf die lediglich moderate Trainingsintensität und die zu geringe Anzahl an Trainingseinheiten zurück. In einer randomisierten Trainingsstudie von Jennings et al. (2009) wurden männliche und weibliche Typ 2 Diabetiker im Alter von 39 bis 70 Jahren vier verschiedenen Gruppen (Ausdauer: $n=13$; Kraft: $n=18$; Ausdauer und Kraft kombiniert: $n=19$; Kontrollgruppe: $n=22$) zugewiesen. Nach Abschluss der Interventionsphase von 26 Wochen konnten keine signifikanten Gruppenunterschiede bei Körpergewicht, fettfreier Körpermasse und Fettmasse festgestellt werden. Eine aktuelle Studie von Willis et al. (2012) mit übergewichtigen inaktiven Erwachsenen zum Vergleich der Effekte von Ausdauertraining und/oder Krafttraining auf die Körperkomposition zeigte keine krafttrainingsbedingte Veränderung der Fettmasse sowie einen signifikanten Anstieg des Körpergewichts. Zusätzlich konnte eine signifikante Zunahme der Muskelmasse festgestellt werden.

Die aufgezeigten Studienergebnisse könnten von unterschiedlichen Faktoren wie beispielsweise der Sensitivität von Methoden zur Erfassung der Körperkomposition, der Dauer der Interventionen oder auch dem Belastungsgefüge beeinflusst sein. Wird ein Krafttraining zusätzlich durch eine Reduktion der Kalorienzufuhr ergänzt, so werden die Trainingseffekte von der Ernährungsumstellung überlagert (Donnelly et al., 2009, S. 465). Des Weiteren beziehen einige der genannten Studien Personen ein, die nicht die eigentliche Zielgruppe der Primärprävention abbilden. Dennoch scheint den Befunden zufolge Krafttraining das Potenzial zur positiven Beeinflussung der Körperkomposition zu haben.

Ob Krafttraining im Bereich der Prävention tatsächlich zu einer Zunahme der Muskelmasse führt, ist hingegen weniger gut belegt. Gemessene Anstiege der fettfreien Körpermasse infolge eines Krafttrainings können auch durch Flüssigkeitseinlagerungen im Muskelgewebe bedingt sein, möglicherweise infolge einer Vermehrung der Glykogenspeicher (Campbell et al., 1994). Um krafttrainingsbedingte Veränderungen der fettfreien Körpermasse zu verifizieren, sollten daher verschiedene Methoden zur Erfassung der Körperkomposition (z. B. Messung von Körperumfängen, Kalipermetrie, bioelektrische Impedanzanalyse) einbezogen und gegenübergestellt werden.

Insgesamt zeigen sich auf Grundlage der gegenwärtig verfügbaren Literatur keine klaren Zusammenhänge hinsichtlich einer Veränderung von Körpergewicht und Körperkomposition durch Krafttraining (Donnelly et al., 2009). Insofern scheint es weiterhin erforderlich, in längerfristigen Trainingsstudien die Möglichkeiten und Grenzen einzelner Krafttrainingsformen zur gesundheitsprotektiven Veränderung der Körperkomposition zu untersuchen.

2.2.3 Veränderungen des Ruheumsatzes

Zur Aufrechterhaltung lebensnotwendiger Funktionen und Verrichtung von Alltags- und Freizeitaktivitäten benötigt der menschliche Körper eine stetige Energieversorgung (McArdle, Katch & Katch, 2001, S. 188). Der tägliche Energiebedarf setzt sich aus dem Energieverbrauch in Ruhe (Ruheumsatz), dem Energieverbrauch durch körperliche Aktivität (Arbeits- oder Leistungsumsatz) und der nahrungsabhängigen Steigerung des Energieumsatzes durch Stoffwechselprozesse (postprandiale Thermogenese) zusammen (Wirth & Hauner, 2013, S. 97). Der Ruheumsatz macht dabei mit etwa 60 bis 75 % den größten Anteil am Gesamtenergieverbrauch aus. Der Leistungs- bzw. Arbeitsumsatz beträgt in Abhängigkeit vom Ausmaß der körperlichen Aktivität zwischen 15 und 30 %, die nahrungsabhängige Thermogenese beansprucht etwa 10 % des Energieverbrauchs (McArdle et al., 2001, S. 188).

Beim Körpergewichtsmanagement bildet die Kenntnis des Ruheumsatzes eine wichtige Ausgangsbasis für Ernährungsempfehlungen und die Gestaltung von Bewegungsprogrammen oder auch die Kombination von beidem (McArdle et al., 2001, S. 188). Als Goldstandard für die Messung des täglichen Ruheumsatzes gilt die unter standardisierten Bedingungen durchgeführte indirekte Kalorimetrie, bei der die Atemgase gemessen werden. Aus dem Verhältnis von Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe (VCO_2) lassen sich Rückschlüsse auf die Oxidation von Kohlenhydraten und Fetten ziehen, was als täglicher Energiebedarf in Kilokalorien ausgedrückt werden kann (Haugen, Chan & Li, 2007).

Zunächst besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem Körpergewicht und der Höhe des Ruheumsatzes (Wolfe, 2006, S. 477), das heißt auch eine Gewichtszunahme ohne Training führt zu einem Anstieg. Individuell wird der in Ruheumsatz im Wesentlichen von fettfreier Körpermasse, Alter und Geschlecht bestimmt (McArdle, Katch & Katch, 2000, S. 156). Einer Studie von Bogardus et al. (1986) zufolge erklären diese drei Faktoren etwa 83 % der interindividuellen Varianz des Ruheumsatzes, wobei die fettfreie Muskelmasse die wichtigste Determinante zu sein scheint. Weitere Faktoren, die den Ruheumsatz beeinflussen, sind die Körperoberfläche, die Nahrungsaufnahme sowie die Wärmebildungsrate aufgrund äußerer Temperaturbedingungen (McArdle et al., 2000, S. 159).

Auch hormonelle Veränderungen, der Konsum von Stimulanzien, tageszeitliche Schwankungen, ein erhöhter Sauerstoffverbrauch nach körperlicher Belastung, die Einnahme von Medikamenten oder auch psychische Belastungen können den Ruheumsatz beeinflussen (Haugen, Melanson, Tran, Kearney & Hill, 2003). Letztlich können auch verschiedene Erkrankungen, beispielsweise fiebrige Infekte, zu einer Veränderung des Ruheumsatzes führen (Haugen et al., 2007, S. 381). Während der Beitrag der sonstigen Gewebe am Ruheumsatz unter normalen Bedingungen kaum variiert, kann der Beitrag der Muskelmasse erheblich variieren. Insofern stellt der Muskelstoffwechsel die einzige Komponente dar, die in Bezug zum Ruheumsatz verändert werden kann (Wolfe, 2006, S. 476).

Eine altersbedingte Reduktion des Ruheumsatzes bei Frauen und Männern von zwei bis drei Prozent pro Lebensdekade wird meist auf Veränderungen in der Körperkomposition durch den Verlust an Muskelmasse bzw. den Anstieg des Körperfettanteils zurückgeführt (McArdle et al., 2001, S. 189). In einer Untersuchung von Frisard et al. (2007) konnte allerdings gezeigt werden, dass die altersbedingte Reduktion des Ruheumsatzes nicht vollständig durch Veränderungen von fettfreier Körpermasse und Fettmasse erklärt werden kann. Als mögliche weitere Einflussfaktoren für den reduzierten Ruheumsatz wurden eine verringerte Sympathikus-Aktivität sowie eine reduzierte Gesamtkalorienaufnahme diskutiert. Anderen Autoren zufolge scheint eine Verringerung der metabolischen Aktivität der Muskulatur zu einer Senkung des Ruheumsatzes beizutragen (McArdle et al., 2001, S. 189) und die Wahrscheinlichkeit einer Gewichtszunahme zu erhöhen (Ravussin et al., 1988). Obwohl sich der Ruheumsatz von Männern und Frauen unterscheidet, besteht bei beiden Geschlechtern eine enge Beziehung zwischen fettfreier Körpermasse und Ruheumsatz. Frauen haben aufgrund eines höheren Körperfettanteils und einer geringeren Muskelmasse einen etwa fünf bis zehn Prozent niedrigeren Ruheumsatz als Männer. Diese Differenz lässt sich durch die im Vergleich zur Muskulatur geringere metabolische Aktivität von Fettgewebe erklären (McArdle et al., 2001, S. 189).

Die Effekte eines körperlichen Trainings auf den Ruheumsatz wurden bereits in verschiedenen Studien untersucht. Weitgehende Einigkeit besteht darüber, dass Trainingsreize zu einem kurzfristigen Energiemehrverbrauch in der Nachbelastungsphase führen können (vgl. Kapitel 2.2.1). Dieser Effekt ist insbesondere von der Dauer und Intensität eines Trainings abhängig, ist unmittelbar nach Ende der Belastung am höchsten und reduziert sich danach zunehmend (Speakman & Selman, 2003). Akute Erhöhungen lassen sich sowohl für intensive Laufbelastungen (Laforgia, Withers, Shipp & Gore, 1997) als auch für ein Krafttraining nachweisen (Melby, Scholl, Edwards & Bullough, 1993; Schuenke et al., 2002).

Neuere Untersuchungen zeigen, dass ein Ganzkörperkrafttraining den Energieumsatz bei Untrainierten und Trainierten im Anschluss an eine Trainingseinheit um bis zu 72 Stunden erhöhen kann (Hackney, Engels & Gretebeck, 2008; Heden et al., 2011). Dabei scheint die akute Response auf eine einzelne Einheit umso größer zu sein, je intensiver das Krafttraining erfolgt (Paoli et al., 2012).

Uneinheitlicher stellt sich die Studienlage bezüglich einer dauerhaften Erhöhung des Ruheumsatzes dar. Eine Studie zu den Effekten eines einjährigen gesundheitssportlichen Ausdauertrainings konnte keinen trainingsbedingten Anstieg des Ruheumsatzes nachweisen (Scharhag-Rosenberger, Meyer, Walitzek & Kindermann, 2010). Eine dauerhafte Veränderung des Ruheumsatzes durch Krafttraining wird in der Regel mit einer Zunahme an Muskelmasse begründet (Speakman & Selman, 2003). Theoretisch resultiert die Zunahme von einem Kilogramm Muskelmasse in höheren Energieanforderungen von etwa $21 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$ (Weinsier, Schutz & Bracco, 1992, S. 792). Auf lange Sicht könnte ein regelmäßiges Krafttraining somit zu beachtenswerten Differenzen im täglichen Energieverbrauch zwischen Trainierten und Untrainierten führen und einen wichtigen Beitrag für das Gewichtsmanagement leisten.

Bereits in den 1990er Jahren konnten verschiedene Untersuchungen einen krafttrainingsbedingten Anstieg des Ruheumsatzes um etwa 7 bis 8 % feststellen (Campbell et al., 1994; Pratley et al., 1994). Aufgrund des Zeitpunktes der Ruheumsatzmessungen (etwa 45 Stunden bzw. 22-24 Stunden nach der letzten Trainingseinheit) kann für beide Studien jedoch nicht sicher geschlussfolgert werden, dass es sich um eine überdauernde Erhöhung des Ruheumsatzes und nicht um EPOC-Effekte handelt. Byrne und Wilmore (2001) untersuchten die Effekte eines hochfrequenten, intensiven Krafttrainings und ermittelten eine signifikante Steigerung des absoluten Ruheumsatzes bei leicht übergewichtigen Frauen, aber nicht in Bezug zur fettfreien Körpermasse. Auch in einer RCT-Studie von Poehlman et al. (2002) mit normalgewichtigen Frauen (BMI < 26) im Alter von 18 bis 35 Jahren zeigte sich ein signifikanter Anstieg des absoluten Ruheumsatzes, nicht aber in Bezug zur fettfreien Körpermasse. Dionne, Melancon, Brochu, Ades und Poelhman (2004) stellten bei untrainierten Frauen eine altersbedingt unterschiedliche Response fest. Hier zeigten die jüngeren Frauen eine signifikante Steigerung des Ruheumsatzes, die älteren hingegen nicht. Bei Lemmer et al. (2001) zeigte sich trotz gleicher Anstiege in der fettfreien Körpermasse eine geschlechtsabhängiger Ruheumsatzveränderung (kein signifikanter Anstieg bei den Frauen; +9 % bei den Männern), aber kein altersabhängiger Effekt. In einer Trainingsstudie von Fatouros et al. (2005) mit übergewichtigen Männern fielen die Steigerungsraten des Ruheumsatzes umso höher aus, je intensiver trainiert wurde.

Kirk et al. (2009) konnten in ihrer Studie mit untrainierten übergewichtigen Erwachsenen zwar eine tendenzielle Erhöhung des Ruheumsatzes feststellen, allerdings kam es sowohl in der Interventions- als auch in der Kontrollgruppe zu einer Zunahme an Körpergewicht. Letztlich ergab sich bei Hunter und Bryan et al. (2002) eine Ruheumsatzerhöhung durch Krafttraining mit älteren Erwachsenen, wobei die Steigerung vorrangig auf einen Anstieg der fettfreien Körpermasse zurückgeführt wurde. Hier zeigten sich wiederum keine Unterschiede in den Effekten zwischen Männern und Frauen.

Demgegenüber stehen Studien, die keine Ruheumsatzveränderungen nachweisen konnten. Eine Untersuchung von Broeder, Burrhus, Svanevik und Wilmore (1992) zeigte bei Personen im Alter von 18 bis 35 Jahren nach zwölf Wochen weder durch ein Ausdauer- noch durch ein Krafttraining eine Erhöhung des Ruheumsatzes. Zum gleichen Ergebnis kamen Sale et al. (1995) bei einer Studie mit übergewichtigen Frauen im Alter von 25 bis 49 Jahren. Auch bei einer randomisierten Trainingsstudie über 26 Wochen mit männlichen und weiblichen Typ 2 Diabetikern im Alter von 39 bis 70 Jahren konnten keine signifikanten Gruppenunterschiede hinsichtlich einer Veränderung des Ruheumsatzes festgestellt werden (Jennings et al., 2009). Taaffe et al. (1995) verglichen ein hochintensives und niedrig dosiertes Krafttraining bei gesunden Frauen im Alter von 65-79 Jahren und konnten in beiden Trainingsgruppen keine Veränderung des Ruheumsatzes feststellen. Bei Dionne et al. (2004) zeigte sich wie oben beschrieben eine ausbleibende Response nur bei älteren, nicht aber bei jüngeren Frauen. Auch in verschiedenen weiteren Studien mit unterschiedlichen Stichproben und unterschiedlicher methodischer Ausrichtung konnten keine Effekte auf den Ruheumsatz durch Krafttraining gefunden werden (Delecluse et al., 2004; Geliebter et al., 1997; Stensvold et al., 2010).

Zusammenfassend lässt sich zu den durch ein Krafttraining erwartbaren Effekten auf den Ruheumsatz folgendes Fazit ziehen:

Wenngleich die gegenwärtige Studienlage vielversprechende Effekte eines Krafttrainings hinsichtlich einer Veränderung von Körperkomposition und Ruheumsatz nahelegt, offenbaren sich dennoch große Wissenslücken bezüglich der konkreten Wirkmechanismen (Tresierras & Balady, 2009). Die differierenden Ergebnisse lassen sich zumindest teilweise auf eine unterschiedliche Methodik bzw. methodische Mängel zurückführen. Zum Teil wurden lediglich kurze Zeiträume betrachtet (Broeder et al., 1992; Campbell et al., 1994; Geliebter et al., 1997; Stensvold et al., 2010), andere Studien wurden mit relativ kleinen Probandenzahlen und/oder ohne Kontrollgruppe durchgeführt (Byrne & Wilmore, 2001; Campbell et al., 1994; Dionne et al., 2004; Hunter & Wetzstein et al., 2000; Lemmer et al., 2001; Pratley et al., 1994; Stensvold et al., 2010), was zum einen die statistische Aussagekraft mindert und

zum anderen die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse beeinträchtigt. Andere Untersuchungen wiederum hatten zusätzlich eine Ernährungsmodifikation zum Inhalt (Campbell et al., 1994; Geliebter et al., 1997) oder wurden mit manifest Erkrankten durchgeführt (Jennings et al., 2009), was ebenfalls Einfluss auf den Ruheumsatz nehmen kann und die Vergleichbarkeit der Studienergebnisse erschwert.

Trotz einer Fülle an Studien, die die kurzfristigen Effekte eines Krafttrainings auf den Ruheumsatz untersucht haben, existiert nur eine limitierte Anzahl an Studien zu den Langzeiteffekten über einen Zeitraum von sechs Monaten oder länger (Kirk et al., 2009). Zudem unterscheiden sich die Studien im Belastungsgefüge für das Krafttraining, welches auch nicht immer hinreichend beschrieben wird. Ein hochintensives Krafttraining scheint bessere Effekte auf den Ruheumsatz zu erzielen (Fatouros et al., 2005). Allerdings kann eine solche Trainingsform aus gesundheitlicher Sicht nicht bedenkenlos auf Trainingsbeginner und somit auf die typische Klientel eines präventiven Krafttrainings übertragen werden (Zimmermann, 2002). Befunde zu den Effekten eines für den präventiven Bereich besonders empfehlenswerten Kraftausdauertrainings auf den Ruheumsatz fehlen weitgehend. Der Übersichtsartikel von Treserras und Balady (2009) kommt zu dem Schluss, dass die derzeitigen Wissenslücken zur gesundheitlichen Effektivität eines Krafttrainings weitere Studien notwendig machen. Kontrollierte Trainingsstudien zu den Wirkungen körperlicher Aktivität ohne eine zusätzliche Ernährungsmodifikation bieten hierbei die beste Möglichkeit, um eine Basis für entsprechende Empfehlungen liefern zu können (Stiegler & Cunliffe, 2006, S. 258). Ziel der durchgeführten Studie war es daher, die isolierten Effekte eines definierten Krafttrainingsreizes auf das Körpergewicht, die Körperkomposition und den Ruheumsatz zu untersuchen.

2.3 Krafttraining und epidemiologisch bedeutsame Risikofaktoren

Der Definition der International Diabetes Federation zufolge müssen zur Diagnose eines Metabolischen Syndroms eine körperstammbetonte (abdominale) Adipositas sowie zusätzlich zwei der vier folgenden Risikofaktoren vorhanden sein (Alberti, Zimmet & Shaw, 2005):

- ein erhöhter Ruheblutdruck (systolisch ≥ 130 mmHg bzw. diastolisch ≥ 85 mmHg) oder die Behandlung eines diagnostizierten Bluthockdrucks,
- ein erhöhter Nüchtern-Glukose-Spiegel (≥ 100 mg·dl⁻¹) oder die Behandlung eines diagnostizierten Diabetes mellitus Typ 2,
- ein erhöhter Triglyceridspiegel (≥ 150 mg·dl⁻¹),
- ein erniedrigter HDL-Cholesterinspiegel (♀: < 50 mg·dl⁻¹; ♂: < 40 mg·dl⁻¹) oder die spezifische Behandlung entsprechender Fettstoffwechselstörungen.

Mit steigendem Übergewicht und zunehmender körperlicher Inaktivität steigt die Wahrscheinlichkeit eines Metabolischen Syndroms und der damit assoziierten Erkrankungen. Aus präventiver Sicht sollte bei Empfehlungen zur körperlichen Aktivität der Schwerpunkt auf die Reduktion dieser zentralen Risikofaktoren gelegt werden. Da ein gesundheitssportliches Krafttraining lange Zeit vorrangig als Maßnahme betrachtet wurde, einem Verlust an Muskulatur und funktionellen Fähigkeiten vorzubeugen, ist der Kenntnisstand zur Prävention der genannten gesundheitlichen Risiken unzureichend (Hurley, Hanson & Sheaff, 2011). Seit jüngerer Zeit existiert eine zunehmende Anzahl an Studien, die Krafttraining als Maßnahme zur Beeinflussung von Gesundheitsstörungen untersucht haben. Die Evidenzlage, inwiefern ein Krafttraining zu einer Reduktion von Risikofaktoren für Herz-Kreislauf-Erkrankungen beitragen kann, ist derzeit allerdings uneinheitlich (Strasser, Siebert & Schobersberger, 2010).

2.3.1 Abdominale Adipositas

Eine körperstammbetonte Adipositas gilt als stärkerer Prädiktor für die Entwicklung einer Insulinresistenz und eines Metabolischen Syndroms als eine generalisierte Adipositas (Grundy, 2005, S. 2736). Verschiedene Studien haben die Effekte eines Krafttrainings auf die abdominale Fettverteilung untersucht. Einem Review von Hurley et al. (2011) zufolge fand sich zwar in den meisten Studien eine signifikante Reduktion des viszeralen Fettgewebes, allerdings waren die Veränderungen relativ gering. Des Weiteren wurden in vielen Studien, die über eine Abnahme des viszeralen Fettgewebes berichten, mögliche Einflussfaktoren wie beispielsweise eine reduzierte Kalorienaufnahme nicht adäquat kontrolliert. Das Ausmaß, inwiefern ein Krafttraining unabhängig von einer Ernährungsmodifikation zu einer bedeutsamen Reduktion abdominalen Körperfettdepots beitragen kann, bleibt daher unklar (Hurley et al., 2011, S. 295).

Eine bessere Beweislage zeigt sich dahingehend, dass Krafttraining einer altersbedingten Zunahme viszeraler Körperfettdepots entgegenwirken (Hurley et al., 2011, S. 295) und unabhängig von einer Kalorienrestriktion zu einer positiven Veränderung der Körperkomposition beitragen kann (Strasser & Schobersberger, 2011). So konnte in einer Studie von Hunter, Brock et al. (2010) gezeigt werden, dass regelmäßiges Krafttraining das Potenzial hat, einen Anstieg viszeraler Fettdepots im Folgejahr an eine diätinduzierte Gewichtsreduktion um zwölf Kilogramm zu verhindern und das trotz einer Gewichtszunahme von etwa vier Kilogramm innerhalb dieses Zeitraums (Hunter & Brock et al., 2010). Eine Studie mit übergewichtigen Frauen im Alter zwischen 25 und 44 Jahren kommt zu dem Ergebnis, dass Krafttraining als effektive Intervention zur Vermeidung eines altersbedingten Anstiegs abdominaler Fettdepots anzusehen ist (Schmitz et al., 2007).

Dennoch bleibt die Frage offen, ob alleine über ein Krafttraining eine risikobehaftete abdominale Körperfettzunahme bei gesunden Erwachsenen verhindert bzw. hinausgezögert werden kann.

2.3.2 Erhöhter Ruheblutdruck

Während bereits ein Ruheblutdruck von systolisch ≥ 130 mmHg und diastolisch ≥ 85 mmHg als Risikofaktor zur Diagnose eines Metabolisches Syndrom eingestuft wird (Alberti et al., 2005), bezeichnet man die dauerhafte Erhöhung des Blutdrucks mit Werten von systolisch ≥ 140 mmHg und diastolisch ≥ 90 mmHg als Bluthochdruck (Hypertonie) (Chobanian et al., 2003, S. 11; Mancia et al., 2013, S. 1286). Ein erhöhter Blutdruck ist eng mit dem Alter, dem Körpergewicht und der Fettverteilung assoziiert und gilt als die häufigste Begleiterkrankung der Adipositas (Wirth, 2008, S. 214). Des Weiteren gilt die Hypertonie als Hauptursache für frühzeitige Todesfälle und weist zusätzlich eine hohe Potenz für ischämische Herzerkrankungen und Schlaganfälle auf (Lawes, Vander Hoorn & Rodgers, 2008). Da verhaltensbedingte Faktoren wie Übergewicht und mangelnde körperliche Aktivität für die Entstehung eines Bluthochdrucks mitverantwortlich gemacht werden, scheint das Präventionspotenzial sehr hoch (Stamler et al., 1999).

Die aktuellen Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland zeigen, dass jeder dritte Erwachsene (30 % der Frauen und 33 % der Männer) im Alter von 18 bis 79 Jahren einen Bluthochdruck hat (Neuhauser, Thamm & Ellert, 2013). Allerdings zeigt sich eine deutliche Altersabhängigkeit. Während nur etwa knapp 5 % der jungen Erwachsenen (18 bis 29 Jahre) betroffen sind, ist bei den 18- bis 50-Jährigen pro Lebensdekade nahezu eine Verdoppelung und in den folgenden 20 Jahren eine weitere Verdoppelung der Hypertonieprävalenz zu beobachten. Entsprechend hatten bei den 70 bis 79-Jährigen fast drei Viertel aller Erwachsenen eine Hypertonie (Neuhauser et al., 2013).

Interventionen zur Blutdruckregulation sollten nicht erst beim Erreichen der Grenzwerte einer beginnenden Hypertonie einsetzen, da mit jedem Anstieg um 20 mmHg systolisch und 10 mmHg diastolisch, beginnend bei einem Blutdruck von 115/75 mmHg, sich das Risiko einer kardiovaskulären Erkrankung verdoppelt (Chobanian et al., 2003). Blutdruckwerte zwischen 120 und 139 mmHg systolisch und 80 bis 89 mmHg diastolisch sollten daher nicht mehr als normoton, sondern als Vorstufe zur Hypertonie angesehen werden. Diesen Personen empfiehlt das "Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure" die Einhaltung eines gesundheitsförderlichen Lebensstils, um einen zunehmenden Blutdruckanstieg zu verhindern (Chobanian et al., 2003).

Trainingsempfehlungen zur Vorbeugung eines Bluthochdrucks bzw. zur Blutdrucksenkung beinhalten in erster Linie Ausdaueraktivitäten. Entsprechende Gesundheitswirkungen konnten in vielen Studien aufgezeigt werden (Pescatello et al., 2004). Für ein Krafttraining wurde lange Zeit angenommen, dass hierdurch keine vergleichbaren kardiovaskulären Effekte zu erwarten sind (Phillips & Winett, 2010). Mittlerweile mehren sich Studien, die eine Senkung des systolischen und diastolischen Blutdrucks durch ein Krafttraining nachweisen konnten.

Eine Metaanalyse von Kelley und Kelley (2000) kommt zu dem Ergebnis, dass Krafttraining eine Blutdrucksenkung in einem Ausmaß von jeweils 3 mmHg systolisch und diastolisch bewirken kann. Diese auf den ersten Blick geringe Reduktion von zwei bzw. vier Prozent des Ausgangswertes scheint jedoch eine wichtige klinische Relevanz zur Verringerung des Risikos für einen Schlaganfall oder eine koronare Herzerkrankung zu haben (Kelley & Kelley, 2000). Eine weitere Metaanalyse von Fagard und Cornelissen (2007) inkludierte insgesamt neun RCT-Studien und legt ebenfalls nahe, dass Krafttraining das Potenzial hat, den Blutdruck um 3,2 mmHg systolisch und 3,5 mmHg diastolisch zu senken. Des Weiteren scheint es keine Evidenz dafür zu geben, dass Krafttraining zu einem Blutdruckanstieg führt. Die Belastungsvorgaben der einbezogenen Studien waren allerdings sehr unterschiedlich. Die Autoren stellen daher fest, dass die Studienlage derzeit lückenhaft ist (Fagard & Cornelissen, 2007). Braith und Stewart (2006) kommen in ihrem Review zu dem Ergebnis, dass zwar geringfügige Blutdrucksenkungen grundsätzlich erstrebenswert sind, allerdings aufgrund der derzeitigen Studienlage die Frage eines unabhängigen Effektes durch Krafttraining bei hypertensiven oder prä-hypertensiven Personen nicht beantwortet werden kann. Um die isolierte Rolle eines Krafttrainings zu untersuchen, sollten daher weitere RCT-Studien durchgeführt werden (Braith & Stewart, 2006, S. 2647).

Den Empfehlungen des ACSM zufolge bildet körperliches Training respektive Krafttraining einen Eckpfeiler zur Primärprävention, Kontrolle und Behandlung einer Hypertonie. Allerdings bedürfen die optimale Trainingsfrequenz, -intensität und -dauer einer genaueren Definition, um die Potenziale für eine Blutdrucksenkung genauer beschreiben zu können (Pescatello et al., 2004).

2.3.3 Blutglukosespiegel

Eine erhöhte Nüchtern-Plasma-Glukose gilt als wesentlicher Risikofaktor für die Entwicklung eines Diabetes mellitus Typ 2. Eine systematische Analyse internationaler Daten zeigt, dass diese Stoffwechselerkrankung eine weltweit steigende Gesundheitsgefahr darstellt und sich die Zahl der Erkrankten in den letzten drei Jahrzehnten mehr als verdoppelt hat (Danaei et al., 2011, S. 7).

Auch der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland zufolge ist die Zahl der Personen mit einem bekannten Diabetes innerhalb der letzten Dekade um 38 % gestiegen (Heidemann, Du, Schubert, Rathmann & Scheidt-Nave, 2013).

Unabhängig von genetischen Faktoren steht die Krankheitsentstehung in einer engen Beziehung zu Übergewicht und Adipositas. So wie im Laufe des Erwachsenenalters bei beiden Geschlechtern die Übergewichtsrate zunimmt, steigt auch die Prävalenz eines Diabetes mellitus Typ 2 mit dem Alter drastisch an. Zur Prävention der Krankheitsentstehung liegen mittlerweile einige Interventionsstudien vor, die die Effekte einer Lebensstiländerung eindrucksvoll bestätigen konnten (Knowler et al., 2002; Pan et al., 1997; Tuomilehto et al., 2001). Neben einer Ernährungsumstellung, verbunden mit einer Reduktion des Körpergewichts, kommt einer Steigerung der körperlichen Aktivität eine entscheidende Rolle zur Kontrolle und Therapie von Störungen des Glukosestoffwechsels und damit verbundener Gesundheitsrisiken zu (Colberg et al., 2010).

Auch in Bezug auf den Zuckerstoffwechsel wurde einem Krafttraining im Vergleich zum Ausdauertraining lange Zeit eine untergeordnete Bedeutung beigemessen. Tatsächlich mehren sich jedoch die Befunde, dass Krafttraining zur Beeinflussung der wichtigsten kardiovaskulären Risikofaktoren ebenso effektiv sein kann wie ein Ausdauertraining (Phillips & Winett, 2010; Snowling & Hopkins, 2006). Studien zufolge führt ein Krafttraining bei Personen mit gestörter Glukostoleranz (Nüchtern-glukose: 100 bis 125 mg·dl⁻¹) zu einer akuten Verbesserung der Insulinsensitivität über mindestens 24 Stunden im Anschluss an das Training. Ein hoher Umfang und eine höhere Intensität scheinen dabei größere Effekte mit sich zu bringen. Die Ergebnisse legen nahe, dass Krafttraining eine geeignete Methode zur Verbesserung der Insulinsensitivität bei Personen mit gestörter Glukostoleranz darstellt (Black, Swan & Alvar, 2010). In weiteren Studien konnte gezeigt werden, dass Krafttraining zu einer Normalisierung des Blutzuckerspiegels und einer verbesserten Insulinwirkung beitragen kann (Bweir et al., 2009; Cauza et al., 2005; Dunstan et al., 2002; Ibanez et al., 2005). In einer randomisierten Studie zum Vergleich von „Krafttraining plus moderate Gewichtsreduktion“ und „moderate Gewichtsreduktion plus Kontrollprogramm“ führte ein intensives Krafttraining bei älteren Männern mit einem Diabetes mellitus Typ 2 zu einer Verbesserung der HbA_{1c}-Werte, verbunden mit einer Gewichtsreduktion und einem Erhalt der fettfreien Körpermasse während der Kalorienrestriktion (Dunstan et al., 2002). Eine Studie zu den Effekten von Krafttraining ohne begleitende Diät bei Männern mit einem neu diagnostizierten aber noch unbehandelten Diabetes mellitus Typ 2 konnte nach 16 Wochen eine signifikante Verbesserung der Insulinsensitivität, eine Abnahme der Nüchtern-Blutzuckerwerte sowie eine Reduktion abdominalen Fettdepots feststellen. Die HbA_{1c}-Werte blieben allerdings unverändert

(Ibanez et al., 2005). Bei einer weiteren Studie mit Diabetikern führte sowohl ein Kraft- als auch ein Ausdauertraining zu einer Reduktion der Blutzuckerwerte vor und im Anschluss an das Training sowie zur Senkung der HbA_{1c}-Werte. Beim Ausmaß der Senkung war das Krafttraining einem Laufbandtraining überlegen (Bweir et al., 2009). Eine RCT-Studie von Cauza et al. (2005) kommt zu dem Schluss, dass über Krafttraining, verglichen mit Ausdauertraining, bessere blutzuckerregulierende Effekte zu erzielen sind und dieses daher eine wichtige Rolle in der Behandlung von Diabetikern spielen kann (Cauza et al., 2005).

Den Untersuchungsbefunden zufolge scheint Krafttraining das Potenzial zu haben, einer altersassoziierten Insulinresistenz entgegenzuwirken und den Beginn einer Diabetes-Erkrankung zu verhindern bzw. hinauszuzögern (Strasser & Schobersberger, 2011). Für entsprechende Effekte ist allerdings offenbar ein regelmäßiges und kontinuierliches Training erforderlich (Colberg et al., 2010, S. 2295). Einschränkend bleibt festzustellen, dass viele Studien nur manifeste Diabetiker und nicht die typische Klientel eines präventiven Krafttrainings einbeziehen. Des Weiteren beschäftigen sich viele Studien mit den Effekten eines intensiven Krafttrainings. Kontrollierte Studien zu den Wirkungen eines Kraftausdauertrainings fehlen hingegen, obwohl gerade hierdurch sowohl eine Veränderung der Körperkomposition als auch eine Verbesserung der oxydativen Kapazität der Muskulatur und insofern eine positive Beeinflussung des Glukosestoffwechsels zu erwarten ist (Zimmermann, 2002, S. 130). Um die Potenziale verschiedener Krafttrainingsmethoden zu den Effekten auf den Glukosestoffwechsel genauer beschreiben zu können, sind daher weitere Studien erforderlich.

2.3.4 Blutlipidprofil

Erhöhte Blutfettwerte scheinen mit einem erhöhten kardiovaskulären Erkrankungsrisiko einherzugehen (Hurley & Roth, 2000, S. 253). Prognostisch relevant sind dabei insbesondere erhöhte Werte des Gesamtcholesterins und des LDL-Cholesterins sowie ein erniedrigtes HDL-Cholesterin (Scheidt-Nave et al., 2013). Zur Identifizierung von Fettstoffwechselstörungen hat sich in vielen Ländern die Messung von Gesamtcholesterin und HDL-Cholesterin etabliert (Carroll, Kit & Lacher, 2012). Von einem erhöhten Gesamtcholesterin wird nach den aktuellen Leitlinien der European Society of Cardiology bei Werten $\geq 190 \text{ mg} \cdot \text{dl}^{-1}$ gesprochen. Zusätzlich werden Werte von $\geq 240 \text{ mg} \cdot \text{dl}^{-1}$ als stark erhöht eingestuft (Perk et al., 2012).

Der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland zufolge haben mehr als die Hälfte der Frauen und Männer im Alter von 18 bis 79 Jahren ein erhöhtes Gesamtcholesterin. Bei jeweils einem Drittel wurden sogar stark erhöhte Werte festgestellt (Scheidt-Nave et al., 2013). Zur Beurteilung der HDL-Cholesterinwerte wurden in dieser Studie gemäß den Emp-

fehlungen des Amerikanischen US-Adult Treatment Panel Werte $<40 \text{ mg-dl}^{-1}$ als erniedrigt definiert (Carroll et al., 2012). Niedrige HDL-Werte korrelieren mit der Höhe des Körpergewichtes und dem Anteil der viszeralen Fettmasse (Wirth, 2008, S. 201). Insgesamt hatten 3,6 % der Frauen und 19,3 % der Männer erniedrigte HDL-Cholesterinwerte (Scheidt-Nave et al., 2013). Von klinischem Interesse sind ferner erhöhte Triglyceride, da diese Form der Fettstoffwechselstörung bei einer abdominalen Adipositas am häufigsten anzutreffen ist. Die Kombination von erhöhten Triglyceriden und niedrigen HDL-Cholesterin-Werten ist als wesentliches Risiko für die Entwicklung einer Arteriosklerose anzusehen (Wirth, 2008, S. 203).

Die Studienergebnisse zur Beeinflussung der Blutfettwerte durch ein Krafttraining sind divergent. Einige Studien konnten wünschenswerte Veränderungen des Blutlipidprofils durch ein Krafttraining aufzeigen (Fahlman, Boardley, Lambert & Flynn, 2002; Kelley & Kelley, 2009; Misra et al., 2008; Tambalis, Panagiotakos, Kavouras & Sidossis, 2009), andere hingegen scheiterten mit diesem Versuch (Kokkinos et al., 1988; Smutok et al., 1993). Wiederum andere Untersuchungen legen nahe, dass ein kombiniertes Ausdauer- und Krafttraining bessere Effekte auf das Blutlipidprofil erzielen kann als alleiniges Ausdauertraining (Pitsavos et al., 2009). Ein Review von Kelley und Kelley (2009) fasste RCT-Studien zwischen 1955 und 2007 zum Einfluss eines Krafttrainings auf das Blutlipidprofil zusammen und fand eine durchschnittliche Reduktion des Gesamtcholesterins um 2,7 % und der Triglyceride um 6,4 %. Keine signifikanten Veränderungen konnten hingegen beim HDL-Cholesterin festgestellt werden (Kelley & Kelley, 2009). Den Empfehlungen des ACSM zufolge kann das Blutlipidprofil bei älteren Erwachsenen durch Krafttraining in Form einer Senkung der Triglyceride um 11 bis 18 % und eines Anstiegs des HDL-Cholesterins um 8 bis 21 % verbessert werden (Chodzko-Zajko et al., 2009, S. 1519). Andere Autoren berichten, dass bei vielen Studien, die eine Verbesserung der Blutlipidprofile feststellen konnten, die isolierten Effekte eines Krafttrainings nicht kontrolliert wurden. Bei Kontrolle möglicher Einflussfaktoren (z. B. der Ernährung oder von Schwankungen in Abhängigkeit von der Jahres- oder Tageszeit) konnten die meisten Studien keine signifikanten Veränderungen finden (Braith & Stewart, 2006; Hurley et al., 2011; Hurley & Roth, 2000; Williams et al., 2007). In ihrem systematischen Review kommen Strasser et al. (2010) zu dem Schluss, dass die Evidenzlage zur Verbesserung des Blutlipidprofils durch Krafttraining dürftig ist. Die meisten Untersuchungen zeigten keine Verbesserungen, was auch daran liegen könnte, dass in einigen Studien die Werte zu Beginn als normal einzustufen waren (Strasser et al., 2010, S. 401).

Während derzeit keine eindeutige Aussage über die Möglichkeit einer direkten Beeinflussung des Fettstoffwechsels gemacht werden kann, werden auch krafttrainingsinduzierte indirekte Effekte auf das Blutlipidprofil über durch Krafttraining erreichte Veränderungen der Körper-

komposition und der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) diskutiert (Zimmermann, 2002, S. 124). Aufgrund der zu erwartenden Effekte auf Herz-Kreislauf-System und Körperkomposition scheint eine indirekte Wirkung auf die Triglyceride und Lipoproteine am ehesten durch ein Kraftausdauertraining in Zirkelform zu erreichen (Zimmermann, 2002, S. 122). Da bislang nur wenige Studien die Wirksamkeit eines Kraftausdauertrainings auf das Blutlipidprofil überprüft haben, sind weitere Untersuchungen notwendig (Zimmermann, 2002, S. 123).

2.4 Untersuchungsziel und Operationalisierung

Krafttraining stellt aus präventiver Sicht eine häufig empfohlene Belastungsform dar, der sowohl leistungssteigernde als auch gesundheitsförderliche Effekte zugesprochen werden (ACSM, 2009, 2011). Wie dargestellt basieren Trainingsempfehlungen meist auf Beobachtungsstudien (ACSM, 2009, 2011; Haskell et al., 2007; Williams et al., 2007) und sind in der Literatur bislang vor allem unter dem Aspekt der erzielbaren gesundheitsrelevanten Effekte unzureichend beschrieben (Zimmermann, 2002). Insbesondere Längsschnittstudien an untrainierten Erwachsenen, die mit einer ausreichenden Probandenzahl durchgeführt werden und einen längeren Zeitraum betrachten, sind selten (Dishman et al., 2013). Eine randomisierte, kontrollierte Trainingsstudie kann daher wichtige Erkenntnisse liefern, welche leistungsphysiologischen und gesundheitlichen Anpassungseffekte durch einen definierten gesundheitssportlichen Krafttrainingsreiz erzielt werden können. Aus trainingswissenschaftlicher Sicht sind hierbei die Methoden zur Verbesserung der Kraftausdauerleistungsfähigkeit sowie die Methoden zum Erhalt und zur Steigerung von Muskelmasse von Bedeutung.

Um die Effekte eines präventiven Krafttrainings auf den Ruheumsatz, anthropometrische Daten und weitere ausgewählte Gesundheitsparameter zu untersuchen, sollte eine Trainingsstudie mit zwei Studienabschnitten über jeweils sechs Monate durchgeführt werden. Da Gesundheitsbelastungen und Erkrankungen mit dem Alter deutlich ansteigen, sollte das Probandenkollektiv aus gesunden, untrainierten Männern und Frauen im Alter von 30 bis 60 Jahren ohne ausgeprägte Risikofaktoren bestehen, was die typische Zielklientel für ein primärpräventives Training repräsentiert. Das Studiendesign sowie sämtliche methodischen Aspekte und Auswertungsschritte wurden a priori festgelegt. Im ersten Studienabschnitt sollte eine randomisierte Trainingsstudie im Kontrollgruppendesign durchgeführt werden. Nach einer Eingangsuntersuchung sollte die Interventionsgruppe ein standardisiertes Kraftausdauertrainingsprogramm über einen Zeitraum von sechs Monaten durchführen. Die Kontrollgruppe sollte ihre bisherigen Lebensgewohnheiten beibehalten. Nach Abschluss dieser Studienphase sollte bei beiden Gruppen ein Abschlusstest analog zum Eingangstest erfolgen.

Anschließend sollten die Teilnehmer der Interventionsgruppe ein intensitätsorientiertes Krafttraining (Hypertrophietraining) über einen Zeitraum von ebenfalls einem halben Jahr durchführen. Dieser zweite Studienabschnitt sollte ohne Kontrollgruppe durchgeführt werden, da dieser aus ethischen Gründen eine Sportabstinenz nicht länger vorgeschrieben werden sollte. Von denjenigen Probanden, die insgesamt ein ganzes Jahr regelmäßig trainiert hatten, sollten die Ergebnisse im Zeitverlauf und eventuelle Mehreffekte durch die zweite Trainingsphase dargestellt werden. Die Teilnehmer der Kontrollgruppe sollten im Anschluss an die Kontrollphase die Möglichkeit erhalten, das Kraftausdauertraining in gleicher Art und Weise zu durchlaufen (Waiting-Control-Gruppe).

Abgeleitet aus den theoretischen Überlegungen und der übergeordneten Zielsetzung werden für den ersten Studienabschnitt Kraftausdauer folgende Forschungsfragen und Arbeitshypothesen mit den dazugehörigen Hauptzielparametern formuliert:

Forschungsfragen 1. Studienabschnitt: Kraftausdauertraining

Welche leistungsphysiologischen Anpassungseffekte, welche Veränderungen beim Ruheumsatz, den anthropometrischen Parametern und der Körperkomposition sowie welche gesundheitsprotektiven Anpassungseffekte lassen sich durch ein 6-monatiges, progressives und individuell gesteuertes Kraftausdauertraining bei gesunden untrainierten 30 bis 60 jährigen Erwachsenen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe erzielen?

Zur Überprüfung der leistungsphysiologischen Anpassungseffekte lassen sich folgende operationale Hypothesen ableiten:

- H_{1.1}:** Das Kraftausdauertraining führt zu einer Veränderung der maximalen Laufgeschwindigkeit beim Stufentest (V_{\max}).
- H_{1.2}:** Das Kraftausdauertraining führt in der Interventionsgruppe zu einer Veränderung der Maximalkraft (1-RM).
- H_{1.3}:** Das Kraftausdauertraining führt in der Interventionsgruppe zu einer Veränderung der maximal bewältigbaren Last bei 20 Wiederholungen (20-RM).
- H_{1.4}:** Das Kraftausdauertraining führt in der Interventionsgruppe zu einer Veränderung der pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast.

Zur Darstellung von Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit sollte als klassischer Maximalparameter die Laufgeschwindigkeit beim Laufbandtest herangezogen werden. Die Messung der Kraftleistungsfähigkeit sowie die Belastungssteuerung des Kraftausdauertrainings in der Interventionsgruppe sollte anhand einschlägiger wissenschaftlicher Empfehlun-

gen erfolgen (ACSM, 2009, 2010, 2011; Fleck & Kraemer, 2004; Fröhlich & Schmidtbleicher, 2008; Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Marschall & Fröhlich, 1999; Martin et al., 2001; Williams et al., 2007; Zimmermann, 2002). Zusätzlich sollten Veränderungen des Trainingsumfangs im Interventionsverlauf anhand der pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast, und der Trainingsreiz anhand stichprobenartiger Laktat- und Herzfrequenzkontrollen überprüft werden.

Zur Überprüfung von Veränderungen des Ruheumsatzes durch ein Kraftausdauertraining lassen sich folgende operationale Hypothesen ableiten:

- H_{2.1}:** Das Kraftausdauertraining führt zu einer Veränderung des absoluten Ruheumsatzes (Kilokalorien pro Tag).
- H_{2.2}:** Das Kraftausdauertraining führt zu einer Veränderung des körpergewichtsbezogenen Ruheumsatzes (Kilokalorien pro Kilogramm Körpergewicht und Tag).
- H_{2.3}:** Das Kraftausdauertraining führt zu keiner Veränderung des auf die fettfreie Körpermasse bezogenen Ruheumsatzes (Kilokalorien pro Kilogramm fettfreier Körpermasse und Tag).

Die Messung des Ruheumsatzes sollte mittels indirekter Kalorimetrie erfolgen, da diese als Referenzmethode anzusehen ist (Haugen et al., 2007). Die Durchführung und Auswertung der Messung sollte einen möglichst hohen Standardisierungsgrad erreichen und sich an international gängigen Empfehlungen orientieren (Carlsohn, Scharhag-Rosenberger, Cassel & Mayer, 2011; Compher, Frankenfield, Keim & Roth-Yousey, 2006; Haugen et al., 2007; Matarese, 1997).

Zur Überprüfung von Veränderungen bei den anthropometrischen Parametern und der Körperkomposition lassen sich folgende operationale Hypothesen ableiten:

- H_{3.1}:** Das Kraftausdauertraining führt zu einer Veränderung des Körpergewichts.
- H_{3.2}:** Das Kraftausdauertraining führt zu einer Veränderung des BMI.
- H_{3.3}:** Das Kraftausdauertraining führt zu einer Veränderung der WHR.
- H_{3.4}:** Das Kraftausdauertraining führt zu einer Veränderung des prozentualen Körperfettanteils und der fettfreien Körpermasse.

Die Erfassung von Körpergewicht, BMI und WHR sollte anhand standardisierter Messanleitungen erfolgen. Für die Messung des Körperfettanteils und der daraus berechneten fettfreien Körpermasse sollten mit der 10-Punkt-Kalipermetrie und der bioelektrischen Impedanz-

analyse zwei verschiedene Verfahren angewendet werden. Auch hierfür sollten jeweils standardisierte Messanleitungen erstellt werden.

Zur Überprüfung der gesundheitlichen Effektivität eines Kraftausdauertrainings lassen sich folgende operationale Hypothesen ableiten:

- H_{4.1}:** Das Kraftausdauertraining führt zu einer Veränderung der Ruheherzfrequenz.
- H_{4.2}:** Das Kraftausdauertraining führt zu einer Veränderung des Ruheblutdrucks.
- H_{4.3}:** Das Kraftausdauertraining führt zu einer Veränderung des Gesamtcholesterins.
- H_{4.4}:** Das Kraftausdauertraining führt zu einer Veränderung der Nüchtern-Glukosewerte.

Die Ruheherzfrequenz sollte nach einer Ruhephase aus dem Ruhe-EKG abgeleitet werden. Die Ruheblutdruckmessungen sollten sphygmomanometrisch jeweils an der linken und rechten Seite erfolgen. Als weitere wichtige Gesundheitsindikatoren sollten das Gesamtcholesterin und die Nüchtern-Glukose bestimmt werden.

Die interventionsbedingten Effekte sollten durch statistische Vergleiche der Tests von Kraftausdauer- und Kontrollgruppe zu Studienbeginn und nach dem Kraftausdauertraining bzw. nach Ende der Kontrollphase beschrieben werden. Als weitere potenzielle Einflussfaktoren auf die Ergebnisse sollten bei der Datenauswertung Baseline-Unterschiede, das Alter und das Geschlecht berücksichtigt werden. Für die Trainingsintervention sollte eine regelmäßige Betreuung und Kontrolle gewährleistet werden. Die Probanden der Kontrollgruppe sollten regelmäßig kontaktiert werden, um das Interesse an der Studie aufrecht zu erhalten.

Bei den Teilnehmern, die auch den zweiten Studienabschnitt Hypertrophietraining komplett absolviert hatten, sollten die Anpassungseffekte an ein einjähriges präventives Krafttraining im Zeitverlauf sowie eventuelle Mehreffekte durch das intensitätsorientierte Krafttraining untersucht werden. Durchführungs- und Auswertungsmethodik sollte dabei möglichst unverändert bleiben. Für diese Aufgabe lassen sich folgende Forschungsfragen und Arbeitshypothesen mit den dazugehörigen Hauptzielparametern ableiten:

Forschungsfragen 2. Studienabschnitt: Hypertrophietraining

Welche zusätzlichen leistungsphysiologischen Anpassungseffekte, weiteren Veränderungen beim Ruheumsatz, den anthropometrischen Parametern und der Körperkomposition sowie welche weiteren gesundheitspositiven Anpassungseffekte lassen sich durch ein weiterführendes 6-monatiges, progressives und individuell gesteuertes Hypertrophietraining bei gesunden untrainierten 30 bis 60 jährigen Erwachsenen erzielen?

Zur Überprüfung dieser Fragestellungen werden folgende operationale Hypothesen formuliert:

H_{5.1}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung der maximalen Laufgeschwindigkeit beim Stufentest (V_{\max}).

H_{5.2}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung der Maximalkraft (1-RM).

H_{5.3}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung der maximal bewältigbaren Last bei 10 Wiederholungen (10-RM).

H_{5.4}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung der pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast.

H_{6.1}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung des absoluten Ruheumsatzes (Kilokalorien pro Tag).

H_{6.2}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung des körpergewichtsbezogenen Ruheumsatzes (Kilokalorien pro Kilogramm Körpergewicht und Tag).

H_{6.3}: Das Hypertrophietraining führt zu keiner Veränderung des auf die fettfreie Körpermasse bezogenen Ruheumsatzes (Kilokalorien pro Kilogramm fettfreier Körpermasse und Tag).

H_{7.1}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung des Körpergewichts.

H_{7.2}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung des BMI.

H_{7.3}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung der WHR.

H_{7.4}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung des prozentualen Körperfettanteils und der fettfreien Körpermasse.

H_{8.1}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung der Ruheherzfrequenz.

H_{8.2}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung des Ruheblutdrucks.

H_{8.3}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung des Gesamtcholesterins.

H_{8.4}: Das Hypertrophietraining führt zu einer Veränderung der Nüchtern-Glukosewerte.

Das Ausmaß der Trainingsadaptationen sollte durch statistische Vergleiche von Eingangstest, Abschlusstest am Ende der Kraftausdauerphase und Abschlusstest nach der einjährigen Trainingsphase beschrieben werden.

Bei den Teilnehmern der Waiting-Control-Gruppe, die das Kraftausdauertraining komplett absolviert hatten, sollten die Messergebnisse über den kompletten Beobachtungszeitraum betrachtet und die Ergebnisse der Kontrollphase denen der Kraftausdauerphase gegenübergestellt werden. Aufgrund der zu erwartenden geringen Probandenzahlen und der somit eingeschränkten statistischen Aussagekraft wurde hier auf die Formulierung von Forschungsfragen und Arbeitshypothesen verzichtet.

3 Methodik

3.1 SAusE-Studiendesign

3.1.1 Allgemeiner Studienablauf

Die Studie zur Untersuchung der Effekte eines präventiv orientierten Krafttrainings war Teil der SAusE-Studie (Saarländische Ausdauer-Etappe), einer randomisierten kontrollierten Trainingsstudie (clinicaltrials.gov ID NCT01263533), um vergleichend in einer definierten Population die präventiven Effekte verschiedener sportlicher Aktivitäten zu beurteilen. Hierbei handelte es sich um einen Längsschnittansatz mit vier unabhängigen Stichproben (drei Trainingsgruppen, eine Kontrollgruppe). Die Studie befasste sich in ihrem 1. Abschnitt mit der Untersuchung des Einflusses dreier verschiedener Trainingsmethoden (Vergleich von Ausdauertraining nach der Dauer- oder Intervallmethode sowie eines Kraftausdauertrainings mit jeweils 3 Trainingseinheiten pro Woche) auf prognostisch gesundheitsrelevante Faktoren. Die Kontrollgruppe wurde angehalten, ihre bisherigen Lebensgewohnheiten fortzuführen. Im Anschluss an die Kontrollphase erhielten die Probanden der Kontrollgruppe die Möglichkeit, ebenfalls an einem der Sportprogramme teilzunehmen. Im 2. Abschnitt sollte ein Cross-Over der Non-Responder-Probanden aus den beiden Ausdauerprogrammen erfolgen. Diese Probanden sollten dann eines der beiden von ihnen noch nicht durchgeführten Programme durchführen. Bei der Kraftausdauergruppe schloss sich im Anschluss an den ersten Studienabschnitt eine zweite Trainingsphase mit einem intensitätsorientierten Krafttraining an. In Abb. 1 ist der Gesamtaufbau der SAusE-Studie veranschaulicht. In die Auswertung der Intervention Krafttraining wurden die Daten der Kontroll- und Kraftgruppe einbezogen, was anhand der gestrichelten Linie kenntlich gemacht ist.

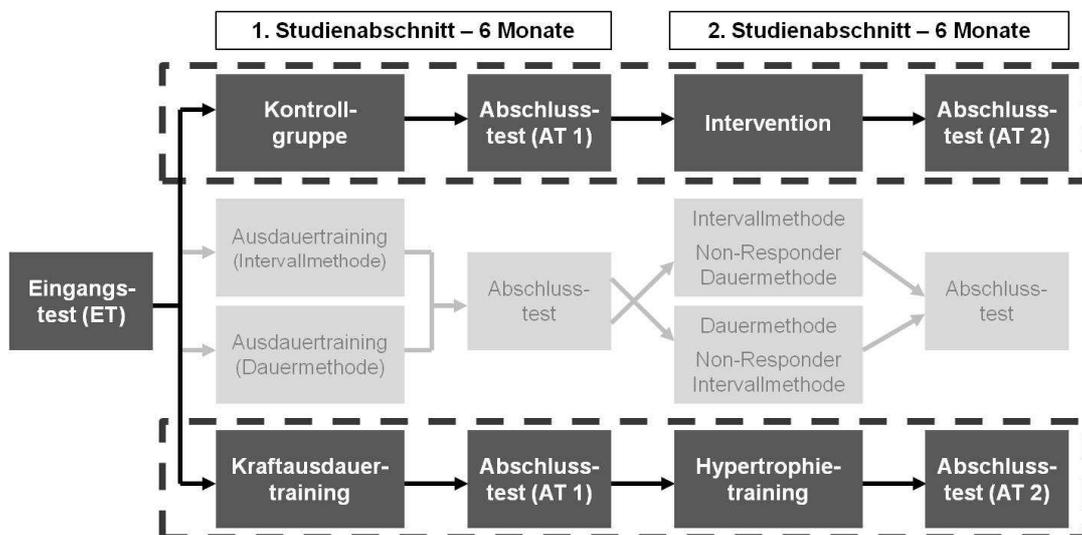


Abb. 1: Gesamtaufbau der SAusE-Studie

Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Ärztekammer des Saarlandes unter der Kenn-Nummer 148/10 bewilligt. Die Teilnehmer wurden mündlich und schriftlich über die Studie und die Untersuchungen aufgeklärt und stimmten der anonymisierten Speicherung der Daten zum Zwecke der Auswertung zu. Die Rekrutierung der Studienteilnehmer erfolgte ab Oktober 2010. Die Datenaufnahme erstreckte sich von Januar 2011 bis Dezember 2012 über insgesamt 24 Monate. Sämtliche Untersuchungen, Laboranalysen sowie die betreuten Trainingseinheiten und die Auswertung der Daten wurden am Institut für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes und an der Deutschen Hochschule für Prävention und Gesundheitsmanagement (DHfPG) durchgeführt.

3.1.2 Einschluss/Ausschluss der Probanden

Für die SAusE-Studie wurden Probanden gesucht, die sich als typische Klientel für ein präventiv ausgerichtetes Training eignen. Insofern sollten gesunde untrainierte, nicht rauchende, weibliche und männliche Erwachsene im Alter von 30 bis 60 Jahren teilnehmen. Weiterhin wurden a priori folgende Teilnahmevoraussetzungen definiert:

- Body-Mass-Index $< 30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$
- keine behandlungsbedürftigen Risikofaktoren oder Erkrankungen
 - arterieller Ruheblutdruck $< 160/100 \text{ mmHg}$
 - Gesamtcholesterin $< 300 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$
 - kein Diabetes mellitus
- untrainiert, das heißt mindestens sechs Monate kein regelmäßig absolviertes Ausdauer- oder Krafttraining sowie keine trainingswirksame Aktivität von mehr als einer Stunde pro Woche ($\text{VO}_{2\text{max}}$: ♂ $< 50 \text{ ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$; ♀ $< 45 \text{ ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$)
- keine Einnahme von Medikamenten mit Einfluss auf die Hauptzielkriterien der Studie (Statine, Betablocker, andere Antihypertensiva etc.)
- kein behandlungsbedürftiger Eisenmangel
- keine internistische oder orthopädische Erkrankungen, die eine sportliche Betätigung ausschließen.

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte über die Bekanntmachung der Studie in den regionalen Medien (Tageszeitung, Hörfunk, Fernsehen) sowie im Rahmen einer Informationsveranstaltung an der Hermann Neuberger Sportschule, Saarbrücken. Bei Interesse konnten sich die potenziellen Teilnehmer per Telefon oder Mail melden und ihre Kontaktdaten hinterlassen. Alle Interessenten wurden telefonisch kontaktiert, wobei anhand eines Fragebogens ein Screening auf Ausschlusskriterien und damit eine erste Vorselektion erfolgte. Bei dieser Gelegenheit erhielten die Teilnehmer weitergehende Informationen zum Aufbau und Ablauf der Studie.

Nur Interessenten, die bereit und in der Lage waren ein regelmäßiges Trainingsprogramm durchzuführen, wurden in die Studie eingeschlossen. Waren alle Einschlusskriterien erfüllt, wurden die Probanden gebeten, sich telefonisch im Sekretariat des Instituts für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes zu melden, um einen Termin zur Eingangsuntersuchung zu vereinbaren. Wurden hierbei keine weiteren Kontraindikationen oder gesundheitliche Risiken festgestellt, erfolgte der Einschluss in die Studie (vgl. Abb. 2).

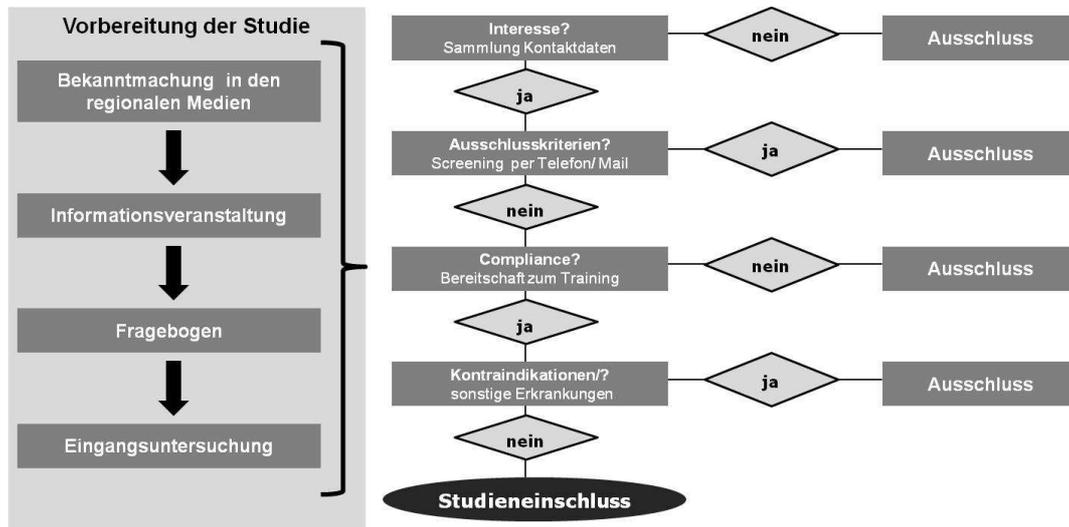


Abb. 2: Teilnehmerrekrutierung bei der SAusE-Studie

Insgesamt bekundeten während der Rekrutierungsphase 1534 Personen per Telefon oder E-Mail Interesse an einer Studienteilnahme. Nach Vorauswahl anhand des oben genannten Fragebogens wurden 373 Interessenten zum Eingangstest (ET) eingeladen. Davon erschienen 28 Personen nicht zur Eingangsuntersuchung oder sagten kurzfristig ab. Des Weiteren mussten 79 Interessenten während der Eingangsuntersuchung aufgrund der vorab festgelegten Ausschlusskriterien oder weiterer Kontraindikationen von der Studie ausgeschlossen werden. Die entsprechenden Ausschlussgründe sind in Tab. 1 im Einzelnen dargestellt.

Tab. 1: Medizinische und sonstige Ausschlussgründe für die Studienteilnahme

medizinische Gründe	n	sonstige Gründe	n
RR _{Ruhe} ≥ 160/100 mmHg	20	geistige Behinderung	1
Cholesterin ≥ 300 mg·dl ⁻¹	8	Raucher	2
BMI ≥ 30 kg·m ⁻²	7	zu viel Sport	11
Diabetes mellitus	2	zu hohe VO _{2max}	4
medikamentös behandelter Eisenmangel	11	keine Zeit	2
medikamentös behandelter TSH-Mangel	1	keine Bereitschaft für Kontrollgruppe	1
pathologisches EKG	1	keine Ausbelastung, Probleme Maske	1
orthopädische Gründe	5	keine Ausbelastung, Probleme Laufband	1
medikamentös behandelte Depression	1		

Insgesamt wurden in der SAusE-Studie 266 Probanden im Anschluss an den Eingangstest stratifiziert randomisiert einer der drei Interventionsgruppen oder der Kontrollgruppe zugeordnet. Als gestufte Stratifizierungsstrategien dienten das Geschlecht und die VO_{2max} in Relation zum Körpergewicht (3 Strata: $< 30 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$; $30\text{-}40 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$; $> 40 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$). Eine Beschreibung der für die vorliegende Untersuchung relevanten Probanden der Kraft- und Kontrollgruppe erfolgt in Kapitel 4.1.

3.1.3 Zwischenausschlusskriterien

Als Zwischenausschlusskriterien während der Studie galten neu auftretende Erkrankungen oder Verletzungen, die als Kontraindikation für die Durchführung des jeweiligen Trainingsprogramms einzustufen waren sowie eine mangelnde Compliance mit den Studienvorgaben (vgl. Kapitel 3.9 und 3.10). Eine Begleitmedikation (falls vorhanden) wurde nicht verändert. Weitere Gründe für einen Ausschluss von Probanden im Verlauf der Studie waren die Durchführung zusätzlicher regelmäßiger und trainingswirksamer sportlicher Aktivitäten, die Neueinnahme von Medikamenten mit möglichem Einfluss auf die Zielparameter sowie eine Trainingsunterbrechung von mehr als drei Wochen am Stück.

3.2 Ablauf und Messmethodik von Eingangs- und Abschlusstest

Mit allen eingeschlossenen Studienteilnehmern wurde ein Eingangstest durchgeführt, bestehend aus einer ärztlichen Untersuchung, der Erhebung anthropometrischer Daten und verschiedener Ruhewerte, einer Blutuntersuchung sowie einer Laufbandergometrie. Sämtliche Untersuchungen wurden am Institut für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes in Saarbrücken durchgeführt. Die Untersuchungstermine wurden vormittags stündlich zwischen acht und elf Uhr vereinbart. Die Probanden mussten nüchtern zur Untersuchung erscheinen, das heißt mit einer Nahrungskarenz von mindestens zwölf Stunden. Des Weiteren wurden die Teilnehmer dazu angehalten, 48 Stunden vor dem Testtag ein Ernährungsprotokoll zu führen. Der Abschlusstest nach Beendigung des ersten (AT 1) wie auch des zweiten Studienabschnitts (AT 2) erfolgte analog zum Eingangstest. Um einen möglichst hohen Standardisierungsgrad zu gewährleisten und mögliche Störeinflüsse durch tageszeitliche Schwankungen zu minimieren, wurde darauf geachtet, dass Testzeitpunkt und Untersuchungsablauf identisch zum Eingangstest waren. Ferner wurde den Probanden vor dem Abschlusstest das Ernährungsprotokoll wieder ausgehändigt mit der Bitte, sich genau wie vor dem Eingangstest zu ernähren, um ernährungsbedingte Einflüsse auf die Testergebnisse weitgehend auszuschließen.

3.2.1 Ärztliche Untersuchung

Im Rahmen der ärztlichen Untersuchung wurden alle Teilnehmer zunächst mit dem Ablauf der Studie vertraut gemacht und über mögliche Risiken der Studienteilnahme aufgeklärt. Ferner wurden die grundlegenden Studienvorgaben erläutert (Bereitschaft zur regelmäßigem Kraft- bzw. Ausdauertraining über sechs Monate bzw. zum Durchlaufen einer Kontrollphase). Es wurde mitgeteilt, dass keine zusätzlichen, über die Trainingsvorgaben hinausgehenden, Trainingsaktivitäten durchgeführt und sonstige Freizeitaktivitäten nur im bisherigen Umfang absolviert werden dürfen. Anschließend erklärten die Probanden schriftlich ihr Einverständnis zur Teilnahme, zu allen Untersuchungen und zur Verwendung ihrer anonymisierten Daten. Die ärztliche Gesundheitsuntersuchung bestand aus einer medizinischen Anamnese, einer Sportanamnese, einer körperlichen Untersuchung sowie aus der Erfassung soziodemografischer Daten (z. B. Beruf, Familienstand etc.).

3.2.2 Ruheparameter und Blutuntersuchung

3.2.2.1 Elektrokardiogramm (EKG) und Herzfrequenz

Das Ruhe-EKG wurde mit einem Q710 Elektrokardiographen geschrieben. Für das Belastungs-EKG wurde das Smartscrip PC-EKG (G. Schmidt, Neunkirchen) verwendet. Sowohl in Ruhe als auch unter Belastung wurde ein Zwölfkanal-EKG (Extremitätenableitungen I bis aVF und Brustwandableitungen von V_1 bis V_6) abgeleitet. Die Ruheherzfrequenz (HF_{Ruhe}) wurde aus dem Ausdruck des Ruhe-EKG ermittelt.

3.2.2.2 Blutdruckmessungen

Die Messung des Ruheblutdrucks (RR_{Ruhe}) erfolgte in liegender Position nach mindestens zehnminütiger Ruhe. Die Messungen wurden per auskultatorischer Sphygmomanometrie an beiden Oberarmen durchgeführt. Zwischen beiden Messungen lag eine Pause von zwei Minuten. Die entsprechenden Werte für den systolischen und diastolischen Blutdruck wurden in Millimeter Quecksilbersäule (mmHg) angegeben. Für die Auswertung wurden immer die Werte der rechten Seite herangezogen.

3.2.2.3 Venöse Blutentnahmen

Der Schwerpunkt der venösen Blutuntersuchung lag auf der Bestimmung der Blutlipide (Cholesterin, HDL, LDL, Triglyzeride) sowie der endothelialen Progenitor-Zellen (EPCs). Zur weiteren diagnostischen Abklärung wurde auch ein Blutbild (rotes und weißes Blutbild, Thrombozyten), Kreatinkinase (CK), Kreatinin, Harnstoff, Harnsäure, Elektrolyte (K^+ , Na^+ , Mg^{++}), Glukose, und Leberwerte (GOT, GPT, γ -GT) bestimmt. Für sämtliche Bestimmungen wurden international übliche Referenzmethoden verwendet. Die venöse Blutentnahme erfolgte mor-

gens nüchtern und in liegender Körperposition aus einer gestauten Unterarmvene (1 x EDTA (2,7 ml), 2 x Serummonovetten (7,5 ml), 8 x S-Monovetten (10 ml)). Mithilfe des AcT5diffAL (Beckman Coulter, Krefeld) wurden die Parameter für das Blutbild aus dem Vollblut gemessen. Die Bestimmung des Hämoglobins erfolgte mittels einer spektralphotometrischen Methode als Massenkonzentration, Erythrozyten und Leukozyten als Zellkonzentration und die Ermittlung der Thrombozyten als Partikelkonzentration. Der Hämatokritwert wurde elektronisch-optisch bestimmt. Zur Herstellung des Serums wurde das Blut bis zur vollständigen Gerinnung 15 Minuten ruhig stehen gelassen und anschließend bei 4000 U/min 10 Minuten lang zentrifugiert. Danach konnten die Parameter aus dem Serum ermittelt werden. Die Enzyme GOT, GPT, Gamma-GT und CK wurden mittels IFCC-Referenzmethode bei 37°C gemessen. Über eine direkte Potentiometrie wurden die Werte für Kalium, Kreatinin und Natrium bestimmt. Gesamtcholesterin samt Unterfraktionen sowie Glukose wurden ebenfalls aus dem Serum bestimmt. Alle Messungen erfolgten mithilfe des UniCel DxC 600 (Beckman Coulter, Krefeld). Bei der Bestimmung von Cholesterin wurde die Chod-pap-Methode und bei der Glukosebestimmung die Hexokinase-Methode verwendet.

3.2.3 Erfassung von anthropometrischen Daten

3.2.3.1 Körpergewicht und Körpergröße

Das Körpergewicht wurde mit immer derselben geeichten Personenwaage bei minimaler Bekleidung (in Unterwäsche ohne Schuhe) im nüchternen Zustand erfasst. Die Messung erfolgte auf 100 g genau. Die Körpergröße wurde mit einem an der Wand befestigten Zollstock bei einer Genauigkeit von 0,5 cm gemessen. Anhand beider Messgrößen wurde der Body-Mass-Index nach folgender Formel berechnet:

$$\text{BMI} = \text{Körpergewicht [kg]} / \text{Körpergröße [m]}^2$$

3.2.3.2 Waist-to-hip-ratio

Bei der Messung der Waist-to-hip-ratio wurden folgende Maßnahmen zur Standardisierung festgelegt (ACSM, 2010). Die Messung erfolgte im nüchternen Ernährungszustand mit einem nicht dehnbaren Umfangmessband bei freiem Oberkörper. Der Taillenumfang wurde in stehender Position zwischen der zwölften Rippe und dem obersten Rand des Darmbeinkamms erfasst. Dabei wurde das Maßband parallel zum Boden in einer geraden Linie um den Bauch geführt (horizontale Führung). Das Ablesen des Messwertes erfolgte nach normaler Ausatmung in entspanntem Zustand auf 0,5 cm genau. Der Hüftumfang wurde in stehender Position an der breitesten Stelle um das Gesäß gemessen. Auch hier wurde das Maßband hori-

zontal in einer geraden Linie um die Hüfte geführt und der Messwert bis auf 0,5 cm genau bestimmt. Aus beiden Messwerten wurde die Waist-to-hip-ratio folgendermaßen berechnet:

$$\text{WHR} = \frac{\text{Taillenumfang [cm]}}{\text{Hüftumfang [cm]}}$$

3.2.3.3 10-Punkt-Kalipermetrie

Der prozentuale Körperfettanteil wurde mittels Kalipermetrie nach der 10-Punkt-Hautfaltenmethode ermittelt (Parzikova, 1961; Parzikova & Buzkova, 1971). Hierbei wurde in stehender Position mit einem Harpenden-Kaliper die Dicke der Hautfalten in Millimetern an den in Tab. 2 beschriebenen Körperstellen gemessen. Die Dicke der einzelnen Hautfalten wurde notiert und anhand der Summe der einzelnen Hautfalten wurde der prozentuale Körperfettanteil in einem geschlechtsspezifischen Nomogramm abgelesen.

Tab. 2: Messpunkte bei der 10-Punkt-Kalipermetrie

Messpunkte		Beschreibung
1	Wange	am vor dem äußeren Gehörgang liegenden Vorsprung (Tragus)
2	Mundboden	oberhalb des Zungenbeins (Os hyoideum)
3	Achselfalte	am äußeren Axillarrand des m. pectoralis major
4	Brustkorb	in Höhe der 10. Rippe in der vorderen Axillarlinie
5	Bauch	schräg unterhalb der Nabelnarbe, nach dem ersten Viertel der Verbindungslinie zwischen Nabelnarbe und vorderem oberem Darmbeinstachel
6	Hüfte	direkt über dem Darmbeinkamm
7	Rücken	unterhalb des unteren Schulterblattwinkels
8	Oberarm	in der Mitte der Rückfläche des Oberarms über dem m. triceps brachii
9	Oberschenkel	oberhalb des oberen Randes der Patella in Höhe des Übergangs des m. rectus femoris in die Patellasehne
10	Unterschenkel	an der Kniekehlenfläche über dem m. gastrocnemius

3.2.3.4 Bio-Impedanz-Analyse

Zur Berechnung der Körperzusammensetzung wurde mit dem Impedanzanalysegerät Nutriguard-MS (Data Input GmbH, Darmstadt) eine bioelektrische Impedanzanalyse (B.I.A.) durchgeführt (vgl. Abb. 3). Hierbei handelt es sich um eine elektrische Widerstandsmessung bei der in einer Messperson über Hautelektroden ein homogenes Wechselstromfeld mit konstanter Stromstärke erzeugt und der Gesamtwiderstand gemessen wird. Der dem elektrischen Signal entgegengesetzte Widerstand ist abhängig von der individuellen Beschaffenheit des Körpers.



Abb. 3: Impedanzanalysegerät Nutriguard-MS, Data Input GmbH, Darmstadt

Die Messungen erfolgten in nüchternem Ernährungszustand bei normaler Raumtemperatur. Um genaue und reproduzierbare Messergebnisse zu erhalten, wurden alle vom Hersteller vorgegebenen Maßnahmen zur Standardisierung getroffen. Die Probanden lagen entspannt in Rückenlage auf einer Behandlungsliege und sollten vor der Messung zunächst drei bis fünf Minuten ruhen. Es wurde darauf geachtet, dass kein Kontakt zwischen beiden Beinen oder zwischen Rumpf und Armen bestand, um eine Verfälschung der Messergebnisse aufgrund des verkürzten Stromweges zu verhindern. Daher waren die Beine in einem Winkel von ca. 45 Grad gespreizt, so dass sich die Oberschenkel nicht berührten. Die Arme lagen seitlich neben dem Körper und waren ebenfalls ca. 30 Grad abgespreizt. Die Extremitäten der Probanden lagen während der Messung auf Rumpfhöhe. Jeglicher Kontakt zu äußeren Metallgegenständen (z. B. Gestell der Behandlungsliege) wurde vermieden. Alle Messungen wie Re-Messungen erfolgten an der rechten Körperhälfte.

Bei der B.I.A. mit dem Nutriguard-MS handelt es sich um eine tetrapolare und ipsilaterale Messung mit Klebeelektroden, wobei je zwei Gel-Elektroden an Hand und Fuß der gleichen Körperhälfte befestigt werden. Für die Messung wurden ausschließlich geeignete Marken-elektroden (BIANOSTIC AT, Data Input GmbH) verwendet. Um die Haut zu entfetten und zu trocknen, wurde diese vor dem Kleben der Elektroden mit einem Desinfektionstupfer gereinigt. Anschließend wurden die Elektroden an Hand und Fuß, wie in Abb. 4 dargestellt, angebracht. Am Handgelenk wurde eine Linie durch den höchsten Punkt des Ulnaköpfchens gezogen und der proximale Rand der Elektrode längs dieser Linie aufgeklebt. Zum Anbringen der Fingerelektrode wurde eine Linie durch die Mitte der Grundgelenke von Zeige- und Mittelfinger gezogen und der distale Rand der Elektrode entlang dieser Linie aufgeklebt. Am Sprunggelenk wurde eine Linie durch die höchsten Punkte von Außen- und Innenknöchel gezogen und der proximale Rand der Elektrode längs dieser Linie aufgeklebt. An den Zehen wurde eine Linie durch die Mitte der Grundgelenke von zweiter und dritter Zehe gezogen und der distale Rand der Elektrode wiederum längs dieser Linie aufgeklebt.

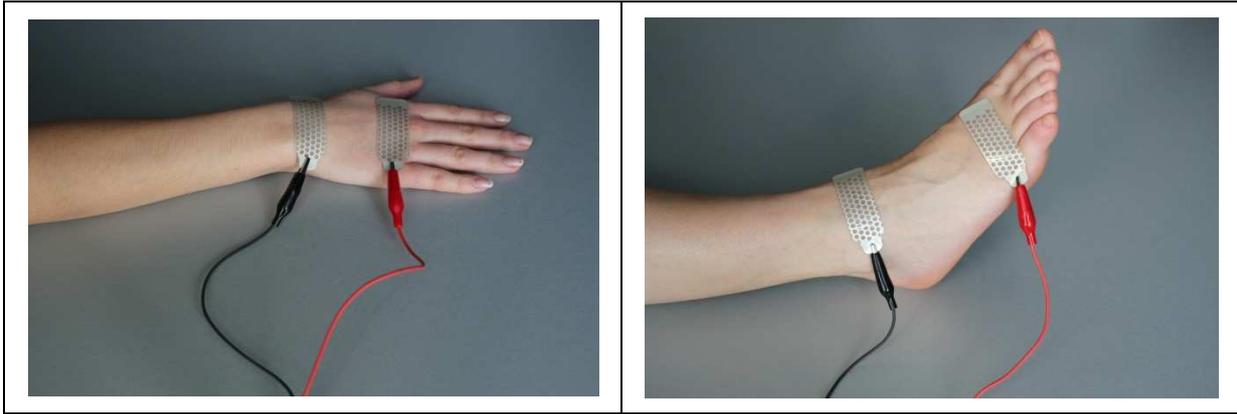


Abb. 4: Platzierung der Hand- und Fußelektroden bei der B.I.A.

Um Messfehler zu vermeiden, wurde streng auf eine korrekte Platzierung der Elektroden geachtet. Die Messkabel für Hand und Fuß wurden an die Elektroden angeschlossen, wobei darauf geachtet wurde, dass diese frei hängen und keinen Kontakt zu Metallgegenständen oder –flächen bzw. zum angeschlossenen Notebook haben. Anschließend wurde der Messvorgang gestartet. Mit der Software NutriPlus (Data Input GmbH, Darmstadt) wurden die Messdaten automatisch auf das angeschlossene Notebook übertragen.

3.2.4 Laufband-Spiroergometrie

Zur Bestimmung der VO_{2max} , der maximalen Herzfrequenz (HF_{max}) unter Belastung, der Basis-Laktat+1,5 mmol-Schwelle sowie zur Bestimmung der Herzfrequenzleistungskurve, Laktatleistungskurve und der maximalen Laufgeschwindigkeit wurde eine Laufband-Spiroergometrie durchgeführt. Als Ausbelastungskriterien wurden eine HF_{max} von $\geq 220 \text{ min}^{-1}$ minus Lebensalter und/oder eine Blutlaktatkonzentration von $\geq 6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ definiert (Kindermann, 1987; Scharhag-Rosenberger & Schommer, 2013; Such & Meyer, 2010). Es wurden nur die Probanden ausgewertet, bei denen im Eingangs- und Abschlusstest jeweils mindestens eines der beiden Kriterien erfüllt war.

Alle Laufband-Tests wurden auf einem Laufband mit Lamellenlauffläche der Firma Woodway, Typ ELG 70 (Woodway GmbH, Weil am Rhein) durchgeführt. Eingangstest sowie Abschlusstest fanden zu einer ähnlichen Uhrzeit (± 1 Stunde) statt, um zirkadiane Einflüsse zu vermeiden. Am Vortag der Belastung durften die Probanden keinen Sport treiben. Als Laufbandprotokoll wurde ein kombiniertes Stufen-Rampen-Protokoll verwendet (Meyer, Auracher, Heeg, Urhausen & Kindermann, 2007; Scharhag-Rosenberger, Meyer, Walitzek & Kindermann, 2009; Scharhag-Rosenberger et al., 2010). In Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Sportanamnese und Erfahrung der Probanden wurde die Anfangsgeschwindigkeit zwischen 4 und 7 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ individuell ausgewählt. Auf den ersten Belastungsstufen wurde die Geschwindigkeit alle drei Minuten um 1 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ gesteigert. Nach dem sicheren Überschreiten

der Basis-Laktat+1,5 mmol-Schwelle (Expertenurteil durch erfahrene Untersucher und Berücksichtigung der online verfügbaren Spiroergometriedaten) erfolgte ein Wechsel vom Stufen- zum Rampenprotokoll, da die Ermittlung der VO_{2max} auf diese Weise zuverlässiger ist. Hierbei wurde die Laufgeschwindigkeit nach jeder Minute um $0,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ohne weitere Unterbrechung bis zur subjektiven Erschöpfung gesteigert. Ein entsprechendes Testprotokoll ist in Abb. 5 exemplarisch dargestellt.

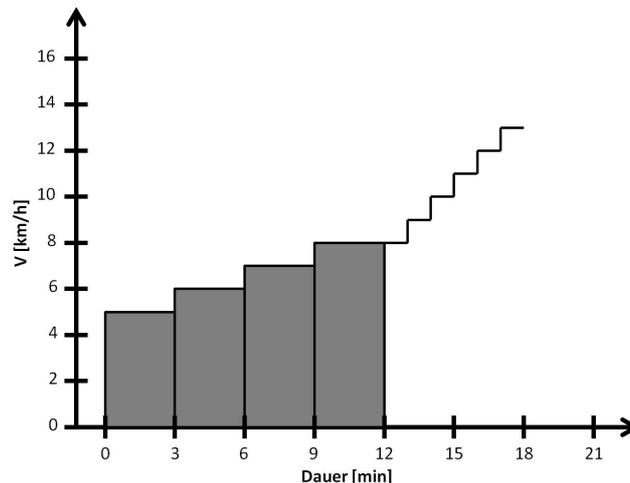


Abb. 5: Beispiel eines Laufbandtestprotokolls

Am Ende jeder Stufe wurde das EKG zur Ermittlung der Herzfrequenz geschrieben. Zwischen den Stufen gab es eine 45-sekündige Pause zum erneuten Schreiben des EKGs, zur Ermittlung des Blutdrucks und zur Entnahme von Kapillarblut zwecks Bestimmung der Blutlaktatkonzentration. Die Blutdruckmessungen wurden vom behandelnden Arzt immer am rechten Oberarm durchgeführt. Für die Laktatbestimmung wurde aus dem mit Finalgon® hyperämisierten und danach desinfizierten Ohrläppchen mit einer $20 \mu\text{l}$ end-to-end-Kapillare Blut entnommen. Anschließend wurde das Kapillarblut in einem Laktattöpfchen mit 1 ml Hämolyselösung gelöst. Die Analyse des Blutes erfolgte enzymatisch-amperometrisch (Super GL, Fa. Rolf Greiner Biochemica, Flacht, Deutschland).

Bei allen Laufbandtests wurden die Sauerstoffaufnahme und der Respiratorische Quotient (RQ) spiroergometrisch in Zehn-Sekunden-Intervallen mit dem tragbaren Metalyzer 3B (Cortex Biophysik, Leipzig) gemessen. Vor der Gerätekalibration und jeder Untersuchung wurde der Untersuchungsraum gut gelüftet und die Umgebungsluft gemessen. An jedem Testtag wurde eine Kalibration gemäß Herstellerangaben durchgeführt (vgl. Kapitel 3.3). Die Probanden trugen eine mit einem Haarnetz befestigte Gesichtsmaske (Hans-Rudolph Inc, Shawnee, USA) durch die sie atmeten. Am Mundstück der Maske wurden ein Triple-V-Volumensensor und eine Absaugstrecke befestigt. Der Metalyzer 3B berechnete die Sauerstoffaufnahme und Kohlenstoffdioxidabgabe mittels breath-by-breath-Methode, bei der jeder

Atemzug gemessen wird. Mithilfe der Software MetaSoft 3 (Cortex Biophysik, Leipzig) wurden die Messdaten auf ein Notebook übertragen, konnten direkt abgelesen und auf Plausibilität geprüft sowie anschließend gespeichert und ausgewertet werden. Zur Berechnung der VO_{2max} wurde der Mittelwert aus den drei höchsten aufeinanderfolgenden 10-Sekunden-Messwerten im Testverlauf herangezogen. Als maximale Herzfrequenz wurde die jeweils bei Belastungsabbruch erreichte Herzfrequenz herangezogen. Für die Berechnung der Herzfrequenz- und Laktatleistungskurve wurde jeweils der am Ende einer Stufe gemessene Wert verwendet. Die maximale Laufgeschwindigkeit wurde linear interpoliert. Abb. 6 zeigt einen mit dem für die Laufband-Spiroergometrie erforderlichen Messinstrumentarium vorbereiteten Probanden.



Abb. 6: Für die Laufband-Spiroergometrie vorbereiteter Proband

3.3 Ruheumsatzmessungen

Zur Messung des Ruheumsatzes wurde über einen Zeitraum von 30 Minuten eine kontinuierliche Atemgasmessung mit dem Mischkammer-Spiroergometriergerät MetaMax II (Cortex Biophysik, Leipzig) durchgeführt. Um eine hohe Reliabilität der Messergebnisse zu gewährleisten und Störgrößen auszuschließen, wurde auf eine genaue Standardisierung der Messbedingungen geachtet. Die Standardisierung der Durchführung wie auch die Auswertung orientierten sich an den international gängigen und evidenzbasierten Richtlinien zur Messung des Ruheumsatzes mittels indirekter Kalorimetrie (Carlsohn et al., 2011; Compher et al., 2006; Haugen et al., 2007; Matarese, 1997).

In Vorbereitung der Ruheumsatzmessungen wurden die Probanden per Mail, in Ausnahmefällen per Post, zur Einhaltung verschiedener Verhaltensregeln aufgefordert. Die Probanden sollten zur Messung nüchtern erscheinen, das heißt die letzte Nahrungsaufnahme wie auch der Konsum von Alkohol, Kaffee, Schwarztee oder koffeinhaltigen Getränken musste min-

destens 12 Stunden zurück liegen. Am Morgen der Messung sollte vom Zeitpunkt des Aufstehens bis zum Termin Stress oder Aufregung vermieden werden. Es sollte eine lange Hose und ein Oberteil mit langen Ärmeln getragen werden. Am Vortag der Messung durfte kein Sport getrieben oder schwere körperliche Belastungen ausgeführt werden. In der Nacht vor der Messung sollten die Teilnehmer auf ausreichenden Schlaf (mindestens sechs Stunden) achten. Die Einhaltung der vorgegebenen Standards wurde am Morgen der Messung über einen Fragebogen nochmals abgefragt, um für alle Probanden standardisierte Bedingungen zu gewährleisten und bei Nichteinhalten von einer Testung abzusehen und einen neuen Untersuchungstermin zu vereinbaren.

Vor Messbeginn wurde das Spiroergometriegerät an jedem Testtag nach einem Warmlaufen gemäß den Herstellerangaben kalibriert. Die Kalibration der Volumensensoren erfolgte dabei mithilfe einer Drei-Liter-Präzisionspumpe. Die Kalibration der Gassensoren wurde in Form einer Zweipunktkalibration mit Umgebungsluft und Eichgas (CO_2 -Konzentration: 4,97 Vol%, O_2 -Konzentration: 11,90 Vol%) durchgeführt. Da die Zusammensetzung der Umgebungsluft die Berechnungsgrundlage für die Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe darstellt, wurde vor jeder Ruheumsatzuntersuchung zunächst solange eine Messung der Raumluft durchgeführt, bis vom System konstante Messwerte angezeigt wurden. Anschließend wurde den Probanden eine Atemmaske (Hans-Rudolph Inc, Shawnee, USA) aufgesetzt, mit einem Haarnetz befestigt und auf Dichtheit geprüft. Die Atmung erfolgte durch die Atemmaske, an die ein Turbinen-Volumensensor und eine Absaugstrecke angeschlossen waren. Während der Messungen wurden Sauerstoffaufnahme, Kohlendioxidabgabe, Respiratorischer Quotient, Atemminutenvolumen und Atemfrequenz erfasst. Über die Absaugstrecke wurde bei Ausatmung die Expirationsluft angesaugt und in die 30 ml Luft fassende Mischkammer weitergeleitet. Dort wurde alle 10 Sekunden die O_2 - und CO_2 -Konzentration gemessen, wobei die Sauerstoffaufnahme aus der Differenz des O_2 -Gehaltes von Umgebungsluft und Expirationsluft, multipliziert mit dem Atemminutenvolumen, errechnet wurde. Dementsprechend errechnete sich die Kohlendioxidabgabe aus der Differenz des Kohlendioxidgehaltes von Umgebungsluft und Expirationsluft, multipliziert mit dem Atemminutenvolumen. Der Respiratorische Quotient wurde aus dem Verhältnis von CO_2 -Abgabe und O_2 -Aufnahme errechnet. Das Atemminutenvolumen wurde über die Umdrehungszahl des Volumensensors bestimmt, wobei die Menge an Luft erfasst wurde, die in einer Minute eingeatmet wurde. Bei der Atemfrequenz wurde die Anzahl der Atemzüge pro Minute gemessen. Über die Erfassung der Umgebungsbedingungen (Temperatur und Luftdruck) war die Umrechnung der Messwerte auf Standardbedingungen möglich.

Das Spiroergometriegerät stand während der Messungen auf einem Rollcontainer neben der Behandlungsliege und war an einen stationären Computer angeschlossen. Mithilfe der Soft-

ware Metasoft, Erweiterungsoption STATERA (Cortex Biophysik, Leipzig), wurden die Daten unmittelbar bei der Messung online abgebildet und konnten anschließend gespeichert und ausgewertet werden. Die eigentlichen Messungen erfolgten jeweils morgens entweder um 8:00 Uhr oder um 9:00 Uhr in einem angedunkelten und über Fenster gut belüftbaren Raum. Zum Ausschluss temperaturbedingter Einflüsse wurde auf eine möglichst konstante Raumtemperatur zwischen 22 und 25°C geachtet. Die Durchführung der Ruheumsatzmessungen erfolgte in Rückenlage auf einer Behandlungsliege mit individuell verstellbarem Kopfteil, um ein bequemes Liegen zu ermöglichen. Mit dem Starten der Messung wurden die Probanden angehalten sich zu entspannen, aber nicht einzuschlafen. Nach Kontrolle eines korrekten Messvorgangs anhand der über die Software abzulesenden Daten wurden die Probanden nach einigen Minuten alleine gelassen. Bei den Re-Tests wurde auf die Reproduktion möglichst gleicher Messbedingungen geachtet.

Zur Bearbeitung der Daten wurden die Messwerte aller Probanden mithilfe der Software jeweils in eine Excel-Tabelle exportiert. Von den jeweils 30 aufgezeichneten Messminuten wurden nur die Daten des Intervalls von der 10. bis zur 30. Messminute in die Auswertung einbezogen. Die ersten zehn Messminuten blieben jeweils unberücksichtigt. Für die Bestimmung des Ruheumsatzes wurde das Fünf-Minuten-Intervall zwischen der 10. und 30. Messminute mit den kleinsten Mittelwerten von VO_2 , VCO_2 und RQ sowie möglichst stabilen Messwerten herangezogen (Abweichungen vom Mittelwert des Intervalls: VO_2 und VCO_2 <10%; RQ <5%). Um dieses Intervall definieren zu können, wurde eine Excel-Auswertungsmatrix erstellt, mit Hilfe derer die Mittelwerte von VO_2 , VCO_2 und RQ aller möglichen Fünf-Minuten-Intervalle zwischen der 10. und 30. Messminute berechnet wurden und das Intervall mit den geringsten und stabilsten Mittelwerten abgelesen werden konnte. Die Bestimmung des Ruheumsatzes erfolgte anhand der Weir-Gleichung (Weir, 1949):

$$(VO_2 [\text{l}\cdot\text{min}^{-1}] \times 3,9) + (VCO_2 [\text{l}\cdot\text{min}^{-1}] \times 1,1) \times 1440 [\text{min}] = \text{RU} [\text{kcal}\cdot\text{d}^{-1}]$$

Die so errechneten Ergebnisse wurden anschließend geschlechtsspezifisch anhand des Algorithmus nach Harris & Benedict auf Plausibilität geprüft (Harris & Benedict, 1918):

$$\text{Frauen: } 655 + (9,5 \times \text{Körpergewicht} [\text{kg}]) + (1,9 \times \text{Größe} [\text{cm}]) - (4,7 \times \text{Alter})$$

$$\text{Männer: } 66 + (13,8 \times \text{Körpergewicht} [\text{kg}]) + (5,0 \times \text{Größe} [\text{cm}]) - (6,8 \times \text{Alter})$$

Der tägliche Ruheumsatz wurde absolut ($\text{kcal}\cdot\text{d}^{-1}$) sowie relativ bezogen auf das Körpergewicht ($\text{kcal}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) und die fettfreie Körpermasse ($\text{kcal}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{kg FFM}^{-1}$) angegeben.

3.4 Erfassung der Ernährungsgewohnheiten

Die Aufnahme einer sportlichen Aktivität kann zu einer Änderung weiterer Lebensstilparameter führen. Um Informationen zu erhalten, ob es im Zuge der Trainingsintervention zu einer Änderung der Kalorienaufnahme kam, wurden in der Interventions- und Kontrollgruppe zusätzlich die Ernährungsgewohnheiten erfasst. Da Ernährungsvorgaben über den kompletten Studienzeitraum kaum zu kontrollieren sind und die Erfassung des Ernährungsverhaltens respektive der exakten Bestimmung der aufgenommenen Nährstoffmenge keine primäre Fragestellung der Studie darstellte, wurde es als ausreichend erachtet, jeweils zu Beginn und zum Abschluss des ersten Studienabschnittes für einen Zeitraum von drei Tagen die aktuellen Verzehrsgewohnheiten anhand eines prospektiv geführten Food-Frequency-Questionnaire (FFQ) zu erfassen (Willett, 1998). Ziel war es, die durchschnittliche tägliche Gesamtkalorienaufnahme zu quantifizieren.

Anhand einer Liste mit 127 Lebensmittelitems aus 17 Lebensmittelgruppen plus Getränke konnten die Teilnehmer per Strichliste die verzehrten Nahrungsmittel dokumentieren. Die gewählte Anzahl der Items sollte ein sorgfältiges, aber auch möglichst einfaches Ausfüllen des Dokumentationsbogens ermöglichen (Willett, 1998). Lebensmittel, die nicht in der Liste zu finden waren, konnten in der jeweiligen Lebensmittelkategorie unter „Sonstiges“ handschriftlich eingetragen werden. Zur einheitlichen Anwendung erhielten die Probanden vorab ein Informationsblatt mit Hinweisen zum Ausfüllen des Ernährungsprotokolls. Die Teilnehmer wurden aufgefordert wie gewohnt zu essen und nichts an den aktuellen Verzehrsgewohnheiten zu ändern. Die Erfassung begann mit der ersten Nahrungsaufnahme an einem Donnerstag und endete mit der letzten Nahrungsaufnahme am darauffolgenden Samstag (Verhältnis 2:1 von Werktagen und Wochenende). Das Protokoll sollte über den Erfassungszeitraum hinweg stets mitgeführt werden und alle verzehrten Lebensmittel sollten möglichst sofort eingetragen werden.

Zur Auswertung wurde eine Excel-Auswertungsmatrix erstellt, anhand derer für jeden Probanden eine Einzelauswertung erfolgen konnte. Für alle aufgeführten Lebensmittel wurde anhand des Bundeslebensmittelschlüssels der durchschnittliche portionsbezogene Kaloriengehalt berechnet (Max-Rubner-Institut, 2010). Der durchschnittliche Kaloriengehalt der sonstig angegebenen Lebensmittel wurde per Internet recherchiert und entsprechend (z. B. gemäß den Herstellerangaben) dokumentiert. Anhand der Angaben konnten die Gesamtkalorienaufnahme über drei Tage hinweg sowie die tägliche Kalorienaufnahme berechnet werden.

3.5 Krafttests

Zur Belastungssteuerung und Erfassung der Trainingsadaptationen wurden mit der Trainingsgruppe verschiedene Krafttests durchgeführt. Alle Krafttests wurden in einem eigens für Schulungszwecke mit modernen Geräten eingerichteten Trainingsraum an der DHfPG, Hermann Neuberger Sportschule Saarbrücken, von immer demselben Testleiter durchgeführt.

3.5.1 1-RM

Zur Erfassung der Maximalkraft wurde das 1-RM bestimmt. Dieses wurde definiert als das größtmögliche Gewicht, welches bei einer Übung über die volle Bewegungsamplitude kontrolliert und bei korrekter Körperhaltung bewegt werden konnte (ACSM, 2010). Um verlässliche Testergebnisse zu erhalten und Überlastungen des Stütz- und Bewegungsapparates zu vermeiden, wurden dem eigentlichen Test vier vorbereitende Trainingseinheiten vorgeschaltet (vgl. Kapitel 3.6.3) und die Bestimmung des 1-RM auf die Übungen im geschlossenen System begrenzt (Beinpresse, Brustpresse, Zug vertikal in den Nacken, Zug horizontal zur Brust). Nach einer Aufwärmserie mit 15 Wiederholungen bei geringer Intensität (Experten-einschätzung in Abhängigkeit von Muskelgruppe und Geschlecht) wurde das 1-RM bestimmt. In Anlehnung an die Ergebnisse aus der dritten Vorbereitungseinheit (vgl. Kapitel 3.6.3) konnte die Testintensität relativ treffsicher festgelegt werden, so dass das 1-RM in der Regel in ein bis zwei Versuchen ermittelt werden konnte. Waren mehrere Versuche erforderlich, wurde jeweils eine Pause von drei Minuten eingehalten. Es wurden maximal drei Testversuche durchgeführt. Als Ergebnis wurde das Gewicht notiert, welches bei korrekter Bewegungsausführung einmal bewältigt werden konnte. Anhand der Ergebnisse beim Eingangs- und Abschlusstest konnten entsprechende Veränderungen der dynamisch-konzentrischen Maximalkraft dokumentiert werden.

3.5.2 20-RM

Die Festlegung der Trainingslast für das Kraftausdauertraining erfolgte anhand des 20-RM, das heißt für alle Trainingsübungen wurde das maximal zu bewältigende Gewicht für 20 Wiederholungen ermittelt. Dies spiegelt einen Bereich wider, der der Mehrzahl der in der Literatur gemachten Angaben für ein Kraftausdauertraining entspricht (ACSM, 2009, 2010, 2011; Fleck & Kraemer, 2004; Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Martin et al., 2001). Aufgrund der Erfahrungen aus den vorbereitenden Trainingseinheiten (vgl. Kapitel 3.6.3) war eine relativ treffsichere Einschätzung der Testintensität möglich. In der Regel konnte das 20-RM in ein bis zwei Versuchen ermittelt werden. Durch die vorgegebene Übungsreihenfolge in Zirkelform war gewährleistet, dass zwischen den einzelnen Versuchen für die jeweils gleiche Übung eine ausreichende Pause lag. Um aufgrund einer kumulierenden Ermüdung das

Testergebnis nicht zu verfälschen, wurden nicht mehr als zwei Versuche pro Übung durchgeführt. Gegebenenfalls wurde in Einzelfällen in der darauffolgenden Trainingseinheit nachgetestet. Als Ergebnis wurde das maximale Gewicht notiert, mit dem bei korrekter Bewegungsausführung gerade 20 Wiederholungen möglich waren.

3.5.3 10-RM

Die Festlegung der Trainingslast für das Hypertrophietraining erfolgte anhand des 10-RM. Nach einer Aufwärmserie mit 15 Wiederholungen bei geringer Intensität (Experteneinschätzung in Abhängigkeit von Muskelgruppe und Geschlecht) wurde das maximal zu bewältigende Gewicht für zehn Wiederholungen bestimmt. Das so ermittelte Testergebnis entsprach dem Trainingsgewicht eines Mesozyklus. Aufgrund der Vorerfahrungen aus dem ersten Trainingsabschnitt konnten das Eingangstestgewicht wie auch die weiteren Intensitätssteigerungen vom Testleiter relativ treffsicher eingeschätzt werden. In der Regel waren ein bis zwei Versuche notwendig, um das 10-RM zu ermitteln. Es wurde darauf geachtet, dass zwischen den einzelnen Versuchen für die gleiche Übung jeweils eine Pause von mindestens drei Minuten lag. Als Ergebnis wurde das maximale Gewicht notiert, mit dem bei korrekter Bewegungsausführung gerade 10 Wiederholungen möglich waren.

3.6 Kraftausdauertraining

Der Aufbau und die inhaltliche Ausgestaltung des Kraftausdauertrainings orientierten sich an aktuellen wissenschaftlichen Empfehlungen (ACSM, 2009, 2010, 2011; Fleck & Kraemer, 2004; Fröhlich & Schmidtbleicher, 2008; Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Marschall & Fröhlich, 1999; Martin et al., 2001; Williams et al., 2007; Zimmermann, 2002). Die hierfür erforderlichen Umsetzungsschritte wurden im Vorfeld der Studie festgelegt.

3.6.1 Organisation und Ablauf

Die Probanden der Krafttrainingsgruppe absolvierten ein standardisiertes Kraftausdauertraining über insgesamt 26 Wochen. Hierzu konnten die Teilnehmer im Trainingsraum der DHfPG über die gesamte Studiendauer hinweg kostenfrei trainieren. Alternativ hatten die Probanden die Möglichkeit, das Trainingsprogramm in einem Fitness-Studio in Wohnortnähe durchzuführen. Um eine standardisierte Durchführung des Trainingsprogramms zu gewährleisten, erfolgte in diesen Fällen die Einweisung der Probanden in der jeweiligen Einrichtung.

Alle Teilnehmer trainierten dreimal pro Woche, wobei eine Trainingseinheit unter Betreuung und zwei weitere selbstständig durchgeführt wurden. Für die betreuten und selbstständigen

Trainingseinheiten in den Räumlichkeiten der DHfPG wurden die in Tab. 3 dargestellten Trainingszeiten angeboten. Das Training in externen Räumlichkeiten wurde in Eigenregie organisiert, wobei auch diese Probanden regelmäßig eine bereute Trainingseinheit im Trainingsraum der DHfPG absolvierten. Die Trainingstermine sollten so geplant werden, dass zwischen zwei Einheiten mindestens ein Tag Pause lag.

Tab. 3: Betreute und freie Trainingszeiten für das Krafttraining

Tag	Betreute Trainingszeiten	Freie Trainingszeiten
Montag	17-18 Uhr	8-19 Uhr
	18-19 Uhr	
Dienstag	16-17 Uhr	8-18 Uhr
	17-18 Uhr	
Mittwoch	10-11 Uhr	8-18 Uhr
	11-12 Uhr	
	14-15 Uhr	
	15-16 Uhr	
Donnerstag	12-13 Uhr	8-20 Uhr
	13-14 Uhr	
	18-19 Uhr	
	19-20 Uhr	
Freitag	---	8-15 Uhr

Vor Beginn der eigentlichen Trainingsintervention erfolgte eine Vorbereitungsphase von zwei Wochen. Anschließend folgte ein standardisiertes Kraftausdauertraining über einen Zeitraum von insgesamt 24 Trainingswochen, welches in vier Mesozyklen à sechs Wochen unterteilt wurde. Jeweils zu Beginn und zum Abschluss der Treatmentphase erfolgte ein 1-RM-Test für die ausgewählten Trainingsübungen. Zur Belastungssteuerung wurde zusätzlich zu Beginn eines jeden Mesozyklus ein 20-RM-Test für alle Trainingsübungen durchgeführt. Die Anzahl und die Dauer aller absolvierten Trainingseinheiten (inklusive Belastungsgefüge) wurden jeweils dokumentiert (vgl. Abb. 7).



Abb. 7: Ablauf und Datenaufnahme im Studienabschnitt Kraftausdauer

3.6.2 Übungsauswahl und Übungsdurchführung

Unter Bezugnahme auf die Empfehlungen des ACSM wurden für die Übungsdurchführung und Geräteauswahl die nachfolgenden Grundsätze festgelegt (ACSM, 2009, 2010, 2011). Im Sinne eines Ganzkörpertrainings wurden schwerpunktmäßig mehrgelenkige Übungen zur Beanspruchung der Hauptmuskelgruppen ausgewählt. Des Weiteren wurden vorrangig Übungen an Trainingsmaschinen eingesetzt, um ein sicheres selbstständiges Training und eine optimale Steuerung der Belastungsintensität zu gewährleisten. Die Übungen sollten mit langsamer bis moderater Bewegungsgeschwindigkeit, guter Bewegungstechnik und gleichmäßiger Atmung durchgeführt werden. Die für das Krafttraining im Rahmen der SAusE-Studie festgelegten acht Grundübungen sind in Abb. 8 dargestellt. Die Teilnehmer sollten den Übungszirkel pro Trainingseinheit zweimal in vorgegebener Reihenfolge durchlaufen. Die Pausenlänge beim Übungswechsel sollte eine Minute nicht überschreiten. Die Belastungsprogression bei den Übungen Wirbelsäulen-Flexion (Abdominal-Trainer, Dr. Wolff, Arnsberg) und Wirbelsäulen-Extension (Lumbal-Trainer, Dr. Wolff, Arnsberg) erfolgte über eine Veränderung der Körperhaltung bzw. über die Verwendung von Zusatzgewichten. Bei den Übungen Zug vertikal zum Nacken, Beinbeugen sitzend, Zug horizontal, Brustpresse sitzend und Beinpresse liegend (gym80 International GmbH, Gelsenkirchen) erfolgte die Festlegung der Trainingsbelastung über übliche in 2,5 oder 5 kg-Schritten abstufbare Steckgewichte.

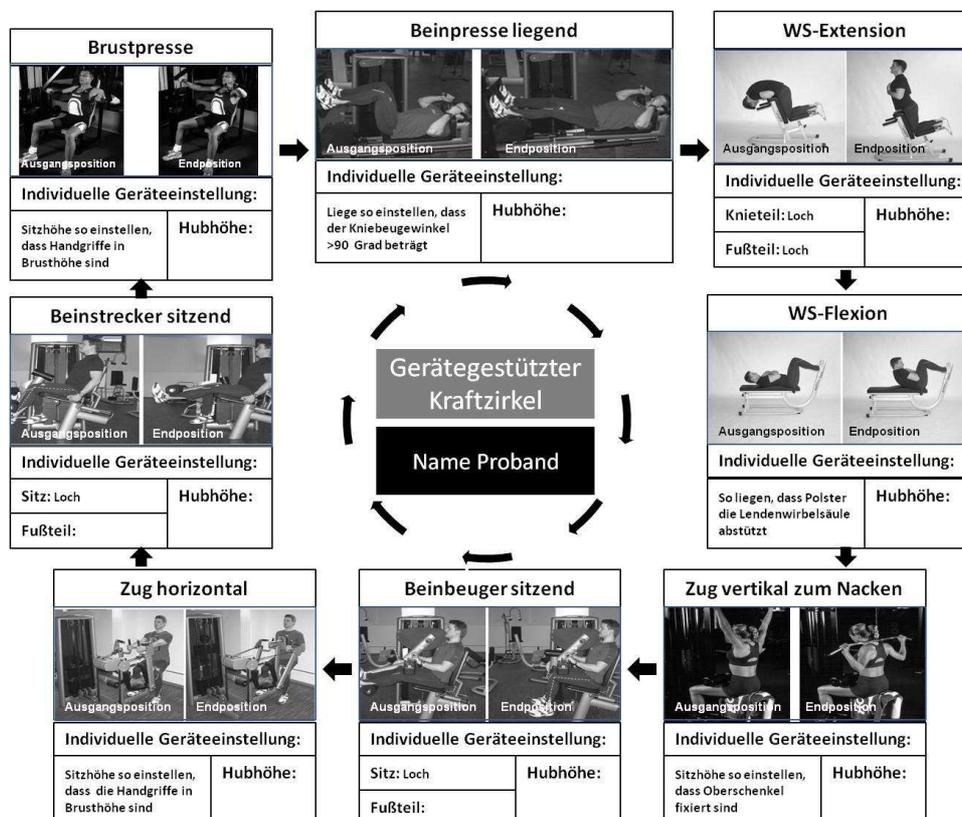


Abb. 8: Formblatt für die Teilnehmer zur individuellen Geräteeinstellung

3.6.3 Vorbereitungsphase

In der Literatur wird die Durchführung einer Anpassungs- und Gewöhnungsphase bei Krafttrainingsanfängern empfohlen (ACSM, 2010; Logan, Fornasiero, Abernethy & Lynch, 2000). Um negative Effekte einer zu hohen anfänglichen Kraftbelastung zu vermeiden (z. B. starker Muskelkater) und zuverlässige Ergebnisse bei den Krafttests zu erhalten, wurde der eigentlichen Trainingsintervention eine Vorbereitungsphase mit vier angeleiteten Trainingseinheiten vorgeschaltet. Hierzu mussten die Probanden für die ersten beiden Trainingswochen jeweils zwei individuell betreute Trainingstermine vereinbaren. Alle vorbereitenden Einheiten und Krafttests wurden ausschließlich im Trainingsraum der DHfPG absolviert. Durch dieses Vorgehen war gewährleistet, dass die Daten aller einbezogenen Probanden vergleichbar waren. Zur Dokumentation der Ergebnisse und des kompletten Trainingsverlaufs wurde für jeden Probanden eine Trainingsakte angelegt.

In der ersten Vorbereitungseinheit wurden den Probanden die ausgewählten Trainingsübungen vorgestellt. Die individuellen Geräteeinstellungen wurden im Trainingsplan dokumentiert. Nach der Bewegungserklärung und Demonstration der Ausführung wurden alle festgelegten Übungen mit 15 Wiederholungen und moderater Intensität (Experteneinschätzung in Abhängigkeit von Muskelgruppe und Geschlecht) nachvollzogen. Wurde die Trainingsintensität bei einer Übung als sehr leicht oder zu schwer empfunden, wurde das Gewicht bei der zweiten Zirkelrunde entsprechend angepasst. In der zweiten Vorbereitungseinheit wurde ein erster Durchgang mit moderater Intensität analog zur ersten Trainingseinheit durchgeführt. Um die Teilnehmer an höhere Intensitäten zu gewöhnen und auf den Maximalkrafttest vorzubereiten, wurde anschließend das Gewicht bestimmt, mit dem bei korrekter Übungsausführung fünf Wiederholungen (5-RM) absolviert werden konnten. Hierbei wurde nach der Trial-and-Error-Methode das Gewicht erhöht und die Anzahl der möglichen Wiederholungen notiert. In Regel wurden zwei bis maximal drei Versuche absolviert, um das 5-RM zu bestimmen. In der dritten Vorbereitungseinheit wurde zunächst ein Durchgang mit 15 Wiederholungen durchgeführt, wobei das Gewicht so gewählt wurde, dass eine weitgehende muskuläre Ermüdung erreicht wurde. Die entsprechenden Ergebnisse lieferten eine gute Orientierung für die Durchführung des 20-RM. Anschließend wurde nach der Trial-and-Error-Methode das 3-RM bestimmt, also das Gewicht, welches bei korrekter Übungsausführung gerade dreimal bewältigt werden konnte. Auch hier wurden zwei bis maximal drei Versuche durchgeführt. Die Ergebnisse lieferten die Orientierungsbasis für die Festlegung der Intensitäten beim Maximalkrafttest. In der vierten Vorbereitungseinheit wurde das 1-RM bestimmt (vgl. Kapitel 3.5.1). Des Weiteren wurde am Ende der Vorbereitungsphase das 20-RM als Grundlage der Belastungssteuerung für das Kraftausdauertraining ermittelt (vgl. Kapitel 3.5.2). In Abb. 9 ist der Ablauf der Vorbereitungsphase zusammenfassend dargestellt.

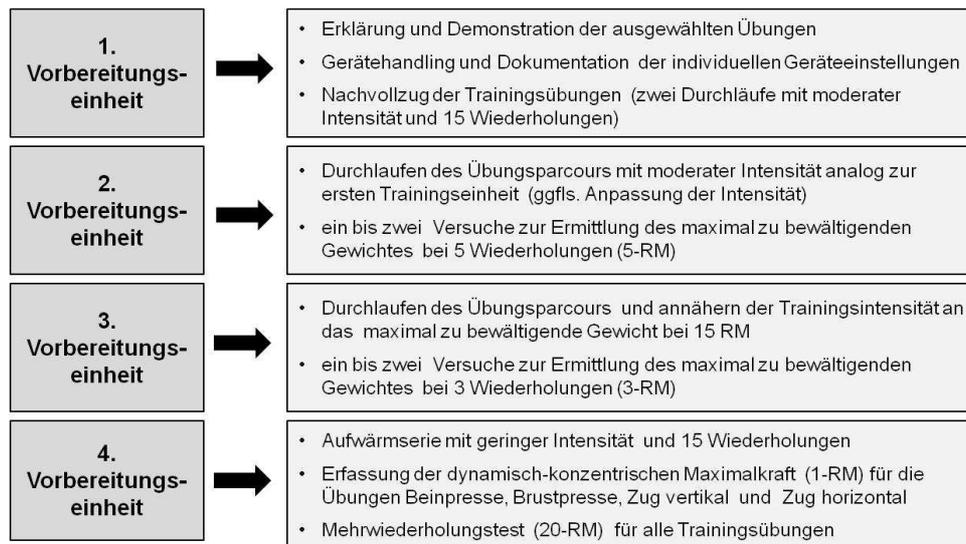


Abb. 9: Ablauf Vorbereitungsphase

3.6.4 Treatment Kraftausdauer

Laut dem ACSM ist die muskuläre Ermüdung eine notwendige Komponente eines Kraftausdauertrainings (ACSM, 2009), um die gewünschten leistungsphysiologischen Adaptationen zu erzielen. Soll ein Kraftausdauertraining bei untrainierten Erwachsenen gesundheitliche Wirkungen entfalten, müssen weitere Aspekte berücksichtigt werden. Aus gesundheitlicher Sicht sind muskelererschöpfende Belastungen zu kritisieren, da die höchsten Blutdruckwerte unabhängig vom Widerstand bei den letzten Wiederholungen kurz vor der Muskelererschöpfung erreicht werden (Zimmermann, 2002). Hinzu kommt, dass mit zunehmender Ermüdung die koordinative Leistungsfähigkeit abnimmt, was die Gefahr von Bewegungsfehlern und Überlastungen des Bewegungsapparates verstärken kann. In Studien zum Dropout und zur Bindung im Fitness-Sport werden Aspekte der Trainingsdurchführung (z. B. körperliche Beschwerden, hohe Belastungsintensitäten oder lange Trainingsdauer) als unmittelbare Faktoren für den Abbruch sportlicher Aktivitäten diskutiert (Rampf, 1999). Das ohnehin in längsschnittlich angelegten Studien mit Trainingsanfängern zu berücksichtigende Problem des Dropouts könnte dadurch zusätzlich verstärkt werden.

In der vorliegenden Studie wurde das Kraftausdauertraining zunächst mit nicht bis zur Muskelererschöpfung führenden Wiederholungsserien bei gleichzeitig hoher Belastungsdichte (kurze Serienpausen) durchgeführt (Zimmermann, 2002). Erst im Zuge der zu erwartenden Trainingsprogression innerhalb eines Mesozyklus sollten sich die Probanden der maximalen Wiederholungszahl annähern. Das entsprechende Belastungsgefüge ist in Tab. 4 dargestellt. Als Organisationsform wurde das Kreistraining gewählt.

Tab. 4: Belastungsgefüge beim Kraftausdauertraining

Test	20-RM-Test
Arbeitsweise	exzentrisch-konzentrisch
Übungsauswahl	8 Trainingsübungen (mehrgelenkig/eingelenkig)
Reizintensität	bewältigte Last beim 20-RM
Serien	2
Organisationsform	Kreistraining
Wiederholungen	Woche 1-2: 16 WH (= 80% der WH beim 20-RM) Woche 3-4: 18 WH (= 90% der WH beim 20-RM) Woche 5-6: 20 WH (= 100% der WH beim 20-RM)
Pausen	< 60 Sekunden
Bewegungsgeschwindigkeit	langsam bis moderat (2-0-2)
Häufigkeit	3 TE pro Woche

Das 20-RM entsprach der Trainingslast für die einzelnen Übungen im darauffolgenden Mesozyklus von sechs Wochen. Um eine muskuläre Erschöpfung zu vermeiden, absolvierten die Probanden in den ersten beiden Wochen zunächst zwei Kreisdurchgänge mit jeweils 16 Wiederholungen. In der dritten und vierten Woche wurde die Wiederholungszahl auf 18 gesteigert. In den Wochen fünf und sechs des jeweiligen Mesozyklus sollten die Probanden versuchen, die Wiederholungen bis zum im Test erreichten Maximum von 20 Wiederholungen zu steigern. Nach jeweils sechs Trainingswochen wurde in der darauffolgenden betreuten Trainingseinheit erneut das 20-RM bestimmt, welches die Grundlage für die Planung des nächsten Mesozyklus lieferte. War eine Steigerung der Intensität nicht möglich, so blieb in diesem Mesozyklus das Trainingsgewicht unverändert, und es wurde, sofern möglich, lediglich die Anzahl der durchzuführenden Wiederholungen sukzessive erhöht. Der Gesamttrainingsumfang pro Einheit mit zwei Zirkelserien und ca. 60 Sekunden Pause beim Gerätewechsel betrug in Abhängigkeit der jeweils durchgeführten Anzahl an Wiederholungen insgesamt etwa 30 bis 40 Minuten. Für jeden Mesozyklus wurde ein individueller Trainingsplan erstellt mit den für alle Übungen und Trainingswochen vorgegebenen Wiederholungen und Trainingsgewichten. In diesem wurden alle Trainingseinheiten mit Datum, durchgeführten Wiederholungen und Trainingsdauer dokumentiert. Über die Summe an tolerierten Einzelreizen bei der vorgegebenen Belastungsintensität sollte eine Verbesserung der Kraftausdauerleistungsfähigkeit dargestellt werden. Hierzu wurde für die jeweils letzte Trainingseinheit eines Mesozyklus die bewältigte Gesamtlast (Trainingsgewicht pro Übung in Kilogramm multipliziert mit der Anzahl der durchgeführten Wiederholungen) berechnet. Da die Übungen Wirbelsäulen-Extension und Wirbelsäulen-Flexion in der Regel nur mit dem eigenen Körpergewicht durchgeführt wurden, konnten diese nicht in die Berechnung einbezogen werden.

3.6.5 Trainingskontrollen Kraftausdauer

Um die kardiovaskuläre und metabolische Trainingsbeanspruchung zu dokumentieren, wurden bei zehn zufällig ausgewählten Probanden stichprobenartige Herzfrequenz- und Laktatkontrollen durchgeführt. Die Laktatmessungen erfolgten in einer Trainingseinheit zwischen der neunten und zwölften Trainingswoche. Hierfür wurde aus dem mit einem Alkoholputzer desinfizierten Ohrläppchen mit einer 10 µl Mikro-Kapillare zu Beginn des Trainings, nach Ende der ersten Kraftzirkelrunde sowie unmittelbar nach Abschluss der letzten Übungsserie Kapillarblut entnommen. Für die Laktatbestimmung wurde der Diaglobal Fertigtest LAC 142 (Diaglobal GmbH, Berlin) verwendet. Das Blut wurde sofort nach Entnahme in eine Einzeltestküvette mit Pufferlösung pipettiert. Die Auswertung erfolgte mit dem Vario Photometer DP 300 (Diaglobal GmbH, Berlin) direkt im Anschluss an die Trainingseinheit. Das Gerät wurde vor dem Einsatz vom Hersteller auf Funktionstüchtigkeit geprüft und die photometrische Richtigkeit und Präzision der Messungen schriftlich bestätigt. Anhand der Borg-Skala wurde in dieser Trainingseinheit das subjektive Belastungsempfinden abgefragt. Des Weiteren wurden bei diesen Probanden in dieser Trainingseinheit wie auch stichprobenartig im weiteren Trainingsverlauf Herzfrequenzkontrollen durchgeführt. Diese erfolgten mit Hilfe des Systems Suunto-Team-Pod (Suunto GmbH, Vantaa, Finnland). Hierbei wurden die Probanden mit einem Herzfrequenzsendergurt ausgestattet, wobei die Trainingsherzfrequenz in Echtzeit an ein mit einem Empfänger ausgestattetes Notebook gefunkt wurde. Dies ermöglichte die zeitgleiche Online-Überwachung der Trainingsherzfrequenzen von maximal neun Probanden. Mit Hilfe der Software Suunto-Team-Manager (Suunto GmbH, Vantaa, Finnland) wurden die Herzfrequenzdaten der jeweiligen Trainingseinheiten gespeichert und anschließend hinsichtlich der maximalen (HF_{peak}) und durchschnittlichen Trainingsherzfrequenz (HF_{\emptyset}) ausgewertet. Die entsprechenden Werte wurden zum einen absolut, zum anderen prozentual in Bezug zu der beim Laufbandtest erreichten HF_{max} angegeben.

3.7 Hypertrophietraining

Optional wurde den Teilnehmern der Krafttrainingsgruppe die Teilnahme an einer zweiten Studienphase angeboten. In dieser wurde über einen Zeitraum von sechs Monaten ein intensitätsorientiertes Krafttraining nach der Hypertrophiemethode durchgeführt.

3.7.1 Organisation und Ablauf Hypertrophietraining

Der Aufbau und die inhaltliche Ausgestaltung des Krafttrainingsprogramms orientierten sich an aktuellen wissenschaftlichen Empfehlungen (ACSM, 2009, 2010, 2011; Fleck & Kraemer,

2004; Fröhlich & Schmidtbleicher, 2008; Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Marschall & Fröhlich, 1999; Martin et al., 2001; Williams et al., 2007; Zimmermann, 2002). Das methodische Vorgehen entsprach weitgehend dem des ersten Studienabschnittes, wobei aufgrund der halbjährigen Trainingserfahrung eine Vorbereitungsphase nicht erforderlich war. Die Übungs- und Geräteauswahl blieben unverändert. Das Hypertrophietraining wurde ebenfalls über einen Zeitraum von insgesamt 24 Wochen durchgeführt, aufgeteilt in vier Mesozyklen à sechs Wochen. Zu Beginn und zum Abschluss der Treatmentphase erfolgte jeweils ein 1-RM-Test (vgl. Kapitel 3.5.1). Zur Belastungssteuerung wurde zu Beginn eines jeden Mesozyklus das 10-RM ermittelt (vgl. Kapitel 3.5.3). Sämtliche Trainingseinheiten wurden im Trainingsplan dokumentiert. Für die letzte Trainingseinheit eines Mesozyklus wurde die bewältigte Last berechnet, um diese im Zeitverlauf darstellen zu können. Der Abschlusstest erfolgte analog zum Eingangstest sowie zum Abschlusstest von Studienabschnitt 1, womit die Datenaufnahme endete. (vgl. Abb. 10).

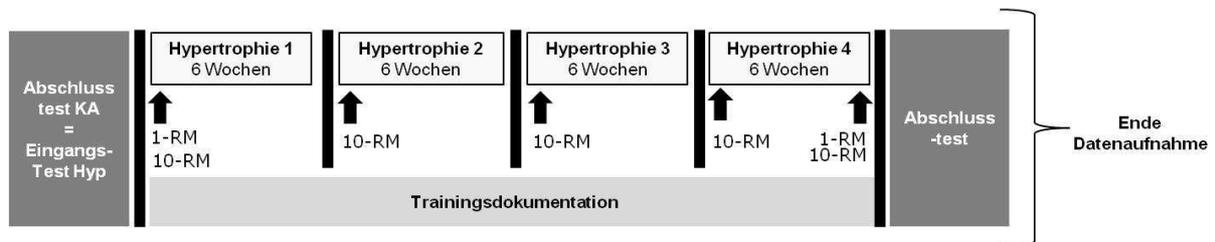


Abb. 10: Ablauf und Datenaufnahme im Studienabschnitt Hypertrophie

3.7.2 Treatment Hypertrophietraining

Analog zum Kraftausdauertraining wurden auch für das Hypertrophietraining die Belastungsparameter standardisiert und wie in der nachfolgenden Tabelle dargestellt konstant gehalten.

Tab. 5: Belastungsgefüge beim Hypertrophietraining

Test	10-RM-Test
Arbeitsweise	exzentrisch-konzentrisch
Übungsauswahl	8 Trainingsübungen (mehrgelenkig /eingelenkig)
Reizintensität	bewältigte Last beim 10 WH
Serien	3
Organisationsform	Stationstraining
Wiederholungen	Woche 1-2: 8 WH (= 80% der WH beim 10-RM) Woche 3-4: 9 WH (= 90% der WH beim 10-RM) Woche 5-6: 10 WH (= 100% der WH beim 10-RM)
Pausen	120 bis 180 Sekunden
Bewegungsgeschwindigkeit	langsam bis zügig
Häufigkeit	3 TE pro Woche

Für die ausgewählten Übungen wurde das 10-RM ermittelt (vgl. Kapitel 3.5.3). Das Testergebnis entsprach der Trainingslast im darauffolgenden Mesozyklus. Um zu gewährleisten, dass die Probanden drei Serien mit gleicher Wiederholungsanzahl absolvieren konnten, wurde in den ersten beiden Wochen eines Mesozyklus der Umfang zunächst auf 80 % des Wiederholungsmaximums reduziert, das heißt es wurden drei Serien à acht Wiederholungen durchgeführt. In den folgenden Trainingswochen sollten die Probanden die Wiederholungen sukzessive bis zum im Test erreichten Maximum steigern. Entsprechend wurden in der dritten und vierten Woche jeweils drei Serien à neun und in der fünften und sechsten Woche jeweils drei Serien à zehn Wiederholungen vorgegeben. Nach sechs Wochen erfolgte ein erneuter 10-RM-Test, welcher die Grundlage der Trainingsplanung im zweiten Mesozyklus bildete. In den Mesozyklen drei und vier wurde analog verfahren. War aufgrund der Trainingsdokumentation ersichtlich, dass keine Erhöhung der Trainingslast möglich ist, wurde auf einen erneuten 10-RM-Test verzichtet und eine Belastungsprogression über eine Steigerung der Wiederholungszahl gesteuert.

Das Hypertrophietraining wurde als Stationstraining durchgeführt. Zu Beginn einer Trainingseinheit wurden die Übungen Wirbelsäulen-Extension und Wirbelsäulen-Flexion je zwei Mal im Wechsel durchgeführt. Danach wurden bei den Übungspaaren Zug vertikal zum Nacken und Beinpresse liegend, Zug horizontal zur Brust und Brustpresse sowie Beinstrecken und Beinbeugen sitzend jeweils drei Serien im Wechsel mit vorgegebener Last und Wiederholungszahl sowie einer Serienpause von zwei bis drei Minuten absolviert. Alle Trainingseinheiten wurden mit Datum, durchgeführten Wiederholungen pro Übung und Trainingsdauer im Trainingsplan dokumentiert. Für die jeweils letzte Trainingseinheit eines Mesozyklus wurde die bewältigte Gesamtlast berechnet. Auch hier wurden die Übungen Wirbelsäulen-Extension und Wirbelsäulen-Flexion nicht in die Berechnung einbezogen.

3.7.3 Trainingskontrollen Hypertrophie

Analog zum Studienabschnitt Kraftausdauer wurden stichprobenartige Herzfrequenz- und Laktatkontrollen durchgeführt. Laktatproben wurden zu folgenden vier Messzeitpunkten entnommen:

- vor Trainingsbeginn,
- nach je drei Serien Zug vertikal zum Nacken und Beinpresse liegend,
- nach je drei Serien Zug horizontal zur Brust und Brustpresse sowie
- nach je drei Serien Beinstrecken und Beinbeugen sitzend am Ende des Trainings.

Anhand der Borg-Skala wurde bei jeder Blutentnahme das subjektive Belastungsempfinden abgefragt. Zusätzlich wurde die Trainingsherzfrequenz für diese und stichprobenartig für

weitere Einheiten im Trainingsverlauf mithilfe des Systems Suunto-Team-Pod (Suunto GmbH, Vantaa, Finnland) erfasst. Die Auswertungsmethodik der Laktatkontrollen und Herzfrequenzmessungen erfolgte wie in Kapitel 3.6.5 beschrieben.

3.7.4 Körperumfangmessungen

Um weitere Effekte im Sinne eines Aufbaus von Muskelmasse identifizieren zu können, wurden jeweils zu Beginn und zum Abschluss des Hypertrophietrainings Umfangmessungen an Oberarmen und Oberschenkeln durchgeführt. Hierfür wurden folgende Maßnahmen zur Standardisierung festgelegt (ACSM, 2010). Der Oberarmumfang wurde in aufrecht stehender Position bei frei herabhängenden Armen in Neutralstellung gemessen. Hierbei wurde zunächst die halbe Strecke zwischen Acromion und Olecranon markiert und anschließend ein nicht dehnbare Umfangsmessband an dieser Stelle horizontal um den Oberarm geführt. Linke und rechte Seite wurden abwechselnd je zweimal gemessen. Als Ergebnis wurde der Mittelwert aus beiden Messungen herangezogen. Das Ablesen des Messwertes erfolgte auf 0,1 cm genau. Zur Messung des Oberschenkelumfangs stellten die Probanden einen Fuß auf eine in der Höhe verstellbare Trainingsbank, so dass das zu messende Bein im Kniegelenk 90 Grad gebeugt war. Messpunkt war die Mitte zwischen Leistenbeuge und proximalem Rand der Patella, welcher entsprechend markiert wurde. Das Messband wurde senkrecht zur Körperlängsachse um den Oberschenkel herumgeführt und der Messwert auf 0,1 cm genau abgelesen. Auch hier bildete der Mittelwert aus jeweils zwei Messungen das Messergebnis.

3.8 Waiting-Control-Gruppe

Im Anschluss an die Kontrollphase erhielten alle Mitglieder der Kontrollgruppe die Möglichkeit, eines der drei Sportprogramme in gleicher Art und Weise zu durchlaufen. Bei der Gruppenzuweisung wurden individuelle Präferenzen der Teilnehmer berücksichtigt. Bei denjenigen Probanden, die einem Kraftausdauertraining zugeteilt wurden, erfolgte die Datenaufnahme analog zu dem in Kapitel 3.6 beschriebenen methodischen Vorgehen. Die entsprechenden Ergebnisse wurden separat ausgewertet und dargestellt.

3.9 Trainingscompliance

Das Durchlaufen der vier Gewöhnungs- und Testtermine in der Vorbereitungsphase war Voraussetzung für den Eintritt in die Trainingsphase. Zur Berechnung der Compliance innerhalb des Interventionszeitraums von jeweils 24 Trainingswochen für das Kraftausdauer- und das

Hypertrophietraining wurde die Anzahl der absolvierten Trainingseinheiten herangezogen. Einzelne versäumte Trainingseinheiten wurden entsprechend dokumentiert. Bei komplett versäumten Trainingswochen wegen Krankheit oder Urlaub wurde der Interventionszeitraum um die jeweilige Zeit verlängert, so dass bei allen Probanden die Compliance auf insgesamt 24 Trainingswochen bezogen werden konnte. Trainingspausen von mehr als drei Wochen am Stück führten zum Ausschluss aus der Studie. Ausgehend von der maximal möglichen Anzahl von 72 Trainingseinheiten wurde die prozentuale Trainingsbeteiligung berechnet. Für den Einbezug eines Datensatzes wurde a priori eine erforderliche Trainingsbeteiligung von mindestens 70 % festgelegt.

3.10 Kontrollbedingungen

Nach der Durchführung des Eingangstests und der Ruheumsatzmessung wurden die Mitglieder der Kontrollgruppe zur Beibehaltung ihres bisherigen Lebensstils angehalten. Über das bei der Eingangsuntersuchung angegebene Ausmaß hinausgehende körperliche Aktivitäten sollten dokumentiert werden. Alle zwei Monate erfolgt eine telefonische Kontaktaufnahme zur Kontrolle der Compliance mit den Studienvorgaben und Vermeidung einer Unterbetreuung. Nach Ablauf der Kontrollphase von einem halben Jahr wurden die Probanden der Kontrollgruppe angerufen, um einen Termin zum Abschlusstest zu vereinbaren. Dieser entsprach hinsichtlich der erhobenen Parameter und verwendeten Methoden denen des Eingangstests. Ebenso erfolgte eine erneute Messung des Ruheumsatzes. Nach der Abschlussuntersuchung erhielten die Mitglieder der Kontrollgruppe die Gelegenheit, eines der angebotenen Trainingsprogramme zu absolvieren.

3.11 Statistik

3.11.1 Stichprobengröße

Für die SAusE-Studie wurde eine Gesamtzahl von 200 auswertbaren Probanden, entsprechend 50 pro Trainings- bzw. Kontrollgruppe, kalkuliert. Diese Abschätzung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Biometrie der medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes und basierte auf der Annahme eines VO_{2max} -Effekts in den Gruppen von 3,5 bzw. 7 $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ (eher konservative Annahmen für ein sechsmonatiges Training) sowie einer Standardabweichung dieses Effektes von 10 $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ (relativ hoch veranschlagt). Dabei ergab sich für ein akzeptiertes α -Fehlerniveau von $< 0,05$ und eine Power ($1 - \beta$) von 0,9 eine Gruppengröße von 54, für eine Power von 0,8 eine Gruppengröße von

42. Wie beschrieben erfolgte die Gruppenzuweisung stratifiziert randomisiert unter Berücksichtigung der aeroben Kapazität sowie des Geschlechts (vgl. Kapitel 3.1.2).

3.11.2 Auswertung des Datenmaterials

Sämtliche statistischen Berechnungen wurden mithilfe des Computerprogramms STATISTICA für Windows (StatSoft, Inc., 2011, Version 10.0) durchgeführt. Für den Studienabschnitt Kraftausdauer wurden zunächst alle Daten mit dem Shapiro-Wilks Test auf Normalverteilung geprüft. Die deskriptive Statistik erfolgte bei überwiegend normalverteilten Daten in Form von Mittelwerten (MW), Standardabweichungen (SD) und des jeweils kleinsten (MIN) und größten Messwertes (MAX). Bei Nicht-Normalverteilung erfolgte eine non-parametrische Darstellung in Form von Medianen, Quartilen und Spannen.

Baseline-Unterschiede im Alter zwischen Kraftausdauer- und Kontrollgruppe wurden mit dem Mann-Whitney U-Test überprüft, da die Daten nicht normalverteilt waren. Gruppenunterschiede zu Studienbeginn hinsichtlich der Körpergröße wurden mit dem t-Test für unabhängige Stichproben überprüft, da hier die Daten normalverteilt waren.

Zur Überprüfung von Krafttrainingseffekten in der Kraftausdauer- gegenüber der Kontrollgruppe (z. B. Veränderungen des Ruheumsatzes von ET zu AT 1) wurde ein allgemeines lineares Modell mit Messwiederholung gewählt (2-faktorielle Varianzanalyse (ANOVA), Faktoren: Zeit und Gruppe). Zur Überprüfung von Baseline-Unterschieden wurde der bei der ANOVA ermittelte Haupteffekt Gruppe betrachtet und der post-hoc Dunnett-Test durchgeführt. Es wurde der Interaktionseffekt (Gruppe x Zeit, Prüfgröße: F) berechnet, um trainingsbedingte Unterschiede zwischen Kraftausdauer- und Kontrollgruppe statistisch zu prüfen. Bei signifikanten Ergebnissen wurde post-hoc der Scheffé-Test für Effekte innerhalb der Gruppen durchgeführt. Bei nicht signifikanten Ergebnissen wurde nicht weitergerechnet und das Verfahren an dieser Stelle beendet. Auch bei zum Teil nicht normalverteilten Daten (KG, V_{\max} , RU absolut und pro kg FFM, WHR, FFM bei der Kalipermetrie, Body-Cell-Mass (BCM) bei der B.I.A., RR_{Ruhe} , Blutglukose) wurden die Interaktionseffekte mittels 2-faktorieller ANOVA getestet, da kein entsprechendes non-parametrisches Verfahren etabliert ist und die ANOVA als robust hinsichtlich einer Verletzung dieser Anwendungsvoraussetzung anzusehen ist (Sheskin, 2007).

Um zu überprüfen, ob die Veränderung des Ruheumsatzes vom zeitlichen Abstand zwischen der zuletzt durchgeführten Trainingseinheit und der Ruheumsatzmessung abhängig war, wurde eine Korrelation nach Pearson gerechnet.

Zur Überprüfung des Einflusses von Baseline-Unterschieden, Alter und Geschlecht wurde bei den Hauptzielparametern zusätzlich eine Kovarianzanalyse (ANCOVA) durchgeführt. Die Veränderung zwischen Eingangs- und Abschlusstest diente dabei als abhängige Variable, die Gruppe als unabhängige Variable. Baseline-Unterschiede, Alter und Geschlecht wurden als Kovariablen berücksichtigt. Die ANCOVA gilt als bevorzugtes Verfahren zur Kontrolle von Störeinflüssen und analysiert gleichzeitig die Fehlervarianz der in der ANOVA erhobenen Faktoren sowie die Varianz der Kovariablen. Dies führt zu einer Erhöhung der statistischen Power der ANOVA, wodurch der Interventionseffekt zuverlässiger bestimmt werden kann (Vickers & Altman, 2001).

Zur statistischen Überprüfung der Kräfteffekte in der Kraftausdauergruppe (Veränderungen im 1-RM und 20-RM) wurde mit dem Wilcoxon-Test ein non-parametrisches Verfahren gewählt, da die Daten nicht normalverteilt waren. Mittelwertunterschiede bei den Trainingskontrollen und bei der bewältigten Gesamtlast pro Trainingseinheit wurden bei weitgehend normalverteilten Daten anhand einer entsprechend der Anzahl der jeweiligen Messzeitpunkte gestuften 1-faktoriellen ANOVA geprüft. Bei signifikanten Ergebnissen wurde post-hoc der Scheffé-Test durchgeführt und es wurden die Zeiteffekte im Interventionsverlauf betrachtet.

Ergänzend zu den Signifikanztests wurden Effektgrößen bestimmt. Bei einer varianzanalytischen Herangehensweise wurde zur Beurteilung der Effektgröße das partielle η^2 (η^2_p) berechnet (Bühner & Ziegler, 2009; Cohen, 1988). Beim non-parametrischen Wilcoxon-Test wurde, um die Effektstärke zu approximieren, Phi (Φ) berechnet (Bühner & Ziegler, 2009, S. 269). Beim parametrischen t-Test wurde die Effektstärke (d) nach Cohen berechnet (Cohen, 1988, S. 40; Fröhlich & Pieter, 2009, S. 141). Da Cohen's d das am weitest verbreitetste Effektmaß ist (Dunst, Hamby & Trivette, 2004, S. 1), wurden zur besseren Veranschaulichung der Ergebnisse das partielle η^2 und die Phi-Werte ebenfalls in d-Werte transferiert (Cohen, 1988; Dunst et al., 2004). In der Ergebnisdarstellung werden daher der Einheitlichkeit halber ausschließlich d-Werte angegeben. Der auf Konvention festgelegten Klassifizierung zufolge wird die Effektstärke d folgendermaßen interpretiert (Bühner & Ziegler, 2009, S. 181; Cohen, 1988; Fröhlich & Pieter, 2009, S. 141): d = 0,20 gilt als kleiner, d = 0,50 als mittlerer und d = 0,80 als großer Effekt. Diese Konventionen können jedoch lediglich als eine erste Orientierungshilfe dienen (Bühner & Ziegler, 2009, S. 181) und sollten für das jeweilige Forschungsfeld spezifisch interpretiert werden (Fröhlich & Pieter, 2009; Rhea, 2004). Zur Beurteilung der Relevanz der Kräfteffekte wurde daher die von Rhea (2004) für die Krafttrainingsforschung vorgeschlagene Klassifizierung der Effektstärken für Untrainierte herangezogen (trivialer Effekt: d < 0,50; kleiner Effekt: d = 0,50 bis 1,25; mittlerer Effekt: d = 1,25 bis 1,90; großer Effekt: d > 2,0).

Im Studienabschnitt Hypertrophie ohne Kontrollgruppe wurden die Daten ebenfalls zunächst mit dem Shapiro-Wilks Test auf Normalverteilung geprüft und wie zuvor beschrieben deskriptiv ausgewertet. Für die statistische Auswertung der Hauptzielparameter im Interventionsverlauf (1-RM, V_{\max} , RU, anthropometrische Daten, ausgewählte Gesundheitsparameter) wurde bei weitgehend normalverteilten Daten jeweils eine dreifach gestufte 1-faktorielle ANOVA (ET, AT 1, AT 2) durchgeführt. Bei signifikantem Gesamteffekt wurden die Zeiteffekte zwischen den Messzeitpunkten post-hoc mit dem Scheffé-Test überprüft. Zur Überprüfung der Kräfteffekte beim 10-RM wurde ein t-Test für gepaarte Stichproben gerechnet, da die Daten normalverteilt waren. Zur Charakterisierung des Trainingsreizes bei den Trainingskontrollen und zur Überprüfung der pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast wurde bei weitgehend normalverteilten Daten eine entsprechend der Anzahl der jeweiligen Messzeitpunkte gestufte 1-faktorielle ANOVA gerechnet. Post-hoc wurde bei signifikanten Ergebnissen wiederum der Scheffé-Test durchgeführt, um Zeiteffekte im Interventionsverlauf zu überprüfen. Die Berechnung der Effektstärken erfolgte in Abhängigkeit vom jeweils angewandten Verfahren in beschriebener Weise.

Analog zur beschriebenen Vorgehensweise wurden auch die Daten der Waiting-Control-Gruppe ausgewertet. Alle Daten wurden auf Normalverteilung getestet und deskriptiv ausgewertet. Die Überprüfung von Veränderungen bei den Hauptzielparametern im Studienverlauf (V_{\max} , RU, anthropometrische Daten, ausgewählte Gesundheitsparameter) erfolgte bei weitgehend normalverteilten Daten jeweils anhand einer dreifach gestuften 1-faktoriellen ANOVA. Bei signifikanten Ergebnissen wurde post-hoc der Scheffé-Test durchgeführt und es wurden die Zeiteffekte im Verlauf betrachtet. Zur Überprüfung der Trainingseffekte im 1-RM und 20-RM wurde jeweils ein t-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt, da die Daten normalverteilt waren. Veränderungen bei der im Zeitverlauf pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast wurden bei normalverteilten Daten anhand einer vierfach gestuften 1-faktoriellen ANOVA (TW 6, TW 12, TW 18, TW 24) überprüft. Bei signifikantem Gesamteffekt wurden auch hier der post-hoc Scheffé-Test durchgeführt und die Zeiteffekte zwischen den Messzeitpunkten betrachtet. Die Effektstärkenberechnung erfolgte wiederum wie beschrieben.

Zur besseren Veranschaulichung und zum Nachlesen genauer Daten wurden die wichtigsten Ergebnisparameter teilweise sowohl als Abbildungen als auch in Tabellenform mit Absolutwerten dargestellt.

Für die maximal zulässige Irrtumswahrscheinlichkeit wurde a priori ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ festgelegt. Zur Klassifikation der Überschreitungswahrscheinlichkeit wurden Werte von $p < 0,05$ als signifikant eingestuft, bei Werten zwischen $0,1 > p > 0,05$ wurden Unterschiede als tendenziell angesehen.

4 Ergebnisse

4.1 Probanden

4.1.1 Dropouts und Compliance Kraftausdauergruppe

Insgesamt wurden im Laufe der Studie 59 Probanden der Kraftausdauergruppe (KA) zugeteilt (♀: n=39, ♂: n=20). Alle Probanden durchliefen vollständig die zweiwöchige Vorbereitungsphase und wurden in das Trainingsprogramm integriert.

Während der Studie kam es zu 22 Dropouts (♀: n=19, ♂: n=3). Sechs Probanden wurden aufgrund einer mangelnden Compliance mit den Trainingsvorgaben (häufige Trainingsunterbrechungen, keine regelmäßige Trainingsfrequenz) ausgeschlossen. Insgesamt sieben Probanden brachen aus beruflichen und/oder privaten Gründen die Intervention ab. Eine Teilnehmerin musste nach einem privaten Unfall aus dem Programm aussteigen. Eine weitere Probandin konnte aufgrund einer längeren krankheitsbedingten Unterbrechung nicht in die Auswertung einbezogen werden. Eine Probandin musste ausgeschlossen werden, da aufgrund einer Operation eine längere Trainingsunterbrechung erforderlich war. Lediglich eine Probandin tolerierte das vorgegebene Belastungsgefüge nicht und es kam zu einem Ausstieg aufgrund wiederkehrender Rückenschmerzen und damit verbundenen zu häufigen Trainingsunterbrechungen. Somit konnten insgesamt 42 Studienteilnehmer die komplette Interventionsphase beenden und die Abschlussuntersuchung absolvieren.

Im Nachhinein mussten zwei Probanden ausgeschlossen werden, da die Abschlussuntersuchung nicht im tolerierten Zeitfenster von zwei bis sieben Tagen nach der letzten Trainingseinheit durchgeführt wurde. Drei weitere Probanden konnten aufgrund unplausibler Messverläufe bei einzelnen Ruheumsatzmessungen nicht in Auswertung einbezogen werden. Hier kam es im Messzeitraum (insbesondere während des für die Auswertung relevanten Zeitintervalls von Minute 10 bis 30) zu einem stetigen Abfall der VO_2 , woraus sich unrealistische Ruheumsätze ergaben. Der entsprechend der Auswertungsmethodik berechnete Ruheumsatz lag in allen drei Fällen unter $1000 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$ ($982,2 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$; $821,6 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$; $762,9 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$), was in Bezug zu den Körpermaßen der Probanden und im Vergleich zu den nach der Faustformel berechneten Werten (um 22 %, 42 % und 50 % niedrigere Ruheumsätze) als unplausibel bzw. unrealistisch einzustufen war. Schlussendlich konnten in der Kraftausdauergruppe 37 Probanden (♀: n=20, ♂: n=17) in die Auswertung einbezogen werden (vgl. Tab. 6). Mit 37 % lag die Dropoutquote in einem zu erwartenden Ausmaß. Eine Gegenüberstellung der Probandendaten von Kraftausdauer- und Kontrollgruppe erfolgt in Kapitel 4.1.3.

Tab. 6: Dropouts und auswertbare Probanden der Kraftausdauergruppe

Probanden KA	n = 59
Dropouts	n
• mangelnde Compliance mit den Vorgaben	6
• berufliche und/oder private Gründe	7
• privater Unfall	1
• längere Erkrankung	1
• Operation mit längerer Trainingsunterbrechung	1
• trainingsbedingte orthopädische Probleme	1
• Abschlussuntersuchung zu spät	2
• nicht auswertbare Ruheumsatzmessungen	3
Auswertbare Probanden INT	n = 37

Ausgehend von der maximal möglichen Anzahl von 72 wurden im Mittel 67 ± 3 (59-72) Trainingseinheiten absolviert. Dies entsprach einer prozentualen Trainingsbeteiligung von 94 ± 5 (82-100) %. Wenngleich die mittlere Compliance in den einzelnen Mesozyklen durchweg weit über den eingeforderten 70 % lag (MZ 1: 97 %, MZ 2: 94 %, MZ 3: 95 %, MZ 4: 89 %), reduzierte sich die Trainingsfrequenz im Verlauf signifikant ($p < 0,001$; $F(3, 108) = 7,89$). Während die Veränderungen in den ersten drei Mesozyklen nicht signifikant waren (MZ 1 zu MZ 2: $p = 0,46$; MZ 2 zu MZ 3: $p = 0,99$; MZ 1 zu MZ 3: $p = 0,67$), zeigte sich von MZ 3 zu MZ 4 ($p = 0,01$) eine signifikante Reduktion der Trainingsbeteiligung.

4.1.2 Dropouts und Compliance Kontrollgruppe

In die Kontrollgruppe (KO) wurden 53 Probanden (♀: $n = 36$, ♂: $n = 17$) eingeschlossen, bei denen eine Eingangsuntersuchung durchgeführt wurde. Hier kam es während der Kontrollphase zu 16 Dropouts (♀: $n = 11$, ♂: $n = 5$). Bereits unmittelbar nach der Gruppenteilung stiegen vier Probanden aus, da sie trotz vorheriger Aufklärung nicht bereit waren, eine Kontrollphase zu durchlaufen. Vier Probanden absolvierten aus beruflichen oder privaten Gründen keine Abschlussuntersuchung und konnten somit nicht ausgewertet werden. Zusätzlich mussten eine Probandin wegen mangelnder Compliance mit den Kontrollvorgaben und ein Proband aufgrund einer schweren Erkrankung ausgeschlossen werden. Nach Abschluss der Kontrollphase wurde mit 43 Probanden eine Abschlussuntersuchung durchgeführt.

Für die Krafttrainingsstudie blieb der Datensatz eines Probanden unberücksichtigt, da die Durchführung einer Ruheumsatzmessung nach der Gruppenteilung versäumt wurde. Aufgrund nicht plausibler Messverläufe bei den Ruheumsatzmessungen wurden in der Kontrollgruppe nachträglich fünf Probanden ausgeschlossen. Hier waren die Ruheumsätze

(726,5 kcal·d⁻¹; 913,4 kcal·d⁻¹; 945,4 kcal·d⁻¹; 887,9 kcal·d⁻¹; 1101,2 kcal·d⁻¹) in Bezug zu den Körpermaßen und im Vergleich zu den nach der Faustformel berechneten Werten unrealistisch niedrig (um 43 %, 29 %, 43 %, 40 % und 35 % niedrigere Ruheumsätze). Somit konnten letztlich auch in der Kontrollgruppe 37 Probanden (♀: n=25, ♂: n=12) in die Auswertung einbezogen werden (vgl. Tab. 7). Die Dropoutquote in der Kontrollgruppe betrug 30 %.

Tab. 7: Dropouts und auswertbare Probanden der Kontrollgruppe

Probanden KO	n = 53
Dropouts	n
• keine Bereitschaft für Kontrollphase	4
• keine Abschlussuntersuchung durchgeführt	4
• mangelnde Compliance mit den Kontrollvorgaben	1
• schwere Erkrankung	1
• versäumte Ruheumsatzmessung	1
• nicht auswertbare Ruheumsatzmessungen	5
Auswertbare Probanden KO	n = 37

4.1.3 Probandendaten der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe

In Tab. 8 sind die Probandendaten der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe zu Studienbeginn gegenübergestellt. Weder hinsichtlich Alter ($p=0,14$), Größe ($p=0,07$), Gewicht ($p=0,24$) und BMI ($p=0,63$), noch hinsichtlich der V_{\max} ($p=1,0$) bei der Laufbandergometrie zeigten sich signifikante Baseline-Unterschiede zwischen den Gruppen.

Tab. 8: Gegenüberstellung der Probandendaten von Kraftausdauer- und Kontrollgruppe beim Eingangstest (MW \pm SD, MIN-MAX)

	Alter [Jahre]	Größe [m]	Gewicht [kg]	BMI [kg·m ⁻²]	V_{\max} [km·h ⁻¹]
KA (n=37)	47 \pm 7 30 - 60	1,73 \pm 0,1 1,56 - 2,0	75,2 \pm 14,3 51,0 - 105,0	25,0 \pm 3,4 18,8 - 29,7	10,0 \pm 1,4 8,0 - 14,4
KO (n=37)	50 \pm 7 33 - 60	1,69 \pm 0,1 1,54 - 1,92	69,7 \pm 13,6 50,0 - 100,0	24,2 \pm 3,2 18,1 - 30,0	10,1 \pm 1,6 6,8 - 12,8

4.1.4 Dropouts, Probandendaten und Compliance der Hypertrophiegruppe

Von den 37 einbezogenen Probanden des ersten Studienabschnitts wurden im Anschluss daran 22 Teilnehmer (♀: n=11, ♂: n=11) in das intensitätsorientierte Krafttraining integriert. In diesem Studienabschnitt kam es zu insgesamt fünf Dropouts, so dass die Dropoutquote 23 % betrug. Drei Teilnehmer wurden aufgrund einer mangelnden Compliance mit den Trainingsvorgaben (häufige Trainingsunterbrechungen, keine regelmäßige Trainingsfrequenz)

ausgeschlossen. Ein Proband brach das Training ohne erkennbaren Grund ab und reagierte auf weitere Versuche einer Kontaktaufnahme nicht. Eine Probandin tolerierte die höhere Trainingsbelastung nicht und musste wegen Schulter- und Knieproblemen aus dem Trainingsprogramm aussteigen.

Insgesamt konnten 17 (♀: n=7, ♂: n=10) Teilnehmer in die Auswertung des zweiten Studienabschnitts einbezogen werden. Die in Tab. 9 dargestellten Daten der Hypertrophiegruppe zu Studienbeginn schließen ausschließlich die Probanden ein, die beide Studienabschnitte vollständig durchlaufen und entsprechend über ein komplettes Jahr hinweg regelmäßig trainiert haben.

Tab. 9: Probandendaten der Hypertrophiegruppe beim Eingangstest (MW±SD, MIN-MAX; n=17)

Alter [Jahre]	Größe [m]	Gewicht [kg]	BMI [kg·m ⁻²]	V max [km·h ⁻¹]
47 ± 5	1,75 ± 0,1	77,7 ± 16,1	24,9 ± 3,6	10,0 ± 1,0
38 - 55	1,61 - 2,0	51,0 - 105,0	18,8 - 29,4	8,6 - 12,0

In der zweiten Studienphase wurden ausgehend von der maximal möglichen Anzahl von 72 im Mittel 64±6 (51–72) Trainingseinheiten entsprechend 88±8 (71-100) % absolviert. Die mittlere Trainingsbeteiligung in den vier Mesozyklen war durchgängig auf einem hohen Niveau (MZ 1: 91 %, MZ 2: 87 %, MZ 3: 87 %, MZ 4: 89 %) und es zeigten sich im Zeitverlauf keine signifikanten Veränderungen (p=0,65; F(3, 48)=0,55). Stellt man beide Studienabschnitte gegenüber, war die Trainingsbeteiligung beim Kraftausdauertraining mit 96±3 % (89-100 %) im Vergleich zum Hypertrophietraining signifikant höher (p<0,001).

4.1.5 Dropouts, Probandendaten und Compliance der Waiting-Control-Gruppe

Im Anschluss an die Kontrollphase absolvierten 15 Probanden (♀: n=11, ♂: n=4) der Waiting-Control-Gruppe ein Kraftausdauertraining. Während der Intervention kam es zu fünf Dropouts. Zwei Probanden war aus beruflichen bzw. familiären Gründen kein regelmäßiges Training möglich. Eine Teilnehmerin wurde aufgrund einer längeren krankheitsbedingten Unterbrechung nicht in die Auswertung einbezogen. Eine Probandin konnte aufgrund bestehender nicht trainingsassoziierter orthopädischer Probleme die Trainingsvorgaben nicht erfüllen und musste ausgeschlossen werden. Eine weitere Probandin zeigte eine mangelnde Compliance in Form häufiger Trainingsunterbrechungen und unregelmäßiger Trainingsfrequenz. Insgesamt konnten 10 Probanden ausgewertet werden (♀: n=6, ♂: n=4), und die Dropoutquote betrug 33 %. Die Probandendaten der Waiting-Control-Gruppe zu Studienbeginn sind in Tab. 10 dargestellt.

Tab. 10: Probandendaten der Waiting-Control-Gruppe beim Eingangstest (MW \pm SD, MIN-MAX; n=10)

Alter [Jahre]	Größe [m]	Gewicht [kg]	BMI [kg·m ⁻²]	V max [km·h ⁻¹]
53 \pm 6	1,68 \pm 0,1	68,0 \pm 14,6	23,7 \pm 3,3	9,9 \pm 1,8
39 - 60	1,57 - 1,83	54,0 - 100,0	20,2 - 29,9	6,8 - 12,0

Die prozentuale Trainingsbeteiligung betrug 94 \pm 5 (86-100) %. Ausgehend von der maximal möglichen Anzahl von 72 wurden im Mittel 68 \pm 4 (62–72) Trainingseinheiten absolviert. Bei einer über die vier Mesozyklen hinweg durchgängig hohen Trainingscompliance (MZ 1 = 96 %, MZ 2 = 91 %, MZ 3 = 96 %, MZ 4 = 93 %) zeigten sich im Zeitverlauf keine signifikanten Veränderungen (p=0,46; F(3, 27)=0,90).

4.2 Effekte Kraftausdauertraining

4.2.1 Trainingsreiz Kraftausdauertraining

Zur Kontrolle der kardiovaskulären und metabolischen Trainingsbeanspruchung wurden stichprobenartig in einer Einheit zwischen der neunten und zwölften Trainingswoche Herzfrequenz- und Laktatkontrollen durchgeführt. Von den zehn zufällig ausgewählten Probanden wurden nur diejenigen ausgewertet, die beide Trainingsabschnitte vollständig durchlaufen hatten. Eine Probandin und ein Proband, die das Trainingsprogramm im Laufe des zweiten Studienabschnittes abbrachen, wurden daher nicht in die Auswertung einbezogen, so dass die Ergebnisse auf den Daten von acht Studienteilnehmern (♀: n=4, ♂: n=4) basieren. In Tab. 11 sind die Ergebnisse der gemessenen Herzfrequenzen, Blutlaktatkonzentrationen und des anhand der Borg-Skala subjektiv eingeschätzten Belastungsempfindens zu Beginn der Trainingseinheit, nach Ende des ersten Zirkel-Rundlaufs sowie unmittelbar nach Beendigung der letzten Trainingsübung dargestellt.

Tab. 11: Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden beim Kraftausdauertraining (MW \pm SD, MIN-MAX; n=8)

	Beginn	Runde 1	Runde 2
Herzfrequenz [min ⁻¹]	80 \pm 15 63 - 104	134 \pm 14 112 - 148	143 \pm 11 129 - 158
Laktat [mmol·l ⁻¹]	1,4 \pm 0,3 1,0 - 1,8	6,5 \pm 0,9 5,1 - 7,6	8,8 \pm 1,5 7,1 - 11,3
Borg	7,3 \pm 1,8 6 - 10	15,5 \pm 1,4 13 - 18	17,6 \pm 0,9 16 - 19

Wie den Daten zu entnehmen ist, korrespondiert die subjektiv als anstrengend bis sehr anstrengend wahrgenommene Belastung mit der im Zuge des Trainings steigenden metabolischen und kardiozirkulatorischen Beanspruchung. Setzt man die gemessenen Herzfrequenzen in Bezug zu der im Eingangstest bei der Laufbandergometrie ermittelten maximalen Herzfrequenz, so lag die Trainingsbelastung nach dem ersten Durchgang bei 75 ± 9 (62-93) % der HF_{max} und nach dem zweiten Durchgang bei 80 ± 6 (72-90) %. Der Anstieg der Laktatkonzentration im Laufe der Trainingseinheit spiegelt die durch den Trainingsreiz hervorgerufene hohe anaerob laktatzyde Beanspruchung wider.

Zur zusätzlichen Kontrolle des Belastungsgefüges erfolgte bei diesen Probanden in fünf weiteren Trainingseinheiten ein Monitoring der Belastungsherzfrequenz über den gesamten Trainingsabschnitt. Die Ergebnisse der in den einzelnen Trainingseinheiten jeweils höchsten (HF_{peak}) und durchschnittlichen Trainingsherzfrequenzen (HF_{\emptyset}) sind in Tab. 12 dargestellt. Die mittlere HF_{peak} lag zwischen 143 und 153 min^{-1} und unterschied sich in den einzelnen Trainingseinheiten nicht signifikant ($p=0,26$, $F(4, 28)=1,38$). Die HF_{\emptyset} lag im Mittel zwischen 110 und 117 min^{-1} , wobei auch hier der Unterschied zwischen den einzelnen Trainingseinheiten nicht signifikant war ($p=0,34$, $F(4, 28)=1,18$).

Tab. 12: Höchste (HF_{peak}) und durchschnittliche Trainingsherzfrequenzen (HF_{\emptyset}) beim Kraftausdauertraining (MW \pm SD, MIN-MAX; n=8)

	TE 1	TE 2	TE 3	TE 4	TE 5
$HF_{peak} [\text{min}^{-1}]$	148 ± 10 130 - 160	143 ± 14 115 - 158	149 ± 13 122 - 164	150 ± 12 137 - 167	153 ± 14 129 - 172
$HF_{\emptyset} [\text{min}^{-1}]$	113 ± 11 92 - 126	110 ± 12 89 - 126	116 ± 10 93 - 127	112 ± 9 99 - 124	117 ± 12 103 - 141

Setzt man die im Rahmen des Monitorings ermittelten Herzfrequenzen in Bezug zur HF_{max} bei der Laufbandergometrie im Eingangstest, so zeigt sich das in Abb. 11 dargestellte Bild.

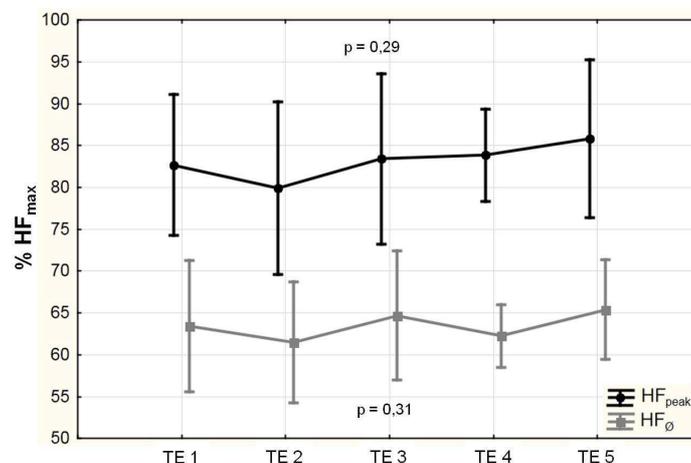


Abb. 11: Maximale und durchschnittliche prozentuale Trainingsintensität beim Kraftausdauertraining in Bezug zur HF_{max} (MW \pm SD; n=8)

Die maximale Trainingsintensität lag zwischen 80 ± 10 (64-97) % und 86 ± 10 (77-94) % der HF_{max} und unterschied sich in den einzelnen Trainingseinheiten nicht signifikant ($p=0,29$, $F(4, 28)=1,32$). Die durchschnittliche Trainingsintensität lag zwischen 62 ± 7 (50-74) % und 65 ± 8 (52-79) % der HF_{max} . Auch hier gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Trainingseinheiten ($p=0,31$, $F(4, 28)=1,25$).

In Abb. 12 ist exemplarisch ein typisches Herzfrequenzprofil der Trainingseinheit einer Probandin dargestellt, anhand dessen man die durch den Trainingsreiz erzielte intervallartige Belastung erkennen kann. Die effektive Trainingsdauer lag in dieser Trainingseinheit bei 39:57 min. Die durchschnittliche Trainingsherzfrequenz betrug 122 min^{-1} , der höchste Messwert lag bei 156 min^{-1} . Die in dieser Trainingseinheit erreichte HF_{peak} entsprach 80 %, die HF_{\emptyset} 63 % der HF_{max} im Eingangstest.

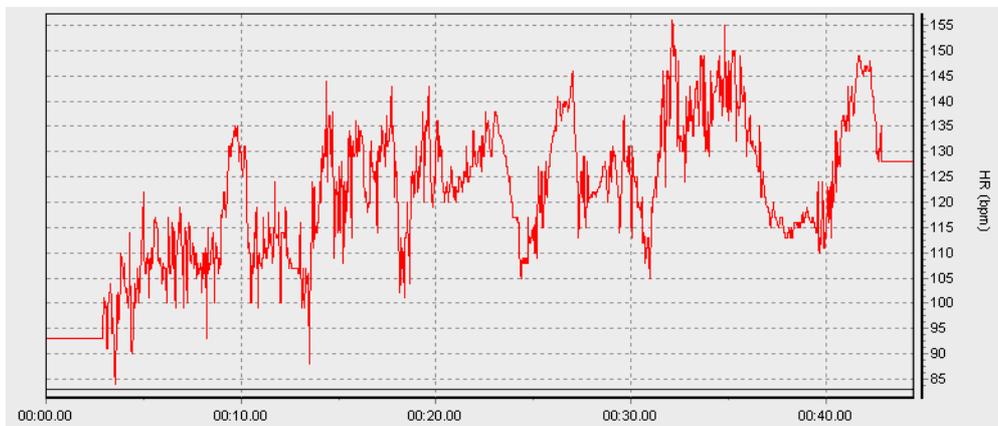


Abb. 12: Beispiel eines Herzfrequenzprofils beim Kraftausdauertraining

4.2.2 Leistungsphysiologische Effekte Kraftausdauertraining

4.2.2.1 Ausdauerleistungsfähigkeit

Als Kriterium zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit wurde die bei der Laufbandergometrie erreichte maximale Laufgeschwindigkeit herangezogen. Zwei Probanden der Kraftausdauergruppe und drei der Kontrollgruppe erfüllten die definierten Ausbelastungskriterien nicht und wurden daher nicht in die Auswertung einbezogen. Bei einer weiteren Probandin der Kontrollgruppe konnte im Rahmen der Abschlussuntersuchung aufgrund akuter Rückenprobleme keine Laufbandergometrie durchgeführt werden. Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen somit auf 35 Probanden der Interventions- und 33 Probanden der Kontrollgruppe.

Zu Studienbeginn zeigten sich keine signifikanten Baseline-Unterschiede zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe ($p=1,0$). In Abb. 13 ist die Veränderung der maximalen Laufge-

schwindigkeit von Eingangstest und Abschlusstest zu Ende des Studienabschnitts Kraftausdauer dargestellt. Es zeigte sich ein signifikanter Interaktionseffekt ($p=0,01$, $F(1, 71)=6,45$; $d=0,60$ [mittlerer Effekt]) im Sinne einer Verbesserung der V_{max} bei der Kraftausdauergruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Hypothese $H_{1.1}$ wird angenommen.

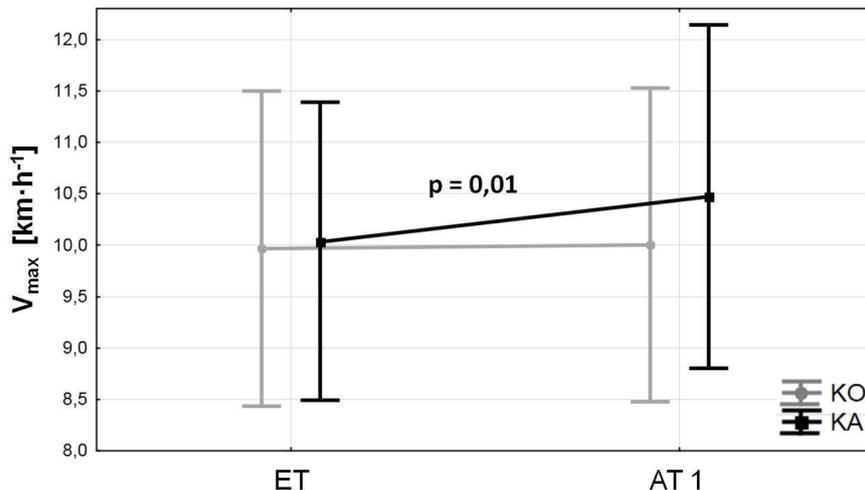


Abb. 13: Veränderung der maximalen Laufgeschwindigkeit bei der Laufbandergometrie (MW±SD)

In der Trainingsgruppe steigerte sich die maximale Laufgeschwindigkeit signifikant ($p<0,001$; $n=35$) von $10,0\pm 1,4$ ($8,0-14,4$) $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ auf $10,5\pm 1,7$ ($8,2-16,8$) $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. In der Kontrollgruppe zeigten sich erwartungsgemäß von ET ($10,1\pm 1,6$ ($6,8-12,8$) $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) zu AT 1 ($10,1\pm 1,6$ ($7,6-13,4$) $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) keine Veränderungen ($p=0,98$; $n=33$).

4.2.2.2 Maximalkraft

Im Folgenden werden die in der Kraftausdauergruppe anhand des 1-RM getesteten Veränderungen der Maximalkraft für die Übungen Beinpresse, Brustpresse, Zug vertikal und Zug horizontal dargestellt. Die dazugehörigen Daten mit Medianen und Quartilen finden sich in Tab. 13. Bei allen Testübungen kam es zu einer signifikanten Steigerung der Maximalkraft von ET zu AT 1. Die Hypothese $H_{1.2}$ wird angenommen.

Tab. 13: Ergebnisse im 1-RM beim ET und AT 1 (Mediane (Quartile), MIN-MAX; $n=37$)

	ET [kg]	AT1 [kg]	
1-RM Beinpresse	101 (85/125) 69 - 157	125 (101/141) 77 - 181	$p<0,001$ $d=0,91$ [kleiner Effekt]
1-RM Brustpresse	50 (40/65) 30 - 90	60 (45/85) 40 - 110	$p<0,001$ $d=0,95$ [kleiner Effekt]
1-RM Zug vertikal	45 (40/60) 35 - 70	55 (45/70) 40 - 80	$p<0,001$ $d=1,04$ [kleiner Effekt]
1-RM Zug horizontal	50 (45/65) 35 - 80	60 (50/80) 40 - 90	$p<0,001$ $d=0,96$ [kleiner Effekt]

Der Median (Quartile) der prozentualen Steigerung betrug an der Beinpresse 15 (12-21) %, an der Brustpresse 25 (21-31) %, am Zug vertikal 15 (13-25) % und am Zug horizontal ebenfalls 15 (13-25) %.

4.2.2.3 Kraftausdauerleistungsfähigkeit

Beim 20-RM zeigten sich für die Übungen Beinpresse, Brustpresse, Zug vertikal und Zug horizontal die in Tab. 14 dargestellten Ergebnisse. Bei allen Übungen war die Steigerung der Kraftausdauerleistungsfähigkeit von ET zu AT 1 signifikant. Die Hypothese $H_{1.3}$ wird angenommen.

Tab. 14: Ergebnisse im 20-RM beim ET und AT 1 (Mediane (Quartile), MIN-MAX; n=37)

	ET [kg]	AT1 [kg]	
20-RM Beinpresse	69 (53/77) 43 - 109	85 (69/93) 61 - 125	p<0,001; d=1,75 [mittlerer Effekt]
20-RM Brustpresse	30 (25/40) 20 - 55	40 (30/50) 25 - 65	p<0,001; d=1,18 [kleiner Effekt]
20-RM Zug vertikal	30 (25/35) 20 - 45	40 (30/45) 25 - 50	p<0,001; d=1,57 [mittlerer Effekt]
20-RM Zug horizontal	35 (27,5/40) 20 - 45	40 (35/50) 25 - 55	p<0,001; d=1,25 [mittlerer Effekt]

Im Median (Quartile) betrug die prozentuale Steigerung an der Beinpresse 29 (21-35) %, an der Brustpresse 25 (20-33) %, beim Zug vertikal 25 (20-29) % und beim Zug horizontal 22 (17-27) %.

Die zu Beginn der Trainingsphase anhand des 20-RM ermittelten mittleren Trainingsintensitäten lagen zwischen 61 % und 64 % des 1-RM, beim AT 1 zwischen 63 % und 71 %. Die entsprechenden Daten sind in Tab. 15 dargestellt.

Tab. 15: Trainingsintensität in Bezug zum 1-RM zu Trainingsbeginn und zum Ende der Kraftausdauerphase (MW±SD, MIN-MAX; n=37)

	ET [% 1-RM]	AT 1 [% 1-RM]
Beinpresse	64 ± 7 52 - 82	71 ± 6 57 - 83
Brustpresse	64 ± 6 47 - 75	64 ± 5 53 - 73
Zug vertikal	63 ± 6 50 - 75	67 ± 5 60 - 77
Zug horizontal	61 ± 5 50 - 73	63 ± 6 55 - 78

Bei den Übungen Beinpresse ($p < 0,001$), Zug vertikal ($p < 0,001$) und Zug horizontal ($p = 0,05$) waren die Steigerungen der Trainingsintensität in Bezug zum 1-RM jeweils signifikant. Keine signifikanten Veränderungen zeigten sich hingegen an der Brustpresse ($p = 0,78$).

Zur Darstellung von Veränderungen der Kraftausdauerleistungsfähigkeit wurde des Weiteren die pro Trainingseinheit bewältigte Gesamtlast berechnet. Die in Tab. 16 dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die jeweils letzte Trainingseinheit eines Mesozyklus, das heißt nach Trainingswoche (TW) 6, 12, 18 und 24.

Tab. 16: Bewältigte Gesamtlast pro Trainingseinheit zu den Testzeitpunkten TW 6, TW 12, TW 18 und TW 24 im Studienabschnitt Kraftausdauer (MW \pm SD, MIN-MAX, n=37)

	TW 6	TW 12	TW 18	TW 24
Gesamtlast/TE [kg]	9037 \pm 1907 5800 - 14160	10420 \pm 2073 6920 - 15480	11359 \pm 2102 7640 - 15540	12024 \pm 2246 7727 - 16600

Die ANOVA ergab eine signifikante Steigerung der pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast zwischen TW 6 und TW 24 ($p < 0,001$, $F(3, 108) = 186,56$; $d = 4,58$ [großer Effekt]). Die Hypothese $H_{1.4}$ wird angenommen. Auch zwischen den einzelnen Testzeitpunkten waren die Veränderungen jeweils signifikant (vgl. Abb. 14). Die durchschnittliche Steigerung zwischen TW 6 und TW 24 lag bei 34 ± 12 (15-59) %.

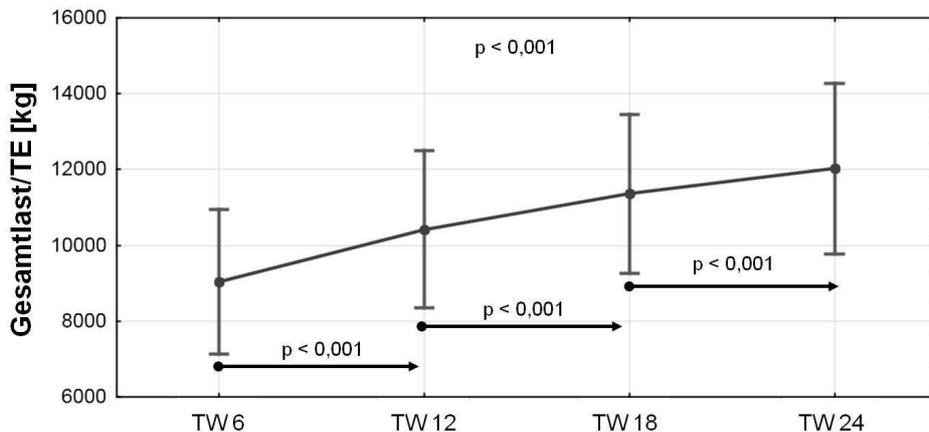


Abb. 14: Bewältigte Gesamtlast pro Trainingseinheit im Trainingsverlauf (MW \pm SD; n=37)

4.2.3 Kraftausdauertraining und Ruheumsatz

Zur Kontrolle der Umgebungsbedingungen im Untersuchungsraum wurde bei allen Ruheumsatzmessungen die Raumtemperatur erfasst. Diese konnte weitgehend konstant gehalten werden, und es zeigten sich weder Baseline-Unterschiede ($p = 1,0$) noch ein signifikanter Interaktionseffekt ($p = 0,86$; $F(1, 72) = 0,31$). Die dazugehörigen Daten finden sich in Tab. 17.

Tab. 17: Raumtemperatur während der Ruheumsatzmessungen beim ET und AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)

	KA (n=37)	KO (n=37)
Raumtemperatur ET [°C]	22,1 ± 0,9 20,5 – 24,4	22,1 ± 1,0 20,7 – 25,7
Raumtemperatur AT 1 [°C]	22,0 ± 0,9 20,0 – 23,8	22,0 ± 1,2 19,1 – 23,9

In Abb. 15 ist der absolute Ruheumsatz zu Beginn und zum Ende von Studienabschnitt 1 im Vergleich von Kraftausdauer- und Kontrollgruppe dargestellt. Zwischen den Gruppen zeigten sich keine signifikanten Baseline-Unterschiede ($p=0,56$). Die durchgeführte ANOVA ergab einen signifikanten Interaktionseffekt ($p<0,01$, $F(1, 72)=9,79$; $d=0,74$ [mittlerer Effekt]). Beim post-hoc Scheffé-Test zeigte sich in der Kraftausdauergruppe ein signifikanter Anstieg des absoluten Ruheumsatzes ($p<0,001$), in der Kontrollgruppe kam es zu keinen Veränderungen ($p=0,98$). Die Hypothese $H_{2,1}$ wird angenommen. Die dazugehörigen Daten sind Tab. 18 zu entnehmen.

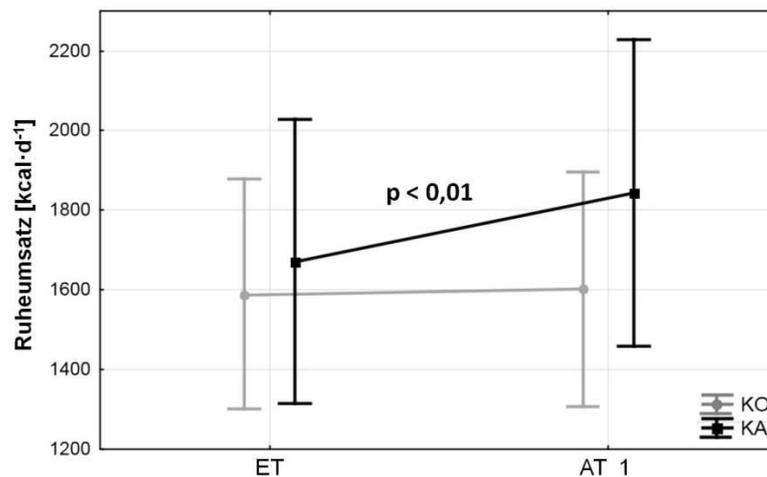


Abb. 15: Veränderungen des absoluten Ruheumsatzes von ET zu AT 1 (MW±SD)

Tab. 18: Absoluter Ruheumsatz und Differenzen von ET zu AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)

	RU ET [kcal·d ⁻¹]	RU AT 1 [kcal·d ⁻¹]	Δ RU ET zu AT 1 [kcal·d ⁻¹]	Δ RU ET zu AT 1 [%]
KA (n=37)	1671 ± 356 1142 - 2852	1843 ± 385 1183 - 3274	+172 ± 232 -283 - +562	+11,4 ± 15,1 -12,8 - +45,4
KO (n=37)	1587 ± 285 1123 - 2444	1602 ± 294 1070 - 2299	+15 ± 198 -452 - +549	+1,6 ± 12,8 -26,6 - +33,4

Der Abstand der letzten Trainingseinheit zur Ruheumsatzmessung zum Messzeitpunkt AT 1 betrug in der Kraftausdauergruppe durchschnittlich $4,4\pm 1,6$ (2-7) Tage. Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Ruheumsatzerhöhung und dem zeitlichen Ab-

stand der zuletzt durchgeführten Trainingseinheit zur Ruheumsatzmessung ($r=-0,03$; $p=0,84$).

Beim Ruheumsatz pro Kilogramm Körpergewicht zeigten sich ebenfalls keine Baseline-Unterschiede zwischen der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe ($p=0,73$). Wie in Abb. 16 zu sehen ist, ergab die ANOVA einen signifikanten Interaktionseffekt ($p<0,01$, $F(1, 72)=10,35$; $d=0,77$ [mittlerer Effekt]). In der Kraftausdauergruppe stieg der Ruheumsatz pro Kilogramm Körpergewicht signifikant an ($p<0,001$), in der Kontrollgruppe zeigten sich wiederum keine Veränderungen ($p=0,99$). Die entsprechenden Daten finden sich Tab. 19. Die Hypothese $H_{2.2}$ wird angenommen.

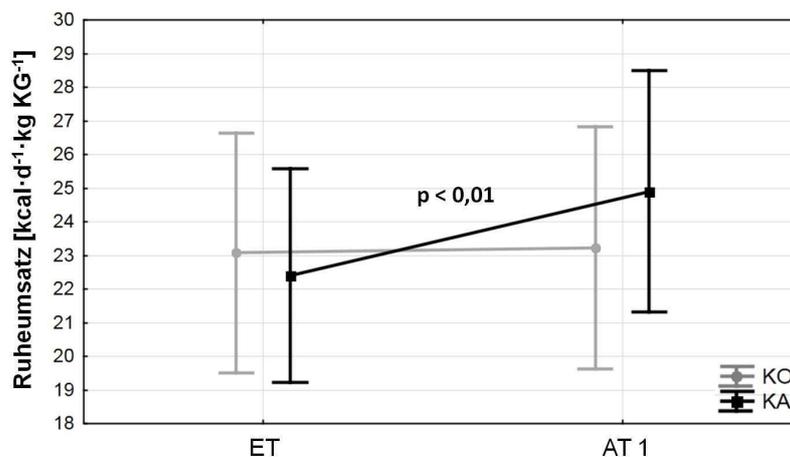


Abb. 16: Veränderungen des Ruheumsatzes pro kg Körpergewicht von ET zu AT 1 (MW±SD)

Tab. 19: Ruheumsatz pro kg Körpergewicht und Differenzen von ET zu AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)

	RU ET [kcal·d ⁻¹ ·kg KG ⁻¹]	RU AT 1 [kcal·d ⁻¹ ·kg KG ⁻¹]	Δ RU ET zu AT 1 [kcal·d ⁻¹ ·kg KG ⁻¹]	Δ RU ET zu AT 1 [%]
KA (n=37)	22,4 ± 3,2 16,9 – 29,5	24,9 ± 3,6 17,5 – 34,6	+2,5 ± 3,2 -2,9 - +10,3	+12,1 ± 14,8 -11,0 - +42,6
KO (n=37)	23,1 ± 3,6 16,4 – 32,2	23,2 ± 3,6 16,9 – 32,8	+0,2 ± 3,1 -6,8 - +6,3	+1,7 ± 14,2 -28,5 - +31,1

Auch beim Ruheumsatz in Bezug zur fettfreien Körpermasse zeigten sich keine Baseline-Unterschiede zwischen den Gruppen ($p=0,46$), und die ANOVA ergab einen signifikanten Interaktionseffekt ($p<0,01$, $F(1, 72)=8,57$; $d=0,70$ [mittlerer Effekt]; vgl. Abb. 17). Post-hoc zeigte sich in der Kraftausdauergruppe ein signifikanter Anstieg ($p<0,01$), in der Kontrollgruppe ($p=1,0$) kam es zu keinen Veränderungen. Die entsprechenden Daten sind Tab. 20 zu entnehmen. Die Hypothese $H_{2.3}$ wird verworfen.

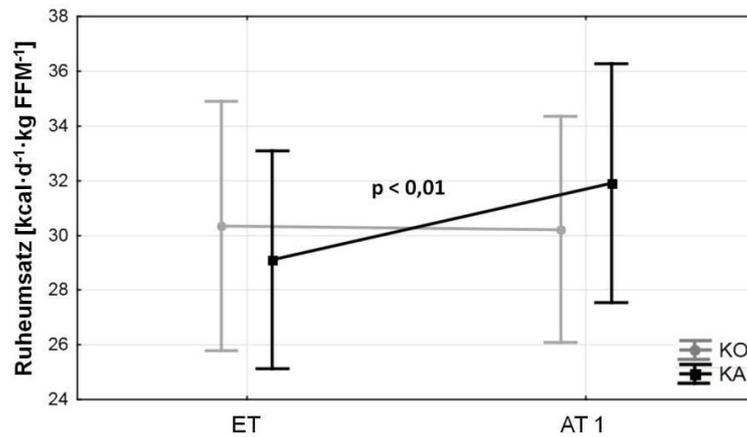


Abb. 17: Veränderungen des Ruheumsatzes pro kg fettfreie Körpermasse von ET zu AT 1 (MW±SD)

Tab. 20: Ruheumsatz pro kg fettfreie Körpermasse und Differenzen von ET zu AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)

	ET [kcal·d ⁻¹ ·kg FFM ⁻¹]	AT 1 [kcal·d ⁻¹ ·kg FFM ⁻¹]	Δ ET zu AT 1 [kcal·d ⁻¹ ·kg FFM ⁻¹]	Δ ET zu AT 1 [%]
KA (n=37)	29,1 ± 4,0 21,7 – 38,6	31,9 ± 4,4 23,2 – 43,5	+2,8 ± 4,6 -4,2 - +13,4	+10,8 ± 16,2 -13,4 - +44,4
KO (n=37)	30,3 ± 4,6 20,9 – 46,2	30,2 ± 4,1 21,8 – 39,3	-0,1 ± 4,0 -10,3 - +6,7	-0,6 ± 13,2 -30,0 - +28,6

4.2.4 Kraftausdauertraining und anthropometrische Daten

4.2.4.1 Körpergewicht, BMI, WHR

Weder beim Körpergewicht ($p=0,24$) noch beim BMI ($p=0,63$) oder der WHR ($p=0,06$) zeigten sich beim Eingangstest signifikante Unterschiede in den Mittelwerten beider Gruppen. In Abb. 18 sind die Veränderungen von Körpergewicht (A), BMI (B) und WHR (C) im Vergleich von Interventions- und Kontrollgruppe dargestellt. Die dazugehörigen deskriptiven Daten mit Mittelwerten, Standardabweichungen und Spannen finden sich in Tab. 21.

Beim Körpergewicht zeigte die ANOVA keinen signifikanten Interaktionseffekt ($p=0,29$, $F(1, 72)=1,13$; $d=0,29$ [kleiner Effekt]). Deskriptiv betrachtet kam es im Mittel in der Kraftausdauergruppe zu einer leichten Gewichtsreduktion, während in der Kontrollgruppe das Körpergewicht nahezu unverändert blieb. Beim BMI war der Interaktionseffekt tendenziell signifikant ($p=0,09$, $F(1, 72)=3,02$; $d=0,41$ [kleiner Effekt]). In der Interventionsgruppe zeigten die deskriptiven Daten eine geringfügige Senkung des mittleren BMI, während er in der Kontrollgruppe leicht anstieg. Auch bei der WHR war der Interaktionseffekt tendenziell signifikant ($p=0,07$, $F(1, 72)=3,49$; $d=0,46$ [kleiner Effekt]). Hier ergaben sich bei der deskriptiven Auswertung nahezu unveränderte mittlere Messwerte in der Kraftausdauergruppe, wohingegen es in der Kontrollgruppe zu einem geringfügigen Anstieg kam. Die Hypothesen $H_{3,1}$, $H_{3,2}$ und $H_{3,3}$ werden verworfen.

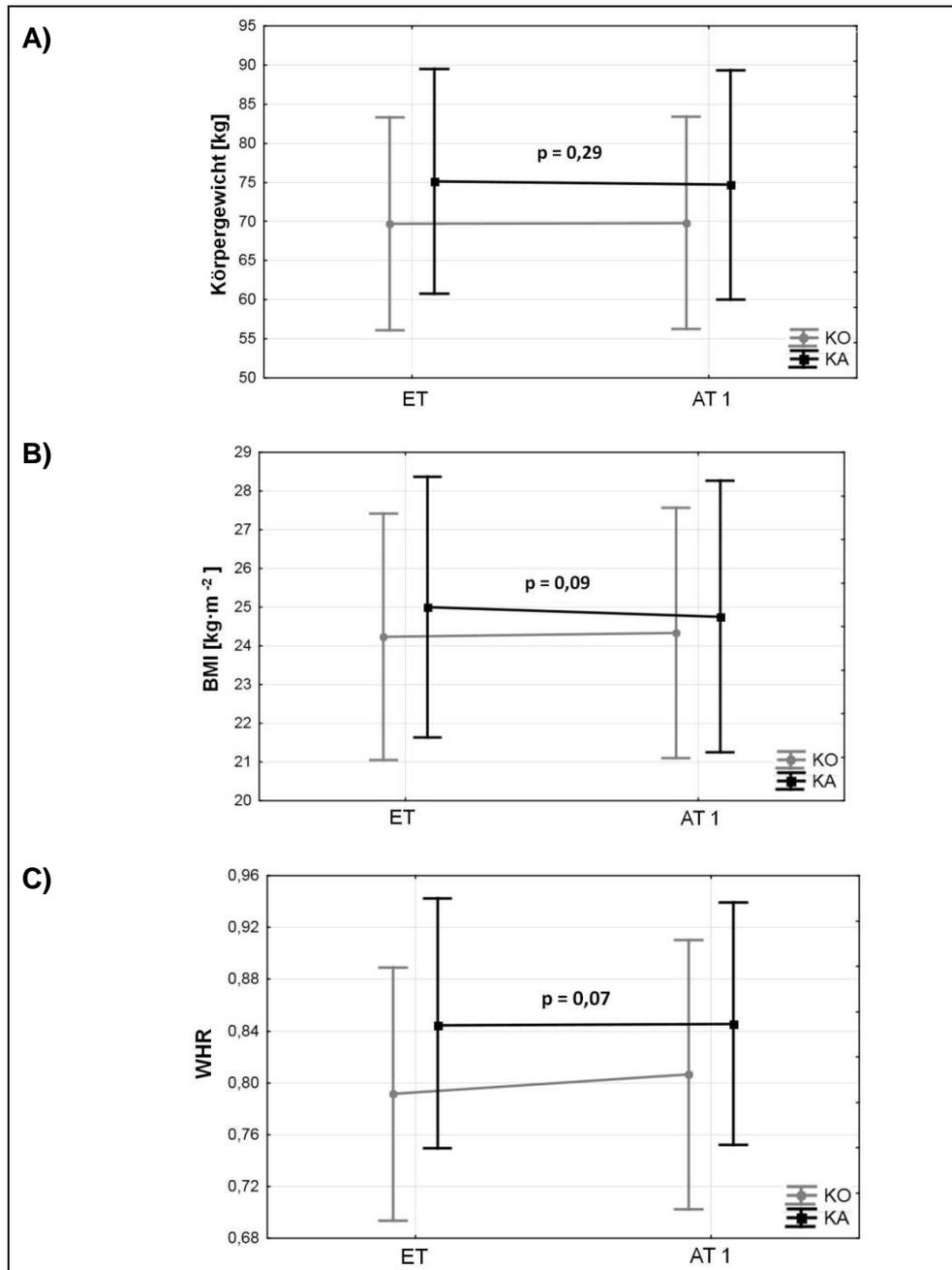


Abb. 18: Veränderungen bei Körpergewicht (A), BMI (B) und WHR (C) von ET zu AT 1 (MW±SD)

Tab. 21: Anthropometrische Daten der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe beim ET und AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)

	KA (n=37)		KO (n=37)	
	ET	AT 1	ET	AT 1
Körpergewicht [kg]	75,2 ± 14,3 51,0 – 105,0	74,7 ± 14,7 52,0 – 106,5	69,7 ± 13,6 50,0 – 100,0	69,8 ± 13,6 51,0 – 102,0
BMI [kg·m⁻²]	25,0 ± 3,4 18,8 – 29,7	24,8 ± 3,5 18,4 – 30,9	24,2 ± 3,2 18,1 – 30,0	24,3 ± 3,2 18,2 – 31,1
WHR	0,84 ± 0,09 0,70 – 1,01	0,85 ± 0,09 0,68 – 1,03	0,79 ± 0,10 0,62 – 1,00	0,81 ± 0,10 0,63 – 1,10

4.2.4.2 Körperkomposition

Während für die Kalipermetrie jeweils komplette Messdaten von Kraftausdauer- und Kontrollgruppe vorlagen, konnten bei der B.I.A. vier Probanden der Kraftausdauergruppe und eine Probandin der Kontrollgruppe aufgrund fehlerhafter Messungen nicht ausgewertet werden. Die Auswertungen der B.I.A. beziehen sich somit auf 33 Datensätze der Kraftausdauer- und 36 Datensätze der Kontrollgruppe. Weder beim kalipermetrisch gemessenen Körperfettanteil ($p=0,79$) und der daraus errechneten fettfreien Körpermasse ($p=0,12$), noch bei der Körperfettmessung per B.I.A. ($p=0,37$) und der so ermittelten Body-Cell-Mass ($p=0,11$) zeigten sich signifikante Baseline-Unterschiede.

Beim prozentualen Körperfettanteil ließen sich keine trainingsbedingten Veränderungen nachweisen. Die ANOVA ergab weder bei der Kalipermetrie ($p=0,54$, $F(1, 72)=0,38$; $d<0,20$ [kein Effekt]) noch bei der B.I.A. ($p=0,37$, $F(1, 67)=0,88$; $d=0,20$ [kleiner Effekt]) einen signifikanten Interaktionseffekt (vgl. Abb. 19).

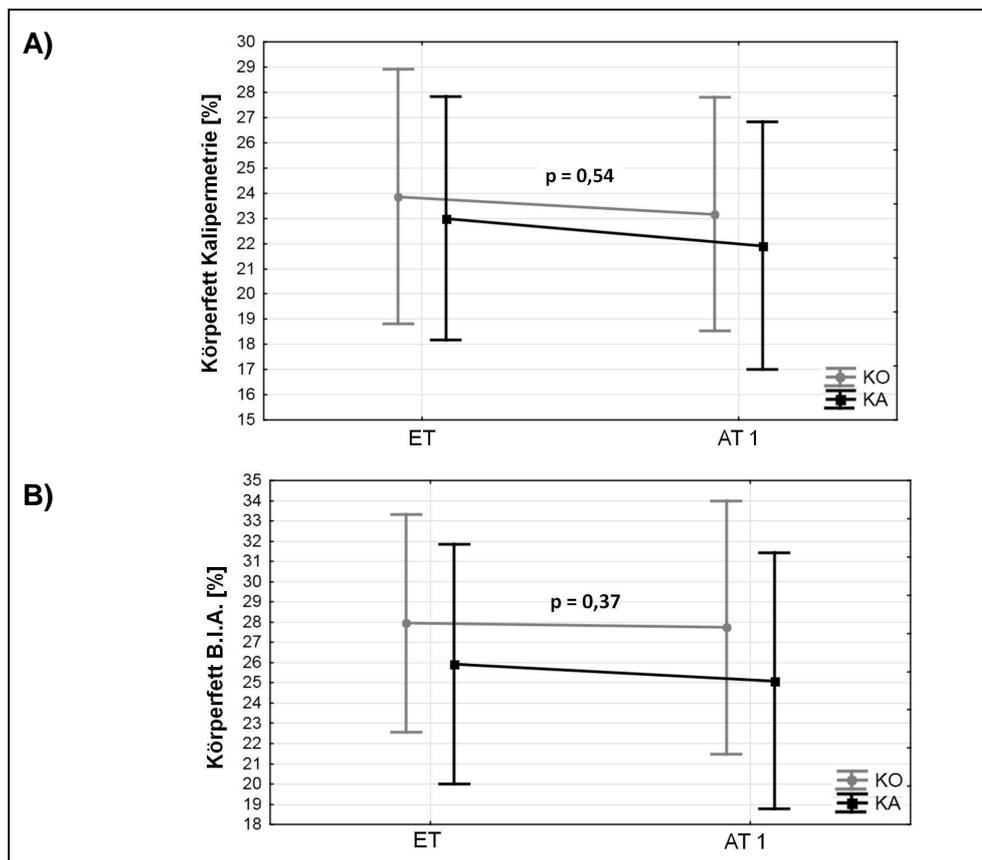


Abb. 19: Veränderungen des prozentualen Körperfettanteils bei der Kalipermetrie (A) und der B.I.A.(B) von ET zu AT 1 (MW \pm SD)

Die deskriptiven Daten zeigten sowohl in der Kraftausdauergruppe als auch in der Kontrollgruppe eine mittlere Reduktion des per Kalipermetrie gemessenen prozentualen Körperfettanteils. Auch bei der B.I.A. nahm der mittlere prozentuale Körperfettanteil in beiden Gruppen geringfügig ab. Die entsprechenden Daten finden sich in Tab. 22.

Tab. 22: Prozentualer Körperfettanteil (Kalipermetrie und B.I.A.) der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe beim ET und AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)

	KA		KO	
	ET	AT 1	ET	AT 1
Körperfett Kalipermetrie [%]	23,0 ± 4,8 12,5 – 32,9 (n=37)	21,9 ± 4,9 7,6 – 31,4 (n=37)	23,9 ± 5,1 13,4 – 33,6 (n=37)	23,2 ± 4,6 12,2 – 32,2 (n=37)
Körperfett B.I.A. [%]	25,9 ± 5,9 15,0 – 38,8 (n=33)	25,1 ± 6,5 10,1 – 39,6 (n=33)	28,0 ± 5,4 13,4 – 39,2 (n=36)	27,7 ± 6,3 13,1 – 40,4 (n=36)

Auch bei der anhand der Kalipermetrie berechneten fettfreien Körpermasse ($p=0,59$, $F(1, 72)=0,30$; $d<0,20$ [kein Effekt]) und der per B.I.A. ermittelten Body-Cell-Mass ($p=0,81$, $F(1, 67)=0,06$; $d<0,20$ [kein Effekt]) ergaben sich bei der ANOVA keine signifikanten Interaktionseffekte (vgl. Abb. 20), so dass keine trainingsbedingten Veränderungen nachzuweisen waren. Die dazugehörige deskriptive Datenauswertung findet sich in Tab. 23. Die Hypothese $H_{3.4}$ wird sowohl für die Kalipermetrie als auch für die B.I.A. verworfen.

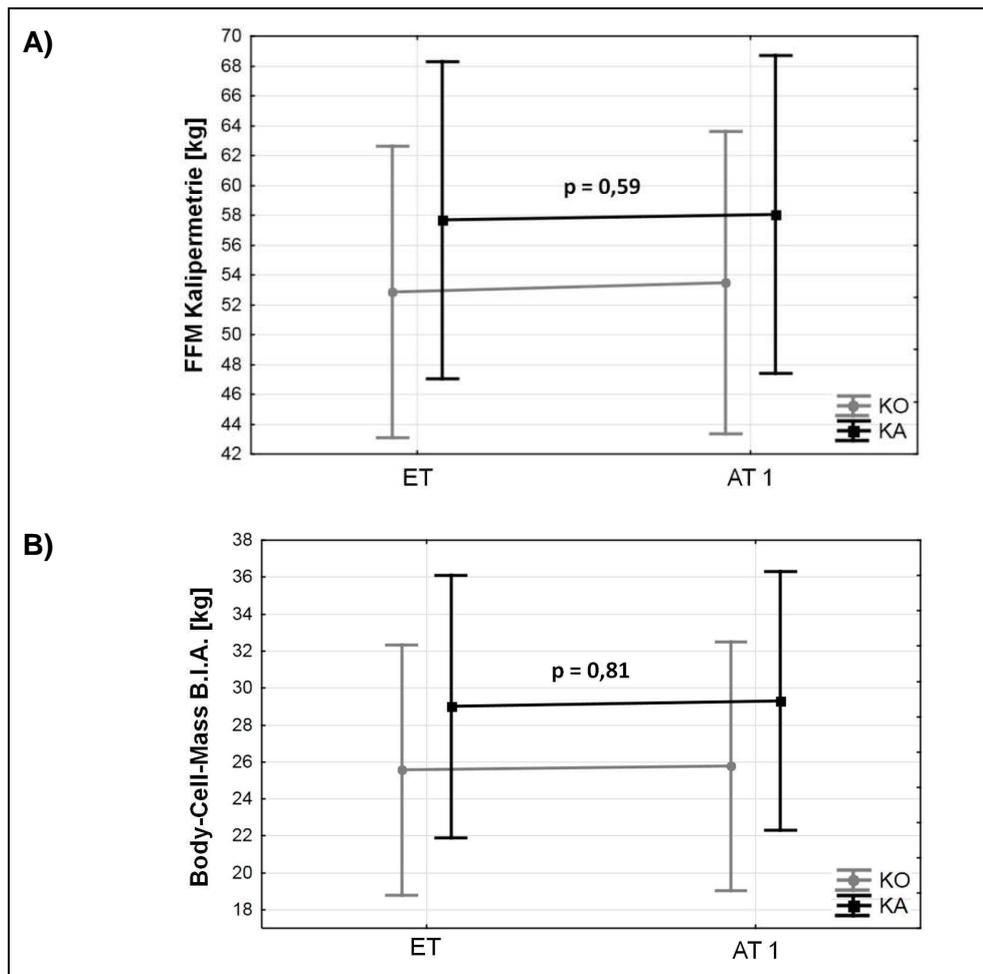


Abb. 20: Veränderungen der fettfreien Körpermasse (A) und der Body-Cell-Mass (B) von ET zu AT 1 (MW±SD)

Tab. 23: Fettfreie Körpermasse und Body-Cell-Mass der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe beim ET und AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)

	KA		KO	
	ET	AT 1	ET	AT 1
FFM	57,7 ± 10,7	58,1 ± 10,6	52,9 ± 9,8	53,5 ± 10,1
Kalipermetrie	41,1 – 79,4	41,4 – 80,1	40,9 – 74,6	40,4 – 77,4
[kg]	(n=37)	(n=37)	(n=37)	(n=37)
BCM	29,0 ± 7,1	29,3 ± 7,0	25,6 ± 6,8	25,8 ± 6,7
B.I.A.	19,2 – 44,7	19,2 – 46,2	15,8 – 39,6	14,7 – 40,7
[kg]	(n=33)	(n=33)	(n=36)	(n=36)

4.2.5 Kraftausdauertraining und ausgewählte Gesundheitsparameter

Zur Überprüfung der gesundheitlichen Effekte des Kraftausdauertrainings werden im Folgenden die Befunde zu ausgewählten Gesundheitsparametern dargestellt.

4.2.5.1 Ruheherzfrequenz

Während die Daten zur Ruheherzfrequenz in der Kontrollgruppe vollständig waren, konnten in der Kraftausdauergruppe nur 36 Probanden ausgewertet werden. In einem Fall konnte die HF_{Ruhe} wegen Herzrhythmusstörungen, welche die Sporttauglichkeit jedoch nicht einschränkten, nicht verwertet werden. Es zeigten sich keine signifikanten Baseline-Unterschiede zwischen beiden Gruppen ($p=0,12$). Im Vergleich von Kraftausdauer- und Kontrollgruppe zeigte die ANOVA keinen signifikanten Interaktionseffekt ($p=0,13$, $F(1, 71)=2,33$; $d=0,35$ [kleiner Effekt]; vgl. Abb. 21). Eine interventionsbedingte Veränderung der Ruheherzfrequenz war nicht nachzuweisen. Die Hypothese $H_{4.1}$ wird verworfen. Deskriptiv betrachtet zeigte sich sowohl in der Kraftausdauergruppe (68 ± 10 auf $62\pm 9 \text{ min}^{-1}$) als auch in der Kontrollgruppe (63 ± 11 auf $60\pm 10 \text{ min}^{-1}$) eine Senkung der mittleren HF_{Ruhe} .

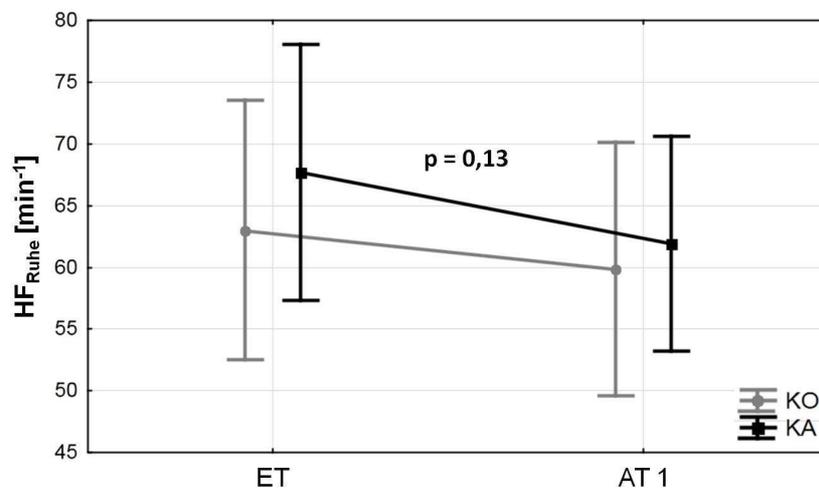


Abb. 21: Veränderungen der Ruheherzfrequenz von ET zu AT 1 (MW±SD)

4.2.5.2 Ruheblutdruck

Bei den Daten der Ruheblutdruckmessungen zeigten sich zwischen der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe keine signifikanten Baseline-Unterschiede (systolisch: $p=1,0$; diastolisch: $p=0,99$).

Die ANOVA ergab keinen Interaktionseffekt (systolisch: $p=0,10$, $F(1, 72)=2,75$; $d=0,41$ [kleiner Effekt] bzw. diastolisch: $p=0,58$, $F(1, 72)=0,31$; $d<0,20$ [kein Effekt]; vgl. Abb. 22). Eine interventionsbedingte Veränderung des Ruheblutdrucks konnte nicht festgestellt werden. Die Hypothese $H_{4.2}$ wird verworfen.

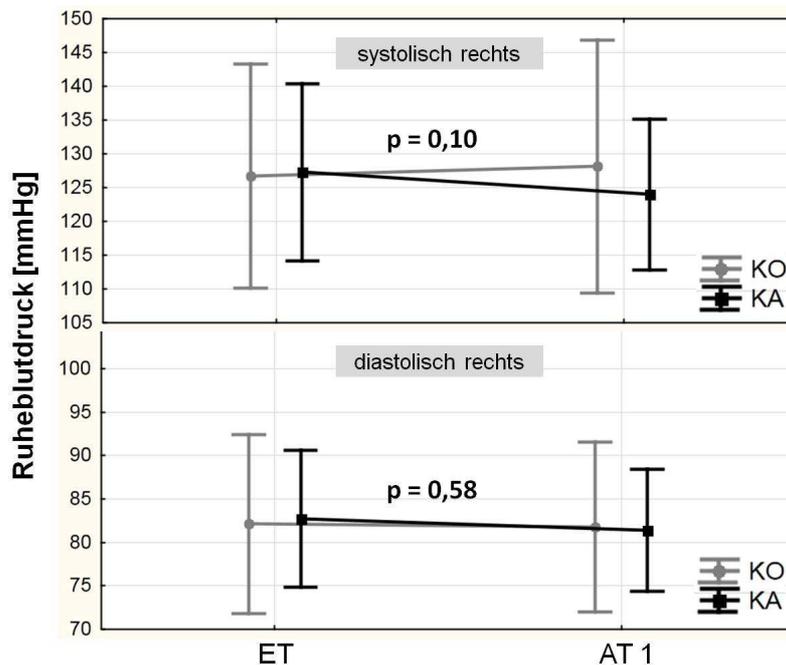


Abb. 22: Veränderungen des Ruheblutdrucks rechts von ET zu AT 1 (MW±SD)

Tab. 24 zeigt die deskriptiven Daten der Ruheblutdruckmessungen im Überblick. In der Kraftausdauergruppe ergab sich von ET zu AT 1 eine Reduktion der mittleren Werte des systolischen Blutdrucks um $3,3 \pm 10,7$ mmHg und des diastolischen Blutdrucks um $1,3 \pm 8,2$ mmHg. In der Kontrollgruppe blieben die mittleren systolischen ($+1,4 \pm 13,4$ mmHg) und diastolischen Werte ($-0,4 \pm 6,8$ mmHg) weitgehend unverändert.

Tab. 24: Ruheblutdruck der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe beim ET und AT 1 (MW±SD, MIN-MAX)

RR _{Ruhe} [mmHg]	KA (n=37)		KO (n=37)	
	ET	AT 1	ET	AT 1
rechts systolisch	127 ± 13 105 – 160	124 ± 11 100 – 150	127 ± 17 90 – 160	128 ± 19 90 – 160
rechts diastolisch	83 ± 8 60 – 100	81 ± 7 70 – 100	82 ± 10 60 – 115	82 ± 10 60 – 100

4.2.5.3 Gesamtcholesterin

Beim Gesamtcholesterin zeigten sich keine signifikanten Baseline-Unterschiede zwischen den Gruppen ($p=0,72$). Im Vergleich von Kraftausdauer- (ET: 207 ± 44 (129-292) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$; AT 1: 211 ± 43 (117-304) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$) und Kontrollgruppe (ET: 215 ± 38 (146-289) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$; AT 1: 220 ± 33 (148-287) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$) ergab sich bei der ANOVA kein signifikanter Interaktionseffekt ($p=0,87$, $F(1, 72)=0,03$; $d<0,20$ [kein Effekt]; vgl. Abb. 23), so dass eine trainingsbedingte Veränderung nicht nachzuweisen war. Die Hypothese $H_{4.3}$ wird verworfen.

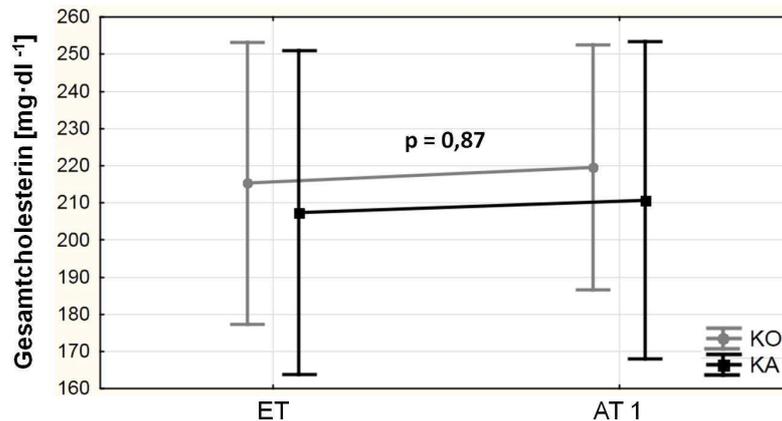


Abb. 23: Veränderungen des Gesamtcholesterins von ET zu AT 1 (MW±SD)

4.2.5.4 Blutglukose

Auch bei der Blutglukose zeigten sich keine signifikanten Baseline-Unterschiede zwischen den Gruppen ($p=1,0$). Wie in Abb. 24 zu erkennen ist, ergab die durchgeführte ANOVA keinen signifikanten Interaktionseffekt ($p=0,69$, $F(1, 72)=0,16$; $d=0,41$ [kleiner Effekt]). Die Hypothese $H_{4.4}$ wird verworfen. Die deskriptiven Daten zeigen, dass sowohl in der Kraftausdauergruppe (ET: 96 ± 8 (78-115) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$; AT 1: 94 ± 7 (68-110) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$) als auch in der Kontrollgruppe (ET: 96 ± 9 (82-114) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$; AT 1: 95 ± 10 (78-126) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$) die mittleren Werte zu den beiden Messzeitpunkten nahezu unverändert blieben.

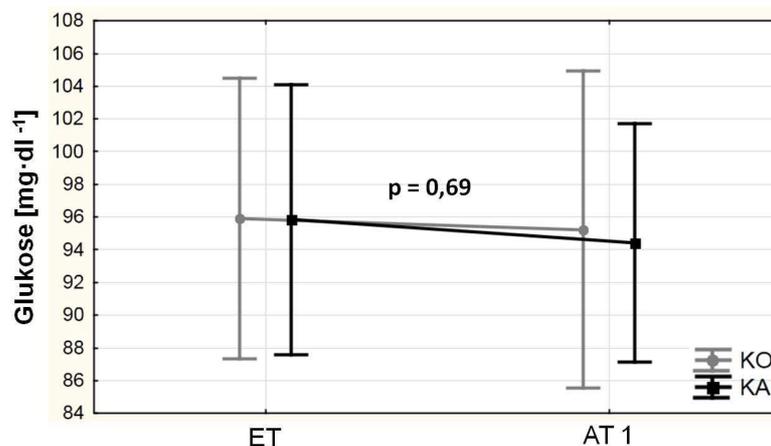


Abb. 24: Veränderungen der Blutglukose von ET zu AT 1 (MW±SD)

4.2.6 Ernährung

Die Ernährungsprotokolle mussten individuell im Alltag geführt werden, so dass die Kontrolle der Verzehrgewohnheiten erwartungsgemäß am schwierigsten war und der Datenrücklauf auch die größten Lücken aufwies. Da die persönliche Kontaktaufnahme zu den Probanden der Kraftausdauergruppe einfacher herzustellen war, konnte hier ein etwas besserer Rücklauf erzielt werden. Von den 37 in die Auswertung einbezogenen Probanden der Kraftausdauergruppe lagen für 30 Teilnehmer komplette Datensätze für beide Messzeitpunkte vor. In der Kontrollgruppe konnten aufgrund nicht abgegebener Protokolle letztlich 25 Probanden in die Auswertung einbezogen werden.

Bei der täglichen Kalorienaufnahme zeigten sich zu Studienbeginn keine signifikanten Baseline-Unterschiede zwischen beiden Gruppen ($p=1,0$), und die ANOVA ergab keinen signifikanten Interaktionseffekt ($p=0,60$, $F(1, 53)=0,28$; $d<0,20$ [kein Effekt]). Eine Veränderung der täglichen Kalorienaufnahme konnte nicht nachgewiesen werden. Die dazugehörige deskriptive Datenauswertung findet sich in Tab. 25.

Tab. 25: Kalorienaufnahme der Kraftausdauer- und Kontrollgruppe beim ET und AT 1 (MW \pm SD, MIN-MAX)

	Kalorienaufnahme ET [kcal·d ⁻¹]	Kalorienaufnahme AT 1 [kcal·d ⁻¹]	Kalorienaufnahme Δ ET zu AT 1 [kcal·d ⁻¹]	Kalorienaufnahme Δ ET zu AT 1 [%]
KA (n=30)	2021 \pm 469 1128 - 2771	2151 \pm 664 1224 - 3692	+130 \pm 614 -1221 - +1134	+9,2 \pm 30,0 -50,0 - +50,1
KO (n=25)	1995 \pm 594 1137 - 3237	2045 \pm 716 862 - 3667	+50 \pm 487 -866 - +1302	+3,3 \pm 25,2 -29,9 - +74,1

4.2.7 Einfluss von Alter, Geschlecht und Ausgangsniveau

Um zu überprüfen, inwiefern die Ergebnisse der Hauptzielparameter vom Ausgangsniveau, Alter und Geschlecht der Studienteilnehmer beeinflusst waren, wurde zusätzlich eine ANCOVA gerechnet. Die Ergebnisse finden sich in Tab. 26.

Tab. 26: Ergebnisse der Kovarianzanalyse hinsichtlich der Hauptzielparameter

	Haupteffekt	Kovariablen		
	Gruppe	Geschlecht	Alter	Baseline
ΔV_{\max} [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	$p=0,07$	$p=0,04$	$p=0,11$	$p=0,12$
Δ Ruheumsatz [$\text{kcal}\cdot\text{d}^{-1}$]	$p<0,01$	$p=0,02$	$p=0,06$	$p<0,01$
Δ Körpergewicht [kg]	$p=0,32$	$p=0,17$	$p=0,62$	$p=0,38$
Δ BMI [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$]	$p=0,12$	$p=0,29$	$p=0,70$	$p=0,70$
Δ WHR	$p=0,13$	$p=0,48$	$p=0,93$	$p=0,94$
Δ Körperfett Kaliper [%]	$p=0,45$	$p=0,70$	$p=0,70$	$p<0,01$
Δ Körperfett B.I.A. [%]	$p=0,36$	$p=0,31$	$p=0,36$	$p=0,73$
Δ FFM Kaliper [kg]	$p=0,55$	$p=0,20$	$p=0,74$	$p=0,33$
Δ Body-Cell-Mass B.I.A. [kg]	$p=0,52$	$p=0,01$	$p=0,51$	$p<0,01$
Δ HF _{Ruhe} [min^{-1}]	$p=0,62$	$p=0,21$	$p=0,54$	$p<0,001$
Δ RR _{Ruhe} [mmHg]	systolisch	$p=0,10$	$p=0,96$	$p=0,91$
	diastolisch	$p=0,59$	$p=0,65$	$p=0,95$
Δ Gesamtcholesterin [$\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$]	$p=0,93$	$p=0,06$	$p=0,44$	$p<0,001$
Δ Blutglukose [$\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$]	$p=0,57$	$p=0,40$	$p=0,85$	$p<0,001$
Δ Kalorienaufnahme [$\text{kcal}\cdot\text{d}^{-1}$]	$p=0,74$	$p=0,02$	$p=0,14$	$p<0,01$

Wie zu erkennen ist, war die Veränderung der V_{\max} nach Adjustierung auf Alter, Geschlecht und Ausgangsniveau lediglich tendenziell signifikant, während der Interaktionseffekt bei nicht-adjustierten Daten signifikant war. Die Kovariablen Ausgangsniveau und Alter waren dabei nicht signifikant, das Geschlecht hingegen signifikant. Bei der Veränderung des Ruheumsatzes war der Gruppeneffekt auch nach Kontrolle von Alter, Geschlecht und Ausgangsniveau weiterhin signifikant. Hier waren die Kovariablen Geschlecht und Baseline signifikant, das Alter hingegen nicht. Bei allen weiteren Zielparametern ergaben sich auch nach Adjustierung auf Alter, Geschlecht und Ausgangsniveau der ANCOVA keine signifikanten Gruppenunterschiede.

4.3 Effekte Hypertrophietraining

Das intensitätsorientierte Krafttraining nach der Hypertrophiemethode wurde ohne Kontrollgruppe durchgeführt. Die nachfolgende Ergebnisdarstellung bezieht sich, sofern nichts anderes angegeben wird, ausschließlich auf die 17 Probanden (♀: n=7, ♂: n=10), von denen Daten eines kompletten Trainingsjahres in die Auswertung einbezogen werden konnten. Ziel war es, die Effekte des Krafttrainings im Zeitverlauf und eventuelle Mehreffekte durch die Veränderung der Trainingsmethodik darstellen zu können.

4.3.1 Trainingsreiz Hypertrophietraining

Die stichprobenartigen Kontrollen zur Charakterisierung des Trainingsreizes wurden mit denselben acht Probanden (♀: n=4, ♂: n=4) wie beim Kraftausdauertraining durchgeführt. Die Herzfrequenz, Laktatkonzentration und das subjektive Belastungsempfinden wurden zu folgenden vier Messzeitpunkten erhoben: zu Beginn der Trainingseinheit (t 1), jeweils nach den Übungen Beinpresse und Zug vertikal (t 2), Brustpresse und Zug horizontal (t 3) sowie nach den das Training abschließenden Übungen Beinstrecken und Beinbeugen (t 4). Die entsprechenden Daten sind in Tab. 27 dargestellt.

Tab. 27: Herzfrequenz, Laktat und subjektives Belastungsempfinden beim Hypertrophietraining (MW±SD, MIN-MAX; n=8)

	MZ 1	MZ 2	MZ 3	MZ 4
Herzfrequenz [min ⁻¹]	80 ± 10 64 - 97	149 ± 15 131 - 174	149 ± 13 125 - 167	143 ± 18 109 - 169
Laktat [mmol·l ⁻¹]	1,4 ± 0,2 1,2 - 178	7,0 ± 2,0 4,0 - 10,3	8,7 ± 2,3 5,7 - 13,5	10,1 ± 2,7 7,4 - 15,6
Borg	7,3 ± 2,4 6 - 12	16,6 ± 1,1 15 - 18	18,6 ± 0,5 17 - 19	17,8 ± 0,6 17 - 19

Der Trainingsreiz führte zu einer hohen metabolischen und kardiozirkulatorischen Beanspruchung. Im Verlauf der Trainingseinheit kam es zu deutlichen Anstiegen der Herzfrequenz und Laktatkonzentration. Dazu passend wurde das Training durchweg als anstrengend bis sehr anstrengend eingeschätzt. Die Belastungsintensität in Bezug zu der beim AT 1 ermittelten HF_{max} lag zu Beginn des Trainings bei 44±6 (36-53) %, zu t 2 bei 82±6 (73-92) %, zu t 3 bei 82±7 (69-89) % und unmittelbar nach der letzten Übung bei 82±6 (61-89) %.

Auch im zweiten Studienabschnitt wurde zur zusätzlichen Kontrolle des Belastungsgefüges bei diesen Probanden in fünf weiteren Trainingseinheiten ein Monitoring der Belastungsherzfrequenz durchgeführt. Hierbei konnte eine Probandin nicht ausgewertet werden, da nur für zwei Trainingseinheiten entsprechende Daten vorlagen. Die in Tab. 28 dargestellten mittlere

ren Werte der HF_{peak} und HF_{\emptyset} in den jeweiligen Trainingseinheiten beziehen sich somit auf sieben Probanden (♀ : $n=3$, ♂ : $n=4$). Weder bei der HF_{peak} ($p=0,37$, $F(4, 24)=1,11$) noch bei der HF_{\emptyset} ($p=0,46$, $F(4, 24)=0,94$) zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Trainingseinheiten.

Tab. 28: Höchste (HF_{peak}) und durchschnittliche Trainingsherzfrequenzen (HF_{\emptyset}) beim Hypertrophietraining (MW \pm SD, MIN-MAX, $n=7$)

	TE 1	TE 2	TE 3	TE 4	TE 5
HF_{peak} [min^{-1}]	155 \pm 10 142 - 166	157 \pm 5 149 - 164	159 \pm 10 144 - 167	156 \pm 11 137 - 164	153 \pm 14 127 - 170
HF_{\emptyset} [min^{-1}]	122 \pm 14 103 - 139	121 \pm 7 108 - 128	122 \pm 12 104 - 133	119 \pm 9 108 - 133	117 \pm 14 92 - 136

Setzt man die beim Hypertrophietraining erzielten Herzfrequenzen in Bezug zur beim AT 1 im Laufbandtest ermittelten HF_{max} , ergaben sich zwischen den einzelnen Trainingseinheiten keine signifikanten Unterschiede in der maximalen ($p=0,35$, $F(4, 24)=1,18$) und durchschnittlichen ($p=0,43$, $F(4, 24)=0,99$) Trainingsintensität (vgl. Abb. 25). Im Mittel lag die maximale Trainingsintensität zwischen 85 ± 7 und 89 ± 7 % der HF_{max} , die durchschnittliche Trainingsintensität zwischen 65 ± 8 und 68 ± 9 % der HF_{max} .

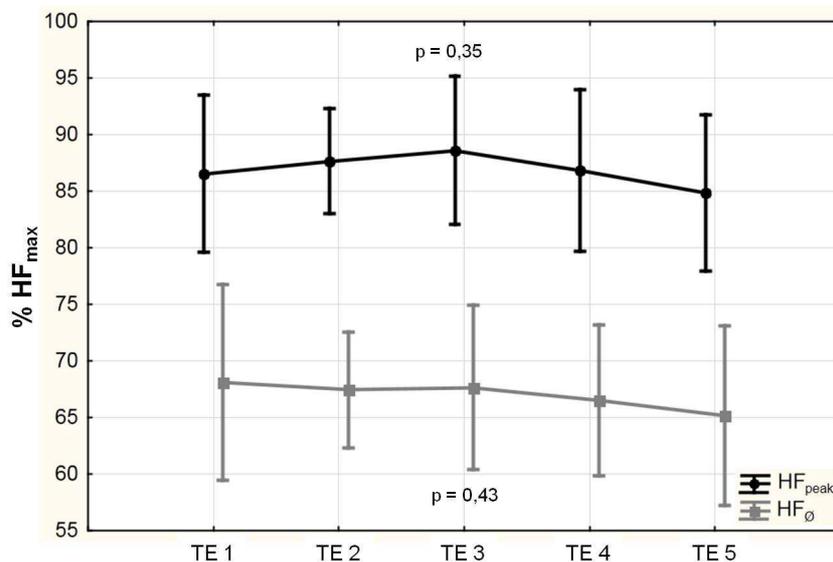


Abb. 25: Maximale und durchschnittliche prozentuale Trainingsintensität beim Hypertrophietraining (MW \pm SD; $n=7$)

In Abb. 26 ist exemplarisch das Herzfrequenzprofil einer Trainingseinheit nach der Hypertrophiemethode dargestellt. Die Trainingsdauer in dieser Einheit betrug 59:20 min. Die HF_{peak} lag bei 160 min^{-1} entsprechend 87 % der HF_{max} , die HF_{\emptyset} bei 119 min^{-1} entsprechend 64 % der HF_{max} .

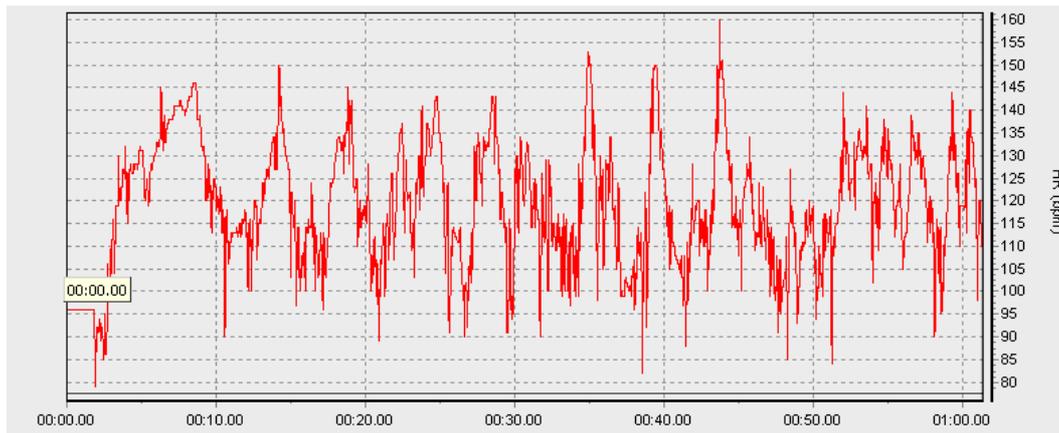


Abb. 26: Beispiel eines Herzfrequenzprofils beim Hypertrophietraining

4.3.2 Leistungsphysiologische Effekte Hypertrophietraining

4.3.2.1 Ausdauerleistungsfähigkeit

In Abb. 27 ist die Veränderung der V_{\max} im Zeitverlauf dargestellt. Über das komplette Trainingsjahr hinweg zeigte sich eine signifikante Steigerung der maximalen Laufgeschwindigkeit ($p < 0,001$, $F(2, 32) = 15,19$; $d = 1,96$ [großer Effekt]). Betrachtet man die Veränderungen zwischen den einzelnen Messzeitpunkten, so steigerte sich die mittlere V_{\max} von $9,9 \pm 1,1$ ($8,2$ - $12,0$) $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ im ET auf $10,3 \pm 1,0$ ($8,8$ - $12,2$) $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ zu AT 1 signifikant ($p = 0,02$). Von AT 1 zu AT 2 kam es im Mittel zu einer weiteren Steigerung der V_{\max} auf $10,7 \pm 1,3$ ($8,6$ - $12,8$) $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, welche tendenziell signifikant war ($p = 0,05$). Die Hypothese $H_{5.1}$ wird verworfen.

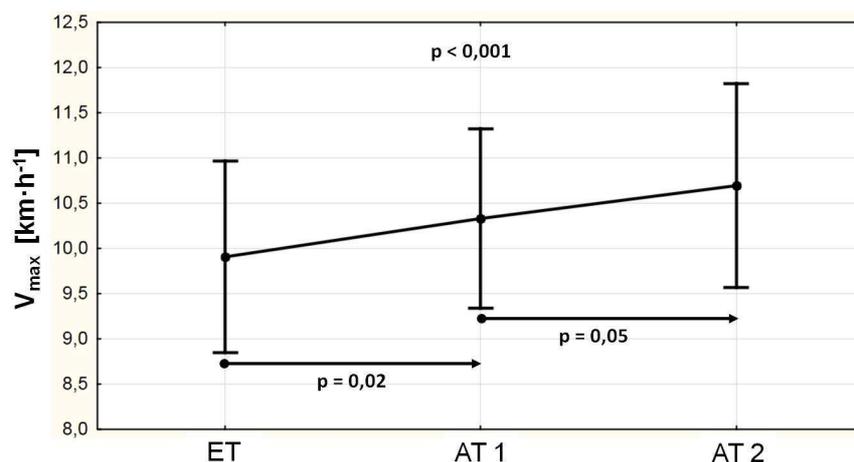


Abb. 27: Veränderung der V_{\max} im Interventionsverlauf (MW±SD)

4.3.2.2 Maximalkraft

In Abb. 28 sind die Veränderungen im 1-RM für die Übungen Beinpresse, Brustpresse, Zug vertikal und Zug horizontal im Zeitverlauf dargestellt. Es zeigte sich bei allen Testübungen ein signifikanter Gesamteffekt hinsichtlich einer Steigerung der Maximalkraft über das kom-

plette Trainingsjahr hinweg (jeweils $p < 0,001$). Bei allen Übungen waren sowohl die Veränderungen von ET zu AT 1 als auch von AT 1 zu AT 2 signifikant. Die Hypothese $H_{5,2}$ wird angenommen.

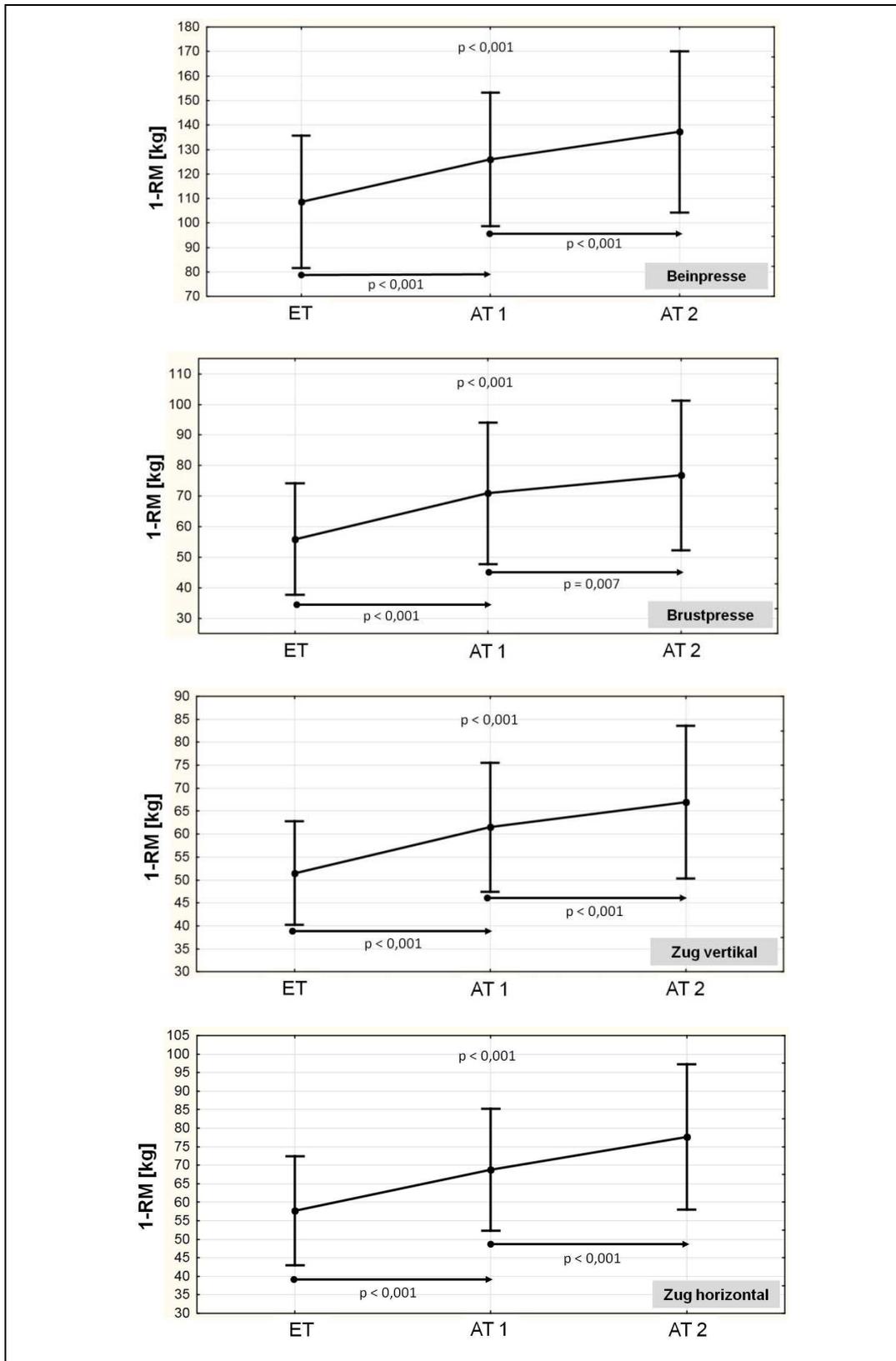


Abb. 28: Veränderung der Maximalkraft im Interventionsverlauf (MW±SD)

An der Beinpresse ($p < 0,001$, $F(2, 32) = 71,38$; $d = 4,27$ [großer Effekt]) steigerte sich die Maximalkraft im Interventionszeitraum um durchschnittlich 27 ± 12 %, wobei die Veränderung von ET zu AT 1 $+17 \pm 9$ % und von AT 1 zu AT 2 $+8 \pm 7$ % betrug. Bei der Übung Brustpresse ($p < 0,001$; $F(2, 32) = 70,08$; $d = 4,42$ [großer Effekt]) betrug die Gesamtsteigerung 38 ± 12 %. Auch hier zeigten sich von ET zu AT 1 mit 27 ± 9 % höhere durchschnittliche Steigerungen als von AT 1 zu AT 2 mit 9 ± 7 %. Am Zug vertikal ($p < 0,001$, $F(2, 32) = 78,15$; $d = 4,42$ [großer Effekt]) und Zug horizontal ($p < 0,001$, $F(2, 32) = 88,48$; $d = 4,76$ [großer Effekt]) zeigten sich über das gesamte Trainingsjahr hinweg Maximalkraftsteigerungen von 29 ± 10 % bzw. 35 ± 13 %. Die durchschnittlichen Zuwächse nach dem Kraftausdauertraining lagen am Zug vertikal bei 19 ± 6 % und am Zug horizontal bei 20 ± 9 %. Durch das intensitätsorientierte Krafttraining zeigte sich von AT 1 zu AT 2 am Zug vertikal ein Mehreffekt von $+9 \pm 6$ % und am Zug horizontal um $+13 \pm 9$ %.

4.3.2.3 Kraftleistungsfähigkeit im 10-RM

Das Hypertrophietraining bewirkte bei allen Testübungen eine signifikante Steigerung der Kraftleistungsfähigkeit im 10-RM (jeweils $p < 0,001$; vgl. Abb. 29). Die Hypothese $H_{5,3}$ wird angenommen.

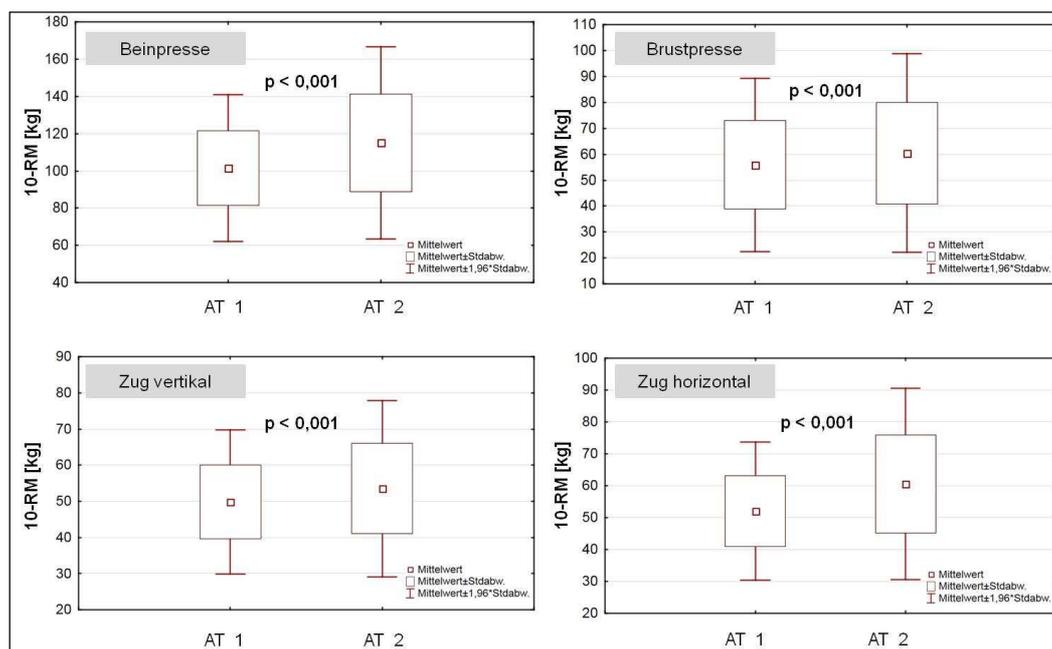


Abb. 29: Veränderungen im 10-RM von AT 1 zu AT 2 (MW \pm SD, MIN-MAX; n=17)

Die durchschnittlichen Verbesserungen betrugen an der Beinpresse 13 ± 8 % ($d = 0,79$ [kleiner Effekt]), an der Brustpresse 8 ± 8 % ($d = 0,30$ [kein Effekt]), beim Zug vertikal 7 ± 6 % ($d = 0,51$ [kleiner Effekt]) und beim Zug horizontal bei 16 ± 11 % ($d = 0,97$ [kleiner Effekt]).

Setzt man die anhand des 10-RM ermittelte Trainingsintensität in Bezug zur Maximalkraft, lag die durchschnittliche Trainingsintensität zu Beginn des Hypertrophietrainings zwischen 77 % und 82 % und am Ende der Interventionsphase zwischen 78 % und 84 % des 1-RM (vgl. Tab. 29).

Tab. 29: Trainingsintensität in Bezug zum 1-RM zu Beginn und zum Ende des Hypertrophietrainings (MW±SD, MIN-MAX; n=17)

	AT 1 [% 1-RM]	AT 2 [% 1-RM]
Beinpresse	81 ± 6 68 - 90	84 ± 6 73 - 95
Brustpresse	80 ± 7 65 - 89	79 ± 4 71 - 85
Zug vertikal	82 ± 5 73 - 89	81 ± 5 71 - 89
Zug horizontal	77 ± 7 61 - 89	78 ± 3 73 - 82

Lediglich bei der Übung Beinpresse lag die durchschnittliche prozentuale Trainingsintensität in Bezug zum 1-RM am Ende der Hypertrophiephase in einem signifikant höheren Bereich ($p < 0,01$). Bei den Übungen Brustpresse ($p = 0,59$), Zug vertikal ($p = 0,33$) und Zug horizontal ($p = 0,40$) zeigten sich keine Veränderungen der Trainingsintensität in Bezug zum 1-RM.

4.3.2.4 Gesamtlast pro Trainingseinheit Hypertrophiegruppe

In Tab. 30 sind die Ergebnisse der im Kraftausdauer- und Hypertrophietraining pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast gegenübergestellt. Die Daten beziehen sich auf die jeweils letzte in einem Mesozyklus durchgeführte Trainingseinheit.

Tab. 30: Vergleich der pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast beim Kraftausdauer- und Hypertrophietraining in TW 6, TW 12, TW 18 und TW 24 (MW±SD, MIN-MAX; n=17)

	TW 6	TW 12	TW 18	TW 24
Gesamtlast/TE Kraftausdauer [kg]	9323 ± 2171 5800 - 14160	10790 ± 2327 6920 - 15480	11652 ± 2317 7640 - 15540	12470 ± 2283 7727 - 16600
Gesamtlast/TE Hypertrophie [kg]	11474 ± 2841 6718 - 17826	11919 ± 3029 6146 - 18434	12474 ± 2945 7205 - 18240	12620 ± 3275 7005 - 20010

Zum Vergleich beider Trainingsmethoden wurde eine ANOVA durchgeführt. Hierbei ergab sich ein signifikanter Interaktionseffekt bei der pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast in Abhängigkeit von der Trainingsmethode ($p < 0,001$, $F(3, 96) = 16,91$; $d = 1,47$ [mittlerer Effekt]; vgl. Abb. 30). Beim Vergleich der Mittelwerte zu den jeweiligen Messzeitpunkten zeigte sich lediglich zu TW 6 ($p = 0,02$) ein signifikanter Unterschied, zu TW 12 ($p = 0,23$), TW 16 ($p = 0,37$)

und TW 24 ($p=0,88$) hingegen nicht. Wie zu erkennen ist, war die pro Trainingseinheit bewältigte Gesamtlast in der jeweils 24. Trainingswoche im Mittel nahezu identisch.

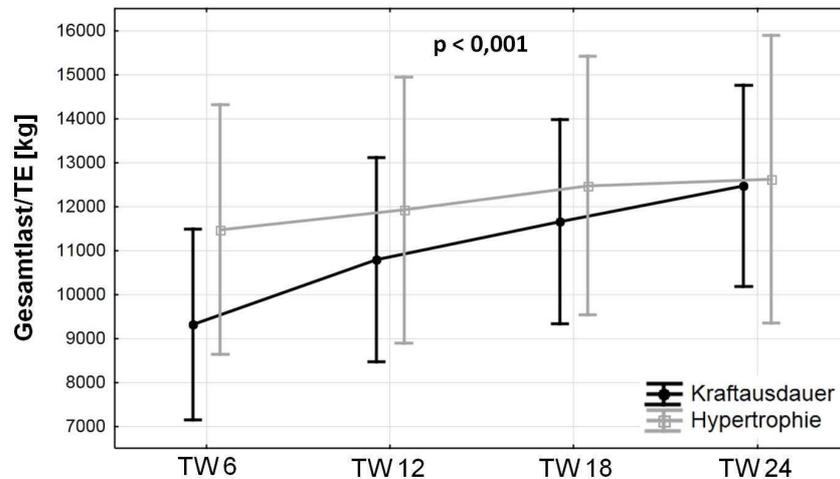


Abb. 30: Gesamtlast pro Trainingseinheit – Vergleich von Kraftausdauer- und Hypertrophiemethode (MW \pm SD)

Im Studienabschnitt Kraftausdauer ergaben sich sowohl ein signifikanter Gesamteffekt im Zeitverlauf ($p<0,001$) als auch jeweils signifikante Veränderungen zwischen den einzelnen Messzeitpunkten (TW 6 zu TW 12: $p<0,001$; TW 12 zu TW 18: $p=0,02$; TW 18 zu TW 24: $p=0,03$). Im Trainingsverlauf kam es hier zu einer durchschnittlichen Steigerung der bewältigten Last pro Trainingseinheit um $36\pm 12\%$.

Auch im Verlauf des zweiten Studienabschnitts war die Steigerung der Gesamtlast pro Trainingseinheit im Zeitverlauf signifikant ($p<0,001$). Die Hypothese $H_{5.4}$ wird somit angenommen. Über zwei Messzeitpunkte hinweg zeigten sich von TW 6 zu TW 18 ($p<0,001$) sowie von TW 12 zu TW 24 ($p=0,03$) jeweils signifikante Steigerungen. Zwischen den einzelnen Messzeitpunkten waren die Veränderungen nicht signifikant (TW 6 zu TW 12: $p=0,27$; TW 12 zu TW 18: $p=0,11$; TW 18 zu TW 24: $p=0,93$). Die durchschnittliche Steigerung von TW 6 bis TW 24 lag bei $10\pm 8\%$.

4.3.3 Hypertrophietraining und Ruheumsatz

Die Raumtemperatur während der Ruheumsatzmessungen konnte weitgehend konstant gehalten werden und es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede ($p=0,77$; $F(2, 32) = 0,27$) zwischen den drei Messzeitpunkten (ET: $22,1\pm 0,9$ ($20,5-23,7$) °C, AT 1: $22,0\pm 0,9$ ($20,7-23,8$) °C, AT 2: $22,2\pm 1,0$ ($20,5-23,7$) °C).

Die ANOVA ergab eine signifikante Steigerung des absoluten Ruheumsatzes im Interventionszeitraum ($p<0,001$, $F(2, 32)=11,88$; $d=1,74$ [großer Effekt]; vgl. Abb. 31). Betrachtet man

die Ergebnisse zwischen den einzelnen Messzeitpunkten, war die Veränderung des Ruheumsatzes von ET zu AT 1 signifikant ($p=0,03$), von AT 1 zu AT 2 nicht mehr ($p=0,16$).

Der durchschnittliche Abstand zwischen der zuletzt absolvierten Trainingseinheit und der Ruheumsatzmessung unterschied sich von AT 1 mit $4,8\pm 1,5$ Tagen zu AT 2 mit $4,3\pm 1,5$ Tagen nicht signifikant ($p=0,39$). Weder nach dem Kraftausdauertraining ($r=-0,12$; $p=0,63$) noch nach dem Hypertrophietraining ($r=-0,09$; $p=0,73$) zeigte sich ein Zusammenhang zwischen der Ruheumsatzveränderung und dem zeitlichen Abstand der zuletzt durchgeführten Trainingseinheit zur Ruheumsatzmessung.

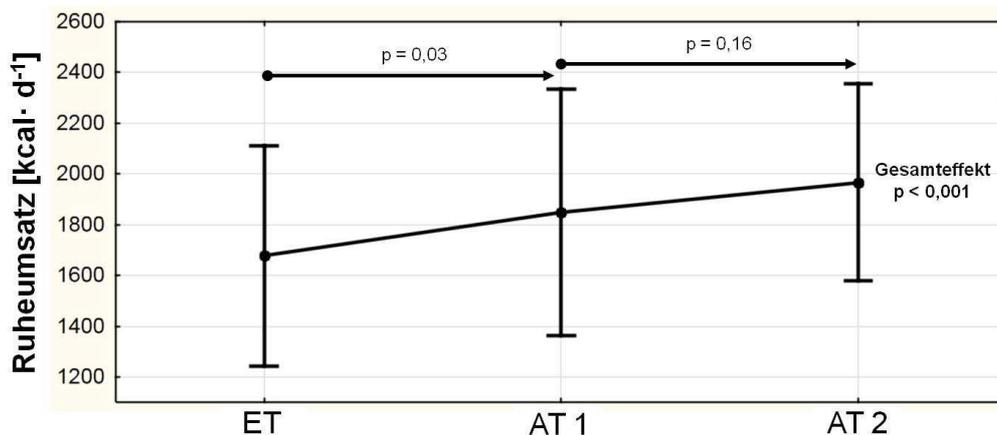


Abb. 31: Absoluter Ruheumsatz der Hypertrophiegruppe im Interventionsverlauf (MW \pm SD)

Ein vergleichbares Bild zeigte sich bei der Betrachtung des Ruheumsatzes in Bezug zum Körpergewicht sowie zur fettfreien Körpermasse. In beiden Fällen stieg der Ruheumsatz über den Interventionszeitraum hinweg signifikant an (RU [kcal·d⁻¹·kg KG⁻¹]: $p<0,001$, $F(2, 32)=11,09$; $d=1,67$ [großer Effekt] bzw. RU [kcal·d⁻¹·kg FFM⁻¹]: $p<0,01$, $F(2, 32)=7,31$; $d=1,34$ [großer Effekt]). Zwischen den einzelnen Messzeitpunkten zeigte sich beim Ruheumsatz pro kg Körpergewicht eine signifikante Steigerung von ET zu AT 1 ($p=0,03$). Die Veränderung von AT 1 zu AT 2 war nicht signifikant ($p=0,22$). Der Anstieg des Ruheumsatzes pro kg fettfreier Körpermasse war von ET zu AT 1 tendenziell signifikant ($p=0,06$), von AT 1 zu AT 2 war die Veränderung nicht signifikant ($p=0,45$). Die Hypothesen H_{6.1} und H_{6.2} werden verworfen, Hypothese H_{6.3} wird angenommen.

In Tab. 31 sind die deskriptiven Daten zur Entwicklung des absoluten und relativen Ruheumsatzes im Zeitverlauf noch einmal zusammenfassend dargestellt. Im Mittel stieg der Ruheumsatz in der Hypertrophiegruppe über das komplette Trainingsjahr hinweg um 19 ± 16 %. Die Steigerung von ET zu AT 1 betrug im Mittel 11 ± 16 %. Von AT 1 zu AT 2 zeigte sich eine weitere durchschnittliche Steigerung 9 ± 16 %.

Tab. 31: Ergebnisse der Ruheumsatzmessungen im Zeitverlauf (MW \pm SD, MIN-MAX; n=17)

	ET	AT 1	AT 2	Δ ET-AT 1	Δ AT 1-AT 2	Δ ET-AT 2
RU [kcal·d ⁻¹]	1677 \pm 435 1238 - 2852	1850 \pm 486 1183 - 3274	1968 \pm 388 1389 - 2905	+173 \pm 255 -283 - +562	+118 \pm 264 -369 - +532	+290 \pm 220 -21 - +812
RU [kcal·d ⁻¹ ·kg KG ⁻¹]	21,7 \pm 3,5 16,9 - 29,5	24,1 \pm 4,6 17,5 - 34,6	25,6 \pm 2,9 21,0 - 30,0	+2,4 \pm 3,6 -2,9 - +10,3	+1,5 \pm 3,8 -5,9 - +6,6	+3,8 \pm 2,8 -0,4 - +2,8
RU [kcal·d ⁻¹ ·kg FFM ⁻¹]	28,1 \pm 4,6 21,7 - 38,6	30,8 \pm 5,4 23,2 - 43,5	32,1 \pm 3,5 25,3 - 38,3	+2,6 \pm 4,6 -4,2 - +13,4	+1,4 \pm 4,8 -8,8 - +9,0	+4,0 \pm 3,7 -1,5 - +3,7

4.3.4 Hypertrophietraining und anthropometrische Daten

4.3.4.1 Körpergewicht, BMI, WHR

Weder beim Körpergewicht ($p=0,73$, $F(2, 32)=0,32$; $d=0,29$ [kleiner Effekt]) noch beim BMI ($p=0,47$, $F(2, 32)=0,77$; $d=0,41$ [kleiner Effekt]) oder bei der WHR ($p=0,24$, $F(2, 32)=1,48$; $d=0,63$ [mittlerer Effekt]) zeigten sich im Verlauf der Intervention signifikante Veränderungen. Die Hypothesen $H_{7.1}$, $H_{7.2}$ und $H_{7.3}$ werden verworfen. In Tab. 32 sind die Ergebnisse dieser Parameter zu den drei Messzeitpunkten dargestellt.

Tab. 32: Entwicklung von Körpergewicht, BMI und WHR in der Hypertrophiegruppe (MW \pm SD, MIN-MAX; n=17)

	ET	AT 1	AT 2
Körpergewicht [kg]	77,7 \pm 16,1 51,0 – 105,0	77,3 \pm 15,5 52,0 – 104,0	77,7 \pm 16,3 53,3 – 108,5
BMI [kg·m ⁻²]	24,9 \pm 3,6 18,8 – 29,4	24,7 \pm 3,4 18,5 – 29,9	24,9 \pm 3,6 18,3 – 30,8
WHR	0,86 \pm 0,1 0,72 – 1,01	0,87 \pm 0,09 0,69 – 1,02	0,85 \pm 0,09 0,67 – 0,98

4.3.4.2 Körperkomposition

Während die Datenaufnahme der Kalipermetrie vollständig war, konnte bei der B.I.A. ein Proband aufgrund eines Messfehlers nicht ausgewertet werden. Die diesbezüglichen Ergebnisse basieren daher auf den Daten von 16 Teilnehmern.

Der kalipermetrisch gemessene Körperfettanteil veränderte sich über den gesamten Interventionszeitraum hinweg signifikant ($p<0,001$, $F(2, 32)=14,60$; $d=1,92$ [großer Effekt]). Zwischen den Messzeitpunkten war die Veränderung nach Abschluss der Kraftausdauerphase nicht signifikant ($p=0,11$), nach Abschluss des intensitätsorientierten Krafttrainings zeigte sich eine signifikante Reduktion ($p=0,01$). Ebenso zeigte sich ein signifikanter Anstieg der kalipermetrisch ermittelten fettfreien Körpermasse ($p<0,001$, $F(2, 32)=10,74$; $d=1,63$ [großer

Effekt]). Auch hier war die Veränderung von ET zu AT 1 nicht signifikant ($p=0,53$), während von AT 1 zu AT 2 ein signifikanter Anstieg gemessen werden konnte ($p=0,01$). Für die Kalipermetrie wird die Hypothese $H_{7,4}$ angenommen.

Bei der B.I.A. zeigten sich weder beim prozentualen Körperfettanteil ($p=0,57$, $F(2, 30)=0,58$; $d=0,41$; [kleiner Effekt]) noch bei der Body-Cell-Mass ($p=0,10$, $F(2, 30)=2,53$; $d=0,81$ [großer Effekt]) signifikante Veränderungen. Entsprechend wird die Hypothese $H_{7,4}$ für die B.I.A. verworfen. In Tab. 33 sind die deskriptiven Daten der Kalipermetrie und der B.I.A. gegenübergestellt.

Tab. 33: Prozentualer Körperfettanteil und fettfreie Körpermasse bzw. Body-Cell-Mass der Hypertrophiegruppe zu den drei Messzeitpunkten (MW±SD, MIN-MAX; n=17)

	ET	AT 1	AT 2
Körperfett Kalipermetrie [%]	22,8 ± 3,8 14,7 – 28,8	21,8 ± 3,9 14,5 – 27,0	20,4 ± 3,8 13,5 – 26,0
Körperfett B.I.A. [%]	24,7 ± 5,8 15,0 – 33,4	24,5 ± 5,8 16,0 – 34,4	24,9 ± 5,3 16,1 – 32,9
FFM Kalipermetrie [kg]	59,9 ± 12,3 41,1 – 79,4	60,4 ± 12,0 41,4 – 80,1	61,6 ± 12,2 44,2 – 84,4
BCM B.I.A. [kg]	31,2 ± 7,3 20,6 – 44,7	31,4 ± 7,3 19,2 – 46,2	31,8 ± 7,3 20,5 – 45,5

4.3.4.3 Oberarm- und Oberschenkelumfang

In Tab. 34 sind die Daten der Umfangmessungen an Oberarmen und Oberschenkeln zu Beginn und nach Abschluss des intensitätsorientierten Krafttrainings dargestellt.

Tab. 34: Ergebnisse der Umfangmessungen beim Hypertrophietraining (MW±SD, MIN-MAX; n=17)

	AT 1	AT 2	Δ AT 1-AT 2	Δ AT 1-AT 2
Oberschenkel links [cm]	50,7 ± 4,0 43,9 – 58,8	51,4 ± 4,1 45,0 – 60,3	+0,8 ± 1,1 -1,3 – +2,7	+1,6 ± 2,3 -2,6 – +5,3
Oberschenkel rechts [cm]	50,7 ± 4,1 43,4 – 59,2	51,6 ± 4,3 45,0 – 60,9	+0,9 ± 0,9 -0,3 – +3,0	+1,8 ± 1,8 -0,5 – +6,8
Oberarm links [cm]	32,3 ± 3,8 25,5 – 38,0	32,3 ± 4,0 25,6 – 39,0	0,0 ± 0,8 -2,4 – +1,0	+0,2 ± 0,8 -2,4 – +1,2
Oberarm rechts [cm]	32,5 ± 3,9 25,5 – 38,0	32,5 ± 4,1 25,6 – 39,3	-0,1 ± 0,8 -2,4 – +1,2	0,2 ± 2,4 -7,3 – +3,1

Sowohl links ($p=0,01$; $d=0,24$ [kleiner Effekt]) als auch rechts ($p<0,001$; $d=0,31$ [kleiner Effekt]) war die Vergrößerung des Oberschenkelumfangs signifikant. Beim Oberarmumfang ergaben sich weder auf der linken ($p=0,96$; $d<0,20$ [kein Effekt]) noch auf der rechten Seite ($p=0,79$; $d<0,20$ [kein Effekt]) signifikante Veränderungen.

4.3.5 Hypertrophietraining und ausgewählte Gesundheitsparameter

4.3.5.1 Ruheherzfrequenz

Die Daten zur HF_{Ruhe} beziehen sich auf 16 Teilnehmer. In einem Fall konnte die HF_{Ruhe} wegen Herzrhythmusstörungen, welche die Sporttauglichkeit jedoch nicht einschränkten, nicht verwertet werden. Während des Interventionszeitraums kam es zu einer signifikanten Reduktion der Ruheherzfrequenz ($p < 0,001$, $F(2, 30) = 10,04$; $d = 1,63$ 24 [großer Effekt]; vgl. Abb. 32). Zwischen den Messzeitpunkten betrachtet war die Veränderung von ET (66 ± 10 (51-86) min^{-1}) zu AT 1 (59 ± 6 (48-67) min^{-1}) signifikant ($p < 0,01$), von AT 1 zu AT 2 (58 ± 6 (46-67) min^{-1}) nicht mehr ($p = 0,93$). Die Hypothese $H_{8.1}$ wird verworfen.

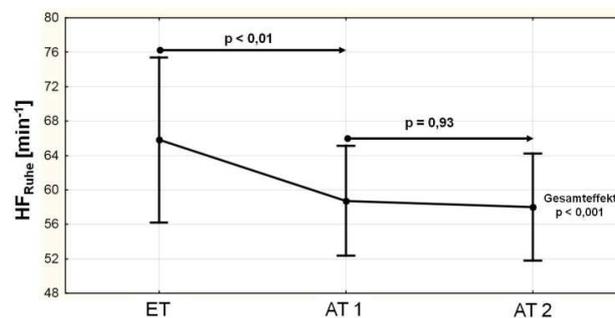


Abb. 32: Ruheherzfrequenz der Hypertrophiegruppe im Interventionsverlauf (MW ± SD)

4.3.5.2 Ruheblutdruck

Beim Ruheblutdruck ergaben sich weder systolisch ($p = 0,37$, $F(2, 32) = 1,03$; $d = 0,51$ 24 [mittlerer Effekt]) noch diastolisch ($p = 0,40$, $F(2, 32) = 0,95$; $d = 0,51$ [mittlerer Effekt]) signifikante Veränderungen im Zeitverlauf. Die Hypothese $H_{8.2}$ wird verworfen. Tab. 35 zeigt die Ergebnisse zu den drei Messzeitpunkten.

Tab. 35: Ruheblutdruck in der Hypertrophiegruppe zu den drei Messzeitpunkten (MW ± SD, MIN-MAX; n=17)

	ET [mmHg]	AT 1 [mmHg]	AT 2 [mmHg]
RR_{Ruhe} rechts systolisch	129 ± 15 105 - 150	126 ± 11 110 - 150	128 ± 10 110 - 150
RR_{Ruhe} rechts diastolisch	85 ± 8 70 - 100	83 ± 7 70 - 100	84 ± 9 70 - 110

4.3.5.3 Gesamtcholesterin

Beim Gesamtcholesterin ergaben sich bei der ANOVA keine signifikante Veränderungen im Interventionsverlauf ($p = 0,89$, $F(2, 32) = 0,12$; $d < 0,20$ [kein Effekt]). Die Hypothese $H_{8.3}$ wird verworfen. Bei Betrachtung der deskriptiven Daten zeigten sich kaum Veränderungen der mittleren Werte zu den drei Messzeitpunkten (ET: 216 ± 47 (145-292) $\text{mg} \cdot \text{dl}^{-1}$; AT 1 215 ± 40 (155-274) $\text{mg} \cdot \text{dl}^{-1}$; AT 2 (212 ± 51 (120-291) $\text{mg} \cdot \text{dl}^{-1}$).

4.3.5.4 Blutglukose

Aufgrund eines nicht verwertbaren Messwertes konnten hier nur 16 Probanden ausgewertet werden. Bei der ANOVA zeigten sich keine signifikanten Veränderungen im Zeitverlauf ($p=0,30$, $F(2, 30)=0,12$; $d=0,51$ [mittlerer Effekt]). Die Hypothese $H_{8.4}$ wird verworfen. Die mittleren Glukosewerte blieben von ET (95 ± 9 (75-110) $\text{mg} \cdot \text{dl}^{-1}$) zu AT 1 (97 ± 10 (70-113) $\text{mg} \cdot \text{dl}^{-1}$) und AT 2 (96 ± 10 (79-121) $\text{mg} \cdot \text{dl}^{-1}$) nahezu unverändert.

4.4 Effekte Waiting-Control-Gruppe

In die Datenauswertungen der Waiting-Control-Gruppe wurden die Probanden einbezogen, die im Anschluss an die Kontrollphase ein sechsmonatiges Kraftausdauertraining absolvierten. Insgesamt konnten zehn (♀: $n=6$, ♂: $n=4$) vollständige Datensätze generiert werden. Die entsprechenden Befunde werden im Folgenden zusammenfassend beschrieben.

4.4.1 Leistungsphysiologische Effekte in der Waiting-Control-Gruppe

Die Veränderungen der bei der Laufbandergometrie erreichten maximalen Laufgeschwindigkeit von ET ($9,8 \pm 1,8$ (6,8-12) $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) zu AT 1 ($10,0 \pm 1,5$ (7,6-12) $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) und zu AT 2 ($10,2 \pm 1,8$ (7,0-13,6) $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) waren nicht signifikant ($p=0,55$, $F(2, 18)=0,61$; $d=0,51$ [mittlerer Effekt]).

In Tab. 36 sind die Ergebnisse des 1-RM für die Übungen Beinpresse, Brustpresse, Zug vertikal und Zug horizontal dargestellt. Auch in der Waiting-Control-Gruppe kam es bei allen Übungen zu einer signifikanten Steigerung der Maximalkraft.

Tab. 36: Ergebnisse und Veränderungen der Waiting-Control-Gruppe im 1-RM (MW \pm SD, Mediane (Quartile), MIN-MAX; $n=10$)

	AT 1 [kg]	AT 2 [kg]	Δ AT 1-AT 2 [%]	
1-RM Beinpresse	95 \pm 33 85 (69/109) 61 - 165	108 \pm 34 97 (93/125) 61 - 181	14,7 \pm 11,7 10 (8/19) 0 - 34	$p < 0,001$ $d = 0,55$ [kleiner Effekt]
1-RM Brustpresse	50 \pm 24 38 (35/70) 27,5 - 100	58 \pm 27 45 (40/80) 30 - 110	16 \pm 9,2 14,3 (10/21) 0 - 30	$p < 0,001$ $d = 0,45$ [kein Effekt]
1-RM Zug vertikal	46 \pm 14 40 (35/55) 30 - 75	51 \pm 15 45 (40/65) 35 - 80	12 \pm 4,1 12,5 (8/14) 6,3 - 18,2	$p < 0,001$ $d = 0,50$ [kleiner Effekt]
1-RM Zug horizontal	49 \pm 16 43 (40/60) 30 - 85	60 \pm 18 50 (50/75) 35 - 90	22,3 \pm 8,5 25 (17/25) 5,9 - 33,3	$p < 0,001$ $d = 0,87$ [kleiner Effekt]

Ein übereinstimmendes Bild mit den bisherigen Befunden ergab sich beim 20-RM. Hier zeigten sich bei den Übungen Beinpresse, Brustpresse, Zug vertikal und Zug horizontal signifikante Steigerungen der Kraftausdauer (jeweils $p < 0,001$). An der Beinpresse stieg das im 20-RM-Test bewältigte Gewicht im Mittel von 63 ± 20 (37-109) kg zu Beginn auf 81 ± 21 (53-125) kg zum Abschluss der Trainingsphase ($d = 1,18$ [kleiner Effekt]), was einer durchschnittlichen Steigerung um 29 ± 11 (13-43) % entsprach. An der Brustpresse betrug die Steigerung von AT 1 (32 ± 14 (18-60) kg) zu AT 2 (40 ± 16 (22-70) kg; $d = 0,76$ [kleiner Effekt]) durchschnittlich 26 ± 10 (11-46) %. Auch die Steigerungen am Zug vertikal (AT 1: 30 ± 8 (20-50) kg zu AT 2: 36 ± 10 (25-55) kg; $d = 0,92$ [kleiner Effekt]) und am Zug horizontal (AT 1: 31 ± 8 (20-45) kg zu AT 2: 38 ± 10 (27-55) kg; $d = 1,20$ [kleiner Effekt]) lagen mit 21 ± 15 (0-48) % bzw. 26 ± 12 (10-50) % in einem ähnlichen Bereich.

Die durchschnittlichen Trainingsintensitäten sind in Tab. 37 dargestellt. Sowohl an der Beinpresse ($p = 0,02$) als auch an der Brustpresse ($p = 0,03$) führte das Training zu einer signifikanten Steigerung der Intensität in Bezug zum 1-RM. Beim Zug vertikal ($p = 0,10$) und beim Zug horizontal ($p = 0,55$) waren die Veränderungen nicht signifikant.

Tab. 37: Trainingsintensität in Bezug zum 1-RM in der Waiting-Control-Gruppe zu Beginn und zum Ende der Trainingsphase (MW \pm SD, MIN-MAX; n=10)

	AT 1 [%/1-RM]	AT 2 [%/1-RM]
Beinpresse	67 ± 6 58 – 77	76 ± 9 66 – 91
Brustpresse	65 ± 6 57 – 71	71 ± 10 62 - 89
Zug vertikal	66 ± 7 54 – 75	71 ± 7 60 – 82
Zug horizontal	64 ± 9 50 - 75	65 ± 9 55 - 77

Tab. 38 zeigt die durchschnittlichen Werte der pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast für die jeweils letzte Trainingseinheit eines Mesozyklus.

Tab. 38: Pro Trainingseinheit bewältigte Gesamtlast in der Waiting-Control-Gruppe in TW 6, TW 12, TW 18 und TW 24 (MW \pm SD, MIN-MAX; n=10)

	TW 6	TW 12	TW 18	TW 24
Gesamtlast/TE [kg]	8542 ± 2747 5280 - 14560	9865 ± 3045 6200 - 16650	11076 ± 3292 7475 - 17765	11349 ± 3510 7335 - 18800

Die ANOVA ergab eine signifikante Steigerung der Gesamtlast pro Trainingseinheit im Trainingsverlauf ($p < 0,001$, $F(3, 27) = 77,05$; $d = 5,85$ [großer Effekt]). Zwischen den einzelnen Messzeitpunkten betrachtet waren die Steigerungen zwischen TW 6 und TW 12 ($p < 0,001$) sowie zwischen TW 12 und TW 18 ($p < 0,001$) jeweils signifikant, zwischen TW 18 und TW 24 nicht mehr ($p = 0,64$). Die durchschnittliche Steigerung der pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast von TW 6 bis TW 24 betrug bei 33 ± 4 (25-39) %.

4.4.2 Waiting-Control-Gruppe und Ruheumsatz

Während der Ruheumsatzmessungen zeigten sich zwischen den drei Messzeitpunkten keine signifikanten Unterschiede bei der Raumtemperatur ($p = 0,11$, $F(2, 18) = 2,47$). Zu Beginn lag die mittlere Raumtemperatur bei $21,7 \pm 0,6$ (20,7-22,8) °C, zu AT 1 bei $21,8 \pm 0,9$ (20,3-23,0) °C und zu AT 2 bei $22,6 \pm 1,1$ (20,8-24,1) °C.

Im Interventionsverlauf zeigte die ANOVA (vgl. Abb. 33) eine signifikante Steigerung des absoluten Ruheumsatzes ($p = 0,01$, $F(2, 18) = 6,55$; $d = 1,70$ [großer Effekt]). Zwischen den Messzeitpunkten betrachtet war die Veränderung nach erfolgter Intervention von AT 1 zu AT 2 signifikant ($p = 0,03$). Von Studienbeginn bis zum Ende der Kontrollphase zeigte sich hingegen keine Veränderung ($p = 0,96$). Der durchschnittliche Abstand zwischen der zuletzt absolvierten Trainingseinheit und der Ruheumsatzmessung zu AT 2 betrug $4,2 \pm 1,1$ (3-6) Tage. Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der Ruheumsatzveränderung und dem zeitlichen Abstand der zuletzt durchgeführten Trainingseinheit zur Ruheumsatzmessung ($r = 0,04$; $p = 0,91$).

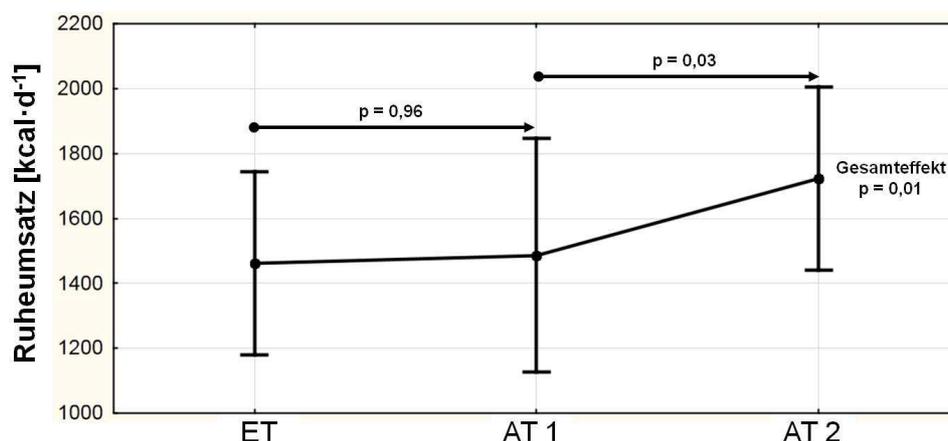


Abb. 33: Absoluter Ruheumsatz in der Waiting-Control-Gruppe im Interventionsverlauf (MW±SD)

Auch der relative Ruheumsatz veränderte sich über den Interventionszeitraum hinweg sowohl in Bezug zum Körpergewicht ($p = 0,02$, $F(2, 18) = 4,94$; $d = 1,47$ [großer Effekt]) als auch in Bezug zur fettfreien Körpermasse ($p = 0,02$, $F(2, 18) = 5,08$; $d = 1,50$ [großer Effekt]) signifikant.

Zwischen den Messzeitpunkten betrachtet waren die Veränderungen von Studienbeginn bis zum Ende der Kontrollphase nicht signifikant (RU [kcal·d⁻¹·kg KG⁻¹]: p=1,0; RU [kcal·d⁻¹·kg FFM⁻¹]: p=1,0). Von AT 1 zu AT 2 zeigte sich jeweils eine signifikante Steigerung des Ruheumsatzes (RU [kcal·d⁻¹·kg KG⁻¹]: p=0,04; RU [kcal·d⁻¹·kg FFM⁻¹]: p=0,04). Die dazugehörige deskriptive Datenauswertung findet sich in Tab. 39.

Tab. 39: Ruheumsatz zu den drei Messzeitpunkten und Differenzen in der Waiting-Control-Gruppe (MW±SD, MIN-MAX; n=10)

	ET	AT 1	AT 2	Δ ET- AT 1	Δ AT 1-AT 2
RU [kcal·d ⁻¹ ·]	1462 ± 281 1123 - 1860	1486 ± 360 1070 - 2193	1723 ± 282 1303 - 2272	+24 ± 272 -452 - +549	+237 ± 308 -306 - +625
RU [kcal·d ⁻¹ ·kg KG ⁻¹]	21,7 ± 2,2 16,4 - 23,7	21,7 ± 2,9 16,9 - 25,0	25,1 ± 3,5 17,8 - 29,5	+0,1 ± 3,8 -6,8 - +5,1	+3,3 ± 4,8 -3,7 - +10,3
RU [kcal·d ⁻¹ ·kg FFM ⁻¹]	28,0 ± 3,2 22,0 - 34,3	28,1 ± 3,6 24,0 - 33,8	32,4 ± 4,2 23,3 - 38,4	+0,1 ± 5,1 -10,3 - +6,4	+4,3 ± 6,1 -5,0 - +12,7

4.4.3 Waiting-Control-Gruppe und anthropometrische Daten

In der Waiting-Control-Gruppe kam es im Studienverlauf zu einem signifikanten Anstieg des Körpergewichtes (p=0,02, F(2, 18)=5,23; d=1,53 [großer Effekt]) und des BMI (p=0,02, F(2, 18)=4,87; d=1,47 [großer Effekt]). Zwischen den Messzeitpunkten betrachtet waren weder die Veränderungen von ET zu AT 1 (KG: p=0,48; BMI: p=0,35) noch von AT 1 zu AT 2 (KG: p=0,17; BMI: p=0,30) signifikant. Bei der WHR konnten aufgrund eines fehlenden Messwertes zu AT 2 nur neun Probanden ausgewertet werden. Es zeigte sich kein signifikanter Effekt im Zeitverlauf (p=0,18, F(2, 16)=1,92; d=0,97 [großer Effekt]). Tab. 40 zeigt die Ergebnisse zu den drei Messzeitpunkten.

Tab. 40: Entwicklung von Körpergewicht, BMI und WHR in der Waiting-Control-Gruppe (MW±SD, MIN-MAX)

	ET	AT 1	AT 2
KG [kg] (n=10)	68,0 ± 14,6 54 - 100	68,7 ± 15,5 54 - 102	69,9 ± 16,0 55 - 106
BMI [kg·m⁻²] (n=10)	23,7 ± 3,3 20,2 - 29,9	24,0 ± 3,7 19,5 - 31,1	24,5 ± 3,8 20,7 - 32,4
WHR (n=9)	0,80 ± 0,08 0,69 - 0,93	0,82 ± 0,09 0,70 - 0,95	0,85 ± 0,09 0,71 - 0,96

Beim per Kalipermetrie gemessenen prozentualen Körperfettanteil ergaben sich im Studienverlauf keine signifikanten Veränderungen (p=0,95, F(2, 8)=0,48; d<0,20 [kein Effekt]). Die kalipermetrisch ermittelte fettfreie Körpermasse stieg von Studienbeginn bis Studienende signifikant an (p=0,04, F(2, 18)=4,03; d=1,34 [kein Effekt]).

Zwischen den Messzeitpunkten zeigte sich allerdings weder von ET zu AT 1 ($p=0,69$) noch AT 1 zu AT 2 ($p=0,19$) ein signifikantes Ergebnis. Aufgrund zweier fehlender Messungen konnten in die Auswertung der B.I.A. nur acht Probanden einbezogen werden. Der hier gemessene prozentuale Körperfettanteil stieg im Studienverlauf signifikant an ($p=0,03$, $F(2, 14)=4,89$; $d=1,67$ [großer Effekt]). Zwischen ET und AT 1 ($p=0,54$) sowie zwischen AT 1 und AT 2 ($p=0,19$) waren die Veränderungen jeweils nicht signifikant. Bei der per B.I.A. gemessenen Body-Cell-Mass zeigten sich über den Studienverlauf hinweg keine signifikante Veränderungen ($p=0,38$, $F(2, 14)=1,04$; $d=0,77$ [mittlerer Effekt]). In Tab. 41 sind die Ergebnisse der Kalipermetrie und B.I.A. gegenübergestellt.

Tab. 41: Ergebnisse von Kalipermetrie und B.I.A. in der Waiting-Control-Gruppe (MW \pm SD, MIN-MAX)

	ET	AT 1	AT 2
Körperfett Kalipermetrie [%] (n=10)	22,4 \pm 5,1 13,8 – 31,0	22,6 \pm 4,7 12,2 – 29,6	22,5 \pm 4,6 13,5 – 28,9
Körperfett B.I.A. [%] (n=8)	26,9 \pm 6,1 18,1 – 39,2	27,5 \pm 6,6 16,7 – 40,4	28,6 \pm 6,1 19,5 – 40,4
FFM Kalipermetrie [kg] (n=10)	52,6 \pm 10,8 40,9 – 74,6	53,0 \pm 11,6 40,4 – 77,4	54,1 \pm 11,8 42,0 – 80,9
BCM B.I.A. [kg] (n=8)	25,2 \pm 6,9 17,1 – 38,2	26,3 \pm 7,6 17,9 – 40,7	25,9 \pm 6,6 18,1 – 39,0

4.4.4 Waiting-Control-Gruppe und ausgewählte Gesundheitsparameter

Die Ruheherzfrequenz der Waiting-Control-Gruppe veränderte sich im Studienverlauf nicht signifikant ($p=0,15$, $F(2, 18)=2,13$; $d=0,97$ [großer Effekt]). Im Mittel lag die HF_{Ruhe} zu Studienbeginn bei 62 ± 7 (55-78) min^{-1} , zum Ende der Kontrollphase bei 59 ± 9 (48-73) min^{-1} und nach Abschluss des Kraftausdauertrainings bei 59 ± 6 (49-68) min^{-1} .

Weder beim systolischen ($p=0,27$, $F(2, 18)=1,39$; $d=0,77$ [mittlerer Effekt]) noch beim diastolischen Ruheblutdruck ($p=0,43$; $F(2, 18)=0,88$; $d=0,63$ [mittlerer Effekt]) zeigten sich im Zeitverlauf signifikante Veränderungen. Die diesbezüglichen Daten finden sich in Tab. 42.

Tab. 42: Ergebnisse der Ruheblutdruckmessungen in der Waiting-Control-Gruppe (MW \pm SD, MIN-MAX; n=10)

	ET [mmHg]	AT 1 [mmHg]	AT2 [mmHg]
RR_{Ruhe} rechts systolisch	125 \pm 7 120 - 140	130 \pm 17 110 - 160	132 \pm 13 120 - 160
RR_{Ruhe} rechts diastolisch	83 \pm 4 80 - 90	83 \pm 5 75 - 90	85 \pm 5 80 - 90

Beim Gesamtcholesterin ergab die ANOVA ebenfalls keine signifikanten Veränderungen im Zeitverlauf ($p=0,39$, $F(2, 18)=0,99$; $d=0,67$ [mittlerer Effekt]). Bei Betrachtung der deskriptiven Daten zeigten sich von ET (219 ± 38 (174-279) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$) zu AT 1 (216 ± 40 (166-287) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$) und AT 2 (224 ± 51 (162-311) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$) kaum Unterschiede in den mittleren Werten.

Auch die Glukosewerte blieben von ET (96 ± 10 (85-114) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$) zu AT 1 (94 ± 8 (78-102) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$) und AT 2 (96 ± 8 (89-117) $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$) weitgehend unverändert, und es ergaben sich im Interventionszeitraum keine signifikanten Veränderungen ($p=0,52$, $F(2, 18) = 0,68$; $d=0,55$ [mittlerer Effekt]).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Waiting-Control-Gruppe die Befunde der Kraftausdauergruppe weitgehend bestätigen.

5 Diskussion

Obwohl Krafttraining als Belastungsform zunehmend empfohlen wird (ACSM, 2011; Westcott, 2012), liegen kaum wissenschaftlich gesicherte Befunde zu den gesundheitlichen Effekten vor, und es werden dringend gut kontrollierte Trainingsstudien mit einer angemessenen langen Laufzeit benötigt (Zimmermann, 2002). Ziel dieser Studie war es daher, die Effekte eines präventiven Krafttrainings auf den Ruheumsatz, anthropometrische Daten und ausgewählte Gesundheitsindikatoren bei untrainierten gesunden Erwachsenen im Alter von 30 bis 60 Jahren zu untersuchen.

Die Hauptstudie über sechs Monate wurde als randomisierte kontrollierte Trainingsstudie durchgeführt. In der Kraftausdauergruppe führte das gesundheitssportliche Kraftausdauertraining erwartungsgemäß zu einer Steigerung der Maximalkraft und der Kraftausdauer bei allen Testübungen. Im Vergleich zur Kontrollgruppe kam es interventionsbedingt zu einer signifikanten Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit sowie des absoluten und relativen Ruheumsatzes. Bei Körpergewicht, BMI und WHR konnten keine unterschiedlichen Entwicklungen zwischen Trainings- und Kontrollgruppe festgestellt werden. Trainingsbedingte Veränderungen der Körperkomposition konnten nicht ermittelt werden und auch bei den erfassten Gesundheitsindikatoren zeigten sich keine unterschiedlichen Entwicklungen zwischen den Gruppen.

Im zweiten Studienabschnitt über ebenfalls sechs Monate ohne Kontrollgruppe führte das intensitätsorientierte Krafttraining zu einer weiteren Steigerung der Maximalkraft wie auch zu signifikanten Verbesserungen des 10-RM bei allen Testübungen. Im Zeitverlauf kam es zu einer signifikanten Steigerung des absoluten und relativen Ruheumsatzes. Zwischen den Messzeitpunkten betrachtet war der Effekt durch das Kraftausdauertraining signifikant, der Mehreffekt durch das Hypertrophietraining nicht mehr. Auch über das komplette Trainingsjahr hinweg kam es zu keinen Veränderungen bei Körpergewicht, BMI und WHR. Bei der Kalipermetrie zeigte sich im Zeitverlauf eine signifikante Reduktion des Körperfettanteils und ein Anstieg der fettfreien Körpermasse, wobei nur die Veränderungen von AT 1 zu AT 2 signifikant waren. Diese Ergebnisse konnten bei der B.I.A. allerdings nicht bestätigt werden. Hier ergaben sich keinerlei signifikante Befunde. Auch bei den erfassten Gesundheitsindikatoren waren die Veränderungen im Zeitverlauf nicht signifikant.

Wenngleich die Ergebnisse der Waiting-Control-Gruppe aufgrund der kleinen Probandenzahl von untergeordneter Bedeutung sind, konnten die grundsätzlichen Befunde bestätigt werden. Das Training führte zu signifikanten Kraftsteigerungen im 1-RM und 20-RM. Des Weiteren

kam es im Zeitverlauf zu einer Steigerung des absoluten und relativen Ruheumsatzes, wobei die Werte von ET zu AT 1 nahezu unverändert blieben und nur die Veränderung von AT 1 zu AT 2 signifikant war. Bei den anthropometrischen Daten und ausgewählten Gesundheitsparametern zeigten sich keine trainingsbedingten Veränderungen.

5.1 Gruppenszusammensetzung und Trainingscompliance

Für die vorliegende Studie sollten gesunde Erwachsene im Alter zwischen 30 und 60 Jahren rekrutiert werden, die als typische Zielgruppe für ein gesundheitssportliches Training anzusehen sind. Da bei den meisten der festgelegten abhängigen Variablen, insbesondere auch beim Ruheumsatz (Bogardus et al., 1986; Carlsohn et al., 2011; McArdle et al., 2000), von einem Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Veränderung und dem Geschlecht sowie der Leistungsfähigkeit auszugehen war, erfolgte die Gruppenzuweisung stratifiziert-randomisiert anhand dieser beiden Kriterien. Wie die Teilnehmerdaten zeigen, konnten auf diese Weise große Unterschiede in den Gruppen und darauf zurückzuführende Einflüsse auf die Messergebnisse vermieden werden. Mit einem Durchschnittsalter von 47 Jahren in der Kontroll- und 50 Jahren in der Interventionsgruppe sowie einem BMI jeweils im oberen Normbereich und vergleichbarer Leistungsfähigkeit konnte ein für den Bereich des Gesundheitssports repräsentatives Probandenkollektiv rekrutiert werden.

Hohe Dropoutquoten bei gesundheits- und fitnessorientierten Sportprogrammen von 40 bis 70 % sind ein bekanntes Phänomen (Rampf, 1999, S. 177), und die ursprünglich anvisierte Anzahl von 50 auswertbaren Probanden pro Gruppe konnte in dieser Studie nicht erreicht werden. Zwar waren die Dropoutquoten sowohl in der Kraftausdauer- (37 %) als auch der Kontrollgruppe (30 %) in einem erwartbaren Bereich, in den beiden weiteren Trainingsgruppen der Gesamtstudie kam es allerdings zu deutlich mehr Aussteigern. Im Laufe der Studie reduzierte sich dadurch die Randomisierungschance für die Kraft- und Kontrollgruppe. Von insgesamt 266 den jeweiligen Gruppen zugeteilten Probanden wurden nur 22 % der Kraftausdauer- und nur 20 % der Kontrollgruppe zugewiesen. Dennoch bleibt festzustellen, dass die Zahl der jeweils 37 auswertbaren Probanden in der Interventions- und Kontrollgruppe für eine randomisierte kontrollierte Trainingsstudie mit dieser Dauer beachtlich ist und nur wenige Studien vergleichbar hohe Probandenzahlen vorweisen können. Auch im zweiten Studienabschnitt konnte die Dropoutquote sowohl in der Hypertrophiegruppe (23 %) wie auch in der Waiting-Control-Gruppe (33 %) in einem erwartbaren Bereich gehalten werden.

Geht man davon aus, dass die Teilnahme an Präventionsprogrammen normalerweise eine Frauendomäne ist und beispielsweise 80 % der Teilnehmer an krankenkassengeförderten

Bewegungsangeboten weiblich sind (GKV-Spitzenverband & Medizinischer Dienst des Spitzenverbandes Bund der Krankenkassen, 2013, S. 74), so zeigte sich in der vorliegenden Studie ein anderes Bild. Von den 59 dem Kraftausdauertraining zugeteilten Probanden waren zu Beginn etwa zwei Drittel weiblich. Im Laufe des ersten Studienabschnitts kam es bei den Frauen zu 19 Dropouts, wohingegen lediglich drei männliche Teilnehmer ausstiegen. Die Dropoutquote betrug bei den Frauen knapp 50 %, bei den Männern lediglich 15 %. In der Hypertrophiegruppe war das Geschlechterverhältnis zu Beginn mit je elf Männern und Frauen ausgeglichen. Im Laufe des intensitätsorientierten Krafttrainings stiegen vier Frauen und lediglich ein Mann vorzeitig aus. Somit waren knapp 60 % der auswertbaren Probanden männlich. Von den 15 im Anschluss an die Kontrollphase in das Kraftausdauertraining integrierten Probanden der Waiting-Control-Gruppe stiegen fünf Teilnehmerinnen vorzeitig aus, wohingegen alle vier männlichen Teilnehmer die Trainingsphase auch beendeten. Diese Befunde legen nahe, dass sich über ein gerätegestütztes gesundheitssportliches Krafttraining die Zielgruppe der Männer besser erreichen lässt als über übliche krankenkassengeforderte Präventionskurse.

Für die Gesamtstudie wurde a priori eine erforderliche Trainingscompliance von mindestens 70 % festgelegt. Vergleicht man diese Vorgaben mit denen anderer Studien, die ebenfalls die Auswirkungen eines Krafttrainings auf den Ruheumsatz und die Körperkomposition untersuchten, lässt sich Folgendes feststellen: Von den im einleitenden Teil beschriebenen Studien, die eine dauerhafte Erhöhung des Ruheumsatzes feststellen konnten, lag die Trainingscompliance in den meisten Fällen bei über 90 % (Campbell et al., 1994; Dionne et al., 2004; Fatouros et al., 2005; Hunter & Wetzstein et al., 2000; Kirk et al., 2009; Poehlman et al., 2002; Pratley et al., 1994). Bei Byrne und Wilmore (2001) sollten 75 % der vorgegebenen Trainingseinheiten absolviert werden. In einer weiteren Studie fehlten genaue Angaben (Lemmer et al., 2001). In den Studien, die keine Erhöhung des Ruheumsatzes zeigten, wurden ähnliche Vorgaben gemacht. Bei einer Studie über 20 Wochen von Delecluse et al. (2004) wurden versäumte Einheiten nachgeholt, so dass alle Probanden die festgelegte Anzahl von 50 Trainingseinheiten absolvierten. Bei Dionne et al. (2004) durfte pro Monat eine Trainingseinheit verpasst werden, was bei sechs Monaten Interventionsdauer einer Teilnahmequote von 92 % entsprach. Broeder et al. (1992) forderten eine Compliance von $\geq 90\%$, Stensvold et al. (2010) mindestens 80 % der vorgegebenen Trainingseinheiten. Bei Jennings et al. (2009) betrug der Median der Trainingsbeteiligung 85% bei einer interquartilen Spannweite von 72 % bis 91 %. In einem weiteren Fall fehlten genaue Angaben zur Trainingscompliance (Broeder et al., 1992; Geliebter et al., 1997). Die Ergebnisse legen nahe, dass der Effekt der Ruheumsatzerhöhung - regelmäßiges Training vorausgesetzt - nicht alleine mit einer bestimmten Trainingscompliance zu begründen ist.

Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Studien, die eine wünschenswerte Veränderung der Körperkomposition (Reduktion von Körperfett und Zunahme der fettfreien Körpermasse) zeigen konnten. Bei Campbell et al. (1994) mussten innerhalb der Studiendauer von 12 Wochen die vorgegebenen 35 Trainingseinheiten vollständig absolviert werden. Auch Ibanez et al. (2005) konnten über 16 Trainingswochen mit je zwei Krafttrainingseinheiten eine Teilnahmequote von nahezu 100 % erzielen. Bei Hunter und Bryan et al. (2002) betrug die Trainingscompliance ebenso wie bei Schmitz et al. (2003) über 90 %. In weiteren Untersuchungen waren die entsprechenden Vorgaben bzw. Daten nicht ausreichend beschrieben (Lemmer et al., 2001; Sillanpää et al., 2008; Sillanpää et al., 2009). Auch in Studien, die keine Veränderungen in der Körperkomposition feststellen konnten, zeigte sich eine durchaus hohe Trainingscompliance (Jennings et al., 2009; Olson et al., 2007; Willis et al., 2012). Auch bei der Körperkomposition scheint eine bestimmte Trainingscompliance nicht der primär ausschlaggebende Faktor für den Nachweis bzw. das Ausbleiben von Veränderungen zu sein.

Verglichen mit den beschriebenen Studien kann die bei der vorliegenden Untersuchung erreichte Trainingsbeteiligung als sehr gut bezeichnet werden. Im Mittel absolvierten die Probanden im Studienabschnitt Kraftausdauer 94 ± 5 % der vorgegebenen Trainingseinheiten. Die Trainingscompliance der Waiting-Control-Gruppe war mit ebenfalls 94 ± 5 % vergleichbar hoch. Beim intensitätsorientierten Krafttraining sank die mittlere Trainingsbeteiligung zwar geringfügig ab, blieb aber dennoch über die vier Mesozyklen hinweg auf einem durchgängig hohen Niveau von im Mittel 88 ± 8 %. Die gute bis sehr gute Trainingscompliance wurde unter anderem dadurch begünstigt, dass komplett versäumte Trainingswochen aufgrund von Urlaub oder Krankheit an die vorgesehene Studiendauer angehängt wurden. Dies wurde als sinnvoll erachtet, da derartige Trainingspausen zu einem normalen Lebensrhythmus gehören und eine reelle Alltagssituation widerspiegeln. Die Tatsache, dass die vorgegebene Trainingsbelastung von nahezu allen Teilnehmern problemlos toleriert wurde, bestätigt die Bedeutung eines gerätegestützten Krafttrainings als sichere und einfach durchzuführende Belastungsform im Gesundheitssport (ACSM, 2009, 2011).

5.2 Leistungsphysiologische Adaptationen

5.2.1 Wirkung des Trainingsreizes

Das in der Hauptstudie durchgeführte Kraftausdauertraining erfolgte nach einem standardisierten Plan mit einem für alle Probanden gleichermaßen definierten Trainingsreiz. Ziel war es, für alle Teilnehmer eine vergleichbare Beanspruchung zu gewährleisten. Bei den durch-

geführten Herzfrequenz- und Laktatkontrollen zeigte sich bei allen Stichproben eine Akkumulation der Laktatkonzentration mit mittleren Werten von $6,5 \pm 0,9$ ($5,1-7,6$) mmol^{-1} nach der ersten Zirkelrunde und $8,8 \pm 1,5$ ($7,1-11,3$) mmol^{-1} nach der zweiten. Die Messwerte ergaben eine hohe Inanspruchnahme der anaeroben Energiebereitstellung, was im Kraftausdauertraining als wesentlich zur Auslösung von Anpassungseffekten im Sinne einer Ermüdungsresistenz gegenüber Kraftreizen anzusehen ist (ACSM, 2009; Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Aus metabolischer Sicht kann somit von einem zielgerichteten Trainingsreiz gesprochen werden.

Die beim Kraftausdauertraining in den einzelnen Trainingseinheiten gemessenen durchschnittlichen Herzfrequenzen lagen zwischen 62 ± 7 ($50-74$) % und 65 ± 8 ($52-79$)% der bei der Laufbandergometrie individuell ermittelten HF_{max} . Dies entsprach Vorgaben, wie sie von anerkannten Fachgesellschaften für ein Ausdauertraining bei gesunden untrainierten Erwachsenen gemacht werden (ACSM, 2011) und deckt sich mit Literaturbefunden, wonach ein dynamisches Krafttraining zu deutlichen Herzfrequenzanstiegen führt (Baechle & Earle, 2008, S. 110), die tendenziell denen eines aeroben Ausdauertrainings entsprechen (Zimmermann, 2002, S. 94). Insofern schien der Trainingsreiz zur Auslösung herzkreislaufwirksamer Adaptationen beim gewählten Probandenkollektiv geeignet.

Einen weiteren Beleg für die vergleichbare Trainingsbeanspruchung der Probanden durch das definierte Belastungsgefüge lieferten die Ergebnisse zum subjektiven Belastungsempfinden anhand der BORG-Skala (Borg, 1982). Die vorgegebene Trainingsbelastung wurde nach der ersten Zirkelrunde mit $15,5 \pm 1,4$ ($13-18$) subjektiv als anstrengend, nach der zweiten mit $17,6 \pm 0,9$ ($16-19$) als sehr anstrengend eingestuft. Die eigenen Befunde deuten darauf hin, dass es eine enge Beziehung zwischen dem subjektiven Belastungsempfinden und der Höhe der Blutlaktatkonzentration gibt, was auch in einer Studie von Kraemer, Noble, Clark und Culver (1987) festgestellt werden konnte. Die Ergebnisse der Trainingskontrollen und des Herzfrequenzmonitorings beim Kraftausdauertraining zeigten, dass die Trainingsmethodik geeignet war, eine effektive und vergleichbare Belastungs-Beanspruchungssituation zu schaffen. Dies spiegelt sich nicht zuletzt auch in den geringen Standardabweichungen wider. Bei der Waiting-Control-Gruppe wurde auf die Durchführung von Trainingskontrollen verzichtet. Da das Kraftausdauertraining hinsichtlich Inhalt und Ablauf in gleicher Art und Weise durchgeführt wurde, konnte von einer analogen Belastungs-Beanspruchungsreaktion ausgegangen werden.

Auch beim Hypertrophietraining führte der definierte Trainingsreiz zu einer hohen metabolischen und kardiovaskulären Beanspruchung, und das Training wurde durchweg als anstrengend bis sehr anstrengend eingeschätzt. Im Laufe eines Trainings kam es zu einer Akkumu-

lation der Blutlaktatkonzentration mit mittleren Werten von $10,1 \pm 2,7$ ($7,4-15,6$) mmol^{-1} am Ende der Einheit. Die Ergebnisse decken sich mit den Befunden anderer Studien, die von ähnlich hohen Laktatkonzentrationen bei einem Krafttraining nach der Hypertrophiemethode berichten (Buskies, Boeckh-Behrens & Zieschang, 1996; Kraemer et al., 1987). Die im Verlauf einer Trainingseinheit gemessenen Herzfrequenzen waren nach den Übungen Zug vertikal und Beinpresse am höchsten und fielen zum Ende der Trainingseinheit nach den Übungen Beinstrecken und Beinbeugen geringfügig ab. Auch bei Buskies et al. (1996) führten Übungen für große Muskelgruppen (Zug vertikal, Beinpressen) zu höheren Frequenzanstiegen als Isolationsübungen (Beinbeugen). Die in den einzelnen Trainingseinheiten erreichten mittleren Herzfrequenzen lagen zwischen 65 ± 8 ($51-73$) % bis 68 ± 9 ($57-79$) % der individuellen HF_{max} und waren somit ebenfalls als potenziell herzkreislaufwirksam einzustufen (ACSM, 2011). Subjektiv wurde die vorgegebene Belastung im Verlauf der Trainingseinheit wiederum als anstrengend bis sehr anstrengend eingestuft. Auch beim intensitätsorientierten Krafttraining konnte durch die Art der Belastungsgestaltung eine für die Teilnehmer vergleichbare Beanspruchung gewährleistet werden.

5.2.2 Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit

Bei einer mittleren Effektstärke führte das Kraftausdauertraining in der Trainingsgruppe zu einer signifikanten Steigerung der maximalen Laufgeschwindigkeit und damit der Ausdauerleistungsfähigkeit. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit empirischen Befunden, wonach ein gesundheitsorientiertes Kraftausdauertraining in Zirkelform zu einer Verbesserung der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit beiträgt (Fleck, 1994; Fleck, 2003; Paoli et al., 2013; Stewart, 1989). Die diesbezügliche Trainingseffizienz scheint insbesondere von der Intensität, Dauer und Belastungsdichte abzuhängen und mit zunehmender Wiederholungszahl und abnehmender Pausenlänge bei moderaten Gewichtswiderständen zuzunehmen (Zimmermann, 2002, S. 103).

Die Methodik des Kraftausdauertrainings basierte auf dieser Belastungscharakteristik. Es wurden Serien mit hohen Wiederholungszahlen bei kurzen Pausen absolviert, die allerdings nicht bis zur muskulären Erschöpfung ausgeführt wurden (Buskies et al., 1996). Es konnten trainingswirksame Durchschnittsherzfrequenzen von >60 % der HF_{max} bei mittleren Trainingsintensitäten zwischen 61 ± 5 % und 71 ± 6 % der individuellen Maximalkraft erreicht werden. Insofern bestätigen die eigenen Befunde, dass ein gesundheitsorientiertes Kraftausdauertraining in der durchgeführten Form zu einer Verbesserung der Herz-Kreislauf-Leistungsfähigkeit beitragen kann. In der Waiting-Control-Gruppe zeigten sich von AT 1 zu AT 2 bei der deskriptiven Auswertung zwar geringfügige mittlere Steigerungen der maximalen Laufgeschwindigkeit. Bei einer mittleren Effektstärke waren diese allerdings statistisch

nicht signifikant, was in allererster Linie auf die geringe Anzahl an Probanden ($n=10$) zurückzuführen sein dürfte. Das intensitätsorientierte Krafttraining führte in der Hypertrophiegruppe im Mittel zu einer weiteren Steigerung der maximalen Laufgeschwindigkeit. Der erzielte Mehreffekt war tendenziell signifikant, der Gesamteffekt über das komplette Trainingsjahr hinweg war hoch signifikant (große Effektstärke). Beim Hypertrophietraining wurden durchschnittliche Trainingsherzfrequenzen von $65\pm 8\%$ bis $68\pm 9\%$ der HF_{\max} bei mittleren Trainingsintensitäten von $76\pm 7\%$ bis $84\pm 6\%$ der Maximalkraft erreicht.

Die Ergebnisse decken sich tendenziell mit Befunden, wonach intensive Kraftbelastungen zu einer Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit führen können (Frontera, Meredith, O'Reilly & Evans, 1990; Hagerman et al., 2000). Dem stehen Befunde entgegen, dass intensiven Kraftbelastungen die kardiovaskuläre Trainingswirksamkeit zu fehlen scheint (Zimmermann, 2002, S. 97), auch wenn Trainingsherzfrequenzen erreicht werden, die im Bereich eines intensiven Dauertrainings liegen (Hurley & Roth, 2000). Hiernach kann Krafttraining auch bei kurzen Belastungspausen nicht zu einer wesentlichen Steigerung der $VO_{2\max}$ über eine biologisch determinierte Variationsbreite hinaus beitragen (Hurley et al., 1984; Hurley & Roth, 2000). Die fehlende Herz-Kreislauf-Wirksamkeit wird damit erklärt, dass es bei intensiven Kraftbelastungen zu einer peripheren Widerstandserhöhung kommt und das Herz ein relativ kleines Blutvolumen bei einem verhältnismäßig hohen Blutdruck transportieren muss (Fleck & Kraemer, 2004, S. 115). Im Zuge einer Übungsserie kommt es zwar zu einer erhöhten Auswurfleistung des Herzens, welche jedoch im Unterschied zu einem aeroben Training hauptsächlich durch einen Anstieg der Herzfrequenz hervorgerufen wird und nicht mit einer Steigerung des Schlagvolumens einhergeht. Hinzu kommt, dass die höchsten Blutdruckwerte bei den letzten Wiederholungen kurz vor der Muskelererschöpfung erreicht werden, wodurch zugleich die Gefahr der Pressatmung steigt (MacDougall, Tuxen, Sale, Moroz & Sutton, 1985, S. 789). Die Zurückhaltung bei der Empfehlung von Krafttraining zur Prävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen wird vor allem mit der Blutdruckreaktion bei Kraftbelastungen und den damit verbundenen Risiken für kardiovaskuläre Komplikationen verbunden (Bjarnason-Wehrens et al., 2004, S. 359).

In der vorliegenden Studie wurden die Übungsserien sowohl beim Kraftausdauertraining als auch beim Hypertrophietraining nicht bis zur muskulären Ausbelastung ausgeführt, sondern zunächst auf 80 % des Mehrwiederholungsmaximums reduziert und erst im Trainingsverlauf progressiv gesteigert. Es ist davon auszugehen, dass durch diese Methodik Blutdruckspitzen vermieden werden konnten. Gerade ein Kraftausdauertraining mit moderaten Intensitäten und hohen Wiederholungszahlen scheint zu einer ähnlichen Reizantwort zu führen wie ein aerobes Ausdauertraining (Ratamess, 2008, S. 110). Ein dynamisches Kraftausdauertraining

scheint mit einer Steigerung der Herzfrequenz bei gleichzeitiger Erhöhung des Schlagvolumens einherzugehen und somit zu einer verstärkten Volumenarbeit des Herzens zu führen. Intraarteriell durchgeführte Blutdruckmessungen haben gezeigt, dass ein Kraftausdauertraining nur einen moderaten Anstieg der Blutdruckwerte hervorruft, vergleichbar mit Steigerungen, wie sie auch bei moderatem Ausdauertraining zu beobachten sind (Bjarnason-Wehrens et al., 2004). Allerdings zeigen die Ergebnisse von Buskies et al. (1996), dass auch ein Krafttraining, bei dem die Übungsserien nicht bis zur Erschöpfung ausgeführt werden, zu hohen systolischen Blutdruckwerten führen kann. Den eigenen Befunden zufolge kann über die beschriebene Trainingsmethodik eine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit erzielt werden. Bei Personen mit eingeschränkter Herz-Kreislauf-Funktion oder bei Hypertonikern sollten entsprechende Belastungen allerdings nur in Absprache mit einem Arzt appliziert werden (Bjarnason-Wehrens et al., 2004).

5.2.3 Veränderungen der Kraftleistungsfähigkeit

In der Kraftausdauergruppe führte das Training trotz geringer Effektstärken bei allen Testübungen zu einer signifikanten Steigerung der Maximalkraft. Die mittleren prozentualen Steigerungen beim 1-RM waren an der Brustpresse mit 25 % am höchsten und an der Beinpresse mit 16 % am geringsten. Die eigenen Befunde stimmen mit den Ergebnissen anderer Studien mit vergleichbarer Fragestellung überein, die ebenfalls signifikante Steigerungen der Maximalkraft aufzeigten (Campbell et al., 1994; Dionne et al., 2004; Fatouros et al., 2005; Kirk et al., 2009; Lemmer et al., 2001; Poehlman et al., 2002). Allerdings wird auch in Studien, die keine krafttrainingsbedingten Veränderungen des Ruheumsatzes und/oder anthropometrischer Parameter nachweisen konnten, über signifikante Steigerungen des 1-RM berichtet (Broeder et al., 1992; Dionne et al., 2004; Jennings et al., 2009).

Eine Studie von Buskies et al. (1996) über neun Wochen, bei der das 25-RM ermittelt und mit um 20 % reduzierter Wiederholungszahl trainiert wurde, führte bei männlichen und weiblichen Sportstudenten an der Beinpresse und der Brustpresse zu einer Maximalkraftsteigerung um jeweils etwa 10 %. Berücksichtigt man den deutlich kürzeren Untersuchungszeitraum und geht man davon aus, dass die Teilnehmer der vorliegenden Untersuchung untrainiert waren und daher von einem größeren adaptiven Potenzial ausgegangen werden muss, erscheinen die eigenen Befunde realistisch und plausibel. Auch ist davon auszugehen, dass die Vorbereitungsphase, die der eigentlichen Trainingsintervention vorgeschaltet war, die Zuverlässigkeit der Messergebnisse erhöht hat (ACSM, 2010; Logan et al., 2000). Bei den Teilnehmern der Waiting-Control-Gruppe kam es ebenfalls zu signifikanten Steigerungen der Maximalkraft zwischen 12 % und 22 %.

In der Hypertrophiegruppe kam es über das gesamte Trainingsjahr hinweg zu übungsabhängigen mittleren Steigerungen des 1-RM zwischen 27 % und 38 % (großer Effekt), wobei der Mehreffekt durch das intensitätsorientierte Training jeweils geringer ausfiel als die Steigerung in der Kraftausdauerphase.

Die in dieser Studie festgestellten Maximalkraftsteigerungen durch ein gerätegestütztes Krafttraining sind in der Literatur sowohl für Männer als auch für Frauen dokumentiert, weisen allerdings in unterschiedlichen Studien sehr hohe Variationsbreiten auf (Fleck & Kraemer, 2004, S. 22–26). Die zum Teil großen Differenzen im Ausmaß der Veränderungen sind unter anderem auf eine unterschiedliche Leistungsfähigkeit der Probanden zu Trainingsbeginn, die Gewöhnung an Testverfahren sowie die variierende Dauer und Art eines Trainings zurückzuführen (Fleck & Kraemer, 2004, S. 30). Generell scheinen höhere Intensitäten auch zu größeren Maximalkraftzuwächsen zu führen (Campos et al., 2002; Fatouros et al., 2005). In der vorliegenden Studie führte das Kraftausdauertraining gegenüber dem Training mit höherer Intensität zu größeren Steigerungen der Maximalkraft. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Probanden im zweiten Studienabschnitt nicht mehr untrainiert waren und somit auch von einem geringeren Adaptationspotenzial auszugehen war. Dies passt zu den Befunden einer aktuellen Metaanalyse von Fröhlich, Links und Pieter (2012), wonach untrainierte Probanden höhere Effektstärken aufweisen als trainierte und zu Beginn eines Trainings die höchsten Effekte erzielt werden. Insgesamt muss beim Vergleich der Befunde verschiedener Studien stets berücksichtigt werden, dass das Ausmaß der Veränderungen im 1-RM aufgrund einer in der Regel unterschiedlichen Geräte- und Übungssituation wie auch unterschiedlicher Trainingsregimes nicht direkt vergleichbar ist. Dies macht es auch schwierig Effektmaße zu standardisieren.

Wie beschrieben wurde die Kraftausdauer über das bei 20 Wiederholungen maximal zu bewältigende Gewicht ermittelt. Hier zeigten sich bei allen Übungen und mittleren Effektstärken signifikante Steigerungen zwischen 22 % und 29 %. In den einleitend beschriebenen Studien, die sich ebenfalls mit einer Veränderung des Ruheumsatzes und anthropometrischer Parameter durch Krafttraining beschäftigten, wurden keine vergleichbaren Ergebnisse berichtet. Bei Buskies et al. (1996) zeigten sich Zuwächse im Bereich der Kraftausdauer zwischen 52 % und 148 %, wobei diese allerdings über die maximale Wiederholungszahl bei einer Intensität von 80 % der Maximalkraft bestimmt wurde. Somit sind diese Ergebnisse mit den vorliegenden nicht direkt vergleichbar. Mit Steigerungen zwischen 21 % und 29 % war die Verbesserung der Kraftausdauer in der Waiting-Control-Gruppe von vergleichbarem Ausmaß.

Insgesamt bestätigen die Befunde, dass das definierte Belastungsgefüge dem Trainingsziel angemessen war und im Sinne einer Verbesserung der Ermüdungswiderstandsfähigkeit der Arbeitsmuskulatur gewirkt hat. Dies zeigte sich nicht zuletzt auch bei der pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast, welche in der Kraftausdauergruppe zwischen TW 6 und TW 24 im Mittel um 35 % und in der Waiting-Control-Gruppe um 33 % gesteigert werden konnte (jeweils großer Effekt).

Das Hypertrophietraining im zweiten Studienabschnitt führte bei allen Testübungen zu signifikanten Steigerungen im 10-RM. Somit kann festgestellt werden, dass der über 24 Wochen progressiv gesteigerte Belastungsreiz dem Trainingsziel angemessen war. Beim Vergleich der im Kraftausdauer- und im Hypertrophietraining pro Trainingseinheit bewältigten Gesamtlast zeigte sich zwar über den jeweiligen Trainingszeitraum betrachtet ein signifikanter Unterschied in Abhängigkeit von der Trainingsmethode. Stellt man jedoch die jeweils in der 24. Trainingswoche erzielten Ergebnisse gegenüber, so ist die pro Trainingseinheit bewältigte Gesamtlast beim Kraftausdauer- und Hypertrophietraining fast identisch. Geht man davon aus, dass die kardiovaskuläre Wirksamkeit eines Krafttrainings vor allem durch die Komponenten Intensität, Dauer und Dichte bestimmt wird, scheint aus gesundheitlicher Sicht ein Kraftausdauertraining mit hohen Wiederholungszahlen bei moderater Intensität und kurzen Pausenzeiten besonders wertvoll (Zimmermann, 2002, S. 103).

Die Trainingsintensität der Kraftausdauergruppe in Bezug zum 1-RM lag zu Studienbeginn übungsabhängig zwischen 61 % und 64 %. Somit wurde durchschnittlich etwas oberhalb der gängigen Empfehlungen von 40 % bis 60 % des 1-RM trainiert (ACSM, 2009; Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Schaut man sich die Spannen an, zeigten sich individuelle übungsabhängige Trainingsintensitäten zwischen 47 % und 82 % des 1-RM. Die Ergebnisse legen nahe, dass es für die Individualisierung von Krafttrainingsempfehlungen von großer Bedeutung ist, die Intensität über das Mehrwiederholungsmaximum für jede Übung gesondert zu ermitteln (Fleck & Kraemer, 2004, S. 168). Nur so kann eine für das Trainingsziel individuell geeignete Trainingsintensität festgelegt werden (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999, S. 8). Für die Trainingsplanung ergeben sich somit Parallelen zu einem Ausdauertraining, wonach individuelle Trainingsempfehlungen ebenfalls nicht anhand von Faustformeln, sondern über geeignete leistungsdiagnostische Verfahren festgelegt werden sollten (Meyer, Gabriel & Kindermann, 1999; Scharhag-Rosenberger et al., 2010). Die kategorische Ableitung submaximaler Trainingsintensitäten auf Grundlage des 1-RM scheint zur Schaffung einer interindividuell vergleichbaren Belastungs-Beanspruchungskonfiguration ungeeignet (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999; Hoeger et al., 1990; Marschall & Fröhlich, 1999; Shimano et al., 2006).

Das Kraftausdauertraining hat dazu geführt, dass am Ende der Trainingsphase 20 Wiederholungen im Mittel bei einem höheren Prozentsatz des 1-RM absolviert werden konnten. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass bei der zu Beginn im 20-RM ermittelten Trainingsintensität nach der halbjährigen Intervention mehr als 20 Wiederholungen hätten ausgeführt werden können, was mit den Befunden von Campos et al. (2002) übereinstimmt. Die Ergebnisse der Waiting-Control-Gruppe bestätigen die diskutierten Befunde. Auch hier lagen die mittleren Trainingsintensitäten in Bezug zum 1-RM zu Studienbeginn etwas oberhalb der gängigen Empfehlungen und im Mittel konnten die festgelegten 20 Wiederholungen am Ende der Intervention bei einem höheren Prozentsatz der Maximalkraft absolviert werden.

Zu Beginn der Hypertrophiephase lag die mittlere Trainingsintensität übungsabhängig zwischen 77 % und 81 % des 1-RM und damit im Bereich der gängigen Empfehlungen (ACSM, 2009; Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Auch hier zeigten sich deutliche individuelle Spannen in der Trainingsintensität zwischen 61 % und 89 % des 1-RM. Es bleibt bei der Feststellung, dass pauschale Vorgaben auf Grundlage des 1-RM kritisch zu sehen sind und die individuell geeignete Trainingsintensität über das Mehrwiederholungsmaximum ermittelt werden sollte (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999; Hoeger et al., 1990; Marschall & Fröhlich, 1999; Shimano et al., 2006). Die durchschnittliche prozentuale Trainingsintensität in Bezug zum 1-RM von Beginn bis zum Ende der Hypertrophiephase blieb mit Ausnahme der Übung Beinpresse nahezu unverändert. Die Erklärung hierfür ist vermutlich in der gestiegenen Trainingserfahrung und den dadurch reduzierten Adaptationspotenzialen zu suchen.

5.3 Veränderung von Ruheumsatz und anthropometrischen Daten

5.3.1 Präventives Krafttraining und Ruheumsatz

Bei einer mittleren Effektstärke führte das individuell und progressiv gesteuerte Kraftausdauertraining über 24 Wochen bei der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe zu einer signifikanten Steigerung des absoluten Ruheumsatzes. Auch in Bezug zum Körpergewicht und zur fettfreien Körpermasse stieg der Ruheumsatz signifikant an (jeweils mittlerer Effekt). Die Daten der vorliegenden Studie zeigen, dass ein regelmäßiges gesundheitsorientiertes Kraftausdauertraining eine geeignete Trainingsform ist, um bei gesunden untrainierten Erwachsenen im Alter von 30 bis 60 Jahren den Ruheumsatz dauerhaft zu erhöhen.

Ein krafttrainingsinduzierter Anstieg des Ruheumsatzes wurde in vorherigen Studien zum einen als akute Antwort auf einen Trainingsreiz (Hackney et al., 2008; Heden et al., 2011; Paoli et al., 2012; Schuenke et al., 2002) und zum anderen als darüber hinaus gehende

dauerhafte Erhöhung (Byrne & Wilmore, 2001; Campbell et al., 1994; Dionne et al., 2004; Fatouros et al., 2005; Hunter & Wetzstein et al., 2000; Kirk et al., 2009; Lemmer et al., 2001; Poehlman et al., 2002; Pratley et al., 1994) nachgewiesen. Demgegenüber stehen Studien, die keine entsprechenden Effekte nachweisen konnten (Broeder et al., 1992; Delecluse et al., 2004; Dionne et al., 2004; Geliebter et al., 1997; Jennings et al., 2009; Sale et al., 1995; Stensvold et al., 2010; Taaffe et al., 1995). Die akute Ruheumsatzerhöhung um bis zu 72 Stunden (Hackney et al., 2008; Heden et al., 2011) scheint insbesondere vom Belastungsgefüge eines Krafttrainings abhängig zu sein. Ein gesteigertes Interesse wurde in der Vergangenheit einem hochintensiven Krafttraining gewidmet (Hackney et al., 2008; Heden et al., 2011; Paoli et al., 2012; Schuenke et al., 2002). Demnach scheinen hohe Intensitäten in Bezug zum 1-RM und somit hohe äußere Widerstände bei einer geringen Anzahl an Wiederholungen den Ruheumsatz stärker zu erhöhen (Paoli et al., 2012). Wenngleich derartige Trainingsvorgaben geeignet sind, deutliche Ruheumsatzsteigerungen zu erzeugen, sind sie aus gesundheitlicher Sicht für Trainingsanfänger eher kritisch zu betrachten (Hackney et al., 2008, S. 1609). Bislang mangelte es an Studien, die sich mit den Auswirkungen eines gesundheitssportlichen Krafttrainings auseinandersetzen (Paoli et al., 2012). Mit der vorliegenden Studie konnte eine wichtige Datengrundlage für die Steigerung des Ruheumsatzes durch ein im Gesundheitssport häufig empfohlenes Kraftausdauertraining mit hohen Wiederholungszahlen und moderaten Intensitäten geliefert werden.

Studienbefunde, denen zufolge eine Ruheumsatzerhöhung im Anschluss an ein hochintensives Krafttraining bis zu 72 Stunden lang nachweisbar ist (Hackney et al., 2008; Heden et al., 2011), lassen die Grenzen einer Unterscheidung zwischen akuten und dauerhaften Effekten verwischen. Es scheint offensichtlich, dass eine einzelne Krafttrainingseinheit nicht zu einer dauerhaften Erhöhung des Ruheumsatzes führen kann, sondern hierfür im Sinne des sportlichen Handelns eine regelmäßige Reizsetzung erforderlich ist. Hält der Effekt der Stoffwechsellagerhöhung über drei Tage hinweg an und geht man davon, dass aus trainingswissenschaftlicher Sicht spätestens dann der nächste Trainingsreiz zu setzen wäre, ist eine Differenzierung in akute und chronische Effekte für die Trainingspraxis weniger bedeutsam. Andererseits sind gerade im Bereich des Gesundheitssports Trainingspausen von mehr als drei Tagen keine Seltenheit. Wie lange der Effekt der Ruheumsatzerhöhung im Anschluss an ein Krafttraining erhalten bleibt, kann mit den vorliegenden Daten nicht beantwortet werden und sollte in zukünftigen Studien weiter untersucht werden. Um allerdings einen lediglich belastungsinduzierten Energiemehrverbrauch unmittelbar im Anschluss an ein Kraftausdauertraining ausschließen zu können, wurde in dieser Studie auf einen ausreichenden Abstand von der letzten Trainingseinheit zur Ruheumsatzmessung geachtet, welcher mindestens 48 Stunden und im Mittel mehr als vier Tage betrug. Hierbei zeigte sich zwischen der Verände-

rung des Ruheumsatzes und dem zeitlichen Abstand der zuletzt durchgeführten Trainingseinheit zur Ruheumsatzmessung kein Zusammenhang.

Dauerhafte Steigerungen des Ruheumsatzes durch Krafttraining konnten in bisherigen Studien meist dann ermittelt werden, wenn das Training mit höherer Intensität und geringerer Wiederholungszahl als in diesem Fall durchgeführt wurde (Campbell et al., 1994; Dionne et al., 2004; Fatouros et al., 2005; Kirk et al., 2009; Pratley et al., 1994). Diese Untersuchungen stützen die These, dass hochintensives Krafttraining zu einer stärkeren Erhöhung des Ruheumsatzes führt. Die Beanspruchung in einem Krafttraining kann jedoch nicht nur über die Höhe der applizierten äußeren Last, sondern auch über die Dauer der Reizeinwirkung (Anzahl der Wiederholungen) gesteuert werden. Aufgrund der bisherigen Studienlage war es nicht möglich, eine erforderliche Reizschwelle für eine krafttrainingsinduzierte Erhöhung des Ruheumsatzes abzuleiten. Mit der durchgeführten Untersuchung konnte nachgewiesen werden, dass ein gesundheitsorientiertes Kraftausdauertraining mit einer über das 20-RM progressiv gesteuerten Trainingsintensität geeignet ist, den Ruheumsatz bei bislang untrainierten Erwachsenen signifikant zu steigern. Wie gezeigt wurde, hat das Training zu einer hohen Beanspruchung des anaerob laktaziden Stoffwechsels und somit zu einer metabolischen Reizreaktion geführt, wie sie beispielsweise auch bei einem Ausdauertraining nach der Intervallmethode zu erwarten ist. Dies passt zu Befunden, die auch für intensive Laufbelastungen eine Erhöhung des Ruheumsatzes nachweisen konnten (Laforgia et al., 1997).

Widersprüchliche Ergebnisse lieferten bisherige Untersuchungen hinsichtlich einer Veränderung des Ruheumsatzes in Abhängigkeit von Alter (Broeder et al., 1992; Byrne & Wilmore, 2001; Dionne et al., 2004; Fatouros et al., 2005; Kirk et al., 2009; Lemmer et al., 2001; Poehlman et al., 2002; Taaffe et al., 1995) und Geschlecht (Byrne & Wilmore, 2001; Dionne et al., 2004; Hunter & Wetzstein et al., 2000; Lemmer et al., 2001; Pratley et al., 1994; Sale et al., 1995; Taaffe et al., 1995). In der durchgeführten Studie war die interventionsbedingte Veränderung des Ruheumsatzes auch nach Kontrolle der Kovariablen Ausgangsniveau, Alter und Geschlecht weiterhin signifikant. Es kann daher geschlussfolgert werden, dass das präventive Kraftausdauertraining sowohl bei Männern als auch bei Frauen und unabhängig vom Alter zu einer Erhöhung des Ruheumsatzes geführt hat. Die Frauen konnten im Mittel sogar etwas stärker profitieren. Die eigenen Ergebnisse passen zu Befunden von Hunter und Wetzstein et al. (2000), die sowohl bei älteren Männern als auch bei älteren Frauen eine Ruheumsatzerhöhung durch Krafttraining ohne geschlechtsspezifische Unterschiede nachweisen konnten. Diese Studie wurde allerdings mit lediglich kleiner Probandenzahl (♀: n=7, ♂: n=8) und ohne eine Kontrollgruppe durchgeführt.

Im Gegensatz dazu konnten Dionne et al. (2004) nur für jüngere ($n=19$), nicht aber für ältere Frauen ($n=12$) eine Ruheumsatzerhöhung und somit einen altersspezifischen Effekt nachweisen. Bei Lemmer et al. (2001) zeigte sich sowohl bei jüngeren ($n=10$) als auch bei älteren Männern ($n=10$) ein signifikanter Anstieg des Ruheumsatzes im Anschluss an ein 24-wöchiges Krafttraining, während weder bei den jüngeren Frauen ($n=9$) noch bei älteren ($n=10$) eine Veränderung festgestellt werden konnte. Einschränkend muss bei beiden Studien festgestellt werden, dass die Untersuchungen ohne Kontrollgruppe durchgeführt wurden. Weitere Studien wurden entweder mit Frauen oder mit Männern unterschiedlicher Altersgruppen durchgeführt. Bei Byrne und Wilmore (2001) führte ein Krafttraining mit moderat übergewichtigen, bei Poehlman et al. (2002) mit normalgewichtigen prämenopausalen Frauen zu signifikanten Veränderungen des Ruheumsatzes. Fatouros et al. (2005) konnten zeigen, dass verschiedene Krafttrainingsregimes mit zuvor inaktiven Männern im Alter von 65 bis 78 Jahren jeweils zu signifikanten Ruheumsatzsteigerungen führten, wobei ein intensiveres Krafttraining größere Effekte zur Folge hatte.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bislang keine Studie bekannt ist, die die Effekte eines gesundheitssportlichen Krafttrainings auf den Ruheumsatz in einer kontrollierten Trainingsstudie mit einem gemischtgeschlechtlichen Untersuchungskollektiv bei einer vergleichbar hohen Probandenzahl und entsprechender Trainingsdauer überprüft hat. Die vorliegende Untersuchung liefert somit eine wichtige Datenbasis, dass ein definierter Kraftausdauerreiz als geeigneter Stimulus für eine Stoffwechselerhöhung bei untrainierten Erwachsenen anzusehen ist. Wenngleich die Auswertung der Waiting-Control-Gruppe nur acht Probanden umfasste und hierfür keine Kontrolldaten vorlagen, konnten die Befunde der Hauptstudie untermauert werden. Während von Studienbeginn bis zum Ende der Kontrollphase der Ruheumsatz nahezu unverändert blieb, kam es auch hier nach dem Kraftausdauertraining zu einem signifikanten Anstieg des absoluten und relativen Ruheumsatzes. In der Hypertrophiegruppe kam es im Zeitverlauf zu einer weiteren Steigerung des mittleren Ruheumsatzes um $118 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$, allerdings war der Mehreffekt von AT 1 zu AT 2 nicht mehr signifikant. Bei Betrachtung der deskriptiven Daten zeigte sich zwar, dass 12 der 17 einbezogenen Probanden mit einer weiteren Erhöhung des Ruheumsatzes reagierten, bei allerdings großen Veränderungsspannen. Die Frage, ob für entsprechende Mehreffekte ein intensitätsorientiertes Krafttraining verantwortlich war oder diese auch durch ein weitergeführtes Kraftausdauertraining zu erreichen gewesen wären, lässt sich nicht beantworten, da für diesen Studienabschnitt keine Kontrolldaten zur Verfügung standen.

5.3.2 Präventives Krafttraining und anthropometrische Daten

Das Kraftausdauertraining im ersten Studienabschnitt führte weder beim Körpergewicht noch beim BMI zu bedeutsamen Veränderungen. Zwar kam es in der Interventionsgruppe im Mittel zu einer leichten Reduktion von Körpergewicht und BMI, jedoch waren die Ergebnisse im Vergleich zur Kontrollgruppe nicht signifikant. Bei den Probanden der Hypertrophiegruppe konnten über das komplette Trainingsjahr hinweg keinerlei Veränderungen bei Körpergewicht und BMI festgestellt werden. In der Waiting-Control-Gruppe kam es sowohl während der Kontrollphase als auch im Verlauf des Kraftausdauertrainings zu einem leichten mittleren Anstieg bei Körpergewicht und BMI, wobei die Veränderungen zwischen den Messzeitpunkten jeweils nicht signifikant waren.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung stimmen mit Befunden überein, wonach der Gewichtsverlust durch alleiniges Krafttraining in der Regel weniger als ein Kilogramm ausmacht (Dishman et al., 2013, S. 230). Da es sich beim ausgewählten Probandenkollektiv um gesunde Erwachsene mit einem BMI im oberen Normbereich des Normalgewichts handelte, können die Ergebnisse auch im Sinne einer gesundheitspositiven Körpergewichtsstabilisation diskutiert werden. Der erzielte Energieverbrauch war zwar nicht ausreichend, um das Körpergewicht signifikant zu reduzieren (Alexander, 2002), allerdings konnte eine Gewichtszunahme verhindert werden, was wiederum als wesentliche Zielsetzung eines präventiven Krafttrainings angesehen werden kann. Die Überprüfung der Ernährungsgewohnheiten im ersten Studienabschnitt ergab, dass die mittlere Kalorienaufnahme pro Tag in der Kraftausdauergruppe mit $+130 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$ vergleichsweise stärker anstieg als in der Kontrollgruppe mit $+50 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$. Dies stimmt tendenziell mit den Ergebnissen anderer Studien überein, wonach ein Training zu einer kompensatorischen Steigerung der Kalorienaufnahme führen kann (Blundell et al., 2003; Martins et al., 2007). Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen zeigte sich jedoch nicht. Der Grund hierfür ist nicht zuletzt in den extremen Veränderungsspannen bei der Kalorienaufnahme zu suchen.

Dass ausbleibende Effekte bei Körpergewicht und BMI auf eine Zunahme an Muskelmasse sowie eine Reduktion von Körperfett zurückzuführen sind (Fleck & Kraemer, 2004, S. 91), konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden. Bei der 10 Punkt-Kalipermetrie waren die Veränderungen des Körperfettanteils nicht signifikant. Während in der Interventionsgruppe eine minimale mittlere Reduktion gemessen werden konnte, blieben in der Kontrollgruppe die Werte nahezu gleich. Ein interventionsbedingter Effekt war nicht nachzuweisen. Auch bei den B.I.A.-Messungen konnten im Kontrollgruppenvergleich keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden, wenngleich die mittlere Körperfettreduktion in der Kraftausdauergruppe etwas deutlicher war.

Die fettfreie Körpermasse bzw. Body-Cell-Mass nahmen sowohl in der Interventions- als auch in der Kontrollgruppe im Mittel leicht zu, wobei sich keine signifikanten Interaktionseffekte zeigten. Letztlich konnten auch bei der WHR keine trainingsbedingten Gruppenunterschiede verifiziert werden. Gestützt werden diese Daten durch die Auswertungen der Waiting-Control-Gruppe. Hier ergaben sich ebenso keine nennenswerten Veränderungen bei Körperfett und fettfreier Körpermasse. Die eigenen Auswertungen decken sich mit verschiedenen Befunden der einleitend angeführten Studien, die über ausbleibende Veränderungen der Körperkomposition berichten (Glowacki et al., 2004; Jennings et al., 2009; Olson et al., 2007; Taaffe et al., 1995; Willis et al., 2012).

Die Ergebnisse stehen jedoch auch im Widerspruch zu Studien, die eine Körperfettreduktion sowie einen Anstieg der fettfreien Körpermasse nachweisen konnten (Hunter & Bryan et al., 2002; Ibanez et al., 2005; Lemmer et al., 2001; Schmitz et al., 2003; Sillanpää et al., 2008; Sillanpää et al., 2009).

Trotz einer vergleichsweise hohen Probandenzahl und des Einsatzes unterschiedlicher Verfahren unter standardisierten Messbedingungen sprechen die Daten dagegen, dass über ein gesundheitssportliches Krafttraining messbare Veränderungen der Körperkomposition zu erreichen sind. Die Gründe für fehlende Effekte könnten in der Sensibilität der eingesetzten Messmethoden zu suchen sein. Die Erfassung der Hautfaltendicke per Kalipermetrie gilt zwar als einfache und ausreichend genaue Methode zur Erfassung zur Körperfettbestimmung bei Sportlern (Herm, 2003), die Aussagekraft bei Normalpersonen und insbesondere bei Übergewichtigen scheint allerdings eingeschränkt (Duren et al., 2008, S. 1140). Åstrand, Rodahl, Dahl und Strømme (2003) berichten von Messfehlern im Bereich von 3 bis 4 % beim Körperfettanteil bzw. 2,5 bis 3,5 kg der so ermittelten fettfreien Körpermasse. Die bioelektrische Impedanzanalyse wird als unabhängig vom Untersucher und geeignet zur Darstellung von Gruppenunterschieden eingestuft. Um allerdings interventionsbedingte Veränderungen von kleinerem Ausmaß abzubilden, scheint sie nicht sensibel genug (Duren et al., 2008, S. 1141). Kleinere trainingsbedingte Veränderungen in der Körperkomposition lassen sich vermutlich nur über Methoden mit höchster Messgenauigkeit, wie z. B. die Hydrodensitometrie (Duren et al., 2008, S. 1142) oder röntgenologische Verfahren (Dual-Energy X-ray Absorptiometrie) abbilden (Sillanpää et al., 2008). Diese sind allerdings mit einem hohen methodischen Aufwand sowie hohen Kosten verbunden (Herm, 2003). Zudem sind radiologische Methoden wegen der Strahlenbelastung aus ethischen Gründen in Deutschland kaum einsetzbar. Für die vorliegende Studie wurden diese daher a priori ausgeschlossen.

In der vorliegenden Studie sollten die isolierten Effekte eines Krafttrainings innerhalb des ersten Trainingsjahres untersucht werden. Alle sonstigen Lebens- und Ernährungsgewohn-

heiten sollten unverändert beibehalten werden. Der vorgegebene Trainingsumfang entsprach zwar gängigen Empfehlungen (ACSM, 2009, 2011), eine Veränderung der Körperkomposition im Sinne einer Zunahme von Muskelmasse bei gleichzeitiger Reduktion von Körperfett konnte jedoch nicht gemessen werden. Hierzu bleibt festzustellen, dass ein Krafttraining aufgrund des dafür notwendigen Energiebedarfs nicht initial strukturaufbauend sein kann, sondern zunächst zu einem Energiedefizit und somit zu einer katabolen Stoffwechsellage führt. Studien, die den Proteinabbau nach einem Krafttraining gemessen haben, legen nahe, dass dieser im Anschluss an das Training erhöht ist und daher eine negative Proteinbilanz vorliegt (Phillips, 2004, S. 690).

Für tatsächliche muskuläre Aufbauprozesse scheint allerdings eine positive Energiebilanz im Anschluss an das Training der ausschlaggebende Faktor zu sein. Einen geringeren Beitrag scheint diesbezüglich die trainingsinduzierte Stimulation der Proteinsynthese zu leisten (Phillips, 2004, S. 690). Aus dem Kraftsport ist bekannt, dass zur Unterstützung des Aufbaus von Muskelmasse für einen Athleten mit stabilem Körpergewicht eine Erhöhung der täglichen Kalorienzufuhr im Sinne eines Energieüberschusses erforderlich ist (Tarnopolsky, 2010, S. 87). Es muss daher kritisch hinterfragt werden, ob die im präventiven Krafttraining häufig genannte Zielsetzung einer Gewichtsreduktion bei gleichzeitiger Zunahme an Muskelmasse und Reduktion von Körperfett realistisch zu erreichen ist. Gerade bei einem Energiedefizit wird neben Fett- auch Muskelgewebe abgebaut (Cox, Burke, Morton, Beilin & Puddey, 2003; Zachwieja et al., 2001). Krafttraining kann hierzu auch in Phasen einer negativen Energiebilanz einen Gegenreiz setzen und den Verlust an Muskelmasse abmildern bzw. ihm vorbeugen (Cox et al., 2003; Hunter et al., 2008; Kraemer et al., 1999). Insofern sollte ein präventives Krafttraining mit dem Ziel der Gewichtsstabilisation bzw. -reduktion bei gesunden Erwachsenen vielmehr unter dem Aspekt des langfristigen Erhalts von Muskelmasse betrachtet werden. Geht man davon aus, dass sich die Muskelmasse ab einem Alter von 30 Jahren jährlich um 3 bis 8 % pro Dekade verringert, bedeutet dies einen durchschnittlichen Verlust an Magermasse von 0,2 kg pro Jahr (Flack et al., 2011; Frontera et al., 2000). Ab 50 Jahren schreiten die Abbauprozesse mit bis zu 10 % pro Lebensjahrzehnt noch schneller voran (Marcell, 2003; Nelson et al., 1994).

Langfristig scheint ein präventives Krafttraining das Potenzial zu haben, eine Gewichtszunahme zu verhindern bzw. hinauszuzögern sowie eine wünschenswerte Veränderung der Körperkomposition zu unterstützen (Bea et al., 2010). Betrachtet man die Daten der Hypertrophiegruppe über das gesamte Trainingsjahr hinweg, kann diese Schlussfolgerung auch vorsichtig für die vorliegende Studie gezogen werden. Während es beim Körpergewicht und beim BMI keine Veränderungen gab, konnte bei der Kalipermetrie nach dem zweiten

Studienabschnitt eine signifikante Reduktion des Körperfettanteils und eine Zunahme der fettfreien Körpermasse gemessen werden. Die Zunahme der per B.I.A. ermittelten Body-Cell-Mass war tendenziell signifikant und beim Oberschenkelumfang zeigten sich beidseits signifikante Steigerungen.

5.3.3 Mögliche Wirkmechanismen

In der durchgeführten Studie konnte nachgewiesen werden, dass ein gesundheitssportliches Krafttraining den Ruheumsatz beträchtlich steigern kann, was aus präventiver Sicht als wichtiger Effekt für eine langfristige Gewichtsstabilisation im Erwachsenenalter angesehen werden kann.

Aus der Literatur geht hervor, dass zwischen dem absoluten Körpergewicht und dem Ruheumsatz ein direkter Zusammenhang besteht (Wolfe, 2006, S. 477). Im Laufe der Intervention blieb das Körpergewicht weitgehend unverändert, so dass für die Ruheumsatzsteigerung andere Mechanismen verantwortlich sein müssen.

Meist werden krafttrainingsbedingte Veränderungen des Ruheumsatzes mit einer Zunahme an Muskelmasse begründet (Speakman & Selman, 2003; Treserras & Balady, 2009). Dies steht jedoch im Widerspruch zu den eigenen Ergebnissen. Ein genauerer Blick auf die Datenlage zeigt differierende Befunde zu den Zusammenhängen einer Muskelmassenzunahme und einer Ruheumsatzsteigerung durch Krafttraining. Verschiedene Studien konnten entweder eine gleichzeitige Steigerung der fettfreien Körpermasse und des Ruheumsatzes (Byrne & Wilmore, 2001; Dionne et al., 2004; Kirk et al., 2009; Poehlman et al., 2002; Pratley et al., 1994) oder keinerlei Veränderungen beider Parameter messen (Jennings et al., 2009; Sale et al., 1995; Taaffe et al., 1995). Byrne und Wilmore (2001) konnten eine krafttrainingsbedingte Erhöhung des absoluten Ruheumsatzes um 44 kcal^{-1} und eine Zunahme an fettfreier Körpermasse ermitteln. Der prozentuale Körperfettanteil veränderte sich nicht und die Probanden nahmen an Gewicht zu. Die Steigerung des relativen Ruheumsatzes in Bezug zur fettfreien Körpermasse war nicht signifikant (Byrne & Wilmore, 2001). Eine Studie von Broeder et al. (1992) zeigte, dass ein krafttrainingsinduzierter Anstieg der fettfreien Körpermasse und eine Reduktion des prozentualen Körperfettanteils bei gleichem Körpergewicht nicht zwangsläufig mit einer Erhöhung des Ruheumsatzes einhergehen muss (Broeder et al., 1992).

Die vorliegenden Ergebnisse legen nahe, dass ein krafttrainingsinduzierter Anstieg des Ruheumsatzes nicht primär über Veränderungen der fettfreien Körpermasse zu erklären ist. Geht man davon aus, dass die Zunahme von einem Kilogramm Muskelmasse theoretisch

höhere Energieanforderungen von etwa $21 \text{ kcal}\cdot\text{d}^{-1}$ zur Folge hat (Weinsier et al., 1992, S. 792), wäre für die in der durchgeführten Studie aufgezeigte Ruheumsatzerhöhung eine Steigerung der fettfreien Körpermasse von ca. acht Kilogramm notwendig gewesen, was als unrealistisch einzustufen ist. Die eigenen Befunde stützen die Theorie, wonach die Steigerung des Ruheumsatzes durch Krafttraining primär auf eine gesteigerte metabolische Aktivität zurückzuführen ist und nicht auf eine Zunahme der Muskelmasse (Campbell et al., 1994; Pratley et al., 1994). Bei anderen Autoren wird die Stoffwechselsteigerung mit der gesteigerten Proteinsynthese im Anschluss an ein Krafttraining begründet (MacDougall et al., 1995). Der konkrete Mechanismus, der in der durchgeführten Untersuchung zu einer Erhöhung des Ruheumsatzes geführt hat, kann anhand der erhobenen Daten nicht abschließend geklärt werden.

Es ergibt Sinn, die Thematik zusätzlich aus dem Blickwinkel des Risikofaktors körperliche Inaktivität zu diskutieren. Aufgrund von Bewegungsmangel und mit zunehmendem Alter ist von einer Verringerung der metabolischen Aktivität der Muskulatur und einer Senkung des Ruheumsatzes auszugehen (McArdle et al., 2001, S. 189). Diese können durch den altersbedingten Verlust an Muskelmasse nicht vollständig erklärt werden (Frisard et al., 2007). Körperliche Inaktivität erhöht somit die Wahrscheinlichkeit einer latenten Gewichtszunahme im Altersgang (Ravussin et al., 1988). Obwohl keine direkte gewichtsreduzierende Wirkung nachgewiesen werden konnte und trotz des relativ geringen belastungsinduzierten Energieverbrauchs (Alexander, 2002), führte das progressiv gesteuerte Krafttraining zu einer dauerhaften Stoffwechselsteigerung unabhängig von Alter und Geschlecht und ist damit als wichtige Gesundheitsressource anzusehen.

5.4 Veränderungen weiterer Gesundheitsindikatoren

Wenngleich ein Krafttraining zur Beeinflussung kardiovaskulärer Risikofaktoren zunehmend befürwortet wird (Bjarnason-Wehrens et al., 2004; Treserras & Balady, 2009; Westcott, 2012), ist die gegenwärtige Evidenzlage zu den erzielbaren Effekten insgesamt unzureichend (Hurley et al., 2011). In Abhängigkeit von der Trainingsmethode sind unterschiedliche Reizreaktionen zu erwarten (Baechle & Earle, 2008), und ein hoher gesundheitlicher Nutzen ist am ehesten durch ein Krafttraining mit hohen Wiederholungszahlen bei moderater Intensität zu erwarten (Zimmermann, 2002).

Längsschnittuntersuchungen berichten teilweise über keine Veränderungen der Ruherzfrequenz durch Krafttraining, teilweise aber auch über signifikante Abnahmen in einem Ausmaß von 4 bis 13 % (Fleck, 2003, S. 388) und bei zuvor Untrainierten über ähnliche Anpassungen

wie bei einem Ausdauertraining (Brown & Brechue, 2001, S. 47). Die mittlere HF_{Ruhe} sank sowohl in der Kraftausdauer- (-9 %) als auch in der Kontrollgruppe (-5 %), und es zeigte sich kein signifikanter Gruppenunterschied. Die Abnahme der Ruheherzfrequenz darf daher nicht interventionsbedingt erklärt werden und ist vermutlich primär als Gewöhnungseffekt an die Untersuchungsprozedur zu deuten (Wilmore et al., 1996).

Beim Ruheblutdruck konnten in der Kraftausdauergruppe sowohl systolisch als auch diastolisch leichte mittlere Abnahmen in ähnlichem Ausmaß gemessen werden, wie es auch in den Metaanalysen von Kelley und Kelley (2000) sowie von Fagard und Cornelissen (2007) berichtet wird und zur Risikoreduktion für kardiovaskuläre Erkrankungen von Relevanz zu sein scheint. Die Werte der Kontrollgruppe blieben nahezu unverändert. Wenngleich auch geringfügige Blutdrucksenkungen grundsätzlich erstrebenswert sind (Chobanian et al., 2003), konnte kein signifikanter Gruppenunterschied verifiziert werden. Eine interventionsbedingte Veränderung des Ruheblutdrucks war somit nicht nachweisbar. Der Grund hierfür könnte im Probandenkollektiv zu suchen sein, welches im Mittel als normoton einzustufen war. Bei höheren Ausgangswerten hätten sich vermutlich eindeutigere Ergebnisse erzielen lassen, da die blutdrucksenkende Wirkung eines Trainings bei hypertonen Probanden ausgeprägter ist als bei normotonen. Bei Normotonikern liegt der Trainingseffekt eher in der Vorbeugung eines Bluthochdrucks, was aus präventiver Sicht eine wesentliche Zielsetzung darstellt (Fagard & Cornelissen, 2007, S. 15).

Eine kardioprotektive Wirkung von Krafttraining durch Senkung der Cholesterinwerte konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden. Den Leitlinien der European Society of Cardiology zufolge (Perk et al., 2012) waren die Ausgangswerte für das Gesamtcholesterin sowohl in der Kraftausdauer- als auch in der Kontrollgruppe leicht erhöht und veränderten sich im Laufe der Interventions- bzw. Kontrollphase nicht nennenswert. Dies stimmt mit Literaturbefunden überein, wonach die meisten Studien, die die isolierten Effekte eines Krafttrainings untersuchten, ebenfalls keine signifikanten Änderungen feststellen konnten (Braith & Stewart, 2006; Hurley et al., 2011; Hurley & Roth, 2000; Williams et al., 2007). Die Vermutung, dass sich Kraftbelastungen im submaximalen Bereich mit einem höheren Belastungsumfang und höherer Belastungsdichte eher positiv auf den Fettstoffwechsel auswirken (Zimmermann, 2002, S. 119), kann insofern mit den eigenen Ergebnissen nicht gestützt werden. Weder das Kraftausdauertraining in Zirkelform noch das Hypertrophietraining konnten zu einer Verbesserung des Lipidprofils bei leicht erhöhten Ausgangswerten beitragen.

Die Studienlage legt nahe, dass Krafttraining eine geeignete Methode zur Verbesserung der Insulinsensitivität bei Personen mit gestörter Glukosetoleranz darstellt (Black et al., 2010) und zu einer verbesserten Insulinwirkung führt (Colberg et al., 2010, S. 2286). In der vorlie-

genden Untersuchung blieben die Glukosewerte im Serum sowohl in der Interventions- als auch in der Kontrollgruppe zu allen Messzeitpunkten nahezu unverändert. Eine Erklärung hierfür bildet erneut die Tatsache, dass die mittleren Ausgangswerte der Studienteilnehmer im Normbereich waren. Die Potenziale eines gesundheitssportlichen Krafttrainings sind vermutlich eher dahingehend zu suchen, dass Störungen im Glukosestoffwechsel positiv beeinflusst und erhöhte Blutzuckerspiegel normalisiert werden können. Um die Frage des Beitrags eines Krafttrainings zur Blutzuckersenkung beantworten zu können, hätten daher Probanden mit einem eindeutigeren Risikoprofil, das heißt mit einer gestörten Glukosetoleranz, ausgewählt werden müssen.

5.5 Methodenkritik

In der vorliegenden Studie wurden die Effekte eines präventiven Krafttrainings auf den Ruheumsatz anthropometrische Daten sowie ausgewählte Gesundheitsparameter untersucht. Als Probandenkollektiv dienten gesunde untrainierte Erwachsene im Alter zwischen 30 und 60 Jahren. In Bezug auf die übergeordnete Fragestellung kann für den Bereich des Gesundheitssports von einer hohen Stichprobenrepräsentanz ausgegangen werden. Das Kontrollgruppendesign mit stratifiziert randomisierter Gruppenzuweisung unter Berücksichtigung von aerober Kapazität und Geschlecht kann als valide Grundlage angesehen werden, um die ermittelten Effekte eines gesundheitssportlichen Krafttrainings auf Feldbedingungen zu übertragen. Die gelungene Randomisierung zeigte sich nicht zuletzt in den vergleichbaren Probandendaten von Interventions- und Kontrollgruppe zu Studienbeginn. Mit jeweils 37 Probanden in der Interventions- und Kontrollgruppe konnte eine vergleichsweise hohe Probandenzahl in die Auswertung einbezogen werden. Andere Studien, die sich ebenfalls mit dem Einfluss eines Krafttrainings auf den Ruheumsatz und/oder anthropometrische Daten beschäftigten, konnten wesentlich weniger Probanden pro Trainingsgruppe einbeziehen (Byrne & Wilmore, 2001, 2001, Campbell et al., 1994; Fatouros et al., 2005; Hunter & Wetzstein et al., 2000; Lemmer et al., 2001; Poehlman et al., 2002; Pratley et al., 1994). Eine Studie mit Kontrollgruppendesign sowie einer vergleichbaren Probandenzahl und Laufzeit konnte nicht gefunden werden. Aufgrund der Größe der Stichprobe kann für die ausgewählte Zielgruppe von allgemeingültigen Studienergebnissen ausgegangen werden.

Eine mögliche Schwäche bei der Stichprobenauswahl ist das Fehlen ausgeprägter Risikofaktoren. Zwar konnte gezeigt werden, dass mit einem präventiven Krafttraining der Ruheumsatz effektiv gesteigert werden kann, die in anderen Studien festgestellten Veränderungen bei anthropometrischen Parametern und Körperkomposition (Strasser & Schobersberger,

2011) konnten bei dieser Untersuchung nicht bestätigt werden. Auch eine wünschenswerte Reduktion von Risikofaktoren für ein Metabolisches Syndrom durch Krafttraining (Hurley et al., 2011) konnte nicht aufgezeigt werden. Ein Erklärungsansatz für die fehlenden Veränderungen ist, dass die mittleren Werte der verschiedenen Gesundheitsindikatoren zu Studienbeginn meist im Normbereich waren. Wie bereits diskutiert, hätten sich bei Probanden mit einem eindeutigeren Risikoprofil vermutlich leichter Veränderungen darstellen lassen. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass sich die gesundheitlichen Effekte eines primärpräventiven Krafttrainings beim ausgewählten Probandenkollektiv nur mit langfristiger Perspektive im Sinne eines Nichteintretens gesundheitlicher Risiken zeigen. Hierfür wären Interventionsstudien mit harten Endpunkten und enormer Laufzeit erforderlich, was praktisch kaum möglich ist und somit eine grundsätzliche Problematik von Präventionsstudien darstellt.

Die vorliegende Untersuchung wurde mit einem sehr aufwändigen Design geplant und durchgeführt. Der erste Studienabschnitt wurde als randomisierte kontrollierte Trainingsstudie durchgeführt. Für die Auswertungen der Hypertrophiegruppe wie auch der Waiting-Control-Gruppe lagen hingegen keine Kontrollgruppendaten vor. Insofern waren diese Daten zwar von geringerer Aussagekraft, konnten allerdings zur Interpretation und Diskussion aller Befunde wichtige Zusatzinformationen liefern. Die Bedeutung einer Kontrollgruppe zeigte sich beispielsweise bei den Befunden zur Ruheherzfrequenz oder auch beim kalipermetrisch ermittelten Körperfettanteil. Hier kam es sowohl in der Interventions- als auch der Kontrollgruppe zu einer mittleren Reduktion. Die entsprechenden Ergebnisse waren im Gruppenvergleich jedoch nicht signifikant. Weder die Senkung der Ruheherzfrequenz noch der reduzierte Körperfettanteil konnten somit als krafttrainingsinduziert erklärt werden und waren vermutlich auf andere Einflüsse, wie Gewöhnungseffekte an die Testprozedur (Wilmore et al., 1996) bzw. die unzureichende Reliabilität der Kalipermetrie (Åstrand et al., 2003) zurückzuführen. Ohne Kontrollgruppe wären die Ergebnisse als signifikante Veränderungen zu deuten gewesen, was die Daten der Hypertrophiegruppe (signifikante Senkung der Ruheherzfrequenz im Studienabschnitt Kraftausdauer) bestätigen. Wegen fehlender Kontrollgruppendaten kann nicht mit Sicherheit behauptet werden, dass die Mehreffekte des Hypertrophietrainings nicht auch durch ein weiterhin durchgeführtes progressives Kraftausdauertraining zu erreichen gewesen wären. Insofern sind die Ergebnisse anderer Studien mit ähnlicher Fragestellung, die ohne eine Kontrollgruppe durchgeführt wurden, stets kritisch zu reflektieren, insbesondere bei einer kleinen Probandenzahl.

Es ist keine weitere Studie bekannt, in der zusätzlich zu den Daten einer Interventionsgruppe komplette Datensätze einer Waiting-Control-Gruppe im Anschluss an die Kontrollphase generiert und ausgewertet wurden. Wenngleich die statistische Aussagekraft reduziert ist,

konnten die Daten der Waiting-Control-Gruppe die zentralen Studienbefunde erhärten. Es kann als gesichert angesehen werden, dass ein in beschriebener Art und Weise durchgeführtes Krafttraining bei der ausgewählten Zielgruppe zu einer Erhöhung des absoluten und relativen Ruheumsatzes führt und dieser Effekt weitgehend unabhängig von einer Zunahme an Muskelmasse ist.

Das Training orientierte sich an gängigen Empfehlungen für gesunde Erwachsene (ACSM, 2009, 2011). Um die Effekte eines Kraftausdauertrainings zu isolieren, wurde auf ein allgemeines Aufwärmen verzichtet, was im Grunde genommen nicht dem sportlichen Handeln entspricht. Allerdings war zu vermuten, dass bei Untrainierten selbst der geringfügige Reiz eines Aufwärmens (z. B. durch gymnastische Übungen) kardiopulmonal wirksam sein kann. Außerdem erschien ein entsprechendes Vorgehen aufgrund der submaximalen Trainingsintensität eines Kraftausdauertrainings vertretbar. Aus diesem Grunde und um nicht zu einem zusätzlichen Training anzuspornen, wurde auch in der Kontrollgruppe auf jede Art von Intervention verzichtet, was dem Vorgehen anderer Studien entspricht (Kraus et al., 2002; O'Donovan et al., 2005).

Um Veränderungen der maximalen Kraftleistungsfähigkeit darzustellen, wurden verschiedene Krafttests durchgeführt. Trotz in der Literatur angeführter Bedenken zur Durchführung von Maximalkrafttests mit Gesundheitssportlern (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999; Fleck & Kraemer, 2004) waren diese durch die adäquate Vorbereitung unproblematisch (ACSM, 2010; Logan et al., 2000). Um die Testbedingungen konstant zu halten, wurden in der vorliegenden Untersuchung alle Krafttests von immer demselben Versuchsleiter durchgeführt und alle weiteren Messbedingungen (Übungsausführung, individuelle Geräteeinstellung, Bewegungsamplitude, Bewegungstempo) wie auch die zeitliche Struktur des Testablaufs konstant gehalten. Zudem wurden alle Krafttests an immer denselben Trainingsmaschinen durchgeführt. Insgesamt drei der in die Auswertung einbezogenen Probanden führten das Training in einer externen Einrichtung durch, was aus Gründen der Vergleichbarkeit der Daten kritisch zu betrachten ist. Diese Problematik konnte dadurch reduziert werden, dass alle Krafttests in den Räumlichkeiten der DHfPG erfolgten und diese Probanden dort auch einmal pro Woche eine betreute Trainingseinheit absolvieren mussten. In der selbst gewählten Einrichtung wurden die Probanden spezifisch eingewiesen, und für beide Trainingsorte wurde für alle Mesozyklen jeweils ein Trainingsplan erstellt.

Bei der Belastungssteuerung über das individuelle Mehrwiederholungsmaximum zeigten sich zum Teil erhebliche Unterschiede, wenn man die Belastungsintensität in Bezug zum 1-RM betrachtet. Für den Bereich des Gesundheitssports kann abgeleitet werden, dass Maximalkrafttests mit entsprechenden Belastungsspitzen zur Trainingssteuerung nicht erforderlich

sind und die Festlegung der individuellen Trainingsintensität über das bei einer zuvor definierten Wiederholungszahl bewältigbare Gewicht erfolgen sollte. Der so definierte und progressiv gesteuerte Trainingsreiz führte zu einer hohen metabolischen Belastung, was auch eng mit dem subjektiven Belastungsempfinden von anstrengend bis sehr anstrengend korrespondierte. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass aufgrund des fest vorgegebenen Belastungsgefüges Übungsserien bis zur muskulären Erschöpfung ausgeführt wurden, was aus präventiver Sicht kritisch diskutiert werden kann (Zimmermann, 2002). Dennoch wurden die Belastungsvorgaben gut toleriert und sind somit für Gesundheitssportsteiger als angemessen und sicher durchführbar anzusehen, was sich nicht zuletzt an der hohen Trainingscompliance zeigte. Es ist davon auszugehen, dass die Veränderungen beim Ruheumsatz anders ausgefallen wären, wenn die Trainingssteuerung über prozentuale Vorgaben in Bezug zur Maximalkraft erfolgt wäre (z. B. 60% 1-RM). Dies hätte vermutlich zu einer individuell höchst unterschiedlichen Belastungs-Beanspruchungsreaktion geführt. Die Gültigkeit der vorgestellten Ergebnisse muss daher auf die beschriebene progressive Belastungssteuerung nach dem Mehrwiederholungsmaximum und dreimaligem Training pro Woche beschränkt werden.

Die indirekte Kalorimetrie gilt als Goldstandard für die Erfassung des Ruheumsatzes (Haugen et al., 2007). Dennoch war es trotz bestmöglicher Standardisierung der Messungen nach international gängigen Richtlinien (Carlsohn et al., 2011; Compher et al., 2006; Haugen et al., 2003; Matarese, 1997) schwierig, alle möglichen Einflussgrößen zu kontrollieren. So berichten verschiedene Studien über Schwankungen im Ruheumsatz bei Frauen im Verlauf des Menstruationszyklus (Henry, Lightowler & Marchini, 2003; Solomon, Kurzer & Calloway, 1982). Bei der Terminierung der Ruheumsatzmessungen konnte auf den Zeitpunkt im Menstruationszyklus keine Rücksicht genommen werden. Ebenso wird von beachtenswerten intraindividuellen Schwankungen des Ruheumsatzes von Tag zu Tag berichtet (Donahoo, Levine & Melanson, 2004). Der Einfluss der beschriebenen Faktoren auf die Ergebnisse muss jedoch unsystematisch gewesen sein und kann zu einer Erhöhung der Streuung geführt, kaum aber die Richtung des Effekts beeinflusst haben. In wenigen Fällen kam es bei den Ruheumsatzmessungen zu fehlerhaften Messverläufen und in der nachfolgenden Auswertung zu unrealistischen Werten, weshalb diese Daten nicht einbezogen werden konnten. Die Frage nach den Gründen kann nicht abschließend beantwortet werden. Für die Durchführung einer indirekten Kalorimetrie ist ein sensibles Messinstrumentarium erforderlich, so dass die Methode auch störanfällig ist und Messfehler in diesem Umfang vermutlich einkalkuliert werden müssen.

Weder per Kalipermetrie noch per B.I.A. konnten Veränderungen in der Körperkomposition gemessen werden. Die Gründe hierfür sind vermutlich auch in der nicht in allen Bereichen zufriedenstellenden Güte der Messinstrumente zu suchen. Die manuelle Erfassung von Körpermessungen und Hautfaltendicke ist störanfällig (Åstrand et al., 2003; Duren et al., 2008), gerade auch wenn der Untersucher nicht geblendet ist. Die B.I.A. scheint nicht sensibel genug, um kleinere Veränderungen messen zu können (Duren et al., 2008; Sillanpää et al., 2008). Die eigenen Ergebnisse geben Anlass, die in anderen Studien berichteten Veränderungen der Körperkomposition durch Krafttraining, hinsichtlich ihrer Plausibilität und praktischen Relevanz kritisch zu hinterfragen. Dies gilt insbesondere bei geringer Probandenzahl, kurzer Studiendauer und fehlender Kontrollgruppe, aber auch wenn bei Verfahren mit höherer Messgenauigkeit bereits sehr kleine Veränderungen signifikant werden.

In der Literatur wird berichtet, dass verschiedene Zielvariablen jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen. Saisonale Unterschiede werden zum Beispiel für das Körpergewicht, den BMI und die tägliche Kalorienzufuhr (Shahar et al., 2001), wie auch für das Gesamtcholesterin aufgezeigt (Blucher, Hentschel, Rassoul & Richter, 2001; Shahar et al., 2001). Die Datenaufnahme in der vorliegenden Untersuchung erfolgte über insgesamt 24 Monate. Um jahreszeitliche Einflüsse auszugleichen, wurden die Probanden der Interventions- und Kontrollgruppe fortlaufend und somit zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Jahreszyklus in die Studie integriert. Bei keinem der genannten Zielparameter konnten signifikante Veränderungen gefunden werden. Vermutlich konnte auch durch den zeitversetzten Studieneinstieg der Probanden ein systematischer Einfluss verhindert werden.

5.6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Rahmen der SAusE-Studie (Saarländische Ausdauer Etappe), einer randomisierten, kontrollierten Trainingsstudie, wurden die Effekte eines sechsmonatigen Kraftausdauertrainings auf den Ruheumsatz, anthropometrische Parameter und ausgewählte Gesundheitsindikatoren bei gesunden 30- bis 60-jährigen initial untrainierten Erwachsenen über einen Zeitraum von sechs Monaten untersucht. In einem zweiten Studienabschnitt ohne Kontrollgruppe über ebenfalls sechs Monate wurden die Mehreffekte eines intensitätsorientierten Krafttrainings überprüft. Zusätzlich wurde mit einem Teil der Probanden der Kontrollgruppe im Anschluss an die Kontrollphase ebenfalls ein Kraftausdauertraining durchgeführt.

Aus leistungsphysiologischer Sicht führte das gesundheitssportliche Krafttraining im Vergleich zur Kontrollgruppe zu einer Steigerung von Maximalkraft und Kraftausdauer wie auch der Ausdauerleistungsfähigkeit. Darüber hinaus kam es unabhängig von Alter und Ge-

schlecht der Probanden zu einer Erhöhung des Ruheumsatzes, was als potenziell günstiger Faktor für eine langfristige Gewichtsstabilisation im Erwachsenenalter angesehen werden kann. Keine Veränderungen zeigten sich bei den anthropometrischen Daten und der Körperkomposition sowie den ausgewählten Gesundheitsindikatoren.

Aus den vorliegenden Befunden lassen sich für den Bereich des Gesundheitssports folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Ein progressiv gesteuertes Kraftausdauertraining mit moderater Intensität und hohen Wiederholungszahlen ist eine geeignete Trainingsform zur Steigerung des Ruheumsatzes bei zuvor untrainierten Erwachsenen. Ein Wechsel der Trainingsmethode bzw. hohe Trainingsintensitäten scheinen hierzu nicht zwingend erforderlich, was eine wichtige Erkenntnis für die methodische Gestaltung eines gesundheitssportlichen Krafttrainings darstellt.
- Die über das gesundheitssportliche Krafttraining erzielte Ruheumsatzerhöhung war weitgehend unabhängig von einer Zunahme an Muskelmasse und ist vermutlich primär auf eine gesteigerte Stoffwechselaktivität der Muskulatur zurückzuführen. Die Frage nach dem genauen Mechanismus der Ruheumsatzerhöhung kann anhand der vorliegenden Daten nicht beantwortet werden.
- Durch ein isoliertes gesundheitssportliches Krafttraining in beschriebenem Umfang sind keine wesentlichen Veränderungen bei den anthropometrischen Parametern zu erwarten, was bei der Betreuung von Gesundheitssportlern (z. B. bei der Zielformulierung) zu beachten ist. Trainingsprogramme zum Körpergewichtsmanagement sollten daher auf einen möglichst hohen Energieverbrauch abzielen und gegebenenfalls auch Empfehlungen zur begleitenden Ernährungsmodifikation beinhalten.
- Zur Überprüfung der über ein Krafttraining zu erzielenden Effekte zur Reduktion gesundheitlicher Risiken sollten Probanden mit einem eindeutigeren Risikoprofil ausgewählt werden. Bei Ausgangswerten im Normbereich scheint es schwierig, entsprechende Effekte messbar zu machen.

Weitere Trainingsstudien sind erforderlich, um den Mechanismus der Ruheumsatzerhöhung durch Krafttraining zu klären. Als möglicher Forschungsansatz scheint am ehesten die Überprüfung von Veränderungen auf Muskelzellebene in Frage zu kommen. Ferner sind weitere Untersuchungen notwendig, um das mögliche Ausmaß an Ruheumsatzsteigerung durch die im Gesundheitssport relevanten Methoden (Kraftausdauer versus intensitätsorientiertes Krafttraining) vergleichen zu können. Von zusätzlichem Interesse wäre hier die Betrachtung des zeitlichen Verlaufs einer trainingsinduzierten Ruheumsatzsteigerung wie auch einer Ru-

heumsatzreduktion im Anschluss an eine Trainingspause. Zur besseren Darstellung der im Bereich der Primärprävention durch Krafttraining erzielbaren Effekte bei der Körperkomposition sind Interventionsstudien mit möglichst langer Laufzeit erforderlich. Um die gesundheitlichen Wirkungen eines Krafttrainings besser einschätzen zu können, sollten weitere Studien an Probanden mit bestehenden Risikofaktoren durchgeführt werden (z. B. Hypertonie oder gestörte Glukosetoleranz).

Die vorliegende Untersuchung liefert einen wichtigen Beitrag zur Etablierung eines gesundheitssportlichen Krafttrainings und zur Verbesserung der empirischen Beweislage an der Schnittstelle von Sportwissenschaft und Sportmedizin.

Literaturverzeichnis

- Aagaard, P., Suetta, C., Caserotti, P., Magnusson, S. P. & Kjaer, M. (2010). Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20 (1), 49–64.
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Tudor-Locke, C. et al. (2011). 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43 (8), 1575–1581.
- Alberti, K. G. M. M., Zimmet, P. & Shaw, J. (2005). The metabolic syndrome - a new worldwide definition. *Lancet*, 366 (9491), 1059–1062.
- Alexander, J. L. (2002). The role of resistance exercise in weight loss. *Strength and Conditioning Journal*, 24 (1), 65–69.
- American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (3), 687–708.
- American College of Sports Medicine. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43 (7), 1334–1359.
- American College of Sports Medicine (ACSM). (2010). *ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription* (8. ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.
- Åstrand, P. O., Rodahl, K., Dahl, H. A. & Strømme, S. B. (2003). Nutrition and physical performance. In P. O. Åstrand, K. Rodahl, H. A. Dahl & S. B. Strømme (Eds.), *Textbook of work physiology. Physiological bases of exercise*. (4. ed., S. 369–394). Champaign: Human Kinetics.
- Baechle, T. R. & Earle, R. W. (Eds.). (2008). *Essentials of Strength Training and Conditioning* (3. ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Baum, K. & Schuster, S. (2008). Der Energieumsatz in der Nachbelastungsphase: Ein wesentlicher Beitrag zur Gewichtsreduktion? *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59 (5), 110–114.

- Bea, J. W., Cussler, E. C., Going, S. B., Blew, R. M., Metcalfe, L. L. & Lohman, T. G. (2010). Resistance Training Predicts Six-Year Body Composition Change in Postmenopausal Women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42 (7), 1286–1295.
- Bjarnason-Wehrens, B., Mayer-Berger, W., Meister, E. R., Baum, K., Hambrecht, R. & Gielen, S. (2004). Einsatz von Kraftausdauertraining und Muskelaufbautraining in der kardiologischen Rehabilitation. Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Prävention und Rehabilitation von Herz-Kreislauferkrankungen e. V. *Zeitschrift für Kardiologie*, 93 (5), 357–370.
- Black, L. E., Swan, P. D. & Alvar, B. A. (2010). Effects of intensity and volume on insulin sensitivity during acute bouts of resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (4), 1109–1116.
- Blair, S. N., Kohl, H. W., Barlow, C. E., Paffenbarger, R. S., Gibbons, L. W. & Macera, C. A. (1995). Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *Journal of the American Medical Association*, 273 (14), 1093–1098.
- Bluher, M., Hentschel, B., Rassoul, F. & Richter, V. (2001). Influence of dietary intake and physical activity on annual rhythm of human blood cholesterol concentrations. *Chronobiology International*, 18 (3), 541–557.
- Blundell, J. E., Stubbs, R. J., Hughes, D. A., Whybrow, S. & King, N. A. (2003). Cross talk between physical activity and appetite control: does physical activity stimulate appetite? *Proceedings of the Nutrition Society*, 62 (3), 651–661.
- Bogardus, C., Lillioja, S., Ravussin, E., Abbott, W., Zawadzki, J. K., Young, A. et al. (1986). Familial dependence of the resting metabolic rate. *The New England Journal of Medicine*, 315 (2), 96–100.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14 (5), 377–381.
- Borsheim, E. & Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Medicine*, 33 (14), 1037–1060.
- Bouchard, C., Blair, S. N. & Haskell, W. L. (Eds.). (2012). *Physical Activity and Health* (2. ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Braith, R. W. & Stewart, K. J. (2006). Resistance exercise training: its role in the prevention of cardiovascular disease. *Circulation*, 113 (22), 2642–2650.

- Broeder, C. E., Burrhus, K. A., Svanevik, L. S. & Wilmore, J. H. (1992). The effects of either high-intensity resistance or endurance training on resting metabolic rate. *American Journal of Clinical Nutrition*, 55 (4), 802–810.
- Brown, J. B. & Brechue, W. F. (2001). Metabolic, cardiovascular, pulmonary, and endocrine responses and adaptation to resistance training. In J. E. Graves & B. A. Franklin (Eds.), *Resistance Training for Health and Rehabilitation* (S. 33–60). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München: Pearson.
- Buskies, W., Boeckh-Behrens, W. U. & Zieschang, K. (1996). Möglichkeiten der Intensitätssteuerung im gesundheitsorientierten Krafttraining. *Sportwissenschaft*, 16 (2), 170–183.
- Buskies, W. & Boeckh-Behrens, W. U. (1999). Probleme bei der Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining auf der Basis von Maximalkrafttests. *Zeitschrift für Leistungssport*, 29 (3), 4–8.
- Bweir, S., Al-Jarrah, M., Almalty, A.-M., Maayah, M., Smirnova, I. V., Novikova, L. et al. (2009). Resistance exercise training lowers HbA1c more than aerobic training in adults with type 2 diabetes. *Diabetology and Metabolic Syndrome*, 1 (27), 1–7.
- Byrne, H. K. & Wilmore, J. H. (2001). The effects of a 20-week exercise training program on resting metabolic rate in previously sedentary, moderately obese women. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 11 (1), 15–31.
- Campbell, W. W., Crim, M. C., Young, V. R. & Evans, W. J. (1994). Increased energy requirements and changes in body composition with resistance training in older adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, 60 (2), 167–175.
- Campos, G. E. R., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F. et al. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology*, 88 (1-2), 50–60.
- Carlsohn, A., Scharhag-Rosenberger, F., Cassel, M. & Mayer, F. (2011). Resting metabolic rate in elite rowers and canoeists: difference between indirect calorimetry and prediction. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 58 (3), 239–244.
- Carroll, M. D., Kit, B. K. & Lacher, D. A. (2012). Total and high-density lipoprotein cholesterol in adults: National Health and Nutrition Examination Survey, 2009-2010. *NCHS Data Brief* (92), 1–8.

- Cauza, E., Hanusch-Enserer, U., Strasser, B., Ludvik, B., Metz-Schimmerl, S., Pacini, G. et al. (2005). The relative benefits of endurance and strength training on the metabolic factors and muscle function of people with type 2 diabetes mellitus. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86 (8), 1527–1533.
- Cavill, N., Kahlmeier, S. & Racioppi, F. (Hrsg.). (2006). *Physical activity and health in Europe. Evidence for action*. Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe.
- Chobanian, A. V., Bakris, G. L., Black, H. R., Cushman, W. C., Green, L. A., Izzo, J. L. et al. (2003). Seventh report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure. *Hypertension*, 42 (6), 1206–1252.
- Chodzko-Zajko, W. J., Proctor, D. N., Fiatarone Singh, M. A., Minson, C. T., Nigg, C. R., Salem, G. J. et al. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (7), 1510–1530.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2. ed.). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Colberg, S. R., Albright, A. L., Blissmer, B. J., Braun, B., Chasan-Taber, L., Fernhall, B. et al. (2010). Exercise and type 2 diabetes: American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. Exercise and type 2 diabetes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42 (12), 2282–2303.
- Compher, C., Frankenfield, D., Keim, N. & Roth-Yousey, L. (2006). Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. *Journal of the American Dietetic Association*, 106 (6), 881–903.
- Cooney, M. T., Vartiainen, E., Laakitainen, T., Juolevi, A., Dudina, A. & Graham, I. M. (2010). Elevated resting heart rate is an independent risk factor for cardiovascular disease in healthy men and women. *American Heart Journal*, 159 (4), 612–619.
- Cox, K. L., Burke, V., Morton, A. R., Beilin, L. J. & Puddey, I. B. (2003). The independent and combined effects of 16 weeks of vigorous exercise and energy restriction on body mass and composition in free-living overweight men--a randomized controlled trial. *Metabolism*, 52 (1), 107–115.
- Danaei, G., Ding, E. L., Mozaffarian, D., Taylor, B., Rehm, J., Murray, C. J. L. et al. (2009). The Preventable Causes of Death in the United States: Comparative Risk Assessment of Dietary, Lifestyle, and Metabolic Risk Factors. *PLoS Medicine*, 6 (4), e1000058, 1-23.

- Danaei, G., Finucane, M. M., Lu, Y., Singh, G. M., Cowan, M. J., Paciorek, C. J. et al. (2011). National, regional, and global trends in fasting plasma glucose and diabetes prevalence since 1980: systematic analysis of health examination surveys and epidemiological studies with 370 country-years and 2.7 million participants. *Lancet*, 378 (9785), 31–40.
- Delecluse, C., Colman, V., Roelants, M., Verschueren, S., Derave, W., Ceux, T. et al. (2004). Exercise programs for older men: mode and intensity to induce the highest possible health-related benefits. *Preventive Medicine*, 39 (4), 823–833.
- Dionne, I. J., Melancon, M. O., Brochu, M., Ades, P. A. & Poelhman, E. T. (2004). Age-related differences in metabolic adaptations following resistance training in women. *Experimental Gerontology*, 39 (1), 133–138.
- Dishman, R. K., Heath, G. W. & Lee, I.-M. (Eds.). (2013). *Physical Activity Epidemiology* (2. ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Donahoo, W. T., Levine, J. A. & Melanson, E. L. (2004). Variability in energy expenditure and its components. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 7 (6), 599–605.
- Donnelly, J. E., Blair, S. N., Jakicic, J. M., Manore, M. M., Rankin, J. W. & Smith, B. K. (2009). American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (2), 459–471.
- Dunst, C. J., Hamby, D. W. & Trivette, C. M. (2004). Guidelines for Calculating Effect Sizes for Practice-Based Research Syntheses. *Centerscope*, 3 (1), 1–10.
- Dunstan, D. W., Daly, R. M., Owen, N., Jolley, D., Courten, M. de, Shaw, J. et al. (2002). High-intensity resistance training improves glycemic control in older patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 25 (10), 1729–1736.
- Dunstan, D. W., Thorp, A. A. & Healy, G. N. (2011). Prolonged sitting: is it a distinct coronary heart disease risk factor? *Current Opinion in Cardiology*, 26 (5), 412–419.
- Duren, D. L., Sherwood, R. J., Czerwinski, S. A., Lee, M., Choh, A. C., Siervogel, R. M. et al. (2008). Body composition methods: comparisons and interpretation. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 2 (6), 1139–1146.
- Ebrahim, S., Taylor, F., Ward, K., Beswick, A., Burke, M. & Davey Smith, G. (1996). Multiple risk factor interventions for primary prevention of coronary heart disease. In *Cochrane Database of Systematic Reviews*. Chichester: John Wiley & Sons.

- Ehlenz, H., Grosser, M. & Zimmermann, E. (2003). *Krafttraining. Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme* (7., überarbeitete Aufl.). München: BLV Sportwissen.
- Eklom-Bak, E., Eklom, B., Vikström, M., Faire, U. de & Hellénus, M.-L. (2014). The importance of non-exercise physical activity for cardiovascular health and longevity. *British Journal of Sports Medicine*, 48 (3), 233–238.
- Erikssen, G., Liestol, K., Bjornholt, J., Thaulow, E., Sandvik, L. & Erikssen, J. (1998). Changes in physical fitness and changes in mortality. *Lancet*, 352 (9130), 759–762.
- Fagard, R. H. & Cornelissen, V. A. (2007). Effect of exercise on blood pressure control in hypertensive patients. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*, 14 (1), 12–17.
- Fahlman, M. M., Boardley, D., Lambert, C. P. & Flynn, M. G. (2002). Effects of endurance training and resistance training on plasma lipoprotein profiles in elderly women. *The Journals of Gerontology*, 57 (2), B54-60.
- Faigenbaum, A. D. (2008). Age- and Sex-related Differences and Their Implications for Resistance Exercise. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *Essentials of Strength Training and Conditioning* (3. ed., S. 141–158). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Fatouros, I. G., Tournis, S., Leontsini, D., Jamurtas, A. Z., Sxina, M., Thomakos, P. et al. (2005). Leptin and adiponectin responses in overweight inactive elderly following resistance training and detraining are intensity related. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 90 (11), 5970–5977.
- Flack, K. D., Davy, K. P., Hulver, M. W., Winett, R. A., Frisard, M. I. & Davy, B. M. (2011). Aging, Resistance Training, and Diabetes Prevention. *Journal of Aging Research*, 2011 (11), 1–12.
- Fleck, S. J. (1994). Kardiovaskuläre Reaktionen und Adaptionen während Kraftbelastungen. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 302–311). Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Fleck, S. J. (2003). Cardiovascular Responses to Strength Training. In P. V. Komi (Eds.), *Strength and Power in Sport* (2. ed., S. 387–406). Oxford: Blackwell Science.
- Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. (2004). *Designing resistance training programs* (3. ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Friedmann, B. (2007). Neuere Entwicklungen im Krafttraining. Muskuläre Anpassungsreaktionen bei verschiedenen Krafttrainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58 (1), 12–18.
- Frisard, M. I., Broussard, A., Davies, S. S., Roberts, L. J., Rood, J., Jonge, L. de et al. (2007). Aging, resting metabolic rate, and oxidative damage: results from the Louisiana Healthy Aging Study. *The Journals of Gerontology*, 62 (7), 752–759.
- Fröhlich, M. (2003). *Eine empirische Studie zur Methodik des Kraftausdauertrainings* (1. Aufl.). Göttingen: Cuvillier.
- Fröhlich, M., Links, L. & Pieter, A. (2012). Effekte des Krafttrainings – eine metaanalytische Betrachtung. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 60 (1), 14–20.
- Fröhlich, M. & Pieter, A. (2009). Cohen's Effektstärken als Mass der Bewertung von praktischer Relevanz - Implikationen für die Praxis. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 57 (4), 139–142.
- Fröhlich, M. & Schmidbleicher, D. (2003). Belastungsintensität und Wiederholungszahl in Abhängigkeit von der Trainingsspezifität im Krafttraining. In G.-P. Brüggemann & G. Norey-Klapsing (Hrsg.), *Biologische Systeme. Mechanische Eigenschaften und ihre Adaptation bei körperlicher Belastung* (1. Aufl., S. 54–58). Hamburg: Czwalina.
- Fröhlich, M. & Schmidbleicher, D. (2008). Trainingshäufigkeit im Krafttraining - ein metaanalytischer Zugang. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59 (2), 5–12.
- Frontera, W. R., Hughes, V. A., Fielding, R. A., Fiatarone, M. A., Evans, W. J. & Roubenoff, R. (2000). Aging of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study. *Journal of Applied Physiology*, 88 (4), 1321–1326.
- Frontera, W. R., Meredith, C. N., O'Reilly, K. P. & Evans, W. J. (1990). Strength training and determinants of VO₂max in older men. *Journal of Applied Physiology*, 68 (1), 329–333.
- Geliebter, A., Maher, M. M., Gerace, L., Gutin, B., Heymsfield, S. B. & Hashim, S. A. (1997). Effects of strength or aerobic training on body composition, resting metabolic rate, and peak oxygen consumption in obese dieting subjects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 66 (3), 557–563.
- GKV-Spitzenverband & Medizinischer Dienst des Spitzenverbandes Bund der Krankenkassen (Hrsg.). (2013). *Präventionsbericht 2013: Leistungen der gesetzlichen Krankenversicherung: Primärprävention und betriebliche Gesundheitsförderung. Leistungen der gesetzlichen Krankenversicherung: Primärprävention und betriebliche Gesundheitsförderung*. Berichtsjahr 2012, Essen.

- Glowacki, S. P., Martin, S. E., Maurer, A., Baek, W., Green, J. S. & Crouse, S. F. (2004). Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (12), 2119–2127.
- Grundy, S. M. (2005). Diagnosis and Management of the Metabolic Syndrome: An American Heart Association/National Heart, Lung, and Blood Institute Scientific Statement. *Circulation*, 112 (17), 2735–2752.
- Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Krafftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (7+8), 223–234.
- Hackney, K. J., Engels, H.-J. & Gretebeck, R. J. (2008). Resting Energy Expenditure and Delayed-Onset Muscle Soreness After Full-Body Resistance Training With an Eccentric Concentration. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (5), 1602–1609.
- Haddock, B. L. & Wilkin, L. D. (2006). Resistance training volume and post exercise energy expenditure. *International Journal of Sports Medicine*, 27 (2), 143–148.
- Hagerman, F. C., Walsh, S. J., Staron, R. S., Hikida, R. S., Gilders, R. M., Murray, T. F. et al. (2000). Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I. Strength, cardiovascular, and metabolic responses. *The Journals of Gerontology*, 55 (7), B336-46.
- Haltom, R. W., Kraemer, R. R., Sloan, R. A., Hebert, E. P., Frank, K. & Tryniecki, J. L. (1999). Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (11), 1613–1618.
- Harris, J. A. & Benedict, F. G. (1918). A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 4 (12), 370–373.
- Haskell, W. L., Lee, I.-M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A. et al. (2007). Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39 (8), 1423–1434.
- Haugen, H. A., Chan, L.-N. & Li, F. (2007). Indirect calorimetry: a practical guide for clinicians. *Nutrition in Clinical Practice*, 22 (4), 377–388.
- Haugen, H. A., Melanson, E. L., Tran, Z. V., Kearney, J. T. & Hill, J. O. (2003). Variability of measured resting metabolic rate. *American Journal of Clinical Nutrition*, 78 (6), 1141–1145.

- Hauner, H., Bosy-Westphal, A. & Müller, M. J. (2013). Definition - Klassifikation - Untersuchungsmethoden. In A. Wirth & H. Hauner (Hrsg.), *Adipositas. Ätiologie, Folgekrankheiten, Diagnostik, Therapie* (4., vollständig überarbeitete und aktualisierte Aufl., S. 1–23). Berlin: Springer.
- Heden, T., Lox, C., Rose, P., Reid, S. & Kirk, E. P. (2011). One-set resistance training elevates energy expenditure for 72 h similar to three sets. *European Journal of Applied Physiology*, 111 (3), 477–484.
- Heidemann, C., Du, Y., Schubert, I., Rathmann, W. & Scheidt-Nave, C. (2013). Prävalenz und zeitliche Entwicklung des bekannten Diabetes mellitus. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 56 (5-6), 668–677.
- Henry, C. J. K., Lightowler, H. J. & Marchini, J. (2003). Intra-individual variation in resting metabolic rate during the menstrual cycle. *The British Journal of Nutrition*, 89 (6), 811–817.
- Herm, K. P. (2003). Methoden der Körperfettbestimmung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54 (5), 153–154.
- Hoeger, W. W., Hopkins, D. R., Barette, S. L. & Hale, D. R. (1990). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: a comparison between untrained and trained males and females. *The Journal of Applied Sports Science Research*, 4 (2), 47–61.
- Hunter, G. R., Brock, D. W., Byrne, N. M., Chandler-Laney, P. C., Del Corral, P. & Gower, B. A. (2010). Exercise training prevents regain of visceral fat for 1 year following weight loss. *Obesity*, 18 (4), 690–695.
- Hunter, G. R., Bryan, D. R., Wetzstein, C. J., Zuckerman, P. A. & Bamman, M. M. (2002). Resistance training and intra-abdominal adipose tissue in older men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (6), 1023–1028.
- Hunter, G. R., Byrne, N. M., Sirikul, B., Fernandez, J. R., Zuckerman, P. A., Darnell, B. E. et al. (2008). Resistance training conserves fat-free mass and resting energy expenditure following weight loss. *Obesity*, 16 (5), 1045–1051.
- Hunter, G. R., Wetzstein, C. J., Fields, D. A., Brown, A. & Bamman, M. M. (2000). Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *Journal of Applied Physiology*, 89 (3), 977–984.
- Hurley, B. F., Hanson, E. D. & Sheaff, A. K. (2011). Strength training as a countermeasure to aging muscle and chronic disease. *Sports Medicine*, 41 (4), 289–306.

- Hurley, B. F. & Roth, S. M. (2000). Strength training in the elderly: effects on risk factors for age-related diseases. *Sports Medicine*, 30 (4), 249–268.
- Hurley, B. F., Seals, D. R., Ehsani, A. A., Cartier, L. J., Dalsky, G. P., Hagberg, J. M. et al. (1984). Effects of high-intensity strength training on cardiovascular function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16 (5), 483–488.
- Ibanez, J., Izquierdo, M., Arguelles, I., Forga, L., Larrion, J. L., Garcia-Unciti, M. et al. (2005). Twice-weekly progressive resistance training decreases abdominal fat and improves insulin sensitivity in older men with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 28 (3), 662–667.
- Israel, S. (1994). Die Auswirkungen eines Krafttrainings in Abhängigkeit von Lebensalter und Gesundheitszustand. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 315–323). Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Israel, S. (1995). *Muskelaktivität und Menschwerdung - technischer Fortschritt und Bewegungsmangel* (1. Aufl.). Sankt Augustin: Academia-Verlag.
- Jennings, A. E., Alberga, A., Sigal, R. J., Jay, O., Boule, N. G. & Kenny, G. P. (2009). The effect of exercise training on resting metabolic rate in type 2 diabetes mellitus. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (8), 1558–1565.
- Katsiaras, A., Newman, A. B., Kriska, A., Brach, J., Krishnaswami, S., Feingold, E. et al. (2005). Skeletal muscle fatigue, strength, and quality in the elderly: the Health ABC Study. *Journal of Applied Physiology*, 99 (1), 210–216.
- Kelley, G. A. & Kelley, K. S. (2000). Progressive resistance exercise and resting blood pressure. A meta-analysis of randomized controlled trials. *Hypertension*, 35 (3), 838–843.
- Kelley, G. A. & Kelley, K. S. (2009). Impact of progressive resistance training on lipids and lipoproteins in adults: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Preventive Medicine*, 48 (1), 9–19.
- Kindermann, W. (1987). Ergometrie-Empfehlungen für die ärztliche Praxis. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 38, 244–268.
- Kirk, E. P., Donnelly, J. E., Smith, B. K., Honas, J., Lecheminant, J. D., Bailey, B. W. et al. (2009). Minimal resistance training improves daily energy expenditure and fat oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (5), 1122–1129.
- Knowler, W. C., Barrett-Connor, E., Fowler, S. E., Hamman, R. F., Lachin, J. M., Walker, E. A. et al. (2002). Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *The New England Journal of Medicine*, 346 (6), 393–403.

- Kokkinos, P. F., Hurley, B. F., Vaccaro, P., Patterson, J. C., Gardner, L. B., Ostrove, S. M. et al. (1988). Effects of low- and high-repetition resistive training on lipoprotein-lipid profiles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20 (1), 50–54.
- Kraemer, W. J., Noble, B. J., Clark, M. J. & Culver, B. W. (1987). Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *International Journal of Sports Medicine*, 8 (4), 247–252.
- Kraemer, W. J., Volek, J. S., Clark, K. L., Gordon, S. E., Puhl, S. M., Koziris, L. P. et al. (1999). Influence of exercise training on physiological and performance changes with weight loss in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (9), 1320–1329.
- Kraus, W. E., Houmard, J. A., Duscha, B. D., Knetzger, K. J., Wharton, M. B., McCartney, J. S. et al. (2002). Effects of the amount and intensity of exercise on plasma lipoproteins. *The New England Journal of Medicine*, 347 (19), 1483–1492.
- Laforgia, J., Withers, R. T., Shipp, N. J. & Gore, C. J. (1997). Comparison of energy expenditure elevations after submaximal and supramaximal running. *Journal of Applied Physiology*, 82 (2), 661–666.
- Lawes, C. M. M., Vander Hoorn, S. & Rodgers, A. (2008). Global burden of blood-pressure-related disease, 2001. *Lancet*, 371 (9623), 1513–1518.
- Lee, I.-M., Shiroma, E. J., Lobelo, F., Puska, P., Blair, S. N. & Katzmarzyk, P. T. (2012). Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet*, 380 (9838), 219–229.
- Lemmer, J. T., Ivey, F. M., Ryan, A. S., Martel, G. F., Hurlbut, D. E., Metter, J. E. et al. (2001). Effect of strength training on resting metabolic rate and physical activity: age and gender comparisons. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (4), 532–541.
- Logan, P., Fornasiero, D., Abernethy, P. J. & Lynch, K. (2000). Protocols for the assessment of isoinertial strength. In C. J. Gore (Ed.), *Physiological Tests for Elite Athletes* (S. 200–221). Champaign, IL: Human Kinetics.
- MacDougall, J. D. (1994). Hypertrophie und/oder Hyperplasie. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 232–239). Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- MacDougall, J. D., Gibala, M. J., Tarnopolsky, M. A., MacDonald, J. R., Interisano, S. A. & Yarasheski, K. E. (1995). The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 20 (4), 480–486.

- MacDougall, J. D., Tuxen, D., Sale, D. G., Moroz, J. R. & Sutton, J. R. (1985). Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 58 (3), 785–790.
- Mancia, G., Fagard, R., Narkiewicz, K., Redón, J., Zanchetti, A., Böhm, M. et al. (2013). 2013 ESH/ESC Guidelines for the management of arterial hypertension. *Journal of Hypertension*, 31 (7), 1281–1357.
- Marcell, T. J. (2003). Sarcopenia: causes, consequences, and preventions. *The Journals of Gerontology*, 58 (10), M911-916.
- Marschall, F. & Fröhlich, M. (1999). Überprüfung des Zusammenhangs von Maximalkraft und maximaler Wiederholungszahl bei deduzierten submaximalen Intensitäten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (10), 311–314.
- Martin, D., Lehnertz, K. & Carl, K. (2001). *Handbuch Trainingslehre* (3., unveränderte Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Martins, C., Morgan, L. M., Bloom, S. R. & Robertson, M. D. (2007). Effects of exercise on gut peptides, energy intake and appetite. *Journal of Endocrinology*, 193 (2), 251–258.
- Matarese, L. E. (1997). Indirect calorimetry: technical aspects. *Journal of the American Dietetic Association*, 97 (10 Suppl. 2), 154–160.
- Max-Rubner-Institut. (2010). *Bundeslebensmittelschlüssel Version 3.0. (BLS)*. Karlsruhe: Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel. Verfügbar unter <http://www.blisdb.de/>
- Mayer, F., Scharhag-Rosenberger, F., Carlsohn, A., Cassel, M. & Scharhag, J. (2011). Intensität und Effekte von Krafttraining bei Älteren. *Deutsches Ärzteblatt*, 108 (21), 359–364.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2000). *Essentials of Exercise Physiology* (2. ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2001). *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance* (5. ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- McDonagh, M. J. & Davies, C. T. (1984). Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52 (2), 139–155.
- Melby, C., Scholl, C., Edwards, G. & Bullough, R. (1993). Effect of acute resistance exercise on postexercise energy expenditure and resting metabolic rate. *Journal of Applied Physiology*, 75 (4), 1847–1853.

- Mensink, G., Schienkiewitz, A., Haftenberger, M., Lampert, T., Ziese, T. & Scheidt-Nave, C. (2013). Übergewicht und Adipositas in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 56 (5-6), 786–794.
- Meyer, T., Auracher, M., Heeg, K., Urhausen, A. & Kindermann, W. (2007). Effectiveness of low-intensity endurance training. *International Journal of Sports Medicine*, 28 (1), 33–39.
- Meyer, T., Gabriel, H. H. & Kindermann, W. (1999). Is determination of exercise intensities as percentages of VO₂max or HRmax adequate? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (9), 1342–1345.
- Misra, A., Alappan, N. K., Vikram, N. K., Goel, K., Gupta, N., Mittal, K. et al. (2008). Effect of supervised progressive resistance-exercise training protocol on insulin sensitivity, glycemia, lipids, and body composition in Asian Indians with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 31 (7), 1282–1287.
- Moore, S. C., Patel, A. V., Matthews, C. E., Berrington de Gonzalez, A., Park, Y., Katki, H. A. et al. (2012). Leisure time physical activity of moderate to vigorous intensity and mortality: a large pooled cohort analysis. *PLoS Medicine*, 9 (11), e1001335, 1-14.
- Moritiani, T. (1994). Die zeitlichen Verläufe der Trainingsanpassungen im Verlaufe eines Krafttrainings. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 266–276). Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Nelson, M. E., Fiatarone, M. A., Morganti, C. M., Trice, I., Greenberg, R. A. & Evans, W. J. (1994). Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. A randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Association*, 272 (24), 1909–1914.
- Neuhauser, H., Thamm, M. & Ellert, U. (2013). Blutdruck in Deutschland 2008–2011. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 56 (5-6), 795–801.
- O'Donovan, G., Owen, A., Bird, S. R., Kearney, E. M., Nevill, A. M., Jones, D. W. et al. (2005). Changes in cardiorespiratory fitness and coronary heart disease risk factors following 24 wk of moderate- or high-intensity exercise of equal energy cost. *Journal of Applied Physiology*, 98 (5), 1619–1625.
- Olson, T. P., Dengel, D. R., Leon, A. S. & Schmitz, K. H. (2007). Changes in inflammatory biomarkers following one-year of moderate resistance training in overweight women. *International Journal of Obesity*, 31 (6), 996–1003.
- Pan, X. R., Li, G. W., Hu, Y. H., Wang, J. X., Yang, W. Y., An, Z. X. et al. (1997). Effects of diet and exercise in preventing NIDDM in people with impaired glucose tolerance. The Da Qing IGT and Diabetes Study. *Diabetes Care*, 20 (4), 537–544.

- Paoli, A., Moro, T., Marcolin, G., Neri, M., Bianco, A., Palma, A. et al. (2012). High-Intensity Interval Resistance Training (HIRT) influences resting energy expenditure and respiratory ratio in non-dieting individuals. *Journal of Translational Medicine*, 10 (237), 1–8.
- Paoli, A., Pacelli, Q. F., Moro, T., Marcolin, G., Neri, M., Battaglia, G. et al. (2013). Effects of high-intensity circuit training, low-intensity circuit training and endurance training on blood pressure and lipoproteins in middle-aged overweight men. *Lipids in Health and Disease*, 12 (131), 1–8.
- Parzikova, J. (1961). Determination of so-called active substances and fats in the human body. *Casopis Lekarů Ceských*, 100, 72–78.
- Parzikova, J. & Buzkova, P. (1971). Relationship between skinfold thickness measured by Harpenden caliper and densitometric analysis of total body fat in men. *Human Biology*, 43 (1), 16–21.
- Perk, J., Backer, G. de, Gohlke, H., Graham, I., Reiner, Z., Verschuren, W. M. et al. (2012). European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice (version 2012). *International Journal of Behavioral Medicine*, 19 (4), 403–488.
- Pescatello, L. S., Franklin, B. A., Fagard, R., Farquhar, W. B., Kelley, G. A. & Ray, C. A. (2004). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (3), 533–553.
- Phillips, S. M. (2004). Protein requirements and supplementation in strength sports. *Nutrition*, 20 (7-8), 689–695.
- Phillips, S. M. & Winnett, R. A. (2010). Uncomplicated resistance training and health-related outcomes: evidence for a public health mandate. *Current Sports Medicine Reports*, 9 (4), 208–213.
- Pierdomenico, S. D. (2010). Indices of Blood Pressure Variability and Cardiovascular Risk. *Hypertension*, 56, e21.
- Pitsavos, C., Panagiotakos, D. B., Tambalis, K. D., Chrysohoou, C., Sidossis, L. S., Skoumas, J. et al. (2009). Resistance exercise plus to aerobic activities is associated with better lipids' profile among healthy individuals: the ATTICA study. *QJM : Monthly Journal of the Association of Physicians*, 102 (9), 609–616.
- Poehlman, E. T., Denino, W. F., Beckett, T., Kinaman, K. A., Dionne, I. J., Dvorak, R. et al. (2002). Effects of endurance and resistance training on total daily energy expenditure in young women: a controlled randomized trial. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 87 (3), 1004–1009.

- Pratley, R., Nicklas, B., Rubin, M., Miller, J., Smith, A., Smith, M. et al. (1994). Strength training increases resting metabolic rate and norepinephrine levels in healthy 50- to 65-yr-old men. *Journal of Applied Physiology*, 76 (1), 133–137.
- Preiss, D. & Sattar, N. (2009). Lipids, lipid modifying agents and cardiovascular risk: a review of the evidence. *Clinical Endocrinology*, 70 (6), 815–828.
- Pringle, E., Phillips, C., Thijs, L., Davidson, C., Staessen, J. A., de Leeuw, P. W. et al. (2003). Systolic blood pressure variability as a risk factor for stroke and cardiovascular mortality in the elderly hypertensive population. *Journal of Hypertension*, 21 (12), 2251–2257.
- Radliner, L., Bachmann, W., Homburg, J., Leuenberger, U. & Thaddey, G. (1997). *Rehabilitative Trainingslehre*. Stuttgart: Thieme.
- Rampf, J. (1999). *Drop-out und Bindung im Fitness-Sport. Günstige und ungünstige Bedingungen für Aktivitäten im Fitness-Studio*. Hamburg: Czwalina.
- Ratamess, N. A. (2008). Adaptions to Anaerobic Training Programs. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *Essentials of Strength Training and Conditioning* (3. ed., S. 93–120). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Ravussin, E., Lillioja, S., Knowler, W. C., Christin, L., Freymond, D., Abbott, W. G. et al. (1988). Reduced rate of energy expenditure as a risk factor for body-weight gain. *The New England Journal of Medicine*, 318 (8), 467–472.
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (4), 918–920.
- Rice, B., Janssen, I., Hudson, R. & Ross, R. (1999). Effects of aerobic or resistance exercise and/or diet on glucose tolerance and plasma insulin levels in obese men. *Diabetes Care*, 22 (5), 684–691.
- Robert Koch-Institut. (2011). *Sterblichkeit, Todesursachen und regionale Unterschiede* (Gesundheitsberichterstattung des Bundes Nr. 52), Berlin. Zugriff am 23.04.2014. Verfügbar unter http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsT/sterblichkeit.pdf?__blob=publicationFile
- Roy, R. R. & Edgerton, V. R. (1994). Bau und Funktion der Skelettmuskulatur. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 121–134). Köln: Deutscher Ärzte Verlag.

- Sachverständigenrat zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen (Hrsg.). (2006). *Koordination und Qualität im Gesundheitswesen* (1. Aufl., aktualisierte Fassung, Stand: Juli 2005). Stuttgart: Kohlhammer.
- Sale, J. E., McCargar, L. J., Crawford, S. M. & Taunton, J. E. (1995). Effects of exercise modality on metabolic rate and body composition. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 5 (2), 100–107.
- Samitz, G., Egger, M. & Zwahlen, M. (2011). Domains of physical activity and all-cause mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *International Journal of Obesity*, 40 (5), 1382–1400.
- Sarsan, A., Ardic, F., Ozgen, M., Topuz, O. & Sermez, Y. (2006). The effects of aerobic and resistance exercises in obese women. *Clinical Rehabilitation*, 20 (9), 773–782.
- Scharhag-Rosenberger, F., Meyer, T., Walitzek, S. & Kindermann, W. (2009). Time course of changes in endurance capacity: a 1-yr training study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (5), 1130–1137.
- Scharhag-Rosenberger, F., Meyer, T., Walitzek, S. & Kindermann, W. (2010). Effects of one year aerobic endurance training on resting metabolic rate and exercise fat oxidation in previously untrained men and women. Metabolic endurance training adaptations. *International Journal of Sports Medicine*, 31 (7), 498–504.
- Scharhag-Rosenberger, F. & Schommer, K. (2013). Die Spiroergometrie in der Sportmedizin. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 64 (12), 362–366.
- Scheidt-Nave, C., Du, Y., Knopf, H., Schienkiewitz, A., Ziese, T., Nowossadeck, E. et al. (2013). Verbreitung von Fettstoffwechselstörungen bei Erwachsenen in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 56 (5-6), 661–667.
- Schmidtbleicher, D. (1989). Zum Problem der Definition des Begriffs Kraftausdauer. In K. Carl, S. Starischka & H. M. Stork (Hrsg.), *Kraftausdauertraining. Dokumentation eines Hearings des Bundesinstitutes für Sportwissenschaft und des Faches Sport der Universität Dortmund am 10. und 11. Dezember 1987* (S. 10–30). Köln: Sport und Buch Strauss.
- Schmitz, K. H., Hannan, P. J., Stovitz, S. D., Bryan, C. J., Warren, M. & Jensen, M. D. (2007). Strength training and adiposity in premenopausal women: strong, healthy, and empowered study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 86 (3), 566–572.
- Schmitz, K. H., Jensen, M. D., Kugler, K. C., Jeffery, R. W. & Leon, A. S. (2003). Strength training for obesity prevention in midlife women. *International Journal of Obesity*, 27 (3), 326–333.

- Schoenfeld, B. J. (2010). The Mechanisms of Muscle Hypertrophy and Their Application to Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (10), 2857–2872.
- Schuenke, M. D., Mikat, R. P. & McBride, J. M. (2002). Effect of an acute period of resistance exercise on excess post-exercise oxygen consumption: implications for body mass management. *European Journal of Applied Physiology*, 86 (5), 411–417.
- Shahar, D. R., Yerushalmi, N., Lubin, F., Froom, P., Shahar, A. & Kristal-Boneh, E. (2001). Seasonal variations in dietary intake affect the consistency of dietary assessment. *European Journal of Epidemiology*, 17 (2), 129–133.
- Sheskin, D. (2007). *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures* (4. ed.). Boca Raton: Chapman & Hall/CRC.
- Shimano, T., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Silvestre, R. et al. (2006). Relationship between the number of repetitions and selected percentages of one repetition maximum in free weight exercises in trained and untrained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (4), 819–823.
- Sillanpää, E., Hakkinen, A., Nyman, K., Mattila, M., Cheng, S., Karavirta, L. et al. (2008). Body composition and fitness during strength and/or endurance training in older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40 (5), 950–958.
- Sillanpää, E., Laaksonen, D. E., Hakkinen, A., Karavirta, L., Jensen, B., Kraemer, W. J. et al. (2009). Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. *European Journal of Applied Physiology*, 106 (2), 285–296.
- Smutok, M. A., Reece, C., Kokkinos, P. F., Farmer, C., Dawson, P., Shulman, R. et al. (1993). Aerobic versus strength training for risk factor intervention in middle-aged men at high risk for coronary heart disease. *Metabolism*, 42 (2), 177–184.
- Snowling, N. J. & Hopkins, W. G. (2006). Effects of different modes of exercise training on glucose control and risk factors for complications in type 2 diabetic patients: a meta-analysis. *Diabetes Care*, 29 (11), 2518–2527.
- Solomon, S. J., Kurzer, M. S. & Calloway, D. H. (1982). Menstrual cycle and basal metabolic rate in women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 36 (4), 611–616.
- Speakman, J. R. & Selman, C. (2003). Physical activity and resting metabolic rate. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62 (3), 621–634.
- Stamatakis, E. & Weiler, R. (2010). Prevention of cardiovascular disease: why do we neglect the most potent intervention? *Heart*, 96 (4), 261–262.

- Stamler, J., Stamler, R., Neaton, J. D., Wentworth, D., Daviglius, M. L., Garside, D. et al. (1999). Low risk-factor profile and long-term cardiovascular and noncardiovascular mortality and life expectancy: findings for 5 large cohorts of young adult and middle-aged men and women. *Journal of the American Medical Association*, 282 (21), 2012–2018.
- Stensvold, D., Tjonna, A. E., Skaug, E.-A., Aspenes, S., Stolen, T., Wisloff, U. et al. (2010). Strength training versus aerobic interval training to modify risk factors of metabolic syndrome. *Journal of Applied Physiology*, 108 (4), 804–810.
- Stevens, J., Truesdale, K. P., McClain, J. E. & Cai, J. (2006). The definition of weight maintenance. *International Journal of Obesity*, 30 (3), 391–399.
- Stevens, J., Truesdale, K. P., Wang, C.-H. & Cai, J. (2009). Prevention of excess gain. *International Journal of Obesity*, 33 (11), 1207–1210.
- Stewart, K. J. (1989). Resistive training effects on strength and cardiovascular endurance in cardiac and coronary prone patients. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21 (6), 678–682.
- Stiegler, P. & Cunliffe, A. (2006). The role of diet and exercise for the maintenance of fat-free mass and resting metabolic rate during weight loss. *Sports Medicine*, 36 (3), 239–262.
- Strasser, B. & Schobersberger, W. (2011). Evidence for Resistance Training as a Treatment Therapy in Obesity. *Journal of Obesity*, 2011 (7), 1–9.
- Strasser, B., Siebert, U. & Schobersberger, W. (2010). Resistance training in the treatment of the metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis of the effect of resistance training on metabolic clustering in patients with abnormal glucose metabolism. *Sports Medicine*, 40 (5), 397–415.
- Such, U. & Meyer, T. (2010). Die maximale Herzfrequenz. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 61 (12), 310–311.
- Taaffe, D. R., Pruitt, L., Reim, J., Butterfield, G. & Marcus, R. (1995). Effect of sustained resistance training on basal metabolic rate in older women. *Journal of the American Geriatrics Society*, 43 (5), 465–471.
- Tambalis, K., Panagiotakos, D. B., Kavouras, S. A. & Sidossis, L. S. (2009). Responses of blood lipids to aerobic, resistance, and combined aerobic with resistance exercise training: a systematic review of current evidence. *Angiology*, 60 (5), 614–632.
- Tarnopolsky, M. (2010). Protein and amino acid needs for training and bulking up. In L. Burke & V. Deakin (Hrsg.), *Clinical Sports Nutrition* (4. ed., S. 61–95). Sydney: McGraw-Hill Medical.

- Tesch, P. A. (1994). Kurzzeitige und langfristige histochemische und biochemische Adaptationen im Skelettmuskel. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 240–248). Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Tresierras, M. A. & Balady, G. J. (2009). Resistance training in the treatment of diabetes and obesity: mechanisms and outcomes. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 29 (2), 67–75.
- Treuth, M. S., Ryan, A. S., Pratley, R. E., Rubin, M. A., Miller, J. P., Nicklas, B. J. et al. (1994). Effects of strength training on total and regional body composition in older men. *Journal of Applied Physiology*, 77 (2), 614–620.
- Tuomilehto, J., Lindström, J., Eriksson, J. G., Valle, T. T., Hämäläinen, H., Ilanne-Parikka, P. et al. (2001). Prevention of type 2 diabetes mellitus by changes in lifestyle among subjects with impaired glucose tolerance. *The New England Journal of Medicine*, 344 (18), 1343–1350.
- Vickers, A. J. & Altman, D. G. (2001). Analysing controlled trials with baseline and follow up measurements. *British Medical Journal*, 323 (7321), 1123–1124.
- Weinsier, R. L., Schutz, Y. & Bracco, D. (1992). Reexamination of the relationship of resting metabolic rate to fat-free mass and to the metabolically active components of fat-free mass in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 55 (4), 790–794.
- Weir, J. B. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *Journal of Physiology*, 109 (1-2), 1–9.
- Wenger, N. K., Froelicher, E. S., Smith, L. K., Ades PA, P. A., Berra, K., Blumenthal, J. A. et al. (1995). *Cardiac Rehabilitation. Clinical Practice Guideline No. 17* (Publication No. 96-0672). Rockville, MD: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Health Care Policy and Research and the National Heart, Lung, and Blood Institute.
- Westcott, W. L. (2012). Resistance training is medicine: effects of strength training on health. *Current Sports Medicine Reports*, 11 (4), 209–216.
- Willett, W. (1998). *Nutritional epidemiology* (2. ed.). New York: Oxford University Press.
- Williams, M. A., Haskell, W. L., Ades, P. A., Amsterdam, E. A., Bittner, V., Franklin, B. A. et al. (2007). Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. *Circulation*, 116 (5), 572–584.

- Willis, L. H., Slentz, C. A., Bateman, L. A., Shields, A. T., Piner, L. W., Bales, C. W. et al. (2012). Effects of aerobic and/or resistance training on body mass and fat mass in overweight or obese adults. *Journal of Applied Physiology*, 113 (12), 1831–1837.
- Wilmore, J. H., Stanforth, P. R., Gagnon, J., Leon, A. S., Rao, D. C., Skinner, J. S. et al. (1996). Endurance exercise training has a minimal effect on resting heart rate: the HERITAGE Study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28 (7), 829–835.
- Wirth, A. (2008). *Adipositas. Ätiologie, Folgekrankheiten, Diagnostik, Therapie* (3., vollständig überarbeitete und erweiterte Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Wirth, A. & Hauner, H. (Hrsg.). (2013). *Adipositas. Ätiologie, Folgekrankheiten, Diagnostik, Therapie* (4., vollständig überarbeitete und aktualisierte Aufl.). Berlin: Springer.
- Wirth, A., Holle, R. & Teuner, C. (2013). Epidemiologie. In A. Wirth & H. Hauner (Hrsg.), *Adipositas. Ätiologie, Folgekrankheiten, Diagnostik, Therapie* (4., vollständig überarbeitete und aktualisierte Aufl., 25-45). Berlin: Springer.
- Wisloff, U., Najjar, S. M., Ellingsen, O., Haram, P. M., Swoap, S., Al-Share, Q. et al. (2005). Cardiovascular risk factors emerge after artificial selection for low aerobic capacity. *Science*, 307 (5708), 418–420.
- Wolfe, R. R. (2006). The underappreciated role of muscle in health and disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 84 (3), 475–482.
- World Health Organization. (2005). *The SuRF report 2. Surveillance of chronic disease risk factors : country-level data and comparable estimates*. Geneva: World Health Organization.
- World Health Organization. (2009). *Global health risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Zachwieja, J. J., Ezell, D. M., Cline, A. D., Ricketts, J. C., Vicknair, P. C., Schorle, S. M. et al. (2001). Short-term dietary energy restriction reduces lean body mass but not performance in physically active men and women. *International Journal of Sports Medicine*, 22 (4), 310–316.
- Zaciorskij, V. M. & Kraemer, W. J. (2008). *Krafttraining. Praxis und Wissenschaft* (3., überarbeitete und ergänzte Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Zimmermann, K. (2002). *Gesundheitsorientiertes Muskelkrafttraining. Theorie, Empirie, Praxisorientierung* (2., unveränderte Aufl.). Schorndorf: Hofmann.

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit

Einfluss von präventivem Krafttraining auf Ruheumsatz und anthropometrische Daten

selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe. Alle Stellen, die anderen Werken nach Sinn und Wortlaut entnommen sind, habe ich kenntlich gemacht und deren Herkunft nachgewiesen.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form weder veröffentlicht, noch einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Arne Morsch