

**Eine empirische Studie
zur Methodik des Kraftausdauertrainings**

**Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie
im Fachbereich Psychologie und Sportwissenschaften (FB 05)
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main**

**vorgelegt von
Michael Fröhlich
aus St. Ingbert**

Einreichungsjahr 2003

Erscheinungsjahr 2003

- 1. Gutachter: Prof. Dr. Dietmar Schmidtbleicher**
- 2. Gutachter: Prof. Dr. Eike Emrich**

Tag der mündlichen Prüfung: 01.07.2003

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde in enger Kooperation mit dem Institut für Sportwissenschaften der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main - Herrn Prof. Dr. DIETMAR SCHMIDTBLEICHER - und dem Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland - Herrn STEFFEN OBERST - in Saarbrücken durchgeführt. Dafür möchte ich mich an dieser Stelle bei den Verantwortlichen bedanken.

In diesem Sinne ist ebenfalls dem Leiter des Instituts für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes, Herrn Prof. Dr. WILFRIED KINDERMANN sowie Herrn Dr. BERND COEN für die Verwendung der Mess- und Auswerteverfahren (Laktatdiagnostik) sowie konstruktiver Gespräche zu danken.

Mein besonderer Dank gilt den betreuenden Professoren Herrn Prof. Dr. DIETMAR SCHMIDTBLEICHER und Herrn Prof. Dr. EIKE EMRICH für die stete Bereitschaft zur fachlichen Diskussion sowie interessanter Gespräche am Rande.

Des Weiteren gebührt Dank den Kolleginnen und Kollegen am Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland, die mich bei meiner täglichen Arbeit und durch die angenehme Arbeitsatmosphäre unterstützten.

Last but not least ist allen Freunden und Leistungssportlern im Umfeld des Olympiastützpunktes Rheinland-Pfalz/Saarland, die sich als Probanden zur Verfügung gestellt haben, zu danken. Ohne deren unermüdlichen Einsatz, Interesse und „Leidensqualität“ hätten die Untersuchungen nicht durchgeführt werden können.

Saarbrücken, den 18.07.2003

MICHAEL FRÖHLICH

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG UND AUFBAU DER ARBEIT	19
1.1	Einleitung	19
1.2	Aufbau der Arbeit	21
2	DIMENSIONSANALYTISCHE BETRACHTUNG DER KRAFTFÄHIGKEIT SOWIE LEISTUNGS-DETERMINIERENDE FAKTOREN DER MUSKELTÄTIGKEIT	23
2.1	Struktur der Krafftähigkeit	23
2.2	Maximalkraft.....	25
2.3	Schnellkraft	26
2.4	Kraftausdauer	27
2.5	Zusammenfassung der Strukturanalyse der Kraft.....	30
3	LEISTUNGSDETERMINIERENDE EINFLUSSFAKTOREN DER KRAFTFÄHIGKEIT INS- BESONDERE DER KRAFTAUSDAUERFÄHIGKEIT	31
3.1	Tendomuskuläre Einflussfaktoren.....	31
3.1.1	Physiologischer Muskelquerschnitt	31
3.1.2	Muskelfasertypen	32
3.1.3	Metabolische Bedingungen.....	38
3.2	Neuromuskuläre Einflussgrößen.....	42
3.2.1	Rekrutierung von motorischen Einheiten	43
3.2.2	Frequenzierung von motorischen Einheiten.....	44
3.3	Kardiovaskuläre Einflussfaktoren.....	46
3.4	Psychische Einflussfaktoren	50
4	ERMÜDUNG, BELASTUNG UND BEANSPRUCHUNG.....	53
4.1	Kritik am Ermüdungskonzept	53
4.2	Belastungs-Beanspruchungs-Konzept.....	53
4.3	Beanspruchungen und Ressourcen.....	56
4.4	Belastungs-/Beanspruchungsermittlung	57
4.4.1	Belastungs-/Reizintensität	58
4.4.2	Belastungs-/Reizdauer.....	58
4.4.3	Belastungs-/Reizumfang	59
4.4.4	Belastungs-/Reizdichte	59
4.4.5	Belastungs-/Reizhäufigkeit	61
4.5	Problem der Belastungs- und Beanspruchungsermittlung im Krafttraining	62
5	EMPIRISCHE BEFUNDE UND ALLGEMEINE FORSCHUNGSHYPOTHESEN	63
5.1	Empirische Befunde im Überblick	65
5.2	Allgemeine Forschungshypothesen	72

Inhaltsverzeichnis	6
<hr/>	
5.2.1	Forschungshypothese 1 73
5.2.2	Forschungshypothese 2 73
5.2.3	Forschungshypothese 3 73
6	OPERATIONALE HYPOTHESEN 75
6.1	Hypothesenkomplex zu den Ausgangsniveaumessungen 75
6.1.1	Hypothesen zu den Ausgangsniveaumessungen auf der Belastungsebene 75
6.1.2	Hypothesen zu den Ausgangsniveaumessungen auf der Beanspruchungsebene 76
6.2	Hypothesenkomplex zu den Gruppenvergleichen 77
6.2.1	Hypothesen zu den Gruppenvergleichen auf der Belastungsebene beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) sowie beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) 77
6.2.2	Hypothesen zu den Gruppenvergleichen auf der Beanspruchungsebene beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) sowie beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) 79
6.3	Hypothesenkomplex zu den Treatmentvergleichen 80
6.3.1	Hypothesen zu den Treatmentvergleichen auf der Belastungsebene über die Serien 80
6.3.2	Hypothesen zu den Treatmentvergleichen auf der Beanspruchungsebene über die Serien 81
7	UNTERSUCHUNGSMETHODIK 83
7.1	Personenstichprobe 83
7.2	Variablenstichprobe 87
7.3	Treatmentstichprobe 89
7.4	Untersuchungsdesign und Untersuchungsablauf 89
7.4.1	Lern- und Gewöhnungstermine 91
7.4.2	Testtermine „konstante Last“ versus „konstante Wiederholungszahl“ 92
7.5	Messtechnik und Messsysteme sowie Messfehlerabschätzung 93
7.6	Methodenkritik 97
7.7	Statistische Auswertung der Daten 100
8	ERGEBNISSE 103
8.1	Ergebnisse zu den Ausgangsniveaumessungen 103
8.2	Ergebnisse zu den Gruppenvergleichen 109
8.2.1	Ergebnisse zu den Gruppenvergleichen auf der Belastungsebene beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) sowie beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) 109
8.2.2	Veränderung der Zeit in Abhängigkeit von der Wiederholungszahl bei den beiden Belastungstreatments über die 6 Serien sowie zwischen den Gruppen 119
8.2.3	Veränderung der Zeit in Abhängigkeit vom Belastungstreatment („konstante Last“ versus „konstante Wiederholungszahl“) über die 6 Serien 121

8.2.4	Ergebnisse zu den Gruppenvergleichen auf der Beanspruchungsebene beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) sowie beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.).....	122
8.3	Ergebnisse zu den Treatmentvergleichen.....	142
8.3.1	Ergebnisse zu den Treatmentvergleichen auf der Belastungsebene über die einzelnen Serien	142
8.3.2	Ergebnisse zu den Treatmentvergleichen auf der Beanspruchungsebene über die einzelnen Serien	144
8.4	Ergebnisse zu den Gruppen- und Treatmentvergleichen in der Nachbelastungsphase	153
8.4.1	Ergebnisse zu den Gruppenvergleichen in der Nachbelastungsphase.....	153
8.4.2	Ergebnisse zu den Treatmentvergleichen in der Nachbelastungsphase	154
9	ERGEBNISZUSAMMENFASSUNG	155
9.1	Ergebniszusammenfassung zu den Ausgangsniveaumessungen	155
9.2	Ergebniszusammenfassung zu den Gruppenvergleichen.....	156
9.3	Ergebniszusammenfassung zu den Treatmentvergleichen	157
9.4	Ergebniszusammenfassung zu den Gruppen- und Treatmentvergleichen in der Nachbelastungsphase	158
9.5	Resümee.....	159
10	DISKUSSION UND AUSBLICK	161
10.1	Diskussion der Gruppen- und Treatmentvergleiche auf der Belastungs- und Beanspruchungsebene	161
10.1.1	Physikalische Arbeit als Vergleichskriterium.....	170
10.1.2	Belastungs-/Reizdauer als Vergleichskriterium.....	170
10.1.3	Laktat als Vergleichskriterium	173
10.1.4	Serienzahl als Vergleichskriterium	177
10.1.5	Herzfrequenz als Vergleichskriterium	179
10.1.6	Blutdruck als Vergleichskriterium	180
10.1.7	Subjektives Belastungsempfinden als Vergleichskriterium	184
10.2	Explorative Längsschnittstudie zur Überprüfung der Belastungs-/Reiz-konfiguration zur Entwicklung der Kraftausdauer	188
10.2.1	Methodik und Ergebnisse der explorativen Längsschnittstudie	188
10.2.2	Diskussion der Ergebnisse der explorativen Längsschnittstudie	195
10.3	Ausblick und Folgerung für die Praxis.....	200
10.4	Fazit in Form von Thesen	203
11	LITERATURVERZEICHNIS.....	205
12	STICHWORTVERZEICHNIS	227

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Einflussgrößen des Kraftverhaltens (modif. n. Güllich/Schmidtbleicher 1999, 224).....	24
Abb. 2:	Ausschnitt aus einer Skelettmuskelfaser (Rüegg 1995, 68). Die quergestreiften Myofibrillen bestehen aus unzähligen, hintereinander geschalteten Sarkomeren, die ihrerseits aus anisotropen, dunklen A-Banden und hellen isotropen I-Banden bestehen. Letztere enthalten die sehr dünnen Aktinfilamente, die in den A-Banden mit den etwas dickeren Myosinfilamenten überlappen	33
Abb. 3:	Größenordnungsprinzip der Ansteuerung der motorischen Einheiten. Die Reizschwelle und der Bereich der Entladungsfrequenz [LO = kleine, oxidative, langsame motorische Einheiten; SOG = schnelle, oxidative glykolytische motorische Einheiten; SG = schnelle, glykolytische motorische Einheiten] (n. Hannerz 1974 in Sale 1992, 250)	43
Abb. 4:	Maximal heart rate of a moderately trained group of males during knee-extension sets to momentary voluntary fatigue at various percentages of the 1 RM. The heart rate does not reflect the intensity (% of 1 RM of the exercise) (vgl. Fleck/Dean 1987 in Fleck/Kraemer 1997, 6).....	48
Abb. 5:	Karikatur zum Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (n. Laurig 1976, 79 in Olivier 2001, 444).....	54
Abb. 6:	Phänomenorientiertes Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (modif. n. Rohmert 1983, 10).....	55
Abb. 7:	Deduktiver und induktiver Ansatz zur Beanspruchungsermittlung (n. Laurig 1980 in Willimczik/Daug/Olivier 1991, 18).....	56
Abb. 8:	Abhängigkeit der Wiederholungsanzahl im Bankdrücken vom relativen Hantelgewicht. Mittelwerte von 16 Gewichthebern. Die durchgezogene Linie repräsentiert die gerundeten Mittelwerte, die unterbrochenen Linien geben die Standardabweichung an (n. Zatsiorsky/Kulik 1965 in Zatsiorsky 1996, 247).....	61
Abb. 9:	Realisierte Wiederholungszahlen bei 50 % 1-RM (N = 10) sowie bei 85 % 1-RM (N = 10) über 6 Serien bei der Übung Bankdrücken (modif. n. Fröhlich et al. 2001a und Fröhlich/Schmidtbleicher/Emrich 2002a)	69
Abb. 10:	Verlauf der Beanspruchung des M. pectoralis major während fünf Serien zu acht Kontraktionen und drei Minuten Pause zwischen den Serien bei der Übung Bankdrücken (modif. n. Pollmann 1993, 141).....	70
Abb. 11:	Mittlere neuronale Aktivität [mV x ms] der einzelnen acht Muskeln über die fünf verschiedenen Intensitätsstufen (n. Fröhlich et al. 2002, 42).....	71
Abb. 12:	Zusammenhang 1-RM beim Treatment „konstante Last“ und 1-RM beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“	76
Abb. 13:	Mess- und Trainingssystem zur Erfassung des 1-RM sowie der verrichteten Arbeit (handelsübliche Multipresse mit Gewichtsarretierung in der obersten Position).....	94

Abb. 14: Charakteristisches Herzfrequenzprofil eines Probanden während des Treatments „konstante Last“	95
Abb. 15: Anzahl der bewältigten Wiederholungen bei 60 % 1-RM über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	111
Abb. 16: Verrichtete physikalische Arbeit [Nm] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer).....	113
Abb. 17: Bewältigte Last [kg] bei Vorgabe 20 Wiederholungen über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	116
Abb. 18: Verrichtete physikalische Arbeit [Nm] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	118
Abb. 19: Benötigte Zeit [sec] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien	121
Abb. 20: Δ Laktat beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	123
Abb. 21: Systolischer Blutdruck [mmHg] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	125
Abb. 22: Herzfrequenz [1/min] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	127
Abb. 23: Doppelprodukt [mmHg x 1/min] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	129
Abb. 24: Subjektives Belastungsempfinden (RPE) beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	131
Abb. 25: Δ Laktat beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	133
Abb. 26: Systolischer Blutdruck [mmHg] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer).....	135
Abb. 27: Herzfrequenz [1/min] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	137
Abb. 28: Doppelprodukt [mmHg x 1/min] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer).....	139
Abb. 29: Subjektives Belastungsempfinden (RPE) beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	141
Abb. 30: Verrichtete physikalische Arbeit [Nm] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien.....	143
Abb. 31: Totale verrichtete physikalische Arbeit [Nm] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“	143

Abb. 32: Δ Laktat [mmol/l] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien	145
Abb. 33: Systolischer Blutdruck [mmHg] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien	146
Abb. 34: Herzfrequenz [1/min] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien	148
Abb. 35: Doppelprodukt [mmHg x 1/min] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien	150
Abb. 36: Subjektives Belastungsempfinden (RPE) beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien	152
Abb. 37: Abhängigkeit der maximalen Wiederholungsanzahl bis zum Abbruch (RM, Abszisse) vom gehobenen Gewicht (% F_{mm} Ordinate) beim Bankdrücken. Probanden: je ein Spitzensportler im Ringen (eher Kraftausdauer) und Gewichtheben (eher Maximalkraft). Die Bankdrückversuche waren jeweils 2,5 sec auszuführen. (n. Zatsiorsky/Kulik/Smirnov 1968. In: Zatsiorsky 1996, 109)	163
Abb. 38: Verrichtete physikalische Arbeit bei „konstanter Last“ und „konstanter Wiederholungszahl“ sowie die dazugehörigen Δ Laktatwerte über die 6 Serien (N = 39).....	174
Abb. 39: Exemplarische Darstellung der bewältigten Wiederholungen bei 60 % 1-RM eines Leichtathleten und eines Ringers sowie die zugehörigen Δ Laktatwerte über die 6 Serien.....	174
Abb. 40: Blutdruckamplitude [mmHg] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer).....	181
Abb. 41: Scatterplot zwischen verrichteter physikalischer Arbeit, Δ Laktatkonzentration, systolischem Blutdruck, Herzfrequenz und subjektiver Belastungseinschätzung (RPE) bei allen Probanden bei 60 % 1-RM in der ersten Serie	187
Abb. 42: Untersuchungsdesign der explorativen Längsschnittstudie für die Treatmentgruppen „konstante Last“ und „konstante Wiederholungszahl“	189
Abb. 43: Exemplarische Darstellung der verrichteten Wiederholungszahlen (60 % 1-RM) über 6 Serien bei 12 Trainingseinheiten sowie bewältigte Last (20 Wdh.) über 6 Serien bei 12 Trainingseinheiten von 2 Probanden	190
Abb. 44: Wiederholungszahl bei 60 % 1-RM Eingangstest bei den 3 Gruppen („konstante Last“, „konstante Wiederholungszahl“, Kontrollgruppe) beim Eingangstest, Ausgangstest und Überdauerungstest	191
Abb. 45: Prozentuale Veränderung der konzentrischen Maximalkraft (1-RM) vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest bei den beiden Belastungstreatments („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) für die einzelnen Probanden	192
Abb. 46: Prozentuale Veränderung der relativen Kraftausdauer [Nm] vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest bei den beiden Belastungstreatments („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) für die einzelnen Probanden	193

Abb. 47: Prozentuale Veränderung der absoluten Kraftausdauer [Nm] vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest bei den beiden Belastungstreatments („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) für die einzelnen Probanden	193
Abb. 48: Veränderung der Δ Laktatkonzentration der relativen und absoluten Kraftausdauer bei der Trainingsmethode „konstante Last“ bzw. „konstante Wiederholungszahl“ vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest	199
Abb. 49: Exemplarische Berechnung des Ist-Zustandes (Prättest) (n. Klein/Fröhlich 2001, 219)	202
Abb. 50: Exemplarische Berechnung der Kraft- bzw. Ausdauerkomponente nach einem fiktiven Kraftausdauertraining über sechs Wochen (n. Klein/Fröhlich 2001, 219)	202

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Entwicklung der Kraftausdauer (n. Güllich/Schmidtbleicher 1999, 232)	28
Tab. 2:	Vergleich langsamer (slow twitch) und schneller (fast twitch) Muskelfasern (modif. n. Hollmann/Hettinger 2000, 53 u. Howald 1989, 18)	34
Tab. 3:	Veränderung der Muskelfasertypen durch Krafttraining bzw. kombiniertes Kraft- und Ausdauertraining [C = Ganzkörper Krafttrainingspr. + intensives Ausdauertraining; UB = Oberkörper Krafttrainingspr. + intensives Ausdauertraining; S = Ganzkörper Krafttrainingsprogramm; E = nur intensives Ausdauertraining] (modif. n. Kraemer et al. 1995).....	37
Tab. 4:	Untersuchungen zur metabolischen Situation im Krafttraining.....	41
Tab. 5:	Kreislaufanpassungserscheinungen in Ruhe bei einem Krafttraining (n. Fleck 1992, 306)	47
Tab. 6:	Blutdruck- und Herzfrequenzverhalten bei einem Krafttraining mit Wiederholungszahlen in der Einzelerie bis zur Ausbelastung und Serien mit um 20 % reduzierter Wiederholungszahl (modif. n. Buskies/Boeckh-Behrens/Zieschang 1996, 177).....	49
Tab. 7:	Vergleich der maximalen Wiederholungszahlen bei unterschiedlichen Intensitäten für die Übungen Latissimus-Zug, Beinpresse und Bankdrücken (Mittelw. \pm Stdabw.); *die Angaben sind der Originalliteratur entnommen und enthalten keine Angaben zur Standardabweichung (n. Marschall/Fröhlich 1999, 313).....	65
Tab. 8:	Realisierte maximale Wiederholungszahl bei unterschiedlichen Belastungsintensitäten in den Teiluntersuchungen (n. Buskies/Boeckh-Behrens 1999, 6)	66
Tab. 9:	Realisierte Wiederholungszahlen bei 80 % 1-RM bei untrainierten und trainierten Männern sowie bei untrainierten und trainierten Frauen für sieben verschiedene Übungen (modif. n. Hoeger et al. 1990, 51f.)	68
Tab. 10:	Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche für die Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer in Absolut- und Prozentwerten	83
Tab. 11:	Anzahl der Trainingsstunden pro Woche für die Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer in Absolut- und Prozentwerten.....	84
Tab. 12:	Häufigkeitsverteilung der Trainingsstunden pro Woche für Krafttraining bei den Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringer in Absolut- und Prozentwerten	84
Tab. 13:	Anthropometrische Daten der Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer sowie von allen 39 Probanden im Mittel (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum).....	86
Tab. 14:	Untersuchungsdesign bestehend aus den zwei Lern- und Gewöhnungsterminen und den zwei eigentlichen Testterminen („konstante Last“ versus „konstante Wiederholungszahl“).....	90
Tab. 15:	Anzahl der tatsächlich verrichteten Wiederholungen bei Vorgabe 20 Wiederholungen über die einzelnen Serien bei allen 39 Teilnehmern	98

Tab. 16:	Konzentrische Maximalkraft (1-RM) sowie Relativkraft beim Treatment „konstante Last“ bzw. beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“ bei den jeweils 13 Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern sowie bei allen 39 Teilnehmern (Mittelwert, Standardabweichung und 95 %iges Konfidenzintervall aus Rohdaten)	104
Tab. 17:	Ruhelaktat, systolischer und diastolischer Blutdruck in Ruhe, Ruheherzfrequenz und Doppelprodukt in Ruhe beim Treatment „konstante Last“ bzw. beim Treatment „konstante Wdh.“ bei den Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern (Mittelwert, Standardabweichung und 95 %iges Konfidenzintervall)	107
Tab. 18:	Ruhelaktat, systolischer und diastolischer Blutdruck in Ruhe, Ruheherzfrequenz und Doppelprodukt in Ruhe beim Treatment „konstante Last“ bzw. beim Treatment „konstante Wdh.“ bei allen 39 Teilnehmern (Mittelwert, Standardabweichung und 95 %iges Konfidenzintervall).....	108
Tab. 19:	Anzahl der bewältigten Wiederholungen bei 60 % 1-RM sowie der prozentuale Anteil der Wiederholungen in den Serien 2 - 6 in Relation zur Serie 1 bei allen 39 Teilnehmern ($\bar{x} \pm s$ aus Rohdaten).....	109
Tab. 20:	p-Werte der Einzelvergleiche der Wiederholungszahlen über die einzelnen Serien	109
Tab. 21:	Prozentualer Unterschied in der Anzahl der bewältigten Wiederholungen über die 6 Serien zwischen den Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern	110
Tab. 22:	Mittelwerte und Standardabweichung der verrichteten physikalischen Arbeit [Nm] bei 60 % 1-RM über die einzelnen Serien bei allen 39 Teilnehmern.....	112
Tab. 23:	p-Werte der Einzelvergleiche der verrichteten physikalischen Arbeit über die einzelnen Serien.....	112
Tab. 24:	Bewältigte Last [kg] bei Vorgabe 20 Wiederholungen sowie der prozentualer Anteil der Last in den Serien 2 - 6 in Relation zur Serie 1 bei allen 39 Teilnehmern ($\bar{x} \pm s$ aus Rohdaten)	114
Tab. 25:	p-Werte der Einzelvergleiche der bewältigten Last über die einzelnen Serien.....	114
Tab. 26:	Prozentualer Unterschied der bewältigten Last bei Vorgabe 20 Wiederholungen über die 6 Serien zwischen den Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern.....	115
Tab. 27:	Mittelwerte und Standardabweichung der verrichteten physikalischen Arbeit [Nm] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei allen 39 Teilnehmern	117
Tab. 28:	Benötigte Zeit [sec] für das Realisieren der Wiederholungen beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	119
Tab. 29:	Benötigte Zeit [sec] für das Realisieren der Wiederholungen beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	120
Tab. 30:	Δ Laktat [mmol/l] beim Treatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) bei allen 39 Teilnehmern	122
Tab. 31:	p-Werte der Einzelvergleiche des Δ Laktats über die einzelnen Serien.....	122

Tab. 32: Prozentualer Unterschied der Laktatkonzentration [mmol/l] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien zwischen den 3 Gruppen (Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern).....	123
Tab. 33: Systolischer Blutdruck [mmHg] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien von allen Probanden.....	124
Tab. 34: p-Werte der Einzelvergleiche des systolischen Blutdrucks über die einzelnen Serien	124
Tab. 35: Herzfrequenz [1/min] beim Treatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) bei allen 39 Teilnehmern.....	126
Tab. 36: p-Werte der Einzelvergleiche der Herzfrequenz über die einzelnen Serien.....	126
Tab. 37: Doppelprodukt [mmHg x 1/min] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien von allen Probanden.....	128
Tab. 38: p-Werte der Einzelvergleiche des subjektiven Belastungsempfinden über die einzelnen Serien.....	130
Tab. 39: Δ Laktat [mmol/l] beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) bei allen 39 Teilnehmern.....	132
Tab. 40: p-Werte der Einzelvergleiche des Δ Laktats über die einzelnen Serien	132
Tab. 41: Prozentualer Unterschied der Laktatkonzentration [mmol/l] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien zwischen den 3 Gruppen (Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern).....	133
Tab. 42: Systolischer Blutdruck [mmHg] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien von allen Probanden.....	134
Tab. 43: p-Werte der Einzelvergleiche des systolischen Blutdrucks über die einzelnen Serien	134
Tab. 44: Herzfrequenz [1/min] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei allen Probanden.....	136
Tab. 45: Doppelprodukt [mmHg x 1/min] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien von allen Probanden.....	138
Tab. 46: p-Werte der Einzelvergleiche des subjektiven Belastungsempfinden über die einzelnen Serien.....	140
Tab. 47: p-Werte der Einzelvergleiche der verrichteten physikalischen Arbeit über die einzelnen Serien.....	142
Tab. 48: Verrichtete Arbeit in den Serien 2 - 6 in Relation zur verrichteten Arbeit in der 1. Serie in Prozent.....	142
Tab. 49: Herzfrequenz [1/min] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“	147
Tab. 50: p-Werte der Einzelvergleiche des Doppelprodukts über die einzelnen Serien	149
Tab. 51: p-Werte der Einzelvergleiche der subjektiven Belastungseinschätzung über die einzelnen Serien.....	151

Tab. 52: Beanspruchungsgrößen in der Nachbelastungsphase beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	153
Tab. 53: Beanspruchungsgrößen in der Nachbelastungsphase beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)	153
Tab. 54: Beanspruchungsgrößen in der Nachbelastungsphase bei den beiden Treatments („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“)	154
Tab. 55: Aspekte, die bei der Bestimmung der Maximalkraft eine zentrale Rolle spielen sowie Probleme, die die Bestimmung der Maximalkraft erschweren (modif. n. Fröhlich/Schmidtbleicher/Emrich 2002b, 746).....	166
Tab. 56: Belastungsnormativa für die Trainingsmethoden Kraftausdauer, Hypertrophie und Intramuskuläre Koordination	169
Tab. 57: Konzentrische Maximalkraft (1-RM), relative Kraftausdauer und absolute Kraftausdauer beim Eingangstest, Ausgangstest und Überdauerungstest von den drei Gruppen	191
Tab. 58: Δ Laktat, systolischer Blutdruck und Herzfrequenz der relativen und absoluten Kraftausdauer bei den 3 Gruppen beim Eingangstest, Ausgangstest und Überdauerungstest.....	194
Tab. 59: Mittelwerte und Standardabweichungen der dynamischen Maximalkraft (in kg); vT = vor Training, N3 - N21 = 3 - 21 Tage nach Trainingsende; + =signifikant höher als Vortestwert, ¹ = signifikant höher als Wert 3 Tage nach (n. Schlumberger 2000, 55)	196

Verzeichnis der Abkürzungen

α	α -Fehler-Niveau (Wahrscheinlichkeit, eine richtige H_0 zu verwerfen)
β	β -Fehler-Niveau (Wahrscheinlichkeit, eine falsche H_0 nicht zu verwerfen)
ε	Korrektur der Freiheitsgrade nach GREENHOUSE-GEISSER
\bar{x} (Mittelw.)	Mittelwert
η^2	Eta-Quadrat, deskriptives Maß für den erklärenden Varianzanteil in der Varianzanalyse
η^2_p	Partielles Eta-Quadrat, deskriptives Maß für den erklärenden Varianzanteil in der mehrfaktoriellen Varianzanalyse
(d) Δ Laktat	Delta-Laktat (Differenzwert aus Ruhe- und Belastungs- bzw. Nachbelastungswert)
+	Signifikant ($p < 0,05$)
++	Sehr signifikant ($p < 0,01$)
+++	Hoch signifikant ($p < 0,001$)
1-RM	Einwiederholungsmaximum (engl. one-repetition-maximum)
Abs. KA	Absolute Kraftausdauer
ADP	Adenosindiphosphat
AT	Ausgangstest (Längsschnitt)
ATP	Adenosintriphosphat (primäre Energiequelle)
AV	Abhängige Variable
BD	Blutdruck [mmHg]
CSA	Muskelquerschnitt (engl. cross-sectional area)
DP	Doppelprodukt (myokardiale Arbeit) [mmHg x 1/min]
DVZ	Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus
EMG	Elektromyogramm
ET	Eingangstest (Längsschnitt)
F_m	Maximalkraft
F_{mm}	Maximum-maximorum Kraft, höchste Kraft unter Maximalwerten
$F_{n1; n2}$	Wert der F-Verteilung mit n_1 Zähler und n_2 Nennerfreiheitsgraden
FS	Freizeitsportler
H	Wert der Testgröße der Rangvarianzanalyse nach KRUSKAL-WALLIS
HF	Herzfrequenz [1/min]
Hz	Hertz [1/s]
KG	Körpergewicht [kg]
KL	Treatmentgruppe „konstante Last“ (Längsschnitt)

KO	Kontrollgruppe (Längsschnitt)
KP	Kreatinphosphat
KW	Treatmentgruppe „konstante Wiederholungszahl“ (Längsschnitt)
LA	Leichtathleten
M.	Muskel (lat. musculus)
MHC	Schwere Myosinkette (engl. myosin heavy chain)
MLS	Muskelleistungsschwelle
mmol/l	Millimol pro Liter
msec	Millisekunde
mV	Millivolt
MVC	Maximale Willkürkontraktion (engl. maximal voluntary contraction)
N	Newton
N	Stichprobenumfang
Nm	Newtonmeter
Ns	Newtonsekunde
p	Auftretenswahrscheinlichkeit (engl. probability)
Pb(n)	Proband(en)
Rel. KA	Relative Kraftausdauer
RI	Ringer
RPE	Subjektives Belastungsempfinden (engl. ratings of perceived exertion)
RM oder RPM	Wiederholungsmaximum (engl. repetition-maximum)
s (Stdabw.)	Standardabweichung
sec	Sekunden
t_n	Wert der t-Verteilung mit n Freiheitsgraden
U	Prüfgröße des U-Tests von MANN-WHITNEY
ÜT	Überdauerungstest (Längsschnitt)
V	Variabilitätskoeffizient
vs.	versus
r_{tt}	Test-Retest-Korrelationskoeffizient
r	Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient

1 Einleitung und Aufbau der Arbeit

1.1 Einleitung

„Globale Empfehlungen zu Trainingsintensitäten auf der Basis maximal möglicher Wiederholungszahlen sind also nicht seriös auszusprechen. Zwar erscheint die Option, ohne Kenntnis des 1 RPM die Intensitäten kontrollieren zu können, nach wie vor attraktiv und auch der qualitative Zusammenhang zwischen möglicher Wiederholungszahl und Intensität ist unbestritten, aber für den Zweck der Intensitätssteuerung bedürfte es noch einer erheblich verbesserten trainingswissenschaftlichen Durchdringung.“ (HOHMANN/LAMES/LETZELTER 2002, 240f.)

Die Kraft, als *conditio sine qua non* aller sportmotorischen Leistungen, nimmt im Kanon der konditionellen Fähigkeiten eine besondere Rolle ein. Diese exponierte Stellung der Kraft bzw. des Krafttrainings innerhalb des sportlichen Trainings, ist seit längerer Zeit anerkannt (vgl. MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993). Betrachtet man sich die Literatur zur Krafttrainingsmethodik so werden bezogen auf die isometrische und/oder konzentrische Maximalkraft (MVC bzw. 1-RM), zur Dosierung der Intensität prozentuale Angaben und Wiederholungszahlen angegeben (vgl. EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN 1998, 108ff.). STONE/O'BRYANT (1987, 104) konstatieren: „Intensity is a key factor for progress in a variety of programs, but it is especially important for strength training.“ Dieses Vorgehen beruht auf einer deduktiven Beanspruchungsermittlung, wie sie ähnlich in arbeitswissenschaftlichen Ansätzen (vgl. LAURIG 1980) zur Bestimmung einer „angemessenen“ (orientiert an der jeweiligen Trainingsintention) Belastung vorgeschlagen wird. Prozentangaben und Wiederholungszahlen sollten danach den Grad der „ressourcenabhängigen“ Ausschöpfung (SCHÖNPFLUG 1987) der individuellen Fähigkeit „Maximalkraft“ angeben (vgl. WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991). Der Begriff Belastungs-/Reizintensität wird allerdings im Zusammenhang mit Angaben zum Krafttraining in der Regel alleine auf die bewältigte Last bezogen und gibt nicht den Grad der Ausschöpfung zugrunde liegender physiologischer Ressourcen an, die zur Ansteuerung spezifischer Trainingsziele erreicht werden sollen (vgl. im Überblick HEMMLING 1994; PAMPUS/LEHNERTZ/MARTIN 1989). Im Gegensatz dazu stehen die Trainingsempfehlungen im Ausdauerbereich. Bei der Umsetzung von Trainingsmethoden im Ausdauerbereich werden bspw. neben reinen Zeitvorgaben und Kilometerumfängen auch Beanspruchungsparameter wie Herzfrequenz und Laktat sowie subjektive Belastungsempfindungen berücksichtigt (vgl. COEN 1997). Im Breiten- und Gesundheitsport werden diese Parameter bisweilen zur alleinigen Steuergröße herangezogen. So erfreut sich bspw. das herzfrequenzkontrollierte Training zur Verbesserung der allgemeinen Ausdauer einer immer größeren Beliebtheit.

Einerseits wird beim Krafttraining implizit und explizit angenommen, dass bei gegebener Belastungs- bzw. Reizintensität in etwa die zugeordnete Wiederholungszahl realisiert bzw. aus einer realisierten

Wiederholungszahl auf die Intensität geschlossen werden kann (HARRE 1986; SCHOLICH 1974). Dass dieser Schluss in stringenter Weise so jedoch nicht haltbar ist, konnte nunmehr in zahlreichen Untersuchungen (BUSKIES 1999a; 1999b; BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999; FRÖHLICH et al. 2001a; 2001b; FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH 2002a; HOEGER et al. 1987; 1990; MARSCHALL/FRÖHLICH 1999 u. a.) nachgewiesen werden. Des Weiteren ist nach HOHMANN/LAMES/LETZELTER (2002, 240) der Zusammenhang zwischen Belastungsintensität und maximaler Wiederholungszahl noch keineswegs als geklärt zu betrachten. Zum methodischen Vorgehen zur Steuerung und Regelung des Krafttrainings, speziell des Kraftausdauertrainings, schlägt CARL (1989) treffend vor, dass es bei der Analyse der Trainingswirkungen sicherlich nicht ausreicht, nur die Wirkung in Richtung auf das Haupttrainingsziel zu betrachten, wie dies bspw. bei der Vergrößerung der möglichen Wiederholungszahl bei der Durchführung einer bestimmten Übung der Fall ist. Es ist vielmehr notwendig, eine umfassende Wirkungsanalyse in Bezug auf möglichst alle, als leistungsrelevant erkannten Verhaltensdimensionen, einschließlich einer Analyse der Wechselwirkungen zwischen diesen Elementen und einer Erhellung der Trainingswirkungen in Bezug auf die indirekten Leistungsbedingungen, wie auf metabolische, neurophysiologische oder emotionale Größen, herzustellen. Bezug nehmend hierauf und dem Wissen der zugrundeliegenden Beanspruchung (bspw. neuronale Aktivität, Laktatverhalten, Blutdruck und Herzfrequenz) könnte so das gewählte Trainingsziel mit einer entsprechenden maximalen Wiederholungszahl, respektive einer bestimmten Belastungsdauer, realisiert werden.

Nach GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER (1999, 232) wird für das Kraftausdauertraining eine möglichst weitgehende Beanspruchung der sauerstoffunabhängigen Energiebereitstellungsprozesse als anpassungsauslösende Komponente angestrebt. Die Belastungs-/Reizdauer sollte also in einem Zeitraum liegen, innerhalb dessen die anaerobe Glykolyse ihr Maximum erfährt. Dies entspricht etwa einer Wiederholungszahl von 25 - 30 bei einer Bewegungsfrequenz von zwei Sekunden für einen kompletten Bewegungszyklus.

Abgeleitet aus der defizitären Befundlage zur Belastungsgestaltung bzw. Methodik des Kraftausdauertrainings war es Zielstellung der vorliegenden Studie, Antworten auf folgende Fragen zu finden: Einerseits, ob beim Kraftausdauertraining ein festes Verhältnis von deduzierter Belastungs-/Reizintensität und Wiederholungszahl sowohl individuell als auch intraindividuell über mehrere Serien besteht und inwieweit sich die zugrunde liegende Beanspruchungssituation gestaltet. Andererseits, ob sich eine Trainingsmethode „**konstante Last**“ (intensitätsorientiert) von einer Trainingsmethode „**konstante Wiederholungszahl**“ (wiederholungszahlorientiert) im Kraftausdauertraining unterscheidet, wenn sowohl die Belastung als auch die (Teil-)Beanspruchung betrachtet wird. Darüber hinaus sollten aus den Untersuchungsergebnissen Handlungsempfehlungen für die Methodik des Kraftausdauertraining abgeleitet werden.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil beschäftigt sich mit den theoretischen Grundlagen und empirischen Befunden zur Belastungs- und Beanspruchungs-Situation im Krafttraining, speziell des Kraftausdauertrainings. Der zweite Teil geht auf die empirische Studie zur Methodik des Kraftausdauertrainings ein. Dabei werden sowohl zwei verschiedene Trainingsmethoden miteinander verglichen als auch Aussagen für Freizeitsportler sowie Leistungssportler der Sportarten Leichtathletik und Ringen abgeleitet. Die theoretischen Grundlagen beginnen mit einer dimensionsanalytischen Betrachtung der Krafftähigkeit unter besonderer Berücksichtigung der Kraftausdauerleistung und des Kraftausdauertrainings. Im Weiteren wird auf die leistungsdeterminierenden Einflussfaktoren (tendomuskulär, neuromuskulär, kardiovaskulär sowie psychisch) der Krafftähigkeit eingegangen, wobei auch hier ein Schwerpunkt auf der Kraftausdauerfähigkeit liegt. In Kapitel 4 werden die Begriffe bzw. Konstrukte Ermüdung, Belastung und Beanspruchung diskutiert und auf die vorliegende Fragestellung angepasst. Bei der folgenden Belastungs-/Beanspruchungsermittlung in Kapitel 4.4 werden die Belastungsnormativa unter einem reinen Belastungsaspekt und unter einem Beanspruchungsaspekt dargestellt. Die Probleme, die sich bei der Bestimmung der Belastungs- und Beanspruchungsermittlung im Krafttraining ergeben, leiten über zu empirischen Befunden. Aufbauend darauf werden in Kapitel 5.2 die allgemeinen Forschungshypothesen formuliert.

Der experimentelle Teil (ab Kapitel 7) der empirischen Untersuchung zur Methodik des Kraftausdauertraining beginnt mit methodischen Aspekten (Personen-, Variablen-, Treatmentstichprobe). Danach wird auf das Untersuchungsdesign und den Untersuchungsablauf eingegangen. Im folgenden Kapitel 7.5 werden die verwendeten Messsysteme dargestellt und innerhalb einer Methodenkritik (7.6) diskutiert. Im Anschluss daran erfolgt eine Darstellung der statistischen Auswertungsverfahren (7.7). Im Folgenden werden in Kapitel 8 die Ergebnisse im Einzelnen sowie in Kapitel 9 in der Gesamtzusammenfassung wiedergegeben. In Kapitel 10 werden die gefundenen Ergebnisse kritisch diskutiert und im Ausblick auf zukünftige Forschungsfragen beleuchtet. Abschließend folgen Empfehlungen für die Trainingspraxis (10.3).

THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND EMPIRISCHE BEFUNDE ZUR BELASTUNGS- UND BEANSPRUCHUNGS-SITUATION IM KRAFTTRAINING UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER KRAFTAUSDAUERLEISTUNG BZW. DES KRAFTAUSDAUERTRAININGS

2 Dimensionsanalytische Betrachtung der Kraftfähigkeit sowie leistungs-determinierende Faktoren der Muskeltätigkeit

2.1 Struktur der Kraftfähigkeit

Unter physikalischen Gesichtspunkten ist die Kraft \vec{F} (force) hinlänglich und präzise beschrieben. Hierbei versteht man unter der abgeleiteten Größe Kraft die mechanische Wechselwirkung zwischen Körpern. Die Maßeinheit der Kraft ist das Newton [N] (vgl. PREIB 1996, 65ff.). Im Gegensatz dazu bedarf die Kraft als körperliche Fähigkeit¹ (strength) einer weiterführenden Differenzierung. Die motorische Fähigkeit im Allgemeinen sowie die Kraftfähigkeit im Speziellen kann hierbei wiederum durch einen empirisch-statistischen, einen phänomenologisch beschreibenden oder durch einen dimensionsanalytischen Strukturierungsansatz abgegrenzt werden (vgl. WANG 1999, 14f.). Im Folgenden soll auf den dimensionsanalytischen Strukturansatz der Kraftfähigkeit eingegangen werden (vgl. BÜHRLE 1989; BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER 1981; SCHMIDTBLEICHER 1984a), da eine Unterscheidung der Kraftfähigkeit aufgrund des äußeren Erscheinungsverhaltens bzw. nach Bewegungsfertigkeiten eine Differenzierung zwischen vorrangig konditionellen und koordinativen Einflussfaktoren erschwert (vgl. SCHMIDTBLEICHER 1987b). Darüber hinaus ist der dimensionsanalytische Ansatz hinreichend durch neuromuskuläre Grundlagenforschungen sowie zahlreiche Quer- und Längsschnittuntersuchungen abgesichert. Die motorische Kraftfähigkeit im Sinne des dimensionsanalytischen Strukturansatzes ist ihrerseits wiederum durch die morphologisch-physiologischen und neurophysiologischen Einflussgrößen strukturiert. Aus trainingspraktischen Gründen kann dabei eine Unterteilung der Kraftfähigkeit in Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer vorgenommen werden (vgl. Abb. 1). Diese auf NETT (1964) zurückgehende Einteilung hat nach wie vor Gültigkeit. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass diese drei Subkategorien der Kraftfähigkeit nicht gleichrangig auf einer Ebene einzuordnen sind. Vielmehr stellt die Maximalkraft die Basisfähigkeit für die Schnellkraft dar und hat neben der Ermüdungswiderstandfähigkeit einen direkten

Auf eine handlungstheoretische Unterscheidung zwischen Fähigkeiten (ability) und Fertigkeiten (skill) sei auf CARL (1992, 158f.), MECHLING (1992, 162f.) sowie SCHMIDT (1988, 312) verwiesen. Auf die Problematik dieser Begriffsverwendungen im hypothetischen Kontext wird auf PITSCH (1999, 49ff.) verwiesen.

Einfluss auf die Kraftausdauer. Für das Krafttraining folgt daraus, dass eine Verbesserung der Maximalkraft in der Regel mit einer höheren Schnellkraft- und Kraftausdauerleistung einher geht (GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999, 224). So kommt es bspw. bei untrainierten Freizeitsportlern durch eine Verbesserung der Maximalkraft sowohl zu einer Erhöhung der Schnellkraft als auch der Kraftausdauer (vgl. MARX et al. 1998). Die Schnellkraft und die Kraftausdauer können wiederum in zwei relativ eigenständige Dimensionen unterteilt werden. Dabei unterscheidet man eine isometrische oder konzentrische Arbeitsweise von einer exzentrisch-konzentrischen Arbeitsweise (sog. Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus).

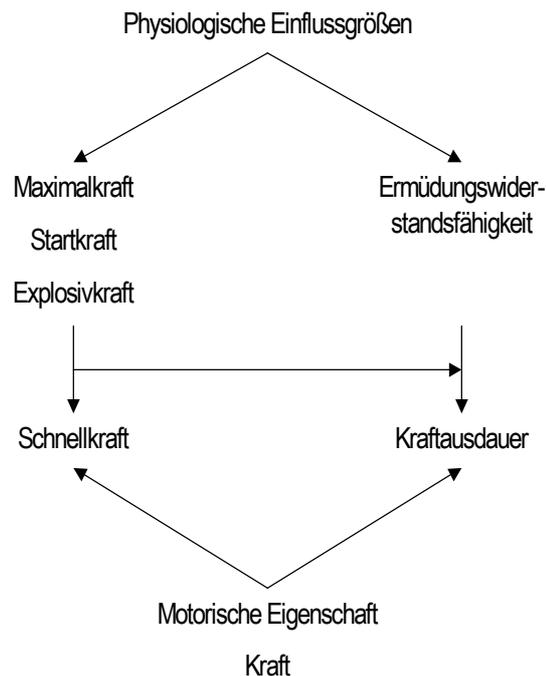


Abb. 1: Einflussgrößen des Kraftverhaltens (modif. n. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999, 224)

Neben den drei Kategorien Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer halten MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993, 106) nach dem derzeitigen Kenntnisstand eine Einteilung in Maximalkraft, Schnellkraft, Kraftausdauer und Reaktivkraft² für sinnvoll (vgl. EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN 1998, 66). Dieser Auffassung schließt sich PAMPUS (1995, 13) an, indem er feststellt, dass es in der Sportpraxis nicht die Kraft schlechthin gibt, sondern dass entsprechend den sportart- bzw. anwendungstypischen motorischen Anforderungen und Einsatzbereichen diese vier unterschiedlichen Krafftahigkeiten differenziert werden müssen. Im Nachfolgenden werden die einzelnen Krafftahigkeiten detaillierter dargestellt.

² Unter Reaktivkraft versteht man das Vermögen, bei einem schnell ablaufenden Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus einer Muskelschlinge einen hohen Kraftstoß realisieren zu können (BÜHRLE 1989, 319). Durch entsprechendes Training der reaktiven Bewegungsform kommt es zu Adaptationen der mechanisch energetischen Umwandlung im tendomuskularen System, welches somit die Muskelelastizität erhöhet (vgl. BOSCO 1983; HÄKKINEN/KOMI 1983a).

2.2 Maximalkraft

Unter Maximalkraft versteht man die höchste Kraft, die das neuromuskuläre System bei einer maximalen willkürlichen Kontraktion entfalten kann (GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999, 224). Nach EHLLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN (1998, 67) tritt die Maximalkraft sowohl unter isometrischen als auch unter konzentrischen Maximalkontraktionen auf³ (vgl. SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997, 133f; WEINECK 1994, 238). Während die isometrische Maximalkraft (maximal voluntary contraction MVC) unter standardisierten Bedingungen an einem unüberwindlichen äußeren Widerstand dynamometrisch gemessen wird, (vgl. KROEMER/MARRAS 1980) versteht man unter der dynamischen Maximalkraft⁴, die höchste Last, die unter definierten Arbeitsbedingungen maximal einmal gehoben oder bewegt werden kann (vgl. KRAEMER/FRY 1995; STONE/O'BRYANT 1987). Im angloamerikanischen Sprachraum wird die dynamische Maximalkraft als One-Repetition-Maximum (1-RM) bezeichnet und pragmatisch als „load which could be lifted once only, throughout the complete range of movement“ angegeben (vgl. BERGER 1967; MCCARTNEY et al. 1988). Eine Differenzierung in isometrische und konzentrische Maximalkraft halten BÜHRLE (1985), BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER (1981) sowie SCHMIDTBLEICHER (1984a; 1987b; 1992) jedoch aufgrund der physiologischen Grundlagentheorie sowie aufgrund empirischer Ergebnisse für nicht gerechtfertigt (vgl. FRY/POWELL/KRAEMER 1992; HORTOBAGYI/KATCH/LACHANCE 1989). So bestehen bei identischen Test- und Trainingsbewegungen zwischen isometrischer und konzentrischer Maximalkraft Korrelationskoeffizienten von $r \geq 0,85$. Bei trainierten Personen und Leistungssportlern ist dieser Zusammenhang sogar noch enger ($r = 0,90$ bis $0,95$). Des Weiteren konnte MÜLLER (1987) in einer empirischen Grundlagenuntersuchung zur statischen (isometrischen⁵) und dynamischen Muskelkraft insgesamt zeigen, dass eine Unterscheidung von statischem und dynamischem Maximal- und Schnellkraftvermögen als unabhängige Fähigkeit nicht begründet ist. Ähnlich verhält es sich mit isometrischen und exzentrischen Kraftleistungen, wobei die Kraftwerte der exzentrischen Arbeitsweise über den Werten der isometrischen Arbeitsweise liegen. Je geringer die Differenz von isometrischer und exzentrischer Maximalkraft

³ Auf der Grundlage von molekularmechanischen Aspekten wird von LEHNERTZ (1988a) eine Unterscheidung in isometrische und konzentrische Maximalkraft vorgenommen.

⁴ Maximalkraftleistungen sind in hohem Maße von der aktiven Muskelmasse abhängig (CHILIBECK et al. 1998, 170). Spitzengewichtheber weisen so bspw. aufgrund ihres vergleichsweise hohen Muskelanteils an der Körpermasse hohe Korrelationen (0,80 bis 0,93) zwischen Maximalkraftleistung und Körpergewicht auf (ZATSIORSKY 1996, 85ff.). Sollen vergleichende Aussagen bzgl. interindividueller Kraftleistungen gemacht werden, so wird Aufgrund dieses Zusammenhangs die Maximalkraftleistung in Relation zum Körpergewicht gesetzt (vgl. TITTEL/WUTSCHERK 1992). Dieses Verhältnis bezeichnet man als Relativkraft.

⁵ Generell muss zwischen Belastungsform bzw. Arbeitsweise des Muskels (dynamisch/statisch) und Muskelaktion bzw. Kontraktionsform (konzentrisch/exzentrisch/isometrisch) unterschieden werden (vgl. KNUTTGEN/KOMI 1992, 3f.).

ist (geringes Kraftdefizit), um so günstiger ist das Trainingsniveau bzgl. der vorhandenen Muskelmasse (SCHMIDTBLEICHER 1984b, 162). KNAPIK et al. (1983, 77) gehen sogar noch einen Schritt weiter und subsumieren die isokinetische, die isometrische und die isotonische Maximalkraft und belegen diese mit dem [...] „similar phenomenon which could be termed maximal voluntary contraction.“ Insgesamt kann somit zum gegenwärtigen Zeitpunkt konstatiert werden, dass eine dimensionale Trennung von isometrischer, konzentrischer und exzentrischer Maximalkraft weder sinnvoll noch zulässig ist (vgl. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999, 225). Bevor im Folgenden auf die relevanten leistungsdeterminierenden Faktoren eingegangen wird, sollen die Schnellkraft und die Kraftausdauer dargestellt werden.

2.3 Schnellkraft

Schnellkraft kann definiert werden, als die Fähigkeit einen möglichst großen Impuls in einer möglichst kurzen Zeit zu entwickeln (vgl. SCHMIDTBLEICHER 1992, 381). Diese Definition lehnt an die Sportpraxis an und bezieht sich auf dynamische Aktionen wie Kugelstoßen oder Speerwerfen. Hierbei ist der Bewegungsimpuls [$\text{kg} \times \text{m/s}$] die entscheidende Größe für die Geschwindigkeit des Körpers, von Körperteilsegmenten oder von Sportgeräten. Der Impuls als solcher ist charakterisiert durch die Steilheit des Kraftanstiegs, das realisierte Kraftmaximum und die Impulsdauer (vgl. SCHMIDTBLEICHER 1987a). Die Dauer der Kraffteinwirkung wird dabei maßgeblich vom zur Verfügung stehenden Beschleunigungsweg und der Gestaltung des Beschleunigungsablaufs bestimmt. Ist der Beschleunigungsweg begrenzt, d. h., steht nur wenig Zeit zur Kraftentfaltung zur Verfügung, so wird der Impuls wesentlich von der Höhe des Kraftanstiegs determiniert. Je kürzer dabei die Zeit für den Schnellkräfteeinsatz ist, desto größer wird die Bedeutung der Steilheit des Kraftanstiegs. Die Fähigkeit, einen möglichst steilen Kraftanstieg zu erzeugen, wird in Anlehnung an WERCHOSHANSKIJ/TATJAN (1975) als Explosivkraft (Steigungswert der Tangente im Wendepunkt) oder als „maximal rate of force development“ bezeichnet. Zeitlich längere Schnellkraftleistungen werden zunehmend durch das Kraftmaximum determiniert. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER (1999, 225) halten die Explosivkraft für dominant, wenn Schnellkraftleistungen mit einer Kontraktionszeit von weniger als 200 msec erforderlich sind. Bei Schnellkraftleistungen mit einer Kontraktionszeit von mehr als 200 msec wird das dynamisch realisierte Kraftmaximum entscheidend. Daraus ergibt sich die große Bedeutung der Explosivkraft und der Maximalkraft für zyklische und azyklische Schnellkraftleistungen⁶. BÜHRLE (1993, 17) geht sogar noch einen Schritt weiter und bedient sich des Zusammenhangs von Explosivkraft und Maximalkraft zur differenzierten Kraftdiagnostik. Neben der Explosivkraft wird von BÜHRLE (1985) der Begriff der Startkraft (initiale Kraftanstiegsgeschwindigkeit „initial rate of force development“) als weiterer Schnellkraftparameter eingeführt. Hierbei handelt es sich

⁶ Die Maximalkraft ist zusammen mit der Startkraft und der Explosivkraft die Basisgröße für die Schnellkraft.

um die Fähigkeit, von Kontraktionsbeginn an einen hohen Kraftanstieg realisieren zu können. Quantifiziert wird die Startkraft anhand der Kraftentwicklung der ersten 30 msec der ansteigenden Kraft-Zeit-Kurve. Auf die relativ eigenständigen Dimensionen des Schnellkraftverhaltens im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ), also bei exzentrisch-konzentrischer Muskelkontraktionsform, soll in dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden (vgl. FRICK 1993; KOMI 1992; SCHMIDTBLEICHER 1992).

2.4 Kraftausdauer

Der Begriff Kraftausdauer charakterisiert eine komplexe, motorische, leistungsbestimmende Fähigkeit für Sportarten bzw. sportliche Disziplinen, in denen die Leistung im Wettkampf und/oder im Training von der Kraft- und von der Ausdauerfähigkeit abhängt (vgl. SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997, 159). Demnach beinhaltet die Kraftausdauerfähigkeit zwei Merkmalskomponenten: erstens, eine kraftgeprägte als Voraussetzung zur Lastbewältigung und zweitens eine muskelstoffwechselbezogene als Voraussetzung für die Lastbewältigungsdauer (vgl. NICOLAUS 1995, 19; KLEIN/FRÖHLICH 2001). Hieraus ergibt sich die direkte Abhängigkeit der Kraftausdauerleistungsfähigkeit von der individuellen Maximalkraft und der jeweiligen Stoffwechselleistungsfähigkeit (Ermüdungswiderstandsfähigkeit) der Muskulatur. Diese dualistische Sichtweise gilt sowohl bei statischer als auch dynamischer Arbeitsweise in Form von zyklischen Bewegungsfolgen (vgl. ROHMERT 1960a; 1960b; SHAVER 1970; ZATSIORSKY/KULIK/SMIRNOV 1977). Hinsichtlich einer notwendigen Operationalisierung der Kraftausdauer⁷ bzw. der Kraftausdauerfähigkeit wird von SCHMIDTBLEICHER (1989, 13) die Höhe der erzielten Impulssumme in einem definierten Zeitraum zugrunde gelegt.

„Mit Kraftausdauer wird die Fähigkeit des neuromuskulären Systems bezeichnet, eine möglichst große Impulssumme in einem definierten Zeitraum (längstens 2 Minuten bei maximaler Auslastung) gegen höhere Lasten (mehr als 30 % der Maximalkraft) zu produzieren und dabei die Reduktion der produzierten Impulse im Verlauf der Belastung möglichst gering zu halten.“
(SCHMIDTBLEICHER 1989, 13)

In der Trainingspraxis zeigt sich jedoch, dass für anaerobe Anpassungen äußere Widerstände von über 50 % der Maximalkraft⁸ erforderlich sind. Folglich setzt sich die Kraftausdauerfähigkeit nach der Defini-

⁷ Durch die operationale Definition von SCHMIDTBLEICHER (1989) erfährt die Kraftausdauerfähigkeit einen wesentlichen qualitativen sowie quantitativen Fortschritt. Andererseits werden verschiedene Sportarten, die traditionell der Kraftausdauer zugeordnet sind, wie Rudern, Kanu oder Ringen, allein durch die Zeitspanne von höchstens zwei Minuten, ausgegrenzt (vgl. NICOLAUS 1995, 21).

⁸ Durch Faktorenanalyse konnte PACH (1991) aufgrund der Belastungshöhe drei Erscheinungsweisen wie hochintensive statisch-dynamische, mittelintensive statische sowie niedrigintensive dynamische Kraftausdauer differenzieren.

tion von SCHMIDTBLEICHER (1989) aus zwei Komponenten zusammen: erstens aus der Größe des Einzelkraftstoßes und zweitens der Reduktion der möglichst gering gehaltenen Kraftstöße. Während die Größe des Einzelkraftstoßes maßgeblich von der Maximalkraft und der Explosivkraft bestimmt wird (FRICK 1993; LEHNERTZ/MARTIN/NICOLAUS 1995) wird die möglichst geringe Reduktion der Impulse bei Belastungszeiträumen bis ca. zehn Sekunden, vorrangig durch die Aufrechterhaltung eines hohen zentralen Antriebs sowie durch die effektive Reizübertragung und Reizfortleitung an der neuromuskulären Endplatte bestimmt (BIGLAND-RITCHIE 1981a; 1981b; EDWARDS 1981). Bei längeren Kraftausdauerleistungen spielt hingegen die Reduzierung der Flussrate, die Verringerung der energiereichen Phosphate in der Muskelzelle sowie die H⁺-Ionen- und Laktatkonzentration die vorwiegende Rolle (HULTMAN et al. 1981; TESCH 1992a; WILKIE 1981).

Tab. 1 gibt die bisherige Auffassung über die Belastungs-/Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Entwicklung der Kraftausdauer wieder (vgl. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999). Je nach Autor bzw. Autorengruppe werden jedoch unterschiedliche, zum Teil extrem abweichende, Belastungs- bzw. Reizkonfigurationen angegeben (EHLLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN 1998, FLECK/KRAEMER 1997; FRÖHLICH et al. 2001a; HARRE 1986, HARTMANN/TÜNNEMANN 1993; HOHMANN/LAMES/LETZELTER 2002; LETZELTER/LETZELTER 1990; MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993; RADLINGER et al. 1998; SCHMIDTBLEICHER 1987a; 1987b; SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997; SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 2000; STONE/O'BRYANT 1987; STRACK 2002; WEINECK 1994; im Überblick BUSKIES 1999; ZIMMERMANN 2000).

Tab. 1: Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Entwicklung der Kraftausdauer (n. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999, 232)

Reizintensität (Last in % des 1er Maximums)	50 bis 60 %
Wiederholungen pro Serie	20 bis 40
Serien pro Trainingseinheit (pro Muskelgruppe)	6 bis 8
Serienpause	0,5 bis 1 min
Kontraktionsgeschwindigkeit	langsam bis zügig

Generell ist bei den Trainingsmethoden zur Entwicklung der Kraftausdauer zu erkennen, dass die Belastungs-/Reizintensität im wesentlichen zwischen 30 % und 60 % der Maximalkraft (1-RM) liegt. Zum Teil werden auch Belastungsintensitäten von 20 % angegeben. Die Anzahl an Wiederholungen pro Serie schwankt zwischen zehn und 100 Wiederholungen bzw. liegt bei 50 bis 90 Sekunden Belastungsdauer. In der Mehrzahl der Angaben liegt die Wiederholungszahl bei 20 bis 30. Die Serienanzahl pro Trainingseinheit liegt zwischen drei und zehn, hauptsächlich zwischen drei und sechs. Die Serienpause wird in der Regel mit 0,5 bis einer Minute bzw. bis 1,5 Minuten angegeben. Die Pausenangaben von HARRE/LEOPOLD (1986) liegen bei einer Herzfrequenz von < 120 Schlägen pro Minute, d. h., es wird ei-

ne lohnende Pause angestrebt (vgl. SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997, 272f.). Betrachtet man sich diese Belastungsempfehlungen so wird sofort deutlich, dass die Ausgestaltung der Belastungsnormativa sehr variabel erfolgt und daraus ein großer Handlungsspielraum für eigene Interpretationen besteht.

Diagnostisch kann die Kraftausdauer über die maximale Wiederholungsanzahl bei definierter Last und Zeit bestimmt werden. Dabei kann sowohl die absolute Kraftausdauer (Wiederholungszahl bei definiertem submaximalen Gewicht) als auch die relative Kraftausdauer (Wiederholungszahl bei relativer Last in Prozent des 1-RM) beurteilt werden (vgl. ANDERSON/KEARNEY 1982; SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 2000). Diese Aufteilung in absolute Kraftausdauer und relative Kraftausdauer wird auch von SCHNABEL/HARRE/BORDE (1997, 160) unterstützt. Sie verstehen jedoch unter absoluter Kraftausdauer „das Niveau der Kraftausdauer, welches durch den mittleren Kraftstoß oder das mittlere Kraftmaximum aller Bewegungszyklen repräsentiert wird“ (vgl. HARRE 1986, 135). Hierbei wird jedoch keine weitere Differenzierung der Kraft- als auch der Ausdauerkomponente vorgenommen. Mit dem Begriff relative Kraftausdauer kennzeichnen SCHNABEL/HARRE/BORDE (1997) nur den Anteil der Ausdauer an der Kraftausdauerleistung (Ermüdungswiderstandsfähigkeit). Sie wird aus der Differenz zwischen dem maximal möglichen Krafteinsatz und dem Mittelwert aller im Wettkampf bzw. einem Trainingsabschnitt erreichten Kraftstößen (absolute Kraftausdauer) erfasst. Eine sehr große Differenz zwischen maximal möglichem und mittlerem Krafteinsatz soll dabei auf eine mangelnde Ausdauerfähigkeit hinweisen. Im Gegensatz dazu soll bei einer sehr geringen Differenz von maximal möglichem zu mittlerem Krafteinsatz die Steigerung der Maximalkraft angestrebt werden. Für die Steuerung und Regelung des Kraftausdauertrainings erscheint es insgesamt wichtig, ob eher die Kraftkomponente oder eher die Ausdauerkomponente verbessert werden sollte (vgl. KLEIN/FRÖHLICH 2001).

Während in den vorherigen Definitionen der motorischen Fähigkeit Kraftausdauer hauptsächlich physiologische leistungsdeterminierende Einflussfaktoren Berücksichtigung fanden, wird im nachfolgend beschriebenen Kontext, eine physikalische Sichtweise vertreten (vgl. HEIDUK/PREUSS/STEINHÖFER 2002, 7). So wird eine kraftunabhängige Bestimmung bzw. Berechnung der Kraftausdauer von LEHNERTZ/MARTIN/NICOLAUS (1995), NICOLAUS (1993, 1995), PAMPUS/LEHNERTZ/MARTIN (1989), PAMPUS (1992) über die sogenannte Muskelleistungsschwelle (MLS) vorgeschlagen. Die Charakterisierung der Muskelleistungsschwelle erfolgt dabei in Phase eins über die Berechnung bzw. Ableitung folgender Größen: erstens der maximale Impuls [p_{max}] in Ns, zweitens die Bewegungsgeschwindigkeit [v_{opt}] bei Erreichen der MLS in m/s und drittens die Masse der Last bei Erreichen der MLS in kg (sog. Schwellenlast). Der eigentliche Kraftausdauer-test folgt in Phase zwei mit der gleichen Bewegungsform im direkten Anschluss an Phase eins. Die Gewichtslast entspricht dabei der in Phase eins ermittelten Schwellenlast, die in diesem Testabschnitt innerhalb von 60 Sekunden 24 mal mit dem maximal möglichen Krafteinsatz überwunden werden muss (NICOLAUS 1995, 98ff.). Bezüglich einer weiteren Ausdifferenzierung

sowie der genauen Testmethodik wird auf NICOLAUS (1995) verwiesen. Kritisch erscheint bei diesem Ansatz jedoch die aufwendige Testmethodik sowie die Registrierung der einzelnen Parameter.

Insgesamt kann zur Kraftausdauer bzw. zur Kraftausdauerfähigkeit bezüglich definitorischer und trainingsmethodischer Ansätze konstatiert werden, dass die Erkenntnislage im Vergleich zu den anderen konditionellen Fähigkeiten noch erhebliche Lücken aufweist (vgl. CARL/STARISCHKA/STORK 1989, 3). Dies beruht einerseits auf der mangelnden empirischen Absicherung des Begriffs Kraftausdauer, wobei das Spektrum der begrifflichen Dimension von jeweils einer operationalen Definition über eine Nominal- oder Realdefinition reicht (vgl. FRÖHLICH et al. 2001a). Andererseits wird die Kraftausdauer von verschiedenen Autoren mit unterschiedlichsten Trainingsmethoden mit zum Teil erheblichen Abweichungen beschrieben (im Überblick hierzu: CARL/STARISCHKA/STORCK 1989; KIBELE 1995; LEHNERTZ/MARTIN/NICOLAUS 1995; NICOLAUS 1995). Treffend charakterisiert CARL bereits 1989 zum methodischen Vorgehen im Kraftausdauertraining:

„Bei der Analyse der Trainingswirkungen reicht es sicherlich nicht aus, nur die Wirkung in Richtung auf das Haupttrainingsziel zu betrachten, also z. B. die Vergrößerung der möglichen Wiederholungszahlen bei Durchführung einer bestimmten Übung; notwendig ist vielmehr eine umfassende Wirkungsanalyse in bezug auf möglichst alle als leistungsrelevant erkannten Verhaltensdimensionen einschließlich einer Analyse der Wechselwirkungen zwischen diesen Elementen und einer Analyse der Trainingswirkungen in bezug auf die indirekten Leistungsbedingungen, also z. B. auf metabolische, neurophysiologische oder emotionale Größen.“
(CARL 1989, 8f.)

2.5 Zusammenfassung der Strukturanalyse der Kraft

Die motorische Eigenschaft Kraft kann nach dem dimensionsanalytischen Strukturansatz in die Einzelkomponenten Maximalkraft, Schnellkraft, Explosivkraft, Startkraft und Kraftausdauer unterteilt werden. Die Krafftahigkeiten stehen dabei jedoch nicht isoliert und unabhängig nebeneinander, sondern beeinflussen sich vielmehr wechselseitig. Dabei bilden die Start-, Explosiv- und Maximalkraft die Basisfahigkeit für die Schnellkraft und haben zusammen mit der Ermüdungswiderstandsfähigkeit Einfluss auf die Ausprägung der Kraftausdauer. Die einzelnen Dimensionen der motorischen Fähigkeit Kraft können jedoch relativ unabhängig und eigenständig voneinander trainiert und ausgebildet werden. Dies ermöglicht eine individuelle Trainingsplanung sowie spezifische Trainingsprogramme für unterschiedliche Leistungs- und Anwendungsbereiche. Zur genauen Betrachtung der einzelnen Trainingsmethoden zur Entwicklung von Start-, Explosiv-, Maximal-, Reaktiv- und Schnellkraft wird auf die Ausführungen von BÜHRLE (1985), EHRSAM/ZAHNER (1996), FLECK (2002), GARHAMMER/TAKANO (1992), PAMPUS (1995), SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER (2000), SCHMIDTBLEICHER (1992) und TESCH (1992b) verwiesen.

3 Leistungsdeterminierende Einflussfaktoren der Krafftähigkeit insbesondere der Kraftausdauerfähigkeit

Wie bereits in den einleitenden Darstellungen zur Struktur der Krafftähigkeit deutlich wurde, ist die motorische Eigenschaft Kraft von verschiedenen intraindividuellen und interindividuellen Faktoren und Gegebenheiten abhängig und variiert je nach der Art der Belastung und deren Realisation. Um die einzelnen Leistungsfaktoren möglichst gezielt mit geeigneten Trainingsmitteln und -methoden anzusteuern, ist eine genaue Kenntnis der verschiedenen Einflussgrößen unabdingbar. Angelehnt an den dimensionsanalytischen Strukturansatz sollen im Folgenden sowohl auf makrostruktureller, als auch auf mikrostruktureller Ebene, diejenigen leistungsdeterminierenden Faktoren erläutert werden, welche für die Realisierung von Krafftähigkeiten, speziell der Kraftausdauerfähigkeit verantwortlich sind. Nach GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER (1999) besteht die Problematik der Trainingsplanung und -steuerung jedoch darin, dass sich die einzelnen Trainingsmethoden für die Entwicklung der Einflussgrößen in ihrer Wirksamkeit bei gleichzeitiger Anwendung beeinträchtigen können.

Bezüglich eines umfassenden Verständnis der Mechanismen und Grundlagen der Informationsverarbeitung durch elektrische Erregung, der Erregungsübertragung, der mikroskopischen Anatomie und Physiologie der Skelettmuskulatur, der funktionellen Histologie der Skelettmuskulatur sowie der Gleitfilament- und Querbrückentheorie wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (vgl. ÅSTRAND/RODAHL 1986; BILLETER/HOPPELER 1992; DE MARÉES 1996; DUDEL 1995a; 1995b; EDMAN 1992; ENOKA 1994; FÜRST 1999; HOLLMANN/HETTINGER 2000; HUIJING 1992; LATASH 1998a; LEHNERTZ 1988a; 1988b; NOTH 1992b; NÖCKER 1980; ROHEN/LÜTJEN-DRECOLL 1990; RÜEGG 1995).

3.1 Tendomuskuläre Einflussfaktoren

3.1.1 Physiologischer Muskelquerschnitt

Da die muskuläre Krafftähigkeit durch die Interaktion von Aktin- und Myosinfilamenten in den Sarkomeren im sogenannten Querbrückenzyklus erfolgt, ist es evident, dass eine größere Muskelmasse (größerer physiologischer Muskelquerschnitt) eine größere Anzahl an Querbrücken gestattet (vgl. BILLETER/HOPPELER 1992). Die größere Muskelmasse wiederum geht einher mit einer größeren Maximalkraft (vgl. APPELL 1983; TESCH 1992a; 1998). Dabei wird die Kraffthöhe mit etwa 40 bis 100 N/cm² Muskelquerschnittsfläche angegeben (DE MARÉES 1996, 94). Durch entsprechendes Training lässt sich der Muskelquerschnitt (cross-sectional area CSA) und somit die Maximalkraft deutlich steigern (TESCH 1998). Theoretisch können hierfür drei Aspekte verantwortlich gemacht werden: eine Zunahme der Muskelfasergröße, eine Zunahme der Muskelfaserzahl sowie eine Vermehrung des interstitiellen Bindegewebes. Nach dem heutigen Kenntnisstand kann hierzu konstatiert werden, dass Krafttraining (Belas-

tungsintensität größer 60 % bis 70 % der Maximalkraft) zu einer Zunahme der Querschnittsfläche führt. Diese Zunahme beruht auf der Steigerung der kontraktilen Proteine, und zwar der Myofibrillenfläche als auch der Myofibrillenzahl. In gleichem Maße steigt auch das interstitielle Bindegewebe an. Inwieweit eine Zunahme der Muskelfaserzahl⁹ in Folge eines Trainings möglich ist, muss spekulativ bleiben (vgl. MACDOUGALL 1992). TESCH (1998, 18f.) schreibt hierzu: „No direct evidence of muscle fiber hyperplasia in humans has been produced.“ Generell sind Hypertrophie- und/oder Hyperplasieeffekte Vorsorgemechanismen auf zukünftige intensive, schädigende Belastungen, speziell exzentrischer Art (APPELL/FORSBERG/HOLLMANN 1988; FRIDÉN/SJÖSTRÖM/EKBLOM 1983; FRIDÉN et al. 1983; MADER 1990).

Bezug nehmend auf die Adaptationen des Muskelquerschnitts (CSA), selektiver Hypertrophieeffekte, der Bestimmung der Querschnittsfläche einzelner Muskelfasertypen, der Bedeutung der Satellitenzellen für die Muskelhypertrophie, einer Adaptation der Sarkomere in Längsrichtung usw. wird auf BENEKE et al. (1990), CHALLIS (2000), CONLEY et al. (1997), GOLDSPINK (1992), HÄKKINEN/KOMI (1983a), HERZOG (2000), HOPPELER (1988), KOH (1995), KOMI (1986), LATASH (1998a), LÜTHI et al. (1986), ROY/EDGERTON 1992; TESCH (1992a) sowie im Überblick ÅSTRAND/RODAHL (1986), ENOKA (1994) und HOLLMANN/HETTINGER (2000) verwiesen.

3.1.2 Muskelfasertypen

Im Blickpunkt steht die quergestreifte Muskulatur, die sog. Skelettmuskulatur (vgl. Abb. 2). Diese besteht aus einer allgemeinen Grundstruktur (Myofibrille¹⁰) wird jedoch aufgrund unterschiedlicher metabolischer, physiologischer, histochemischer, biochemischer und anatomischer Merkmale in verschiedene Muskelfasertypen differenziert (vgl. HOLLMANN/HETTINGER 2000, 46). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt werden aufgrund der Färbung der Mysosin-ATP-ase¹¹ vorrangig zwei Fasertypen unterschieden (vgl. BILLETTER/HOPPELER 1992; DE MARÉES 1996; HOLLMANN/HETTINGER 2000; HOWALD

⁹ Eine Zunahme der Muskelfasergröße als auch eine mechanische Anpassung des Bindegewebes (Epimysium, Perimysium, Endomysium, Sehnen und Bänder) kann sowohl beim Menschen als auch im Tierversuch als gesichert angesehen werden (APPELL/FORSBERG/HOLLMANN 1988; GOLDSPINK 1992; STONE 1992; TESCH 1992a; TESCH/LARSSON 1982 u. v. a.). Ob es durch ein Krafttraining zu einer zahlenmäßigen Zunahme der Muskelfasern (Hyperplasie) durch Proliferation kommt, wird kontrovers diskutiert (LARSSON/TESCH 1986; TESCH/LARSSON 1982).

¹⁰ Nach neueren Erkenntnissen wird das „Zwei-Filament-Sarkomermodell“ durch eine Reihe von Strukturproteinen ergänzt. Hierbei kommt dem Polypeptid Titin eine zentrale Rolle zu. Zusammen mit seinen Bindungspartnern determiniert es wahrscheinlich die Länge der dicken Filamente, organisiert diese zu geordneten A-Banden, verbindet sie elastisch mit den Z-Scheiben und bestimmt den physiologischen Arbeitsbereich (FÜRST 1999, 218).

¹¹ Durch Färbeprofile von Bezugsenzymen des aeroboxidativen Stoffwechsels werden drei metabolische Typen (G (glycolytic), OG (oxidative-glycolytic) und O (oxidative)) voneinander unterschieden (PETTE 1999, 263). Aus der Zuordnung der metabolischen Merkmale zur schnell/langsam Charakteristik resultieren somit drei Fasertypen (FG (fast-twitch glycolytic), FOG (fast-twitch oxidative-glycolytic) und SO (slow-twitch oxidative)).

BILLETTER/HOPPELER 1992; DE MARÉES 1996; HOLLMANN/HETTINGER 2000; HOWALD 1989; KOMI 1989; ROY/EDGERTON 1992; RÜEGG 1995): Schnelle Muskelfasern sog. fast twitch fibres (FT- oder Typ-II-Fasern) und langsame Muskelfasern sog. slow twitch fibres (ST- oder Typ-I-Fasern).

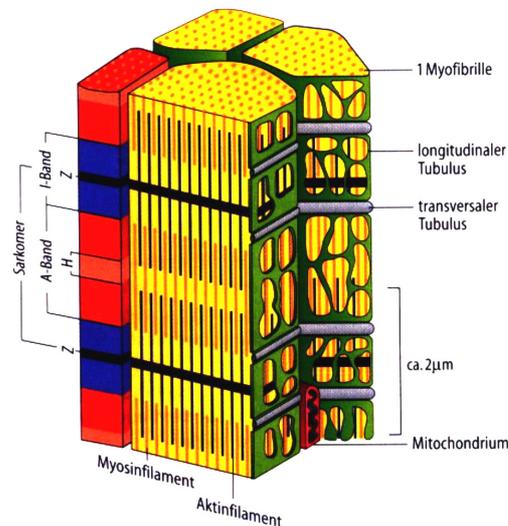


Abb. 2: Ausschnitt aus einer Skelettmuskelfaser (RÜEGG 1995, 68). Die quergestreiften Myofibrillen bestehen aus unzähligen, hintereinander geschalteten Sarkomeren, die ihrerseits aus anisotropen, dunklen A-Banden und hellen isotropen I-Banden bestehen. Letztere enthalten die sehr dünnen Aktinfilamente, die in den A-Banden mit den etwas dickeren Myosinfilamenten überlappen

FINK/COSTILL (1995, 147) weisen darauf hin, dass je nach Betrachtungsweise vier verschiedene Muskel- fasertypen klassifiziert werden können.

„Muscle may be classified by (a) anatomical appearance (including red vs. white, high vs. low granularity, dark vs. light), (b) physiological behaviour (including slow vs. fast, high vs. low resistance to fatigue), (c) biochemical properties (including high vs. low respiratory capacity, high vs. low enzyme constituents) and (d) histochemical features (including high vs. low enzyme content, or the enzyme “profile” of the fibre.” (FINK/COSTILL 1995, 147)

Da nach HOWALD (1985, 47) die kontraktile Eigenschaften der Muskelfasern nicht automatisch mit deren Stoffwechseleigenschaften übereinstimmen müssen, wird im Folgenden nur die Typisierung in schnelle und langsame Muskelfasern vorgenommen (vgl. PETTE/STARON 1990). Die unterschiedlichen metabolischen, histochemischen, biochemischen und physiologischen Eigenschaften der schnellen und langsamen Muskelfasern sind in Tab. 2 im Überblick dargestellt.

Tab. 2: Vergleich langsamer (slow twitch) und schneller (fast twitch) Muskelfasern (modif. n. Hollmann/Hettinger 2000, 53 u. Howald 1989, 18)

	slow twitch Fasern (ST)	fast twitch Fasern (FT)
ATP-ase-Aktivität (Myofibrillen)	niedrig (4 nmol P _i /min)	hoch (9 nmol P _i /min)
Mitochondriengehalt	hoch	niedrig
Zytochrom	hoch	niedrig
Glykogengehalt	keine Unterschiede	keine Unterschiede
Glykogenolytische Enzymaktivität	niedrig	hoch
Fettgehalt	hoch	niedrig
Myoglobingehalt	hoch	niedrig
Phosphorylase	niedrig	hoch
Kreatinphosphat	niedrig	hoch
Kontraktionsgeschwindigkeit (-zeit)	langsam (99 - 140 ms)	schnell (40 - 88 ms)
Erregbarkeitszeit	groß	klein
Ermüdbarkeit (-index)	gering (0,8 - 1,2)	groß (0 - 0,8)
Laktatbildung	geringer	größer
Überwiegende Funktion	Ausdauer	Schnellkraft
Kapillarisation	hoch	gering
Mittlere Leitungsgeschwindigkeit	2,5 m/s	5,4 m/s

Die Typ-I-Fasern besitzen eine höhere oxidative Kapazität, sind reicher an Mitochondrien und an Enzymen des Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsels (LATASH 1998a, 44f.). Die ATP-Regeneration verläuft hauptsächlich über die Prozesse der Kohlenhydrat- und Fettverbrennung, außer es wird ein sehr hoher Energieumsatz pro Zeiteinheit angestrebt. Dann kommt es auch in den Typ-I-Fasern zur Laktatbildung (BILLETTER/HOPPELER 1992, 51f.). Andererseits kann in den Typ-I-Fasern das Laktat selbst zur Energiegewinnung eingesetzt werden. Dementsprechend fanden ESSEN/HÄGGMARK (1975) bei Belastungen an der VO₂max in den Typ-I-Fasern 23 % weniger Laktat als in Muskelfasern vom Typ-II. ESSEN/HENRIKSSON (1974) betonen, dass die Laktatkonzentration in schnellen Muskelfasern generell höher ist als in langsamen Muskelfasern.

Da die Typ-I-Fasern eine höhere Kapillarisation als die Typ-II-Fasern besitzen und der Stoffwechsel- und Nährstoffaustausch zwischen Blut und Gewebe sowie der Abtransport von Stoffwechselprodukten (z. B. Laktat, CO₂) über die Kapillare erfolgt, ist es evident, dass neben einer besseren Versorgung der Muskelzelle mit Sauerstoff und Nährstoffen, ein weiterer Vorteil in der schnelleren Eliminierung von Laktat besteht.

Gleiches wird von KARLSSON et al. (1981, 63) berichtet:

„As a consequence a subject with a high proportion of FT muscle fibres will form more lactate at the same absolute or relative exercise intensity than one with a lower proportion.“ (KARLSSON et al. 1981, 63)

In den Typ-II-Fasern erfolgt die ATP-Resynthese vorwiegend durch die anaerobe Glykolyse mit dem Endprodukt Laktat. Die Laktatakkumulation kann dabei bis auf das 30-fache des Ruhewertes ansteigen. Die mit der Laktatanhäufung ansteigende Wasserstoffionenkonzentration sowie der Anstieg an freiem Phosphat hemmen dabei die Aktivität der ATP-ase in den Typ-II-Fasern und vermindern so die Kontraktionsgeschwindigkeit bis schließlich die Kontraktion völlig zum Erliegen kommt.

Die schnellen Muskelfasern wiederum bilden eine Gruppe, die sich weiter unterteilen lässt. Zunächst vermutete man lediglich die Existenz zweier Subtypen, nämlich Typ-IIA-Fasern und Typ-IIB-Fasern. Diese Typ-IIA-Fasern und Typ-IIB-Fasern unterschieden sich durch verschiedene Isoformen schwerer Myosinketten (myosin heavy chain MHC¹²) (vgl. LIU et al. 2001). Neuere Untersuchungen beweisen jedoch die Existenz eines dritten Subtyps, der als Typ-IID (2X) bezeichnet wird (PETTE 1999, 263; STEINACKER et al. 2002, 355f.). Dabei lässt sich die Verschiedenartigkeit der Myosinketten durch die jeweilige ATP-ase Aktivität nachweisen. Die Typ-IIB-Fasern weisen dabei die höchste Aktivität auf. Anschließend folgen die Typ-IID- und Typ-IIA-Fasern. Zum Schluss die Typ-I-Fasern. Neben diesen sog. reinen Fasern, die nur eine einzige MHC-Isoform enthalten, finden sich in normalen Muskeln auch Hybrid- oder Übergangsfasern (PETTE 1999, 264). Diese enthalten zwei oder mehr MHC-Isoformen und stellen somit eine Art Zwischenstufe zwischen den verschiedenen Fasertypen dar (vgl. STEINACKER et al. 2002, 356). Nach NOTH (1992b) handelt es sich um sog. Intermediärfasern, die zwischen Typ-I-Fasern und Typ-II-Fasern einzuordnen sind. Somit erstreckt sich ein annähernd fließender Übergang von den schnellsten Typ-IIB-Fasern zu den langsamsten Typ-I-Fasern.

Auf Einzelfaserebene besteht nach PETTE (1999, 269) eine eindeutige Beziehung zwischen dem Fasertyp und seinem adaptiven Potential. Das heißt Fasertypenübergänge durch Ausdauertraining, niederfrequente Elektrostimulation, verminderte/gesteigerte neuromuskuläre Aktivität, Inaktivität, Schwereelosigkeit usw. erfolgen sequentiell in definierter Reihenfolge (vgl. PÉREZ et al. 2002). Da die Übergänge reversibel sind, ergibt sich folgende Sequenz: Typ-IIB \rightleftharpoons Typ-IID \rightleftharpoons Typ-IIA \rightleftharpoons Typ-I (vgl. FLECK/KRAEMER 1997, 61, 134f.). Während die schnell-zu-langsam Transformation nachgewiesen ist,

¹² Einer der wichtigsten muskulären Anpassungsmechanismen liegt in der Transformation der Myosin-Schwerketten-Isoformen vor. Durch Ausdauertraining kommt es zur vermehrten Expression von langsamen MHC-I. Krafttraining hingegen führt zur Zunahme der schnellen oxidativen Isoform MHC-IIA (vgl. STEINACKER et al. 2002, 354f.).

wird jedoch die Frage des möglichen langsam-zu-schnell Übergangs kontrovers diskutiert (STEINACKER et al. 2002, 356). PEREZ et al. (2002) konnten durch kurzzeitige Elektrostimulation (45 - 60 Hz, 12 Sekunden Stimulation mit acht Sekunden Pause über insgesamt eine halbe Stunde, dreimal pro Woche über sechs Wochen) am M. quadriceps einen Anstieg von MHC-IIA-Isoformen und eine Reduktion von MHC-IIX und MHC-I-Isoformen feststellen.

BILLETER/HOPPELER (1992, 52) gehen davon aus, dass die Maximalkraft weitgehend unabhängig vom Muskelfasertyp (siehe Kapitel 3.1.1) ist. SALE et al. (1990) fanden nach einem 22-wöchigen Training keine signifikante Veränderungen des Muskelquerschnitts zwischen Typ-I-Fasern und Typ-II-Fasern. In zahlreichen anderen Untersuchungen konnte jedoch der Nachweis erbracht werden, dass die Typ-II-Fasern einen deutlicheren Muskelfaserquerschnittszuwachs erfahren als die Typ-I-Fasern (TESCH 1988, im Überblick MACDOUGALL 1992, 231). STARON et al. (1994) konnten nach einem achtwöchigen Krafttraining sowohl bei Männern als auch bei Frauen eine spezifische Adaptation (Verringerung der Typ-IIB-Fasern von 7 % bis 21 %) durch intensives Krafttraining nachweisen. Innerhalb eines Trainings/Detrainings-Experiments verweisen STARON et al. (1991) auf das adaptive Potential der Typ-II-Fasern. So verringerte sich das relative Verhältnis der Typ-IIB-Fasern nach einem 20-wöchigen Krafttraining von ca. 16 % auf ein Prozent, um nach einer 30 bis 32-wöchigen Trainingsunterbrechung wieder auf 24 % anzusteigen. Ein im Anschluss an die Trainingsunterbrechung durchgeführtes Krafttraining reduzierte das Typ-IIB-Verhältnis wieder auf 13 % (vgl. STARON 1991, 633). SCHMIDTBLEICHER/HARALAMBIE (1981) konnten eine vergrößerte Muskeleerregbarkeit nach einem achtwöchigen Krafttraining feststellen, wobei die Verringerung der Kontraktionszeit abhängig von der Trainingsmethode war. Dabei scheint es so zu sein, dass ein Krafttrainingsprogramm mit wenigen Wiederholungen und maximalen Lasten hauptsächlich die schnellen Muskelfasern (Typ-II) einbezieht, während ein Krafttrainingsprogramm mit mehr Wiederholungen und weniger Gewichtsbelastung sowohl die schnellen als auch die langsamen (Typ-II und Typ-I) akquiriert. LIU et al. (2001) konnten nach einem sechswöchigen Krafttraining nachweisen, dass sich die MHC-IIA signifikant vergrößerten, während sich die MHC-I und die MHC-IID signifikant verringerten.

Innerhalb eines viermal pro Woche durchgeführten Krafttrainings bzw. kombinierten Kraft- und Ausdauertraining über insgesamt drei Monate konnten KRAEMER et al. (1995) eine Veränderung der Muskelfasertypisierung am M. vastus lateralis zeigen. Insgesamt kam es durch die verschiedenen Kraft- und Ausdauertrainingsmethoden zu einem Shift der Typ-IIB-Fasern zu den Typ-IIA-Fasern (vgl. Tab. 3). Nach einer Detrainingsphase war dieser Shift reversibel (vgl. KRAEMER/VOLEK/FLECK 1998, 176).

Tab. 3: Veränderung der Muskelfasertypen durch Krafttraining bzw. kombiniertes Kraft- und Ausdauertraining [C = Ganzkörper Krafttrainingspr. + intensives Ausdauertraining; UB = Oberkörper Krafttrainingspr. + intensives Ausdauertraining; S = Ganzkörper Krafttrainingsprogramm; E = nur intensives Ausdauertraining] (modif. n. KRAEMER et al. 1995)

Trainingsmethode	Faserverteilung	Muskelquerschnitt
C	IIA ← IIB	↑ IIA
UB	IIC ← IIA ← IIB	—
S	IIA ← IIB	↑ I, IIC, IIA
E	IIC ← IIA ← IIB	↓ I, IIC

FLECK/KRAEMER (1987) führen die Muskelquerschnittsvergrößerung der einzelnen Muskelfasern auf ein spezifisches Training zurück.

„This study indicates that the high-intensity/low-volume training of Olympic and power lifters and the low-intensity/high-volume training of body builders may selectively hypertrophy the FT fibers and ST fibers, respectively.“ (Fleck/Kraemer 1987, 153)

Im Gegensatz dazu verweisen SALE et al. (1990) in einem Längsschnittexperiment über 22 Wochen auf die größere Gemeinsamkeit eines kombinierten Kraft- und Ausdauertraining. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch Krafttraining grundsätzlich alle Muskelfasern angesprochen werden, die meisten Studien jedoch eine bevorzugte Hypertrophie der Typ-II-Fasern (sog. selektive Hypertrophie) präferieren (MACDOUGALL 1992, 231; TESCH 1988, 132f.; 1992a, 241f.; 1998, 21).

3.1.3 Metabolische Bedingungen

Da innerhalb der Muskelzelle nur etwa fünf $\mu\text{mol/g}$ Muskelfeuchtmasse an ATP vorhanden sind und damit nur drei bis vier maximale Kontraktionen durchgeführt werden können, ist eine effektive und schnelle ATP-Resynthese unerlässlich (DE MARÉES 1996, 402). Die ATP-Resynthese kann im wesentlichen über drei verschiedene Wege durchgeführt werden. Auf anaerob-alkalazidem Weg aus dem Zusammenfügen zweier ADP-Moleküle (Myokinase-Reaktion) bzw. aus der Spaltung von Kreatinphosphat (LOHMANN-Reaktion, ca. 15 - 20 $\mu\text{mol/g}$ KP Muskelfeuchtmasse). Durch den anaerob-laktaziden Weg der Glykolyse aus Glykogen oder Glukose, die bis zum Pyruvat (Brenztraubensäure) und weiter bis zum temporären Endprodukt Laktat (Milchsäure) metabolisiert wird. Drittens auf aerobem Weg durch die vollständige Oxidation von Glykogen bzw. Glukose oder von Fetten zu Kohlendioxid und Wasser (vgl. GRAF et al. 2001, 27ff.; HECK 1990, 22ff.; WEICKER 1992, 65ff.). Trotz dieser komplexen Stoffwechselreaktionen ist es plausibel, dass die eigentliche Muskelkontraktion nur durch die Nutzung der energiereichen Phosphate ATP und KP erfolgen kann.

TESCH (1992a, 239) merkt zur Energiebereitstellung in Abhängigkeit von der Belastungsdauer und Belastungsintensität im Krafttraining an, dass Trainingsserien mit geringem Widerstand, größerer Wiederholungszahl und kürzeren Regenerationsphasen eine bessere Nutzung der anaeroben-laktaziden sowie der oxidativen Energiefreisetzung ermöglichen. Somit führen Belastungen mit geringer Intensität und größerer Wiederholungszahl zu höheren Laktatkonzentrationen als höher-intensive Belastungen mit geringerer Wiederholungszahl. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Untersuchungen von KRAEMER et al. (1987), welcher die Laktatkonzentration von Bodybuildern (high-intensity 8 - 10-RM) und Powerliftern (very high-intensity 1 - 8-RM) verglich.

Nach der Untersuchung von PAMPUS/LEHNERTZ/MARTIN (1989) sind die Laktatwerte bei niedriger Intensität und hoher Wiederholungszahl und kurzen Pausen höher als bei hoher Intensität, niedriger Wiederholungszahl und längeren Pausen. Die metabolischen Veränderungen während eines Krafttraining sind demnach von der Belastungsintensität sowie dem Verhältnis Arbeitszeit (Wiederholungszahl) zu Pause (vgl. KRAEMER et al. 1987; SALE/MACDOUGALL 1981) und somit von der Wahl der Trainingsmethode abhängig (TESCH/COLLIANDER/KAISER 1986, 365). Des Weiteren betonen FLECK/KRAEMER (1997) die hohe Belastungsintensität sowie die sehr kurze Pausendauer und belegen ihre Aussagen mit Trainingsvorgaben bzw. Disziplinen.

„The lactic acid energy source is a major supplier of ATP in all-out exercise bouts lasting from approximately 1 to 3 min (KRAEMER, PATTON et al. 1989). Such exercise bouts may include high-intensity sets at 10 to 12 RM with very short rest periods (30 to 60 s) and the 400-m sprint.“ (FLECK/KRAEMER 1997, 55)

„The lactic acid energy source supplies the majority of the necessary energy for activities such as sets of 20 to 25 repetitions, three sets of 10 RM with 1-min rest periods, and sprints of 440 yd (402,3 m).“ (FLECK/KRAEMER 1997, 57)

FLECK (2002) bringt die Laktatakkumulation explizit mit der Anzahl der Wiederholungen pro Serie und der Pausendauer in Verbindung.

“For example, three sets of 10 repetitions at 10 repetition maximum (RM) with 1-min rest periods between sets and exercises results in a significantly greater blood lactic and serum growth hormone response than three sets of five repetitions at 5 RM with 3-min rest periods between sets and exercises in both men.” (FLECK 2002, 57)

In gleicher Weise kommt es zu einer größeren Laktatakkumulation, wenn mit drei Serien anstelle einer Serie trainiert wird.

„Likewise, three sets of 10 repetitions at 10 RM with 1-min rest periods between sets and exercises results in a significantly greater blood lactic acid and serum growth hormone response than one set of 10 repetitions at 10 RM with a 1-min rest period between exercises in both men (GOTSHALK et al. 1997) and women (MULLIGAN et al. 1996).“ (FLECK 2002, 57)

BUSKIES (1999a, 47) konstatiert zur laktaziden Belastung beim Krafttraining, dass kurzfristige intensive Beanspruchungen von wenigen Sekunden Dauer, Serienbelastungen, die nicht bis zur Ermüdung durchgeführt werden und einer langen Pause zwischen den Trainingssätzen gekennzeichnet sind, vergleichsweise geringe Laktatwerte assoziieren. Hingegen bewirken längerdauernde Belastungen bis zur muskulären Erschöpfung sehr hohe Laktatspiegel.

Derzeit ist jedoch noch nicht bekannt, welche Bedeutung der metabolischen Beanspruchung per se bei der Entwicklung der Adaptation¹³ von Muskelkraft und Muskelmasse zukommt. Die Grundlagenforschung zum Energiemetabolismus (ATP, KP, Glykolyserate, Laktat) hat jedoch ergeben, dass hochintensive Kraftbelastungen nicht nur durch eine akute Verminderung der ATP- und KP-Konzentration (TESCH 1992a) sowie durch die Resynthese von ATP limitiert sind, sondern, dass der Austritt von Ca²⁺-Ionen aus dem sarkoplasmatischen Retikulum ein wichtiger Faktor bei ermüdenden Muskelkontraktionen ist (HULTMAN et al. 1990). Des Weiteren konnte von zahlreichen Autoren der Nachweis erbracht

¹³ Z.Z. gibt es zwei alternative Theorien zur muskelaufbauenden Wirkung (Hypertrophie) des Krafttrainings: die Energiemangeltheorie (zuf. ZATSIORSKY, 1996) und die Theorie des mechanischen Repairs (zuf. GOLDSPINK, 1992). Für beide Theorien gibt es eine Reihe schlüssiger Belege, so dass möglicherweise beide Mechanismen zugleich für die Auslösung der Muskelhypertrophie verantwortlich sind (vgl. KOMI 1986).

werden, dass in Abhängigkeit von der Belastungshöhe und der Belastungszeit der ATP- und KP-Gehalt deutlich reduziert wird (vgl. BIGLAND-RITCHIE/WOODS 1984; HECK, 1990; TESCH 1992a, VIRU 1996; WILKIE 1981).

Wie bereits in Kapitel 3.1.2 gezeigt werden konnte, kommt der Kapillarisierung und enzymatischen Ausstattung eine vorrangige Bedeutung bei der dauerhaften Energiebereitstellung besonders unter anaeroben Bedingungen, wie beim Training des Muskelquerschnitts (Hypertrophietraining) und der Kraftausdauer, zu. Darüber hinaus spielen diese Faktoren eine gewichtige Rolle in der Wiederherstellung (Regenerationsphase) zwischen den einzelnen Belastungsreizen. STONE et al. (1991) stellen aufgrund der Auswertung verschiedener Untersuchungen fest, dass der Gesamtenergieverbrauch beim Krafttraining von der durch Belastungsumfang (Gesamtwiederholungszahl) und Belastungsintensität bestimmten Gesamtbelastung abhängig ist. Untermuert wird diese Aussage durch die Studie von KUEHL/ELLIOT/GOLDBERG (1990), welche eine signifikante Beziehung zwischen der geleisteten Muskelarbeit (Produkt aus Widerstandshöhe und Wegstrecke) und dem Energieverbrauch sowie zwischen dem bewältigten totalen Gewicht (Produkt aus Übungsgewicht und Wiederholungszahl) und dem Energieumsatz bei zehn regelmäßig trainierenden Männern und Frauen feststellen konnten.

Schlussfolgernd kommt es unter einem Krafttraining zu einer Reihe von metabolischen Stoffwechselanpassungen (Enzymgehalt, Substratkonzentration wie ATP und KP, Lipidkonzentration, Myoglobingehalt usw.) in Abhängigkeit von der Art der Übungsdurchführung sowie der inversen Proportionalität von Belastungsintensität und Belastungsdauer (vgl. DURELL 2002).

Ferner unterscheiden sich die metabolischen Reaktionen je nach dem, ob ein Krafttraining mit hoher Intensität und geringer Wiederholungszahl, oder umgekehrt mit hoher Wiederholungszahl und geringerer Intensität durchgeführt wird (BILLETER/HOPPELER 1992, TESCH 1992a, im Überblick BUSKIES 1999a). Darüber hinaus kommt es durch anaerobes Training zu einer Verbesserung der Pufferkapazität des Muskels, wodurch die Toleranz gegenüber H⁺-Ionen zunimmt (vgl. KIBELE 1995, 170f.). So ist nachgewiesen worden, dass Sprinter und Kurzstreckenläufer, welche einen ausgeprägten glykolytischen Stoffwechsel benötigen, über eine bessere Pufferkapazität verfügen, als aerob Trainierte bzw. Untertrainierte. Zusammenfassend gibt Tab. 4 einen Überblick über Studien zur laktaziden Beanspruchung im Krafttraining.

Tab. 4: Untersuchungen zur metabolischen Situation im Krafttraining

EL SAYED (1993): Je 6 Männer u. 1 Frau; Treatment (a): 9 Übungen, je 5 Sätze, 90 - 100 % Intensität, 1 - 5 Wdh., Pause kleiner 60 sec; Ergebnis (a): Laktat 6,1 mmol/l, Herzfrequenz 134 Schläge/min; Treatment (b): 9 Übungen, je 5 Sätze, 70 - 80 % Intensität, 8 - 12 Wdh., Pause kleiner 60 sec; Ergebnis (b): Laktat 9,7 mmol/l, Herzfrequenz 151 Schläge/min

GUEZENEC et al. (1986): 11 krafttrainierte Männer; a) submaximaler Test (6 Sätze mit 70 % und 8 Wdh., Serienpause ca. 4 min, Übung Bankdrücken); b) maximaler Test (1 Satz mit 70 % und maximaler Wdh., nach 3 min Pause); Ergebnis a): Laktatwert 3 - 3,5 mmol/l; Ergebnis b): 4 - 4,5 mmol/l; Adrenalin- und Noradrenalinanstieg auf 1,5 - 2-fache des Ruhewerts

KRAEMER et al. (1987): 9 Bodybuilder u. 8 Power Lifter; Treatment: 10 Übungen, je 3 Sätze, 10 Wdh., Satzpause 10, 30 bzw. 60 sec zwischen den Übungen; Laktat ca. 21 mmol/l bei beiden Gruppen; signifikanter Adrenalin, Noradrenalin u. Kortisolanstieg

KRAEMER et al. (1992): 28 Gewichtheber; typisches Gewichthebertraining; Laktat von 12 - 13 mmol/l

LORENZ et al. (1993a): 15 Männer; MVC über 6 sec an der Beinpresse, 10 Wdh. bzw. Abbruch n. Erschöpfung, Pause 12, 24, 48 sec; Laktat bei 12 sec Pause 10,6 mmol/l, bei 24 sec Pause 9,8 mmol/l, bei 48 sec Pause 5,4 mmol/l

LORENZ et al. (1993b): Je 10 Sportstudenten (Test sowie Kontrollgruppe); 3 Trainingseinheiten, 5 x 6 Übungen, 40 sec Dauer u. 80 sec Pause; Laktat 5 - 9 mmol/l

PAMPUS/LEHNERTZ/MARTIN (1989): 42 Ruderer; a) Gruppe A (N = 16) individuelle Schwellengewicht (100 %) 4 Serien, 9 Wdh. 10 sec Pause zw. den Wdh., 5 min Serienpause; b) Gruppe B (N = 13) individuelles Schwellengewicht (60 %) 4 Serien, 15 Wdh., 5 min Serienpause; c) Kontrollgruppe (N = 13); Ergebnisse Gruppe A: Laktat 4,7 mmol/l nach Erwärmen, Reduktion während Training auf 2,4 mmol/l; Gruppe B: Laktat steigt ab 1. Serie auf 5,5 mmol/l an und bleibt dann konstant

3.2 Neuromuskuläre Einflussgrößen

Die neuronale Basis für muskuläre Kraftleistungen sind neuromuskuläre Erregungsprozesse, die im Zentralnervensystem entstehen und über Nervenbahnen und Umschaltstellen als elektrische Signale zum Muskel gelangen und dort die eigentliche Muskelkontraktion bewirken (vgl. GHEZ/GORDON 1996a; Noth 1992a). Bezüglich der Prozesse der Erregungsbildung und -übertragung sowie der Reizfortleitung wird auf BILLETTER/HOPPELER (1992); DE MARÉES (1996); DUDEL (1995a, 1995 b); EDMAN (1992); ENOKA (1994); HOLLMANN/HETTINGER (2000); NOTH (1992a); RÜEGG (1995) verwiesen. Spezielle Nervenzellen im Rückenmark, sog. Motoneurone, senden elektrische Impulse (Aktionspotentiale) über Nervenfasern (Axone) zur eigentlichen Muskelzelle (Muskelfaser). Ein Alpha-Motoneuron mit seinem Axon, den Axonenverzweigungen und allen Muskelfasern, die es innerviert, bilden die kleinste Funktionseinheit, die motorische Einheit (NOTH 1992b, 21). Die Anzahl der Nervenfasern, die von einem einzigen Motoneuron innerviert werden, nennt man Innervierungsverhältnis (GHEZ/GORDON 1996b 514). Dieses Innervierungsverhältnis ist für die einzelnen Muskeln unterschiedlich, in seiner Gesamtbetrachtung ist es jedoch positiv mit der Größe des einzelnen Muskels korreliert. Die Kraft, die ein Muskel in seiner Gesamtheit vollbringen kann, setzt sich aus der Summation der Kraftwerte jeder einzelnen motorischen Einheit zusammen. Die Kontraktionskraft einer motorischen Einheit wiederum lässt sich durch die Entladungsfrequenz des Motoneurons regeln, d. h., durch die Anzahl der zum Muskel pro Zeiteinheit gesandten Aktionspotentiale. Die Kontraktionskraft eines gesamten Muskels lässt sich auf zweierlei Weise durch das Nervensystem abstimmen. Zum einen kann sich die Anzahl der aktivierten motorischen Einheiten ändern - je mehr aktiviert sind, desto stärker ist die Kraft. Diesen Mechanismus nennt man Rekrutierung (recruitment). Zum anderen kann das Nervensystem die Impulsfrequenz der Aktionspotentiale verändern - je höher die Impulsfrequenz, desto höher die Kontraktionskraft der motorischen Einheit. Diesen Mechanismus nennt man Frequenzierung (rate modulation). Werden die motorischen Einheiten möglichst gleichzeitig, um eine fließende und genaue Bewegung zu erzeugen, in den Kontraktionsvorgang einbezogen, so spricht man von Synchronisation. Gerade zu Beginn eines Krafttrainings spielt die Synchronisation der motorischen Einheit eine entscheidende Rolle (vgl. KOMI 1986, 10). Bevor auf die Einzelheiten der Rekrutierung und Frequenzierung bzgl. der Kraftregulation eingegangen wird, kann festgestellt werden:

“The higher the stimulation frequency and the larger the number of fibers in a unit, the greater the force developed by the activated muscle will be. By varying the number of active units the force can be effectively modified. The magnitude of this particular aspect of neuromuscular function is illustrated by the fact that in 10 mm³ of skeletal muscle there is approximately 500,00 km of myofibrils that have to be coordinated.” (ÅSTRAND/RODAHL 1986, 102)

3.2.1 Rekrutierung von motorischen Einheiten

Unter Rekrutierung von motorischen Einheiten versteht man die fortlaufende Einbeziehung von neuen, bisher nicht aktivierten Einheiten in den Kontraktionsvorgang. Wesentlich dabei ist die Reihenfolge, in der dies geschieht: nach dem Rekrutierungsprinzip von HENNEMAN (sogenanntes Größenordnungsprinzip, das in den 60er Jahren aus Tierexperimenten abgeleitet wurde), werden die motorischen Einheiten immer in der gleichen Reihenfolge aktiviert (HENNEMAN 1957; HENNEMAN/SOMJEN/CARPENTER 1965). Diese „starre“ Reihenfolge im Größenordnungsprinzip tritt dabei sowohl bei reflektorischen als auch bei willkürlichen Kontraktionen auf. Somit arbeiten bei niedrigen Kraftwerten nur die kleinen, langsamen Einheiten, während bei stärkeren Kontraktionen zunehmend auch größere, kräftigere Einheiten aktiv werden (vgl. Abb. 3). Berücksichtigt man diese Erkenntnisse, so lässt sich für jede motorische Einheit eine Rekrutierungsschwelle (threshold force of recruitment, TFR) als derjenige Kraftwert definieren, bei dem sie zum ersten Mal aktiv wird. Dieser Schwellenwert korreliert eng mit der Größe des Motoneurons, der Leistungsgeschwindigkeit des Axons und der potentiellen Kraft der Einheit (NOTH 1992b, 26).

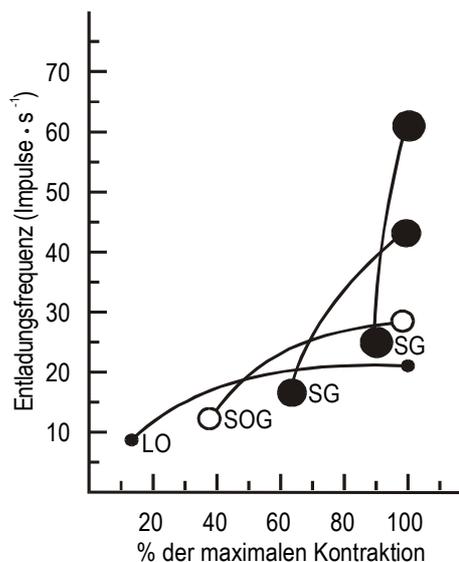


Abb. 3: Größenordnungsprinzip der Ansteuerung der motorischen Einheiten. Die Reizschwelle und der Bereich der Entladungsfrequenz [LO = kleine, oxidative, langsame motorische Einheiten; SOG = schnelle, oxidative glykolytische motorische Einheiten; SG = schnelle, glykolytische motorische Einheiten] (n. HANNERZ 1974 in SALE 1992, 250)

Motorische Einheiten mit höherer Rekrutierungsschwelle liefern also bei ihrer Aktivierung einen größeren absoluten Kraftzuwachs als kleinere motorische Einheiten, jedoch ist der relative Zuwachs dagegen bei allen motorischen Einheiten ungefähr gleich (vgl. LATASH 1998b, 45). Bezogen auf das Krafttraining betonen FLECK/KRAEMER (1997, 61), dass „Heavier resistances (e.g., 3 to 5 RM) require the recruitment

of higher-threshold motor units than lighter resistances (e.g., 12 to 15 RM).“ Das Rekrutierungsprinzip¹⁴ ermöglicht somit eine feine und gleichmäßig abgestufte Regulierung der Kontraktionskraft eines Muskels (DIETZ 1985, 17ff.; MÜLLER 1987, 9). Wichtig ist in diesem Zusammenhang der Begriff des Rekrutierungsbereiches. Dies ist der Kraftwert - ausgedrückt in Prozent der isometrischen Maximalkraft -, bei dem zum ersten Mal alle motorischen Einheiten eines Muskels bei einer langsam ansteigenden isometrischen Kontraktion aktiv sind. Die weitere Krafterhöhung kann dann nur noch über die Steigerung der Entladungsfrequenz der aktivierten motorischen Einheit erfolgen. Die Frage, wann alle motorischen Einheiten aktiv sind, wird noch recht kontrovers diskutiert. So finden sich bei DIETZ (1985, 19) Angaben die belegen, dass bereits bei ca. 20 % der Maximalkraft 50 % der motorischen Einheiten rekrutiert sind. Als gesichert kann jedoch die Tatsache angesehen werden, dass spätestens bei 80 % bis 90 % der isometrischen Maximalkraft alle motorischen Einheiten rekrutiert sind, wobei die meisten Einheiten bereits bei sehr viel niedrigeren Kraftwerten aktiviert werden (MÜLLER 1987, 9). Nach SALE (1992) werden in der Regel die größten und schnellsten motorischen Einheiten¹⁵ jedoch erst bei einer Maximalkraft die größer als 90 % ist aktiviert.

3.2.2 Frequenzierung von motorischen Einheiten

Der zweite Mechanismus für die Abstufung der Kraftentfaltung ist die Regulation der Entladungsfrequenz der motorischen Einheiten, wobei man unter Entladungsfrequenz die Zahl der nervalen Impulse versteht, die die Muskelfasern einer motorischen Einheit über die Motoneurone erreicht (SALE 1992). Ein einzelnes Aktionspotential bewirkt bei den Muskelfasern einer motorischen Einheit eine Einzelzuckung, die sich über ihre Merkmale Kontraktionskraft, Kontraktionszeit und Relaxaktionszeit beschreiben lässt. Folgen nun weitere Entladungen, noch bevor die Muskelfaser wieder vollständig erschlafft ist, so summieren sich die Einzelimpulse zu einem höheren Kraftwert und zwar um so mehr, je dichter die Entladungsfrequenzen aufeinander folgen. Bei sehr hohen Frequenzen erfolgt schließlich eine vollständige Verschmelzung der Einzelimpulse mit einem glatten Kraftverlauf (Tetanus) und bedeutend höherem Kraftwert als bei der Einzelzuckung (MÜLLER 1987, 13). Somit ist ein vollständiger Tetanus die Grundlage für eine maximale Willkürkontraktion. Die maximalen Frequenzen, die beim menschlichen

¹⁴ Die Rekrutierungsreihenfolge der motorischen Einheiten kann für einen Muskel bei einer spezifischen Bewegung als relativ feststehend angenommen werden. Allerdings kann sich die Rekrutierungsreihenfolge ändern, wenn ein multifunktionaler Muskel (z. B. der M. Quadriceps) bei verschiedenen Bewegungen eingesetzt wird (vgl. FLECK/KRAEMER 1997, 62; ZATSIORSKY 1996, 98).

¹⁵ Da die Kontraktionszeit von langsamen motorischen Einheiten ca. 99 - 140 ms, die der schnellen motorischen Einheiten ca. 55 - 60 ms (siehe Tab. 2) vom Kontraktionsbeginn bis zur Kraftspitze ist, werden die größten und schnellsten motorischen Einheiten zwar als letzte aktiviert, mechanisch jedoch gleichzeitig bzw. vor den kleinen motorischen Einheiten wirksam.

Muskel bei willkürlicher Aktivierung gemessen wurden, sind recht unterschiedlich und liegen in einem Bereich von ca. 5 bis 120 Hz (DE MARÉES 1996, 56; DIETZ 1985, 20; MÜLLER 1987, 14). Sie hängen vom untersuchten Muskel und von der Art der Aktivierung ab. Auffällig ist, dass zum Erreichen der Maximalkraft schon relativ niedrige Frequenzen ausreichen. Bei Dauerkontraktionen wird in einem Bereich von 10 bis 30 Hz entladen. Nach GHEZ/GORDON (1996b, 515) ist die Impulsfrequenz bei willkürlichen Dauerkontraktionen selten höher als 25 Hz. Der Bereich zwischen 30 - 100 Hz dient der Steigerung der Verkürzungsgeschwindigkeit bei schnellkräftigen Bewegungen. Langsame motorische Einheiten werden überwiegend mit niedrigen Reizfrequenzen (bis ca. 20 Hz), schnelle motorische Einheiten mit deutlich höheren Frequenzen (bis ca. 50 Hz, kurzzeitig auch größer 100 Hz) angesteuert.

Über die relative Gewichtung der beiden Mechanismen Rekrutierung und Frequenzierung zur Regulation der Muskelkraft findet man unterschiedliche Angaben. Manche Autoren halten die Frequenzierung für den dominierenden Faktor, andere messen der Rekrutierung den größeren Einfluss bei. MILNER-BROWN/STEIN/YEMM (1973) kommen aufgrund einer Modellrechnung zu dem Ergebnis, dass ca. ein Drittel der Gesamtkraft durch Rekrutierung und zwei Drittel durch Frequenzierung bedingt sind. Dabei verschiebt sich im unteren Kraftbereich die Gewichtung mehr in Richtung Rekrutierung, da hier die überwiegende Anzahl der motorischen Einheiten aktiviert wird. Schließlich hängt die Gewichtung der beiden Mechanismen von den Eigenschaften des untersuchten Muskels bzw. von den an der Bewegung beteiligten Muskeln ab (vgl. KIBELE/MÜLLER/MÜNST 1990). In kleinen Muskeln werden die motorischen Einheiten bei einem Kraftniveau kleiner 50 % der Maximalkraft rekrutiert, danach spielen die Entladungsfrequenzen eine entscheidende Rolle. Bei größeren, proximal gelegenen Muskeln werden die motorischen Einheiten bis zu einem Kraftniveau von 80 % rekrutiert und erst in einem Bereich von 80 % bis 100 % erfolgt die Kraftentwicklung durch eine Steigerung der Entladungsfrequenz (ZATSIORSKY 1996, 98). Es ist jedoch problematisch, beide Mechanismen isoliert zu betrachten, da Rekrutierung und Frequenzierung im Regelfall immer gleichzeitig ablaufen und ihre Wirkungen sich überlagern. Gerade dadurch ist das motorische System in der Lage, die Muskelkraft sehr fein und flexibel zu regulieren und den unterschiedlichen Bewegungsaufgaben anzupassen (vgl. MÜLLER 1987).

Auf die neuromuskulären Einflussfaktoren wie Synchronisation, Inhibition und Reflexaktivität sowie auf die neuronalen Adaptationen im Verlauf eines Krafttrainings soll nicht näher eingegangen werden. Der interessierte Leser wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (vgl. BENEKE 1990; CHALLIS 2000; HÄKKINEN/KOMI 1983b; HÄKKINEN et al. 2000; HERZOG 2000; KRAEMER/VOLEK/FLECK 1998; LATASH 1998b; MORITANI 1992; SALE 1988; 1992; SCHMIDTBLEICHER/BÜHRLE 1987).

3.3 Kardiovaskuläre Einflussfaktoren

Der arterielle Blutdruck¹⁶ ist die treibende Kraft für die Zirkulation des Blutes durch die Gefäße, wobei der Blutdruck im wesentlichen vom Schlagvolumen und vom peripheren Widerstand des Gefäßsystems bestimmt wird. Nach HOFFMANN (1993) spielt der Elastizitätskoeffizient der Arterien bei der Windkesselfunktion noch eine zusätzliche Rolle. HOLLMANN/HETTINGER (2000) verweisen darüber hinaus auf die Größe des Blutvolumens. Die Höhe des Blutdrucks wird im wesentlichen durch die Belastungsintensität, die Größe der Kraft, die Dauer der statischen Kontraktionsphase innerhalb einer Muskelkontraktion, die Größe der beanspruchten Muskelmasse, der Arbeitsweise sowie durch die Pressatmung (Valsalva-Mechanismus) bestimmt (vgl. APPELL et al. 2001; DE MARÉES 1996; FLECK 1992; FLECK/DEAN 1987; FLECK/KRAEMER 1997; HOLLMANN/HETTINGER 2002; MCCARTNEY 1999; NÖCKER 1980; STONE/O'BRYANT 1987). Weiterhin ist der Blutdruck abhängig vom Lebensalter, möglicherweise vom Körpergewicht bzw. Körperfettanteil, von der Körperlage und von psychischen Faktoren. MCCARTNEY (1999) betont explizit die Abhängigkeit des Blutdruckverhaltens von der Wiederholungsanzahl, der absoluten und relativen Last, von der Muskelmasse, den Gelenkverhältnisse sowie dem Valsalva-Mechanismus. Der Sinusknoten sendet ca. 60 - 90 Aktionspotentiale pro Minute zur Vorhof- und Kammermuskulatur aus. Diese werden mit ebenso vielen rhythmischen Kontraktionen beantwortet, wodurch es zum Bluttransport aus den Herzhohlräumen kommt. Die Anzahl dieser rhythmischen Kontraktionen pro Minute wird Herzfrequenz genannt und beträgt in Ruhe ca. 60 - 90 Schläge.

Inwieweit sich Krafttraining auf das Herz-Kreislaufsystem (Blutdruck, Herzfrequenz und Doppelprodukt) auswirkt, ist bis heute noch nicht vollständig geklärt. Gründe hierfür können in der Verschiedenartigkeit der Trainingsformen im Hinblick auf Belastungsintensität, Umfang und Bewegungsabläufe gesehen werden (vgl. FLECK 1992, 305). Dass jedoch durch ein Krafttraining eine Vielzahl funktioneller und morphologischer Herz-Kreislauf-Parameter wie Blutdruck, Herzfrequenz, Schlagvolumen etc. temporär als auch chronisch beeinflusst werden, scheint hingegen gesichert.

Nach FLECK (1988) ist der Blutdruck (systolic and diastolic function) bei Kraftathleten und Gewichthebern unter Ruhebedingungen normal bzw. nur leicht erniedrigt (vgl. Tab. 5). Kurzzeitige Trainingsstudien zeigen keine bzw. nur leicht verringerte Blutdruckwerte (vgl. FLECK 1988; 1992). Die These, dass Krafttraining zu Hypertonie führt ist eindeutig widerlegt. Im Gegenteil, Krafttraining scheint durch die po-

¹⁶ Der Blutdruck in der Aorta und in den großen Gefäßen schwankt zwischen einem maximalen Wert in der Systole, dem systolischen Blutdruck, und einem minimalen Wert am Ende der Diastole, dem diastolischen Blutdruck. Der normale arterielle Blutdruck beträgt bei Körperruhe und in sitzender Stellung: systolischer BD = 120 mmHg, diastolischer BD = 80 mmHg, mittlerer arterieller BD = 100 mmHg, Blutdruckamplitude 40 mmHg (vgl. DE MARÉES 1996, 138).

sitiven Adaptationen wie Abnahme des Körperfettanteils, des Kochsalzanteils sowie des sympathischen Tonus, eine Senkung des Blutdrucks zu bewirken (FLECK 1992, 305f.; FLECK/DEAN 1987, 119; FLECK/KRAEMER 1997, 148). Die Aussagen bzgl. der Herzfrequenz gehen in eine gleiche Richtung (vgl. Tab. 5). So konnten in Querschnittsuntersuchungen bei gut trainierten Kraftathleten normale oder leicht erniedrigte Ruheherzfrequenzen bestimmt werden (FLECK 1988, 149). Eine Erklärung für die leicht erniedrigten Herzfrequenzwerte durch Krafttraining könnten in einer Zunahme des parasympathischen bzw. einer Abnahme des sympathischen Antriebs gesehen werden (KRAEMER/VOLEK/FLECK 1998, 179).

Bildet man das Produkt aus systolischem Blutdruck und Herzfrequenz (Doppelprodukt), so erhält man ein Maß für die myokardiale Arbeit bzw. für den myokardialen Sauerstoffbedarf des Herzens. Auch dieser Wert scheint in Ruhe normal bzw. nur leicht erniedrigt zu sein.

Tab. 5: Kreislaufanpassungserscheinungen in Ruhe bei einem Krafttraining (n. Fleck 1992, 306)

Adaptations at rest	
Heart rate	↓ or no change
Blood pressure Systolic Diastolic	↓ or no change ↓ or no change
Double product	↓ or no change
Stroke volume (absolute) Relative to BSA Relative to LMB	↑ or no change No change No change
Cardiac systolic function	↑ or no change
Cardiac diastolic function	No change (↑ ?)
Lipid profile Total cholesterol HDL-C LDL-C	↓ or no change ↑ or no change ↓ or no change
BSA = body surface area; HDL-C = high-density lipoprotein cholesterol ; LBM = lean body mass; LDL-C = low-density lipoprotein cholesterol	

FLECK/DEAN (1987) untersuchten das Blutdruckverhalten und die Herzfrequenzveränderung bei vier männlichen Bodybuildern, sechs männlichen Krafttrainingsanfängern und bei sechs Probanden, welche keinerlei Krafttrainingserfahrung hatten. Die Messung des Blutdruck- und Herzfrequenzverhaltens erfolgte beim 1-RM sowie auf den Intensitätsstufen 90 %, 80 %, 70 % und 50 % 1-RM. Die Ergebnisse zeigten keinerlei Unterschiede bzgl. des systolischen und diastolischen Blutdrucks als auch der Herzfrequenz in Ruhe, zwischen den einzelnen Gruppen. Die Blutdruck- und Herzfrequenzwerte waren auf

den Intensitätsstufen signifikant höher als beim 1-RM (vgl. Abb. 4). Die Blutdruck- und Herzfrequenzwerte der Krafttrainingsanfänger und der Probanden die keinerlei Krafttrainingserfahrung hatten, lagen signifikant höher als die Blutdruck- und Herzfrequenzwerte der Bodybuilder. Aufgrund der geringen Stichprobengröße sollten die Ergebnisse jedoch nicht überinterpretiert werden.

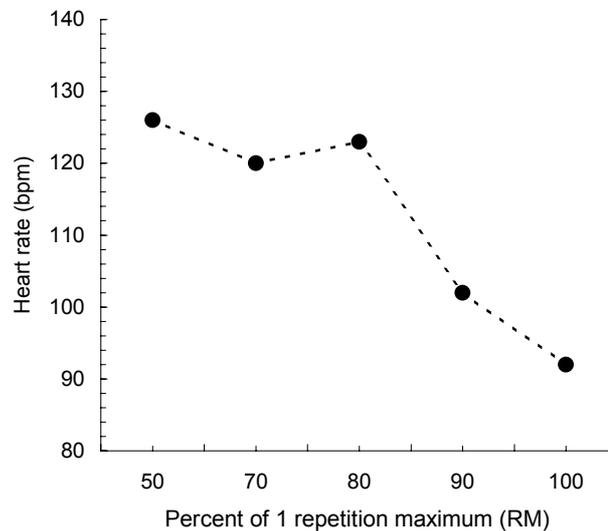


Abb. 4: Maximal heart rate of a moderately trained group of males during knee-extension sets to momentary voluntary fatigue at various percentages of the 1 RM. The heart rate does not reflect the intensity (% of 1 RM of the exercise) (vgl. FLECK/DEAN 1987 in FLECK/KRAEMER 1997, 6)

MACDOUGALL et al. (1985) konnten bei einer intraarteriellen Blutdruckmessung zeigen, dass es zu einem Blutdruck- und Herzfrequenzanstieg über die einzelnen Wiederholungen kommt und dass am Ende der Belastungsserie nach völliger Erschöpfung die Blutdruckwerte am höchsten sind (vgl. MCCARTNEY 1999, 31). Bei 95 % 1-RM lagen bei der Übung Beinpresse beidbeinig bspw. die Blutdruckwerte im Mittel bei ca. 320/250 mmHg, die Maximalwerte bei 480/350 mmHg und die Herzfrequenzwerte bei ca. 170 Schlägen pro Minute.

Die Anstiege von Blutdruck und Herzfrequenz, daraus berechnet das Doppelprodukt, nehmen mit der eingesetzten Muskelmasse zu, wobei diese Beziehung jedoch nicht linear verläuft (FLECK 1992, 310f.). Des Weiteren ist der Blutdruckanstieg von der Wiederholungsanzahl abhängig. Nach FLECK (1992, 311f.) werden dann die höchsten Blutdruckwerte erreicht, wenn Wiederholungen bei 70 - 95 % 1-RM bis zur völligen Erschöpfung durchgeführt werden. Die Blutdruckwerte liegen dann höher als bei niedrigeren Intensitätsstufen (< 70 % 1-RM) bzw. als bei einmaligem maximalem Krafteinsatz (1-RM) (vgl. FLECK/DEAN 1987). HURLEY et al. (1984) ermittelten bei einem Training bis zur völligen Erschöpfung mit acht bis zwölf Wiederholungen mittlere Herzfrequenzen von 155 Schlägen pro Minute.

Die Studie von EL-SAYED (1993) belegt bei zwei verschiedenen Trainingsvorgaben, dass die Herzfrequenz bei geringer Belastungsintensität (70 - 80 %) und höherer Wiederholungszahl (8 - 12) stärker ansteigt als bei maximalen Belastungsintensitäten (90 - 100 %) und geringer Wiederholungszahl (1 - 5).

Nach BUSKIES (1999a, 202ff.) sind bei einem „sanften“ Krafttraining (die Wiederholungszahl pro Satz ist um 20 % reduziert; keine vollständige Muskelermüdung) gegenüber einem „normalen“ Krafttraining (vollständige Muskelermüdung pro Satz nach ca. zwölf bis 16 Wiederholungen, Richtwert 15 Wiederholungen) die Herzfrequenzwerte während der Belastung signifikant niedriger. Die Spitzenwerte der Herzfrequenzen einzelner Probanden liegen bspw. bei einem „normalen“ Krafttraining bei 168 Schlägen pro Minute Frauen bzw. 179 Schlägen pro Minute Männer, bei einem „sanften“ Krafttraining bei 152 Schlägen pro Minute Frauen und 164 Schlägen pro Minute Männer. Zum Einfluss der Belastungsintensität auf das Blutdruck- und Herzfrequenzverhalten konstatiert BUSKIES (1999a, 260ff.): Bei einem Training bis zur muskulären Ausbelastung scheint der systolische Blutdruck und die Herzfrequenz die höchsten Werte zu erreichen und zeigt eine deutliche Beziehung zur Belastungsintensität (vgl. Tab. 6).

Tab. 6: Blutdruck- und Herzfrequenzverhalten bei einem Krafttraining mit Wiederholungszahlen in der Einzelserie bis zur Ausbelastung und Serien mit um 20 % reduzierter Wiederholungszahl (modif. n. Buskies/Boeckh-Behrens/Zieschang 1996, 177)

		Maximalwert	
		Herzfrequenz [1/min]	Blutdruck [mmHg]
		$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Crunch	Ausbelastung	113 ± 14	254 ± 12
	minus 20 %	103 ± 13	278 ± 12
	p	< 0,001	< 0,001
Beinbeugen	Ausbelastung	139 ± 15	279 ± 23
	minus 20 %	122 ± 11	284 ± 18
	p	< 0,001	> 0,05
Beinpressen	Ausbelastung	152 ± 14	284 ± 12
	minus 20 %	136 ± 14	285 ± 8
	p	< 0,001	> 0,05

3.4 Psychische Einflussfaktoren

Der psychische Anteil an einer sportlichen Leistung, speziell einer Kraftleistung, basiert auf den psychischen Prozessen Kognition, Emotion, Motivation und Volition sowie den ihnen entsprechenden Inhalten, Zuständen und relativ stabilen Regulationskomponenten (psychischen Leistungsvoraussetzungen). Sie lassen sich wie folgt charakterisieren und spielen eine nicht unerhebliche Rolle, wenn es darum geht, Kräfte zu produzieren und eine Kraftanstrengung über einen gewissen Zeitraum auszuführen. Dabei unterliegen sie jeweils individuellen Einstellungen und Persönlichkeitsmerkmalen, was eine zielgerichtete Erfassung schwierig erscheinen lässt.

- Über kognitive Prozesse und Abbilder (Inhalte) werden Informationen aus der Umwelt, aus dem Inneren und dem Verlauf der Tätigkeit wahrgenommen, gespeichert, wiedererkannt und neu strukturiert. Kognitive Operationen und Abbilder regulieren die Tätigkeit. So werden bspw. Bewegungen auf der psychischen Ebene über Bewegungswahrnehmung und Bewegungsvorstellung reguliert (SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997, 59).
- Emotionen drücken die Beziehung der Persönlichkeit (Bewertung) zu den aufgenommenen, verarbeiteten und gespeicherten Informationen aus der Umwelt sowie zu inneren psychischen und physischen Vorgängen im Handlungsverlauf aus. Emotionen sind im Grunde Wertungen. Dabei sind für das Handeln besonders diejenigen bedeutsam, die sozialen Charakter tragen und die Stellung zu sozialen Partnern kennzeichnen (ebd. 1997, 59).
- Motivationale¹⁷ Prozesse und Inhalte sind Beweggründe des Handelns, die aus den emotionalen und kognitiven Grundlagen der Persönlichkeit gespeist werden. Sie entwickeln sich in der Tätigkeit, in der Auseinandersetzung mit sozialen Anforderungen und Wirkungen und sind Ausdruck individueller Bedürfnisse (ebd. 1997, 59). Somit spielen sie eine entscheidende Rolle bei der menschlichen Leistungsfähigkeit. Das gilt in ganz besonderem Maße für die Aufbringung der maximalen Kraft.
- Das Wollen (Volition) tritt in zielgerichteten geistigen und praktischen Handlungen auf. Wollen ist erstens nötig bei der Entscheidung für ein Handlungsziel und den Handlungsbeginn. Zweitens wird das Wollen bei der Überwindung innerer und äußerer Widerstände (z. B. Ermüdung, Monotonie, Schmerz u. ä.) in der Handlungsausführung gefordert (ebd. 1997, 60).

¹⁷ Auf eine allgemeine Differenzierung von motivationaler vs. volitionaler Bewusstseinslage wird auf HECKHAUSEN (1989, 203ff.) verwiesen.

Diese Einflussgrößen spielen bei der Kraftrealisation bspw. bei den Maximalkrafttests und auch bei den beiden Treatments (konstante Last vs. konstante Wiederholungszahl) eine entscheidende Rolle (vgl. JOHNSON/NELSON 1967). Betrachtet man sich die psychischen Prozesse speziell bei Kraftausdauerleistungen, so kommt gerade dem Punkt der Volition eine enorme Bedeutung zu. Da bei Kraftausdauerleistungen eine Übersäuerung der Muskulatur (erhebliche Laktatbildung) bei maximaler Ausbelastung auftritt, entsteht zu einem gewissen Zeitpunkt ein brennendes Gefühl in der beanspruchten Muskulatur. Eine stark ausgeprägte Volition zeigt sich nun in der Aufrechterhaltung der geforderten Muskelarbeit trotz erheblichen Schmerzgefühls. Dieser Zustand wird im Kraftausdauertraining auch als Leidensfähigkeit bezeichnet und ist bei trainierten Sportlern (Leistungssportlern) in der Regel stärker ausgeprägt als bei untrainierten Sportlern (LECSKO/VARISCO 1999, 20).

Im Gegensatz zur Leistungsdiagnostik im Leistungs- und Hochleistungssport sind im Breiten- und Gesundheitssport subjektive Belastungsparameter (Gefühl, Tagesform etc.) die zentralen Größen bei der Steuerung und Regelung des Trainings. Dies verwundert nicht, da das subjektive Belastungsempfinden zu jeder Zeit während des Trainings ohne spezielle Messsysteme präsent ist und die aktuelle Belastungssituation widerspiegelt. Die weitverbreiteste Skala zur Erfassung des subjektiven Belastungsempfinden ist die 15-stufige RPE-Skala (rating of perceived exertion) von BORG (vgl. BORG 1985). Studien zur subjektiven Belastungseinschätzung und somit zur Steuerung und Regelung des Trainings liegen hauptsächlich für den Ausdauersport vor (im Überblick BUSKIES 1999a, 15). Für den Bereich des Krafttrainings konnten KRAEMER et al. (1987, 251) einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Laktatverhalten und dem subjektiven Belastungsempfinden (RPE) von $r = 0,84$ zeigen. Aufgrund dieser Befunde kommen KRAEMER et al. (1987, 251) zu dem Schluss, dass „...This observation supports the possible use of the category-ratio scale for monitoring perceptual responses in such exercise settings.“ Diese Befunde wurden von SUMINSKI et al. (1997) verifiziert.

HASSON/WILLIAMS/SIGNORILE (1989, 101) fanden eine signifikante Korrelation von $r = 0,49$ bis $0,89$ ($p < 0,05$) zwischen dem root mean squared des EMG und der subjektiven Belastungseinschätzung (RPE) sowie eine inverse Korrelation von $r = 0,80$ bis $0,95$ ($p < 0,05$) der mean power frequency des EMG und der subjektiven Belastungseinschätzung (RPE). URHAUSEN et al. (2000) untersuchten die kardiovaskuläre und metabolische Beanspruchung (Blutdruck, Herzfrequenz, Laktat, freie Plasmakatecholamine) eines Kraftausdauer-Zirkels in der ambulanten Herztherapie. Bezüglich des subjektiven Belastungsempfindens in Relation zu den kardiovaskulären und metabolischen Beanspruchungsparametern konstatieren die Autoren: Zur Belastungsdosierung im Krafttraining in der Bewegungstherapie scheint die subjektive Belastungsempfindung nur wenig geeignet zu sein (URHAUSEN et al. 2000, 135).

4 Ermüdung, Belastung und Beanspruchung

Der Begriff Ermüdung wird im Folgenden einer kritischen Betrachtung unterzogen, wobei bestehende Definitions- und Operationalisierungsprobleme verdeutlicht werden. Als alternativer Ansatz für die Sportwissenschaft wird im Weiteren das genuin arbeitswissenschaftliche Belastungs-Beanspruchungs-Konzept¹⁸ erläutert und auf die vorliegende Fragestellung angepasst (vgl. WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991).

4.1 Kritik am Ermüdungskonzept

Unter Ermüdung versteht man weitgehend übereinstimmend eine belastungsbedingte reversible Verminderung der Leistungs- oder Funktionsfähigkeit des Organismus bzw. der Leistung oder Funktion (vgl. im Überblick OLIVIER 1996, 39). Nach OLIVIER (1996, 39ff.) können folgende intentionale Kritikpunkte thematisiert werden:

- Der Unterschied im Ermüdungsverständnis zwischen der Verminderung der Leistung und der Verminderung der Leistungsfähigkeit.
- Die ungeklärte Frage, welche Belastungen die reversible Verminderung welcher Leistungen/Leistungsfähigkeiten bedingen.

Eine geforderte Ausdifferenzierung „allgemeiner Ermüdung“ in die Ermüdung von Teilsystemen bspw. zentrale Ermüdung vs. periphere Ermüdung, allgemeine Ermüdung vs. lokale Ermüdung (DE MARÉES 1996; HOLLMANN/HETTINGER 2000; ULMER 1995) beseitigt die geschilderten Definitionsprobleme jedoch keineswegs. Vor diesem Hintergrund scheint plausibel, dass eine Operationalisierung eines Konstruktes, dessen Definition nicht einheitlich ist, zwangsläufig zum Scheitern verurteilt ist. In diesem Zusammenhang ist OLIVIER (1996, 41) zuzustimmen, dass weder ein allgemeines Ermüdungsverständnis noch Ermüdung in Bezug auf Teilsysteme als geeignete Konstrukte zur theoretischen und experimentellen Bearbeitung konditioneller Belastungswirkungen geeignet sind.

4.2 Belastungs-Beanspruchungs-Konzept

Für das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept, dessen Grundidee in der folgenden Karikatur veranschaulicht wird, spricht insbesondere, dass ein einseitiges Verständnis ausschließlich leistungsnegativer Wirkungen vermieden wird und dass die jeweiligen individuellen Voraussetzungen und Gegebenheiten

¹⁸ Bezüglich der trainingstheoretischen Rahmenkonzeption der Superkompetenz und der damit geäußerten Kritikpunkte wie überzogener Geltungsbereich, Problem der Operationalisierung von Ermüdung, Heterochronizitätsproblem, Linearitäts- oder Kontinuitätsproblem sei auf OLIVIER (2001) und SCHLICHT (1992) verwiesen.

berücksichtigt werden. Des Weiteren wird beim Belastungs-Beanspruchungs-Konzept, seit den 70er Jahren, auf eine klare Trennung der Begriffe Belastung (load) und Beanspruchung (strain) hingewiesen (vgl. SCHÖNPFLUG 1987, 131ff.). Dies führte zur Formulierung von DIN-Normen, nach der (Arbeits-) Belastungen „die Gesamtheit der erfassbaren Einflüsse im Arbeitssystem, die auf den Menschen wirken“, umfassen. Mit den (Arbeits-) Beanspruchungen werden „die individuellen Auswirkungen der Arbeitsbelastung im Menschen in Abhängigkeit von seinen Eigenschaften und Fähigkeiten bezeichnet“ (nach DIN 33400/ISO 6385) (OLIVIER 1996, 41). Somit führen in Abhängigkeit von den individuellen Voraussetzungen Belastungen zu verschiedenen Beanspruchungen.

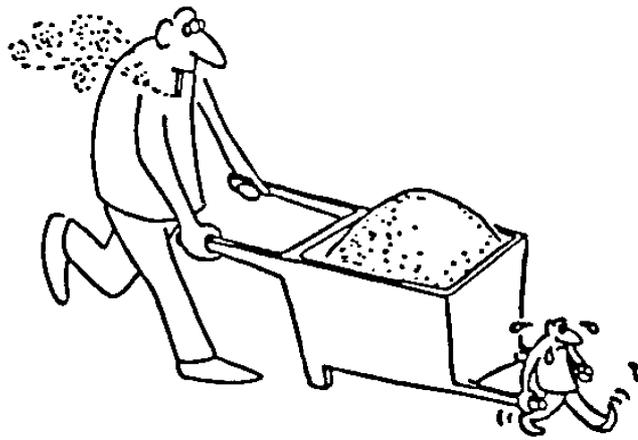


Abb. 5: Karikatur zum Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (n. LAURIG 1976, 79 in OLIVIER 2001, 444)

Der Arbeitsphysiologe ROHMERT (1983, 10) versteht unter den individuellen Voraussetzungen, die jeweiligen individuellen Eigenschaften (weitgehend zeitunabhängig bspw. Geschlecht, anthropometrische Abmessungen, Alter), Fähigkeiten (verfügbare intraindividuelle zeitabhängige Änderungen bspw. Körperkräfte, Fingergeschicklichkeit) und Fertigkeiten (menschliche Grundfunktion plus konkreter Gestaltungszustand bspw. sportspezifische Fertigkeit). Aufbauend auf dem allgemeinen Belastungs-Beanspruchungs-Konzept wurde das phänomenorientierte Belastungs-Beanspruchungs-Konzept entwickelt, welches sowohl die Belastungsseite als auch die Beanspruchungsseite weiter ausdifferenziert (vgl. ROHMERT 1983, 10; 1984, 196). Beim phänomenorientierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzept werden die Belastungen durch Komponenten (Aufgabe bspw. Bankdrücken), Arten (konditionell = eher energetisch bestimmt; informatorisch = eher bestimmt durch die Aufnahme, Verarbeitung und Abgabe von Information), Höhe (Belastungsnormativa bspw. Laufgeschwindigkeit, Gewicht im Krafttraining) und zeitliche Abfolge (sukzessiv, simultan) der Teilbelastungen beschreibbar (vgl. Abb. 6).

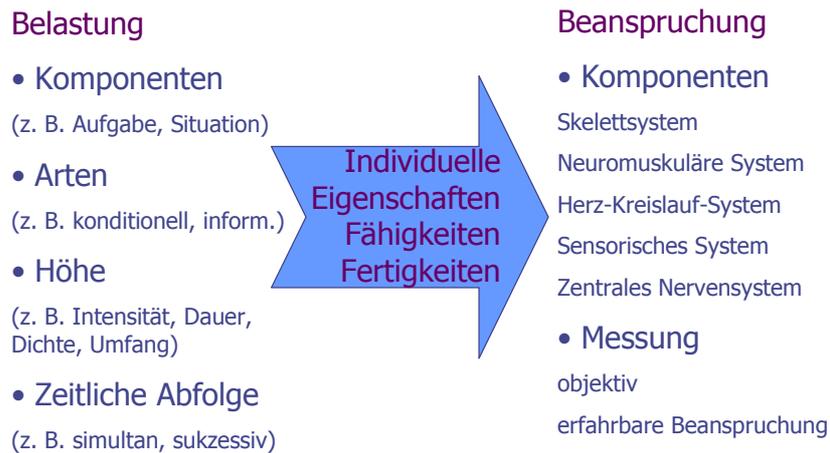


Abb. 6: Phänomenorientiertes Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (modif. n. ROHMERT 1983, 10)

Diese Ausdifferenzierung der Belastung, ROHMERT (1984, 196) versteht darunter die Komposition der Teilbelastung, führt in Abhängigkeit von den individuellen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten zu verschiedenen Teilbeanspruchungen (bspw. des Herz-Kreislauf-Systems, des Skelettsystems etc.). Aus der Funktionsgleichung für die Beanspruchung (siehe Abb. 6) folgt, dass eine Beschreibung bzw. Ermittlung der Beanspruchung sowohl deduktiv als auch induktiv erfolgen kann. Eine deduktiv modellorientierte Beanspruchungsermittlung gelingt dann, wenn eine genaue Analyse der Belastung der Person in einem konkreten Arbeitssystem sowie die Bestimmung der verfügbaren individuellen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten dieser Person gelingt (vgl. Abb. 7). In diesem Zusammenhang bedeutet die Beanspruchung ein theoretisches Konstrukt und entspricht dem Grad der Ausschöpfung der individuellen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten (ROHMERT 1983, 11; 1984, 197). Ein praktisches Modell dieser Art liegt bspw. bei dynamischer Fahrradergometerarbeit vor (ROHMERT 1960a).

Bei der induktiven Beanspruchungsermittlung wird hingegen versucht, geeignete physiologische, neurophysiologische (bspw. HF, BD, EMG) und/oder biochemische (ATP, Laktat, KP, pH-Wert) Messgrößen am Menschen selbst zu registrieren, die sich nicht nur in Abhängigkeit von der Belastungshöhe, sondern auch in Abhängigkeit von der Belastungsdauer individuell unterschiedlich ändern (vgl. ROHMERT 1983, 11; 1984, 197). Somit zeigt sich die (Teil-) Beanspruchung im Grad der Inanspruchnahme der Dynamik physiologischer, biochemischer, neurophysiologischer Variablen bei Belastung (vgl. THORHAUER/CARL/TÜRCK-NOACK 2001; Abb. 7). In der Regel erfolgt die Wahl der Beanspruchungsmessgrößen hierbei engpassorientiert. Es wird dabei unterschieden, ob Engpässe des Überschreitens von bestimmten auf die Dauer erträglichen Leistungsgrenzen in einer Beanspruchung des gesamten Organismus oder einzelner Organe oder Funktionssysteme zu suchen sind. Sind Engpässe in einem System zu erwarten, so reicht unter Umständen die Beanspruchungsbeurteilung anhand isolierter Beanspruchungsgrößen aus. Andernfalls ist eine komplexe Beanspruchungsanalyse durchzuführen.

Beanspruchungsermittlung

Deduktiv Bedeutet	Induktiv Bedeutet
<p>Modellorientierter Beanspruchungsbegriff:</p> <p>Beanspruchung = theoretisches Konstrukt</p> <p>Beanspruchung entspricht dem Grad der Ausschöpfung bestimmter Fähigkeiten durch bestimmte Belastungen</p>	<p>Phänomenorientierter Beanspruchungsbegriff:</p> <p>Beanspruchung = operationale Definition</p> <p>Beanspruchung zeigt sich im Grad der Inanspruchnahme der Dynamik physiologischer Variablen bei Belastung</p>

Ansätze der Beanspruchungsermittlung

Abb. 7: Deduktiver und induktiver Ansatz zur Beanspruchungsermittlung (n. LAURIG 1980 in WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991, 18)

4.3 Beanspruchungen und Ressourcen

SCHÖNPFLUG (1987, 151) versteht unter Ressourcen, ein Begriff der in der Ökonomie und Soziologie heimisch ist und neuerdings Einzug in die Arbeits- und Stresspsychologie gefunden hat, jene Mittel, die der Mensch einer Belastung entgegensetzen hat (vgl. SCHLICHT 1992). Demnach sind Beanspruchungen als Grad der Ausschöpfung vorhandener Ressourcen zu verstehen. Diese Ressourcen können grob in innere und äußere Ressourcen sowie in permanente (strukturelle) und konsumtive (transiente) Ressourcen unterschieden werden. Unter inneren Ressourcen versteht man die individuellen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten. Äußere Ressourcen sind alle natürlichen, technischen und sozialen Helfer bzw. Hilfsmittel der Umwelt bspw. die Hantel des Gewichthebers, das Boot des Kanuten. Unter den permanenten Ressourcen versteht man all jene, deren Einsatz ohne leistungsanalogen Abbau erfolgt bspw. motorisches Gedächtnis. Nach SCHÖNPFLUG (1987, 151) unterliegen die permanenten Ressourcen in der Regel einer langsamen Abnutzung und verändern sich nur wenig mit der Dauer und Intensität ihres Einsatzes. Im Gegensatz dazu unterliegen die konsumtiven Ressourcen einem schnellen Abbau und die Geschwindigkeit des Abbaus richtet sich deutlich nach dem Grad und der Dauer der Nutzung (bspw. energiereiche Phosphate). Allgemein werden die Ressourcen durch eine Belastung beansprucht, so dass daraus ein Gebrauch von permanenten Ressourcen und ein Verbrauch von konsumtiven Ressourcen resultiert. Der Einsatz der verschiedenen Ressourcenklassen ist jedoch nicht unabhängig von einander zu sehen und die Zuordnung von Ressourcen zu einzelnen Klasse ist auch nicht absolut zu verstehen (OLIVIER 2001, 447). Demnach stehen zur Bewältigung einer Belastung verschiedene Ressourcen zur Verfügung, deren Einsatz in Abhängigkeit von der jeweiligen Belastung und dem Anspruchsniveau erfolgt.

4.4 Belastungs-/Beanspruchungsermittlung

„Es geht im Training darum, die Belastungen so auszuwählen, dass optimale Beanspruchungen im Sinne einer zielgerichteten Beeinflussung der Eigenschaften induziert werden, die letztlich zu einer Leistungsmaximierung (im Leistungssport) oder zu Leistungsverbesserungen, einem Leistungserhalt bzw. zu einem kontrollierten Leistungsabbau führen sollen (Gesundheitssport).“ (WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991, 13)

Die Grundlage für das Training bzw. die Trainingsplanung in obigem Sinne ist die anzusteuernde Beanspruchung. Da die Belastung eine Ursache der Beanspruchung ist, setzt die Planung der Beanspruchung immer Aussagen zur Belastung voraus. In Anlehnung an das Belastungs-Beanspruchungskonzept kann die Belastung im Training (speziell für den Bereich des Krafttrainings) nach Belastungsfaktoren und Belastungsgrößen differenziert werden (vgl. POLLMANN 1993, 23f.). Zu den Belastungsfaktoren, die vorwiegend qualitativ beschreibbar sind, zählen die unterschiedlichen Trainingsziele (bspw. psychomotorische, kognitive, affektive Lernziele), Trainingsinhalte (bspw. allgemeinentwickelnde Übungen, Spezialübungen, Wettkampfübungen), Trainingsmittel (bspw. organisatorischer, gerätemäßiger, informativer Art), Trainingsmethoden (bspw. Maximalkrafttrainingsmethode, Bodybuildingmethode, Kraftausdauermethode), die Durchführung und der Schwierigkeitsgrad sportmotorischer Fertigkeiten sowie die Techniken (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 30, 128ff.; WEINECK 1994, 22).

Quantitative Beschreibungsgrößen der Trainingsbelastung sind die Belastungskomponenten, die sogenannten Belastungsnormativa, Trainingshäufigkeit (Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche), die Trainingsdauer (Dauer der einzelnen Trainingseinheit oder die Gesamtheit des Trainings in einem Trainingszyklus) und die Dosierung der Belastungsanforderung in der Trainingseinheit, die durch Belastungsumfang, Belastungsintensität, Belastungsdauer und Belastungsdichte näher beschrieben werden (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 30). Die Beurteilung der Gesamtbelastung hinsichtlich der beanspruchten Trainingswirkungen setzt die genaue Protokollierung der quantifizierten Belastungsnormativa (Belastungshöhe, Wiederholungszahl, Pausenlänge und beabsichtigte Trainingswirkung) durch Trainer und Athleten voraus (SCHMIDTBLEICHER 1987b, 370). Die folgenden Definitionen und Ausdifferenzierungen der Belastungsnormativa zeigen alle bereits einen Beanspruchungsaspekte, da die Variation der Belastung im Training beanspruchungsbestimmt ist (POLLMANN 1993, 25). Um dies zu verdeutlichen, werden die Belastungsnormativa jeweils unter dem „reinen“ Belastungsaspekt und unter dem Beanspruchungsaspekt dargestellt.

4.4.1 Belastungs-/Reizintensität

Die Reizintensität wird bestimmt durch den Anstrengungsgrad und die Art und Weise der Übungsausführung. Einheiten für die Intensität sind: Zeitmaße in Minuten, Sekunden, Geschwindigkeiten in Meter/Sekunde, Kilometer/Stunde, aber auch physiologische Beschreibungsgrößen wie bspw. Herzschlagfrequenz/Minute, mmol/l Laktat oder Watt; beim Krafttraining die Last in Kilogramm, in Prozent zur Bestmarke oder auch in Qualitäten wie maximal, submaximal, mittel, gering (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 92).

Beanspruchungsaspekt: Nach POLLMANN (1993, 25) ist eine Beurteilung der Reizintensität nach der quantifizierbaren Last für die Trainingspraxis nicht sinnvoll, da bei unterschiedlichem Kraftniveau von Sportlern die Beanspruchung verschieden ist. Deshalb muss die Reizintensität bzw. Beanspruchungsintensität subjektiv beurteilt werden. Für das Krafttraining wird daher die Belastungshöhe prozentual zu dem Gewicht definiert, das der Sportler als Maximallast bewältigen kann. Zur Orientierung für die Trainingspraxis werden dann Rangskalen mit Prozentangaben vorgeschlagen, die mit qualitativen Urteilen (leicht, mittel, submaximal, maximal) über die Reizintensität gekoppelt werden (vgl. SCHOLICH 1988, 23). Solch eine Intensitätsbestimmung entspricht der deduktiven Beanspruchungsermittlung in der genuinen Arbeitswissenschaft bzw. Sportwissenschaft (vgl. WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991, 19). Dabei sollte jedoch immer vom aktuellen Leistungsniveau ausgegangen werden, d. h., eine Leistungseinbuße oder Leistungsverbesserung Berücksichtigung finden bzw. klar gemacht werden, worauf sich die 100 % der Kraftentfaltung beziehen. Darüber hinaus bleiben Angaben über die Reizintensität zum Teil unpräzise, da die gleichen prozentualen Veränderungen der Belastung bei verschiedenen Krafttrainingsformen, Übungen, Muskelgruppen etc. unterschiedliche Auswirkungen (Teilbeanspruchungen) nach sich ziehen (vgl. Kapitel 5.1).

4.4.2 Belastungs-/Reizdauer

Im Gegensatz zur Intensität ist die Dauer eines Reizes ein Zeitmerkmal, also exakt messbar. Sie wird somit bestimmt durch die Zeit der Belastungseinwirkung, dient aber auch in Verbindung mit der Streckenlänge zur Bestimmung der Intensität. Einheiten der Reizdauer (Belastungsdauer) sind: Sekunden, Minuten, Stunden. Die Reizdauer kann kurz sein, etwa beim Test oder Training der Maximalkraft, oder lang wie beim Kraftausdauertraining mit geringen Lasten. Aus trainingspraktischen Gründen wird eine Reihe unmittelbar aufeinanderfolgender Reize, wie dies etwa innerhalb einer Serie von Streckbewegungen der Fall ist, als Reizdauer bezeichnet. Dabei spielt die Reizhäufigkeit (Anzahl der Reize) ebenfalls eine Rolle.

Beanspruchungsaspekt: Wie aufgrund von experimentellen Untersuchungen festgestellt wurde, liegen je nach Trainingsziel unterschiedliche zeitliche Minima und Maxima vor, um optimale Trainingsanpas-

sungen zu erreichen. Nach HOLLMANN/HETTINGER (1990, 230f.) soll die Reizdauer bei statischem Krafttraining mindestens 20 - 30 % der bis zur Erschöpfung möglichen Anspannungszeit betragen, wobei die maximal mögliche Anspannungszeit ca. 10 bis 15 sec beträgt. Beim Kraftausdauertraining sollten die Übungsserien in der Regel bis an das Wiederholungsmaximum heranreichen, d. h., eine maximale Ausschöpfung der beanspruchten energieliefernden Substrate angestrebt werden (SCHMIDTBLEICHER 1987a, 370). Im Schnellkraft- und Schnelligkeitstraining sollen hingegen Übungsserien und Belastungsphasen nur so lang sein, dass keine wesentliche Leistungsminderung durch Ermüdung auftritt, was an verlängerten Kontraktionszeiten, abnehmender Bewegungsfrequenz und verringerter Bewegungsamplitude sichtbar wird (HARRE 1986, 80). FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH (2002b, 749) geben eine zeitliche Belastungsdauer von < 15 sec für das intramuskuläre Koordinationstraining, von 20 - 50 sec für das Hypertrophietraining und von 50 sec bis zwei Minuten für das Kraftausdauertraining an (vgl. EHLLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN 1998, 111ff.; GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999, 230).

4.4.3 Belastungs-/Reizumfang

Der Reizumfang (Belastungsumfang) wird bestimmt durch die zu bewältigende Streckenlänge, Gesamtlast äußerer Widerstände, Häufigkeit an Wiederholungen und die Trainingszeiten. Einheiten sind: Kilometer, Kilogramm, Anzahl der Wiederholungen, Stunden, Minuten (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 92; SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997, 194). Im Krafttraining ist es üblich, den Belastungsumfang nach der gehobenen oder bewegten Gesamtlast zu bestimmen. Somit setzt sich der Belastungsumfang aus dem Produkt von Reizintensität (ausgedrückt als Höhe des äußeren Widerstandes) und Reizhäufigkeit zusammen. Einen Reizumfang von bspw. 3000 kg erhält man, wenn man fünf Serien mit sechs Wiederholungen durchführt und mit einem Gewicht von 100 kg trainiert (vgl. FRY/NEWTON 2002, 14).

Beanspruchungsaspekt: Eine Quantifizierung des Trainingsumfang anhand der gehobenen Gesamtlast ist nur dann aussagekräftig, wenn eine gleichbleibende Intensität gewählt wurde. Da man jedoch in den seltensten Fällen mit gleichbleibender Intensität trainiert, scheint es sinnvoller zu sein, den Reizumfang nach Intensitätsbereichen (Prozent der individuellen maximalen Muskelkräfte) aufzuschlüsseln.

4.4.4 Belastungs-/Reizdichte

Sie wird bestimmt durch die zeitliche Aufeinanderfolge von einzelnen Belastungen bzw. vom Verhältnis von Belastung und Erholung. Einheiten sind: Zeitintervalle, Pausen zwischen Einzelbelastungen in Sekunden, Minuten (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 92).

Beanspruchungsaspekt: Die Reizdichte ist entscheidend für die Regulation von Belastung und Erholung (Teilerholung) und hat somit eine besondere Bedeutung (vgl. RAASTAD/HALLÉN 2000). Bei der Erholung zwischen Serien sind die beiden Pausentypen vollständige und unvollständige oder auch lohnende

Pausen zu unterscheiden. Unabhängig vom jeweiligen Trainingsziel gilt für die Planung der Reizdichte: Je besser die Leistungsfähigkeit, desto kürzer die Pausen. Angelehnt an SCHOLICH (1988, 14f.) können dabei drei Grundregeln zur Pausengestaltung bei definierten Intensitäten unterschieden werden, wobei jedoch nur metabolische Beanspruchungen Beachtung finden:

- 1) Nach hohem Krafteinsatz pro Zeiteinheit oder nach einer Zusatzbelastung von mehr als 90 % ist zur Wiederherstellung eine echte Erholungspause von mindestens drei bis fünf Minuten notwendig. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER (1999, 230) geben bei Trainingsmethoden zur Steigerung der willkürlichen neuromuskulären Aktivierungsfähigkeit Serienpausen von > sechs Minuten an. Dabei sind die sechs Minuten Serienpause nicht zur Erholung der Muskulatur, sondern vielmehr zur Wiederherstellung der neuromuskulären Reizübertragung und Fortleitung erforderlich (ebd. 1999, 231).
- 2) Nach submaximalem Krafteinsatz bzw. bei einer Zusatzlast von rund 75 % der Maximallast muss bei schneller Übungsausführung zur vollen Wiederherstellung eine Pause von zwei bis drei Minuten eingeplant werden. Ähnlich verhält es sich bei der Trainingsmethode zur Erhöhung der Muskelmasse (Hypertrophietraining) (GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999, 229).
- 3) Nach mittlerem Krafteinsatz bzw. bei Zusatzlasten von etwa 60 % der Maximallast genügt eine kurze, unvollständige Pause von 45 sec bis zu zwei Minuten. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER (1999, 232) geben bei der Trainingsmethode zur Verbesserung der Kraftausdauer eine Serienpause von 30 sec bis einer Minute an.

4.4.5 Belastungs-/Reizhäufigkeit

Die Reizhäufigkeit bezieht sich auf die Anzahl der Einzelreize pro Serie oder pro Trainingseinheit und zeigt sich in der Wiederholungszahl.

Beanspruchungsaspekt: Die Reizhäufigkeit steht in enger Abhängigkeit von der Reizintensität, der Reizdauer und der Reizdichte, denn wie stark die Reizhäufigkeit die Wiederholungszahl und die Reizdauer mitbestimmt, hängt von der Reizintensität ab. Dies wird in der folgenden Abbildung veranschaulicht, welche die Anzahl möglicher Wiederholungen pro Übungsserie in Abhängigkeit von der Reizstärke (bspw. die Zusatzlast beim Training mit Hantelgewicht) zeigt.

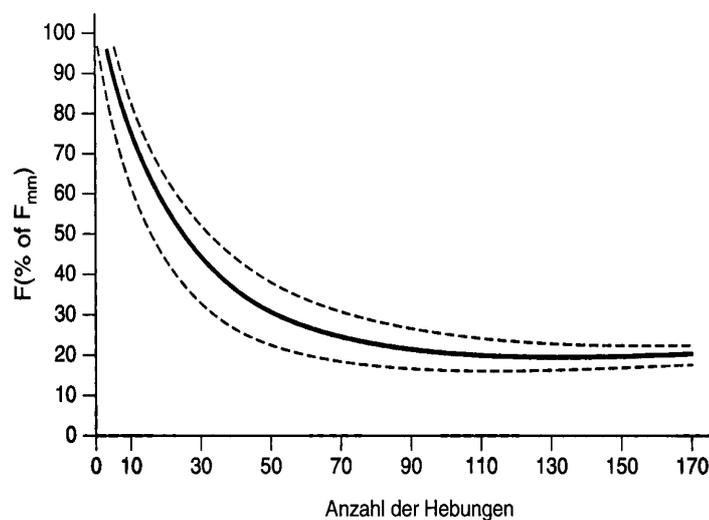


Abb. 8: Abhängigkeit der Wiederholungszahl im Bankdrücken vom relativen Hantelgewicht. Mittelwerte von 16 Gewichthebern. Die durchgezogene Linie repräsentiert die gerundeten Mittelwerte, die unterbrochenen Linien geben die Standardabweichung an (n. ZATSIORSKY/KULIK 1965 in ZATSIORSKY 1996, 247)

Zusammenfassend kann man konstatieren, dass das einzelne Training sowie die gesamte Trainingsplanung durch die Belastungsnormativa beschrieben werden kann. Somit geben die Belastungsnormativa an, wie intensiv, wie lange, wie oft, mit welchen Serienpausen und wie umfangreich eine bestimmte Art der Übung ausgeführt werden soll. Bezug nehmend auf das phänomenorientierte Belastungsbeanspruchungs-Konzept werden durch die Angaben der Belastungsnormativa jedoch keine Angaben über die tatsächliche Beanspruchung (Teilbeanspruchung) des Organismus bzw. seiner Teilsystem gemacht.

4.5 Problem der Belastungs- und Beanspruchungsermittlung im Krafttraining

Wie aus den bisherigen Ausführungen abgeleitet werden kann, stellt die anzusteuernde Beanspruchung die zentrale Orientierungsgröße für die Steuerung und Regelung des Trainings dar, wobei ein deduktiver und ein induktiver Weg der Beanspruchungsermittlung unterschieden wird (vgl. Kapitel 4.2). Für die Trainingswissenschaft stellt sich so die zentrale Frage, wie die gewünschten Beanspruchungen auch tatsächlich erreicht werden können (vgl. WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991, 18). Die induktive Beanspruchungsermittlung bspw. über die subjektive Belastungseinschätzung mittels Fragebogen (WANNER-Skala, BORG-Skala, Skala nach BUSKIES/BOECKH-BEHRENS) halten BUSKIES/BOECKH-BEHRENS/ZIESCHANG (1996), BUSKIES (1999a), BUSKIES (2001a; 2001b) und WANNER (1985) für ein lohnendes Unterfangen. Nach BUSKIES/BOECKH-BEHRENS/ZIESCHANG (1996, 179) zeigen die Ergebnisse zur Intensitätssteuerung über das subjektive Belastungsempfinden, dass das subjektive Belastungsempfinden durchaus ein Kriterium zur Steuerung der Belastungsintensität im Krafttraining sein kann. BUSKIES (2001b, 57) vertritt sogar die Meinung, dass das subjektive Belastungsempfinden hervorragend als Parameter zur Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining geeignet ist. Diese Aussagen beziehen sich jedoch hauptsächlich auf den Bereich des Gesundheitssports bzw. auf Personengruppen, bei denen eine reduzierte Belastungsverträglichkeit vorliegt und nicht auf den Bereich des Leistungssports. Des Weiteren ist aufgrund der Schwierigkeit der Operationalisierung des Konstruktes subjektives Belastungsempfinden, dieser Ansatz der Intensitätssteuerung im Krafttraining umstritten. Weitaus verbreiteter ist die deduktive Beanspruchungsermittlung. Sie erfolgt in der Regel über die Bestimmung der maximalen Leistungsfähigkeit (isometrische und/oder konzentrische Maximalkraft). Die an der maximalen Leistungsfähigkeit orientierte prozentuale Kraftbelastung wird im Weiteren so gewählt, dass der Organismus, seine Teilsysteme für die Verbesserung der beabsichtigten Ziele (Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft, Kraftausdauer) optimal beansprucht wird. Bezüglich der für die Anpassung notwendigen Beanspruchungen der verschiedenen Krafttrainingsarten, wird exemplarisch auf die Ausführungen von GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER (1999) sowie auf MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993) verwiesen. Eine solche Bestimmung der Belastungsintensität auf der Basis der maximalen Leistungsfähigkeit (Maximalkraft) ist jedoch mit zahlreichen Problemen behaftet (vgl. im Überblick FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH 2002b, 746). Dies spiegelt sich sowohl im leistungssportlichen als auch beim gesundheitsorientierten, präventiven und rehabilitativen Krafttraining wider. Um dieses Problem zu lösen, wird seit den Untersuchungen von ZATSIORSKY/KULIK (1965) für den Leistungssport und von HOLTON (1962) für die Therapie die Belastungsintensität als Steuerungsparameter im Krafttraining an feste Wiederholungszahlen gekoppelt. Das bedeutet, die Wiederholungszahl wird zur Abschätzung der Belastungsintensität verwendet (vgl. Abb. 8). ZATSIORSKY (1996, 108) schreibt hierzu explizit:

„Die Anzahl an Wiederholungen pro Serie ist das verbreitetste Maß für die Übungsintensität in Situationen, in denen die Maximalkraft F_{mm} nicht bestimmt oder nur mit Schwierigkeiten bestimmt werden kann, beispielsweise bei Sit-ups.“ (ZATSIORSKY 1996, 108)

Darüber hinaus wird von zahlreichen Autoren und auch von Trainingspraktikern die maximale Wiederholungszahl auch zur Abschätzung der eigentlichen Maximalkraft verwendet (vgl. LANDERS 1985; MAYHEW et al. 1995; WARE et al. 1995). Approximativ wird so aus der maximalen Wiederholungszahl entweder die submaximale Intensität und/oder die Maximalkraft bestimmt.

5 Empirische Befunde und allgemeine Forschungshypothesen

Betrachtet man das Verhältnis von deduzierter Belastungsintensität und maximaler Wiederholungszahl so können sowohl aus der Sicht der Trainingspraxis als auch aus der Sicht der Trainingswissenschaft zwei grundlegende Probleme ausgemacht werden:

- 1) In der trainingspraktischen sowie in der trainingswissenschaftlichen Literatur zur Steuerung und Regelung des Krafttraining bestehen keine Übereinstimmungen hinsichtlich der Vorgaben von Belastungsintensität und Wiederholungszahl für die einzelnen Trainingsmethoden (vgl. BOECKH-BEHRENS/BUSKIES 2000; EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN 1998; FLECK/KRAEMER 1997; GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999; HARRE 1986; HARTMANN/TÜNNEMANN 1990, 1993; LETZELTER/LETZELTER 1990; MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993; SALE/MACDOUGALL 1981; SCHMIDTBLEICHER 1987b; ZIMMERMANN 2000).
- 2) Das Verhältnis von Belastungsintensität und Wiederholungszahl ist abhängig von einer Vielzahl von Einflussfaktoren (bspw. Geschlecht, Trainingszustand, Maximalkraftniveau, Muskelgruppe, Übung, Krafttrainingspezifik, Krafttrainingserfahrung, Serienzahl etc.) und lässt somit keine Generalisierung zu (vgl. im Überblick FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH 2002b).

In der aktuellen Publikation „Einführung in die Trainingswissenschaft“ von HOHMANN/LAMES/LETZELTER (2002) wird hierauf explizit Bezug genommen:

„Wie die widersprüchlichen Angaben verschiedener Autoren bereits andeuten, ist der Zusammenhang zwischen Belastungsintensität und maximaler Wiederholungszahl noch als keineswegs geklärt zu betrachten.“ (HOHMANN/LAMES/LETZELTER 2002, 240)

„Globale Empfehlungen zu Trainingsintensitäten auf der Basis maximal möglicher Wiederholungszahlen sind also nicht seriös auszusprechen.“ (HOHMANN/LAMES/LETZELTER 2002, 240)

Nach ausführlicher Aufarbeitung der Literatur und empirischer Überprüfung der Befundlage zum grundlegenden Problem von deduzierter Belastungsintensität und Wiederholungszahl im Krafttraining (vgl. BAYER/RAMLOW 1993; BOECKH-BEHRENS/BUSKIES 2000; BUSKIES 1999a; 1999b; BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999; EVJENTH/SCHOMACHER 1997; FLECK/KRAEMER 1987; 1997; FRÖHLICH et al. 2001a; 2001b; FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH 2002a; 2002b; HEINOLD 1995; HOEGER et al. 1987; 1990; HOHMANN/LAMES/LETZELTER 2002; HOLTON 1962; KOVARIK 1991; KRAEMER/FRY 1995; KRAEMER/HÄKKINEN 2002; KURAMOTO/PAYNE 1995; LANDERS 1985; MARSCHALL/FRÖHLICH 1999; MAYHEW/BALL/ARNOLD 1989; MAYHEW et al. 1991; 1995; RADLINGER et al. 1998; SALE/MACDOUGALL 1981; SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 2000; STRACK 2001; WARE et al. 1995; ZATSIORSKY 1977; ZATSIORSKY 1996; ZATSIORSKY/KULIK 1965) kann man HOEGER et al. (1990, 54) zusammenfassend nur zustimmen:

„The results indicate that a given number of repetitions cannot always be associated with a particular percent 1 RM when performing different weight training exercises, regardless of the state of training or gender. The results also indicate that the prediction of the 1 RM cannot be generalized according to a number of repetitions performed.“ (ebd.)

5.1 Empirische Befunde im Überblick

MARSCHALL/FRÖHLICH (1999) fanden bei den Übungen Latissimus-Zug und Beinpresse auf den Intensitätsstufen von 50 - 90 % 1-RM die in Tab. 7 aufgeführten maximalen Wiederholungszahlen. Im Gegensatz dazu sind die maximalen Wiederholungszahlen bei der Übung Bankdrücken von ZATSIORSKY/KULIK (1965) dargestellt. Wie die Ergebnisse belegen, sind generelle Angaben zu Wiederholungsmaxima unterhalb von 90 - 95 % des 1-RM unzulässig. Vielmehr liegt die Vermutung nahe, dass die für eine ausgewählte Stichprobe (16 spezifisch trainierte Gewichtheber) und eine spezifische Kraftübung (Bankdrücken) ermittelte Zuordnung von Wiederholungszahlen und dem dabei realisierten Anteil der Maximalkraft ohne eine entsprechende empirische Überprüfung generalisiert wurde (MARSCHALL/FRÖHLICH 1999, 313). So scheint es kein Zufall, dass die in der trainingswissenschaftlichen Literatur vorzufindenden und als allgemeingültig dargestellten Wiederholungszahlen und Intensitäten genau den Werten von ZATSIORSKY und KULIK (1965) entsprechen (vgl. Abb. 8).

Tab. 7: Vergleich der maximalen Wiederholungszahlen bei unterschiedlichen Intensitäten für die Übungen Latissimus-Zug, Beinpresse und Bankdrücken (Mittelw. \pm Stdbw.); *die Angaben sind der Originalliteratur entnommen und enthalten keine Angaben zur Standardabweichung (n. MARSCHALL/FRÖHLICH 1999, 313)

Intensität	Latissimus-Zug N = 18	Beinpresse N = 15	Bankdrücken* N = 16	p (a/b)	p (a/c)	p (b/c)
50 %	33,1 \pm 10,7	53,2 \pm 23,9	25	,003	,005	< ,001
60 %	23,7 \pm 7,0	36,0 \pm 14,9	18	,004	,003	< ,001
70 %	15,1 \pm 2,9	25,3 \pm 8,6	12	< ,001	< ,001	< ,001
80 %	9,8 \pm 1,4	17,5 \pm 5,3	8	< ,001	< ,001	< ,001
90 %	5,6 \pm 1,2	10,4 \pm 2,9	5	< ,001	,052	< ,001

BUSKIES/BOECKH-BEHRENS (1999) untersuchten die Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining auf der Basis von Maximalkrafttests. Die Autoren konnten eine Abhängigkeit des Zusammenhangs von Belastungsintensität und Wiederholungszahl, von der gewählten Kraftübung, der beanspruchten Muskelgruppe, dem Geschlecht, der Seitigkeit sowie des Maximalkraftniveaus nachweisen. Des Weiteren scheinen Faktoren wie Übungsausführung, Trainingszustand und eingesetzte Muskelmasse die maximal mögliche Wiederholungszahl bei gegebener prozentualer Belastungsintensität erheblich zu beeinflussen (BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999, 8). Die realisierten maximalen Wiederholungszahlen auf den Intensitätsstufen 50 - 90 % in verschiedenen Teiluntersuchungen sind in Tab. 8 wiedergegeben.

Tab. 8: Realisierte maximale Wiederholungszahl bei unterschiedlichen Belastungsintensitäten in den Teiluntersuchungen (n. BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999, 6)

Beinpressen im 90° Kniewinkel (N = 16)						
Untersuchung 2		90 %	80 %	70 %	60 %	50 %
	$\bar{x} \pm s$	10,0 ± 4,0	22,9 ± 6,0	28,3 ± 6,9	42,3 ± 11,3	54,4 ± 21,2
	Maximum	18	26	43	63	99
	Minimum	3	17	21	25	26
Beinpressen im 45° Kniewinkel (N = 16)						
	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	
$\bar{x} \pm s$	6,7 ± 3,2	13,3 ± 4,7	19,8 ± 6,4	32,5 ± 11,1	50,3 ± 24,1	
Maximum	16	27	31	53	100	
Minimum	3	6	11	17	21	
Tricepsdrücken beidarmig (N = 16)						
Untersuchung 3		90 %	80 %	70 %	60 %	50 %
	$\bar{x} \pm s$	9,7 ± 4,5	17,6 ± 6,1	23,4 ± 5,7	38,7 ± 10,8	55,5 ± 16,4
	Maximum	19	35	40	59	89
	Minimum	2	10	17	19	35
Bicepscurl einarmig (N = 16)						
	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	
$\bar{x} \pm s$	4,4 ± 2,1	7,6 ± 3,0	10,6 ± 4,8	16,5 ± 4,6	22,5 ± 3,9	
Maximum	8	12	26	28	35	
Minimum	1	3	4	8	15	
Bankdrücken (N = 14)						
Untersuchung 5		90 %	80 %	70 %	60 %	50 %
	$\bar{x} \pm s$	5,5 ± 1,6	11,1 ± 1,7	16,9 ± 2,4	22,0 ± 3,3	31,4 ± 6,4
	Maximum	10	14	21	27	41
	Minimum	4	8	13	18	22
Latissimus-Ziehen (N = 14)						
	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	
$\bar{x} \pm s$	5,4 ± 1,3	11,6 ± 2,7	19,4 ± 2,8	22,1 ± 2,8	36,4 ± 7,2	
Maximum	7	17	26	28	51	
Minimum	4	8	14	18	29	

HOEGER et al. (1987) untersuchten bei sieben verschiedenen Krafttrainingsübungen (leg press, bench press, lateral pull down, quadriceps lift, sit-up, arm curl, leg curl) auf den Intensitätsstufen 40 %, 60 % und 80 % 1-RM die maximal mögliche Anzahl an Wiederholungen. Zwischen den randomisiert verteilten Übungen lag eine Ruhepause von 90 - 120 sec. Bei den teilnehmenden 38 krafttrainingsunerfahrenen Männern zeigten sich signifikante Unterschiede in der Anzahl an Wiederholungen bei den einzelnen

Übungen über die drei Intensitätsstufen. Exemplarisch sind die Wiederholungszahlen bei 60 % 1-RM wiedergegeben: Leg press ($33,9 \pm 14,2$), bench press ($19,7 \pm 4,9$), lateral pull down ($19,7 \pm 6,1$), quadriceps lift ($15,4 \pm 4,4$), sit-up ($15,0 \pm 5,6$), arm curl ($15,3 \pm 4,9$), leg curl ($11,2 \pm 2,9$). HOEGER et al. (1987) fassen ihre Ergebnisse wie folgt zusammen:

“This data indicates that the number of repetitions performed at selected percentages of the 1 RM is not the same for all lifts. According to the results of this study, no longer can beginning strength training participants assume that a given number of repetitions is always associated with the same percentage of the 1 RM for all lifts. Neither can the prediction of the 1 RM be generalized based on a number of repetitions performed, at least within the range investigated in this study. For example, when working at 60 percent of the 1 RM, 33,9 repetitions of the leg press were performed on average, while on the arm curl only 15,3 could be performed.” (HOEGER et al. 1987, 13)

HOEGER et al. (1990) verwendeten ein ähnliches Versuchsdesign wie HOEGER et al. (1987). Zusätzlich zu den sieben verschiedenen Übungen (leg press, bench press, lateral pull down, knee extension, sit-up, arm curl, leg curl) und drei Intensitätsbereichen (40 %, 60 % und 80 % 1-RM) wurde noch in trainierte Männer (N = 25) und trainierte Frauen (N = 26) sowie in untrainierte Männer (N = 38) und untrainierte Frauen (N = 40) unterschieden. Insgesamt nahmen 129 Probanden teil. Die Ergebnisse können wie folgt zusammen gefasst werden:

- 1) Bei 40 %, 60 % und 80 % 1-RM wurde bei der Übung leg press die größte Wiederholungszahl registriert. Dieses Ergebnis zeigte sich über die vier Gruppen hinweg.
- 2) Bei 40 %, 60 % und 80 % 1-RM wurde bei der Übung leg curl die geringste Wiederholungszahl registriert. Dieses Ergebnis zeigte sich über die vier Gruppen hinweg.
- 3) Die maximale Wiederholungszahl unterscheidet sich signifikant zwischen den einzelnen Übungen als auch bei den einzelnen Intensitätsstufen bei den Männern und den Frauen.
- 4) Die maximale Wiederholungszahl unterscheidet sich signifikant zwischen den einzelnen Übungen als auch bei den einzelnen Intensitätsstufen bei den Trainierten und den Untrainierten.

Zur Veranschaulichung sind die Wiederholungszahlen bei 80 % 1-RM bei den untrainierten und trainierten Männern sowie bei den untrainierten und trainierten Frauen für die einzelnen Übungen in Tab. 9 dargestellt.

Tab. 9: Realisierte Wiederholungszahlen bei 80 % 1-RM bei untrainierten und trainierten Männern sowie bei untrainierten und trainierten Frauen für sieben verschiedene Übungen (modif. n. HOEGER et al. 1990, 51f.)

Übung	Untrainierte Männer (N = 38)	Trainierte Männer (N = 25)	Untrainierte Frauen (N = 40)	Trainierte Frauen (N = 26)
Leg press	15,2 ± 6,5	19,4 ± 9,0	11,9 ± 7,0	22,4 ± 10,7
Lateral pulldown	9,8 ± 3,9	12,2 ± 3,7	10,0 ± 5,6	10,2 ± 3,9
Bench press	9,8 ± 3,6	12,2 ± 2,8	10,3 ± 4,2	14,3 ± 4,4
Knee extension	9,3 ± 3,4	11,6 ± 4,4	7,9 ± 2,9	9,4 ± 4,3
Sit-up	8,3 ± 4,1	12,2 ± 6,4	7,1 ± 5,2	12,0 ± 6,5
Arm curl	7,6 ± 3,5	11,4 ± 4,1	5,9 ± 3,6	6,9 ± 3,1
Leg curl	6,3 ± 2,7	7,2 ± 3,0	5,9 ± 2,6	5,3 ± 2,6

Somit belegen die Ergebnisse der Studie von HOEGER et al. (1990), dass der Zusammenhang von Belastungsintensität und Wiederholungszahl in Abhängigkeit steht zu dem Geschlecht, dem Trainingszustand, den verwendeten Übungen sowie der Größe der eingesetzten Muskelmasse.

In den Untersuchungen von FRÖHLICH et al. (2001a) und FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH (2002a) ging es unter anderem um die Frage, wie sich die Wiederholungszahlen in Abhängigkeit von der Anzahl der Serien verändern. Zielübung war das Bankdrücken an einer Multipresse. In der ersten Untersuchung betrug die Belastungsintensität 50 % 1-RM (Kraftausdauertrainingsbereich) mit einer Serienpause von einer Minute. Die Teilnehmer waren zehn krafttrainingserfahrene Männer im Alter von 23 bis 50 Jahren. In der zweiten Studie betrug die Belastungsintensität 85 % 1-RM (oberer Hypertrophietrainingsbereich), mit einer Serienpause von drei Minuten. An dieser Studie nahmen fünf Leistungssportler der Sportart Badminton sowie fünf krafttrainingserfahrene Freizeitsportler teil. In beiden Studien kam es zu einer signifikanten Reduktion der Wiederholungszahlen über die sechs Serien. Dabei war auffallend, dass der Wiederholungszahlrückgang hauptsächlich in den Serien eins bis drei statt fand. Nach der dritten Serie pendelten sich die realisierten Wiederholungen auf einem annähernd konstanten Niveau ein (vgl. Abb. 9). In der Untersuchung zum Kraftausdauertrainingsbereich betrug die prozentuale Reduktion der Wiederholungszahlen über die sechs Serien von der ersten Serie bis zur letzten Serie ca. 74 %. Der prozentuale Rückgang in der Studie zum Hypertrophietraining lag bei ca. 66 % von der ersten Serie bis zur letzten Serien. Betrachtet man die Ergebnisse von deduzierter Belastungsintensität und Wiederholungszahl über mehrere Serien im Überblick, so kann man konstatieren: Unter der Prämisse der Ausbelastung in einer Serien kommt es zu einer erheblichen Reduktion der Wiederholungszahlen über die einzelnen Serien. Über die einzelnen Serien hinweg wird der für die spezifische Trainingsme-

thode optimale Wiederholungsbereich verlassen. Inwieweit sich dies auf die Trainingsmethode als solches auswirkt, muss zum derzeitigen Kenntnisstand spekulativ bleiben und wird Gegenstand der folgenden empirischen Untersuchung sein.

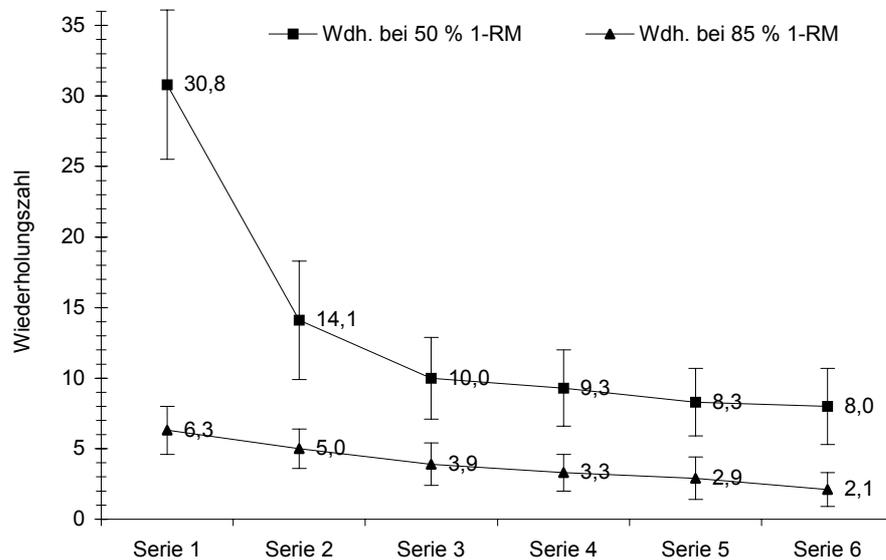


Abb. 9: Realisierte Wiederholungszahlen bei 50 % 1-RM (N = 10) sowie bei 85 % 1-RM (N = 10) über 6 Serien bei der Übung Bankdrücken (modif. n. FRÖHLICH et al. 2001a und FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH 2002a)

BAYER/RAMLOW (1993, 15f.) mahnen hinsichtlich der funktionellen Abhängigkeit von zu hebender Last und möglicher Wiederholungszahl, zu einer kritischen Betrachtung. So zeigt der Zusammenhang von gehobener Last und möglicher Wiederholungszahl eine ausgesprochene Variabilitätsspezifität. Insbesondere für Ausdauersportler ergibt sich im Vergleich zu verallgemeinerten Angaben ein wesentlich gestreckter Kurvenverlauf. Des Weiteren zeigt diese funktionelle Abhängigkeit eine intraindividuelle Veränderung bei zugrunde liegender Trainingsumstellung (vgl. BAYER 1999, 32).

Empirische Untersuchungen, die sich mit der Beanspruchungsanalyse im Krafttraining beschäftigen, sind von der Bielefelder Arbeitsgruppe um POLLMANN (1993), POLLMANN/WILLIMCZIK (1991) und POLLMANN/WILLIMCZIK (1995) vorgelegt worden. POLLMANN (1993) ging unter anderem der Frage nach, inwieweit Parameter des neuromuskulären Systems (mittels Oberflächenelektromyographie) zur Beanspruchungsanalyse im Mikrozyklus des Krafttrainings beitragen können. Im Mittelpunkt seiner Betrachtung stand dabei die Analyse der Beanspruchung während der einzelnen Krafttrainingsserie, während der Krafttrainingseinheit sowie während einer zweiten Krafttrainingseinheit, die im Anschluss an unterschiedlich gestaltete Regenerationsphasen durchgeführt wurde. Hinsichtlich der Registrierung und Auswertung des EMG, der Untersuchungsmethodik sowie der Untersuchungsdurchführung sei auf

POLLMANN (1993) verwiesen. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Im Verlauf der Einzelserie steigt das IEMGR (zeitnormiertes IEMG pro Kontraktion relativiert auf die Aktivität bei maximaler Kraft) der beanspruchten Muskulatur (M. triceps brachii und M. pectoralis major) kontinuierlich an. Die Serienmittelwerte des IEMGR nehmen von der ersten bis zur fünften Serie des Trainingstages zu (vgl. POLLMANN/WILLIMCZIK 1995, 400ff.). Die Zunahme des IEMGR ist für den M. pectoralis major ausgeprägter als für den M. triceps brachii. Die prozessorientierte Darstellung (während der Belastung) der Beanspruchung zeigt einen empirisch nachweisbaren Ermüdungsverlauf (vgl. Abb. 10). Darüber hinaus folgt der Anstieg der Aktivität im Serienverlauf für beide Muskeln einem linearen Trend.

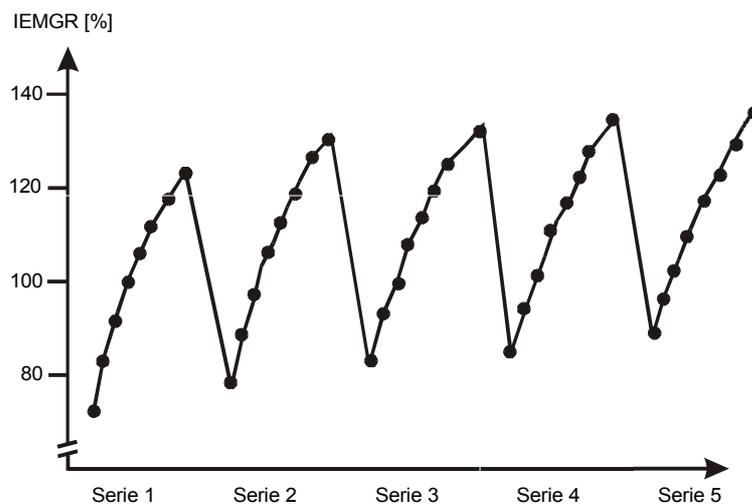


Abb. 10: Verlauf der Beanspruchung des M. pectoralis major während fünf Serien zu acht Kontraktionen und drei Minuten Pause zwischen den Serien bei der Übung Bankdrücken (modif. n. POLLMANN 1993, 141)

POLLMANN/WILLIMCZIK (1991) untersuchten neben der elektrischen Aktivität die metabolische Beanspruchung, d. h., die Laktatkonzentration während einer Trainingseinheit über fünf Serien mit je acht Wiederholungen bei einer Belastungsintensität von ca. 70 - 80 % des 1-RM bei der Übung Bankdrücken mit Langhantel auf der Flachbank. Die Probanden waren sechs Kugelstoßer. Die Serienpause betrug drei Minuten. Infolge der Beanspruchung lag die Laktatkonzentration in der ersten Serie bei ca. 3,2 mmol/l. Im weiteren Verlauf der Trainingseinheit fand ein kontinuierlicher Anstieg der Laktatkonzentration bis auf 6,8 mmol/l in der fünften Serie statt. Die Differenzen zwischen allen Serien waren signifikant [$p < 0,005$]. Nach POLLMANN/WILLIMCZIK (1991, 391) scheint eine dreiminütige Serienpause nicht ausreichend zu sein, um das anfallende Laktat zu eliminieren. Die Autoren folgern daraus, dass die Laktatausschüttung als ein Parameter der Beanspruchung betrachtet werden kann. Des Weiteren nimmt die Beanspruchung im ersten Teil der Trainingseinheit stark zu, während in den letzten Serien keine weitere ausgeprägte zusätzliche Beanspruchungssteigerung zu erkennen ist. Dies scheint jedoch dem subjektiven Bean-

spruchungsgefühl der Probanden zu widersprechen, welche gerade das Ende der Trainingseinheit als stark ermüdend empfanden (ebd.).

In einer experimentellen Studie zur neuronalen Aktivität konnten FRÖHLICH et al. (2002) mit Hilfe des EMG bei 15 Sportstudenten den Nachweis erbringen, dass bei gleicher deduzierter Belastungsintensität sowohl individuell als auch intraindividuell unterschiedliche neuronale Aktivitäten auftreten. Zielübung war eine Beinextensionsbewegung an einer handelsüblichen Beinpresse. Die mittels Oberflächen-EMG abgeleiteten Muskeln waren: M. rectus femoris (RF), M. vastus medialis (VM), M. vastus lateralis (VL), M. biceps femoris (BF), M. tibialis anterior (TA), M. gastrocnemius (GA), M. soleus (SO) sowie M. gluteus (GL). Ausgehend vom 1-RM wurde die Gewichtsbelastung für die Intensitätsstufen von 50 - 90 % festgelegt. Die statistische Berechnung erfolgte mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Muskel [$p = 8$] und Intensitätsstufe [$q = 5$]. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen den beteiligten Muskeln [$p < 0,001$] und einen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Intensitätsstufen [$p < 0,001$]. Dies bedeutet, dass eine Veränderung der äußeren Last in den einzelnen Muskeln eine jeweils unterschiedliche neuronale Aktivität bewirkt und daraus eine unterschiedliche Teilbeanspruchung des neuromuskulären Systems resultiert (vgl. Abb. 11). Nimmt man an, dass die neuronale Aktivität (IEMG) die Beanspruchungssituation des neuromuskulären Systems widerspiegelt, ließe sich aus den Untersuchungsergebnissen statistisch belegen, dass zwischen der äußeren Belastung in Prozent des 1-RM und der inneren Beanspruchung sowohl individuell als auch intraindividuell ein Unterschied besteht (vgl. FRÖHLICH et al. 2002, 44).

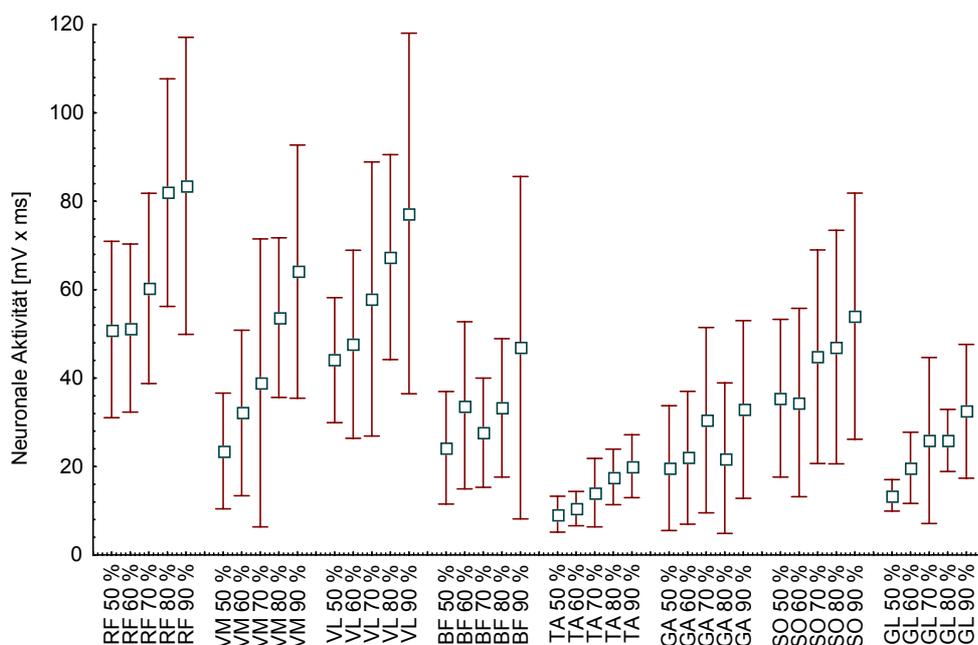


Abb. 11: Mittlere neuronale Aktivität [mV x ms] der einzelnen acht Muskeln über die fünf verschiedenen Intensitätsstufen (n. FRÖHLICH et al. 2002, 42)

Die Untersuchung von BUSKIES (2001b) beschäftigte sich mit der Frage der Gestaltung der Trainingsintensität im nicht leistungssportlich¹⁹ orientierten Krafttraining. Konkret sollte empirisch überprüft werden, welche Effekte bei einem „sanften“ Krafttraining (Einzelserie wird deutlich vor Erreichen der letztmöglichen Wiederholung abgebrochen) zu erwarten sind. Dem Anliegen der Fragestellung folgend, wurden die Serien in Abhängigkeit von der Trainingsgruppe nach unterschiedlichen Kriterien beendet. Abbruch nach einem subjektiven Belastungsempfinden „mittel“ bzw. „schwer“ sowie nach „Ausbelastung“ in der Serie. Das Beanspruchungsverhalten, operationalisiert über die Laktat-, Herzfrequenz- und systolischen Blutdruckwerte sowie über das Produkt von systolischen Blutdruck und Herzfrequenz, zeigte eine eindeutige Abhängigkeit von der gewählten Belastungsintensität (BUSKIES 2001b, 48). So ist die metabolische und kardiale Beanspruchung bei einem „sanften“ Krafttraining im Vergleich zu einem Training bis zur muskulären Ausbelastung deutlich reduziert.

Zusammenfassend und Bezug nehmend auf die dargelegten Ergebnisse zum Zusammenhang von deduzierter Belastungsintensität und maximaler Wiederholungszahl kann festgehalten werden:

- 1) Eine Generalisierung des Zusammenhangs von deduzierter Belastungsintensität und maximaler Wiederholungszahl ist nicht möglich.
- 2) Eine Belastungsintensitätsfestlegung bzw. Bestimmung der konzentrischen Maximalkraft (1-RM) anhand der maximalen Wiederholungszahl kann nur als grobe Orientierung für die Steuerung und Regelung des Krafttrainings dienen.

5.2 Allgemeine Forschungshypothesen

Nach ausführlicher Aufarbeitung der Literatur und empirischer Überprüfung der Befundlage zum Verhältnis von deduzierter Belastungsintensität und maximaler Wiederholungszahl bei verschiedenen Einflussgrößen und unterschiedlichen Bedingungen, lässt sich unter Bezugnahme des phänomenorientierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes vermuten, dass neben unterschiedlichen Wiederholungszahlen auch unterschiedliche Teilbeanspruchungen bei gleicher Belastungsintensität induziert werden. Da begründet vermutet wird, dass sich diese Effekte hauptsächlich bei Kraftausdauertrainingsmethoden nachweisen lassen, soll in den allgemeinen Forschungshypothesen hierauf Bezug genommen werden.

¹⁹ Beim nicht leistungssportlich orientierten Krafttraining geht es in der Regel weder um einen maximal möglichen Trainingsgewinn pro Zeit, noch um eine stetige progressive Leistungsentwicklung, sondern um deren Erhalt (BUSKIES 2001b, 57).

5.2.1 Forschungshypothese 1

Wenn bei gleicher deduzierter Belastungsintensität, in dem für die Kraftausdauer relevanten Intensitätsbereich von 60 % 1-RM, unterschiedliche Wiederholungszahlen realisiert werden, dann werden auch unterschiedliche Teilbeanspruchungen induziert. Diese unterschiedlichen Teilbeanspruchungen sollten sich im metabolischen, kardiovaskulären und im myokardialen System sowie im subjektiven Belastungsempfinden widerspiegeln.

In den Studien von FRÖHLICH et al. (2001a) und FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH (2002a) konnte für das Training der Kraftausdauer sowie für das Muskelaufbautraining empirisch nachgewiesen werden, dass bei einem Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ und fester Pausendauer sowie dem Kriterium der Ausbelastung in einer Serie, die bewältigte Last über die einzelnen Serien angepasst werden muss. Da bei einem Training mit annähernd gleicher Wiederholungsanzahl für die einzelnen Serien die Reizdauer ebenfalls annähernd gleich bleibt, kann daraus theoretisch begründet werden, dass sich die Teilbeanspruchungen von einem Belastungstreatment „konstante Last“ (Abnahme der Belastungszeit über die Serien) unterscheiden. Somit kann diese weitere Forschungshypothese abgeleitet werden:

5.2.2 Forschungshypothese 2

Ein Belastungstreatment, welches durch eine „konstante Wiederholungszahl“ determiniert ist, unterscheidet sich sowohl auf der Ebene der Belastung als auch auf der Ebene der Beanspruchung von einem Belastungstreatment, welches durch eine „konstante Last“ festgelegt ist.

Da bekanntlich spezifische Reize zu spezifischen Adaptationen führen und in Abhängigkeit von individuellen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften gleiche Belastungen mit unterschiedlichen Beanspruchungen assoziiert sind, kann folgende Forschungshypothese formuliert werden:

5.2.3 Forschungshypothese 3

In Abhängigkeit von individuellen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften kommt es bei spezifisch trainierten Gruppen, bei gleichen Belastungen, zu unterschiedlichen Beanspruchungen.

6 Operationale Hypothesen

Die operationalen Hypothesen können insgesamt in drei Bereiche gegliedert werden: Der erste Hypothesenkomplex umfasst die Hypothesen zu Ausgangsniveaumessungen. Der zweite Komplex bezieht sich auf die Hypothesen zu den Gruppenvergleichen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer) und der dritte Komplex beschäftigt sich mit den Hypothesen, die sich auf die Treatmentvergleiche (Treatment „konstante Last“ vs. Treatment „konstante Wiederholungszahl“) beziehen. Innerhalb der drei Hypothesenkomplexe wurde jeweils noch eine Unterscheidung auf der Ebene der Belastung (Last, Wiederholungszahl, physikalische Arbeit) sowie auf der Ebene der Beanspruchung (metabolisch, kardiovaskulär, myokardial und subjektiv) vorgenommen.

6.1 Hypothesenkomplex zu den Ausgangsniveaumessungen

6.1.1 Hypothesen zu den Ausgangsniveaumessungen auf der Belastungsebene

Im Untersuchungsdesign wurde bei der Treatmentstichprobe eine Einteilung in drei Gruppen vorgenommen. Einerseits Freizeitsportler und andererseits Leistungssportler der Sportarten Leichtathletik und Ringen. Aufgrund dieser Einteilung sowie der Angaben im Fragebogen (vgl. Personenstichprobe) kann begründet davon ausgegangen werden, dass sich die Maximalkraft und die Relativkraft zwischen den Gruppen unterscheidet. Die Maximalkraft und die Relativkraft sollte bei den Leistungssportlern signifikant höher sein als bei den Freizeitsportlern. Ein begründeter Unterschied innerhalb der Gruppe der Leistungssportler kann nicht hergeleitet werden, da in beiden Sportarten der Faktor Krafttraining, Maximalkraft und Relativkraft zwar eine unterschiedliche Gewichtung erfährt, insgesamt jedoch eine hohe Priorität im Training besitzt (vgl. HASEGAWA et al. 2002). Des Weiteren kann aufgrund der verschiedenen Disziplinen innerhalb der Gruppe der Leichtathleten bzw. der Gewichtsklasseneinteilung der Ringer keine gerichtete Hypothese formuliert werden (vgl. Kapitel Methodenkritik). Die Bestimmung des 1-RM kann als valides und reliables Kriterium zur Abschätzung der konzentrischen Maximalkraft angesehen werden und differiert zwischen zwei Messterminen nur gering (vgl. BERGER 1962b; BRAITH et al. 1993; MAYHEW et al. 1995; SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 2000). Die Test-Retest-Reliabilitäten liegen in einem Bereich von $r_{tt} > 0,90$ (vgl. FRÖHLICH/MARSCHALL 2001; Kapitel 7.5). Abb. 12 nimmt hierauf Bezug und zeigt den Zusammenhang des 1-RM zum Testtermin „konstante Last“ und des 1-RM zum Testtermin „konstante Wiederholungszahl“.

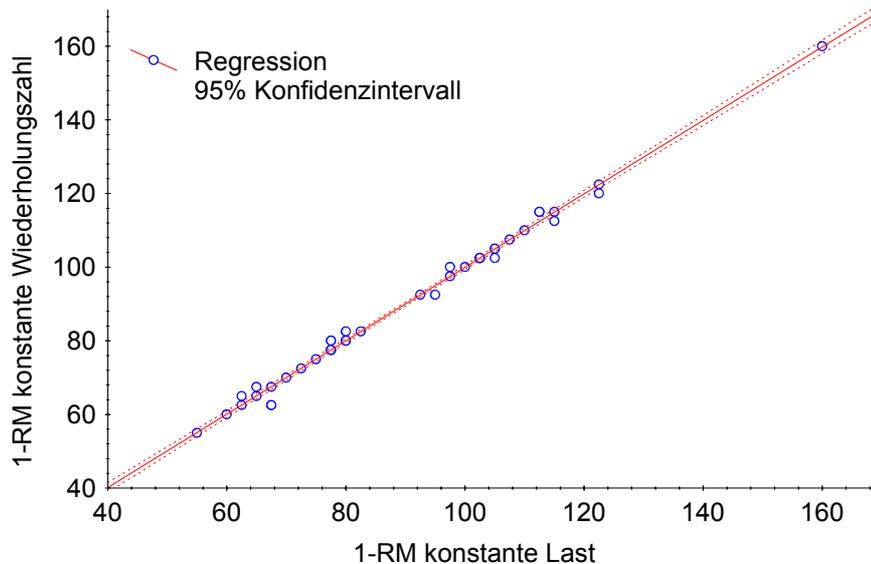


Abb. 12: Zusammenhang 1-RM beim Treatment „konstante Last“ und 1-RM beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“

Abgeleitet daraus können folgende operationale Hypothesen formuliert werden:

H 0.1.1 Die konzentrische Maximalkraft und die Relativkraft unterscheiden sich sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“ als auch beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ zwischen den Gruppen.

H 0.1.2: Die konzentrische Maximalkraft und die Relativkraft unterscheiden sich beim Testtermin „konstante Last“ und beim Testtermin „konstante Wiederholungszahl“ nicht signifikant voneinander.

6.1.2 Hypothesen zu den Ausgangsniveaumessungen auf der Beanspruchungsebene

Die metabolischen, kardiovaskulären und myokardialen Beanspruchungsparameter sind in Ruhe: Laktat 0,7 - 1,8 [mmol/l], systolischer und diastolischer Blutdruck ca. 120 - 80 [mmHg], Herzfrequenz 60 - 80 [1/min] sowie Doppelprodukt 7200 - 9600 [mmHg x 1/min] (vgl. APPELL et al. 2001; ÅSTRAND/RODAHL 1986; DE MARÉES 1996; HOLLMANN/HETTINGER 2000; KENT 1996). Da es sich bei der vorliegenden Stichprobe um Freizeitsportler bzw. Leistungssportler handelte, die kein extremes Ausdauertraining absolvieren bzw. absolvierten, kann davon ausgegangen werden, dass sich die obigen Teilbeanspruchungsparameter unter Ruhebedingungen in einem Normbereich befinden bzw. nur leicht erniedrigt sind (vgl. FLECK 1988; 1992; FLECK/KRAEMER 1997; KRAEMER/VOLEK/FLECK 1998). Durch die Konstanthaltung von cirkadianrhythmischen Einflüssen kann des Weiteren davon ausgegangen werden, dass sich die Beanspruchungsparameter in Ruhe nicht signifikant zwischen den beiden Messterminen unterscheiden. Es werden folgende Hypothesen formuliert:

Der Laktatwert (**H 0.2.1**), der systolische und diastolische Blutdruck (**H 0.3.1**), die Herzfrequenz (**H 0.4.1**) sowie das Doppelprodukt (**H 0.5.1**) unterscheiden sich sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“ als auch beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau nicht zwischen den Gruppen.

Der Laktatwert (**H 0.2.2**), der systolische und diastolische Blutdruck (**H 0.3.2**), die Herzfrequenz (**H 0.4.2**) sowie das Doppelprodukt (**H 0.5.2**) unterscheiden sich sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“ als auch beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau nicht signifikant von einander.

6.2 Hypothesenkomplex zu den Gruppenvergleichen

Die Hypothesen zu den Gruppenvergleichen können einerseits auf der Belastungs- vs. der Beanspruchungsebene unterschieden werden. Andererseits kann eine Unterteilung in die beiden Treatments bzw. Trainingsmethoden („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) vorgenommen werden.

6.2.1 Hypothesen zu den Gruppenvergleichen auf der Belastungsebene beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) sowie beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.)

Nach ausführlicher Aufarbeitung der Literatur und empirischer Überprüfung der Befundlage zum Verhältnis von deduzierter Belastungsintensität und Wiederholungszahl bei verschiedenen Einflussgrößen und unterschiedlichen Bedingungen (vgl. BAYER/RAMLOW 1993; BOECKH-BEHRENS/BUSKIES 2000; BUSKIES 1999; BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999; EVJENTH/SCHOMACHER 1997; FLECK/KRAEMER 1987; 1992; FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH 2002a; 2002b; FRÖHLICH et al. 2001a; 2001b; HARTMANN/TÜNNEMANN 1993; HOEGER et al. 1987; 1990; HOHMANN/LAMES/LETZELTER 2002; HOLTON 1962; KRAEMER/FRY 1995; KRAEMER/HÄKKINEN 2002; KOVARIK 1991; KURAMOTO/PAYNE 1995; LANDERS 1985; MAYHEW/BALL/ARNOLD 1989; MAYHEW et al. 1991; 1995; MARSCHALL/FRÖHLICH 1999; RADLINGER et al. 1998; SALE/MACDOUGALL 1981; SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 2000; STRACK 2001; WARE 1995; ZATSIORSKY 1977; 1996; ZATSIORSKY/KULIK 1965) lassen sich auf der Belastungsebene folgende operationale Hypothesen formulieren:

H 1.1.1: Beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) kommt es zu einer Reduktion der realisierten Wiederholungszahlen über die Serien.

H 1.1.2: Beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) unterscheiden sich die realisierten Wiederholungszahlen zwischen den Gruppen.

Der Parameter physikalische Arbeit [Nm] setzt sich zusammen aus dem Produkt von Last x Wiederholungszahl x Hubweg. Da die Last und der Hubweg konstant gehalten wurden, resultiert eine Veränderung der physikalischen Arbeit alleine aus der Wiederholungszahl. Da begründet vermutet wird, dass es zu einer Reduktion der Wiederholungszahlen über die Serien kommt und sich die Wiederholungszahlen zwischen den Gruppen unterscheiden, werden die Hypothesen wie folgt formuliert:

H 1.1.3: Beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) kommt es zu einer Reduktion der verrichteten physikalischen Arbeit über die Serien.

H 1.1.4: Beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) unterscheidet sich die verrichtete physikalische Arbeit zwischen den Gruppen.

Wie Vorstudien sowie Erfahrungen aus der Praxis zeigen, muss bei konstanter Wiederholungszahl und fester Pausendauer über mehrere Serien die Last reduziert werden (vgl. FRÖHLICH et al. 2001a; FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH 2002a). Man nennt dies Serienregression (vgl. STRACK 2001). Da sich das Ausgangsniveau der Maximalkrafftähigkeit (1-RM) und daraus abgeleitet die Last der submaximalen Intensitäten zwischen den Gruppen unterscheidet, können somit auf die vorliegende Studie übertragen, folgende Hypothesen verfasst werden:

H 1.1.5: Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) kommt es zu einer Reduktion der bewältigten Last über die Serien.

H 1.1.6: Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) unterscheidet sich die bewältigte Last zwischen den Gruppen.

Da eine Veränderung der physikalischen Arbeit [Nm] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ aus der Veränderung der bewältigten Last resultiert und vermutet wird, dass sich die bewältigte Last über die Serien reduziert, kann daraus abgeleitet werden, dass sich die physikalische Arbeit über die Serien reduziert. Darüber hinaus sollte sich die physikalische Arbeit, durch die unterschiedlich hohe bewältigte Last, zwischen den Gruppen unterscheiden.

H 1.1.7: Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) kommt es zu einer Reduktion der verrichteten physikalischen Arbeit über die Serien.

H 1.1.8: Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) unterscheidet sich die verrichtete physikalische Arbeit zwischen den Gruppen.

6.2.2 Hypothesen zu den Gruppenvergleichen auf der Beanspruchungsebene beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) sowie beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.)

Unter Berücksichtigung des phänomenorientierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes wird vermutet, dass in Abhängigkeit von den individuellen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften der einzelnen Probanden, bei gleicher deduzierter Belastungsintensität, neben unterschiedlichen Wiederholungszahlen (siehe Hypothesenkomplex 6.2.1) auch unterschiedliche Beanspruchungen resultieren. Die Diagnose der Beanspruchung (subjektive Folgen der Belastung) erfolgte durch die Messung der Teilbeanspruchung auf der Ebene des metabolischen, des kardiovaskulären, des myokardialen Systems sowie auf der Ebene des subjektiven Belastungsempfindens. Wie in Voruntersuchungen und in der Literatur gezeigt werden konnte, kommt es durch die Reduktion der Wiederholungsanzahl über mehrere Serie sowie der Variabilität der Wiederholungszahl bei verschiedenen Übungen, Muskelgruppen etc. zu einer unterschiedlichen Reizeinwirkdauer (vgl. Exkurs: Veränderung der Zeit in Abhängigkeit von der Wiederholungszahl und Tab. 28). Die unterschiedliche Reizeinwirkdauer führt hierbei zu unterschiedlichen Beanspruchungsprozessen, bspw. ATP-, KP-Verbrauch bzw. Resynthese, anaerobe Glykolyse, Rekrutierung von verschiedenen Muskelfasern, Blutdruckverhalten, subjektive Belastungseinschätzung etc. (vgl. BASMAJIAN/DELUCA 1985; BIGLAND-RITCHIE 1981b; COSTILL et al. 1979; ENOKA 1994; FLECK 1992; 2002; FLECK/KRAEMER 1997; GOLDSPINK 1992; VÖLKER/RÖDDER/HOLLMANN 1988). Somit lassen sich folgende Hypothesen formulieren:

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich der Laktatwert (**H 1.2.1**), der systolische Blutdruck (**H 1.2.3**), die Herzfrequenz (**H 1.2.5**), das Doppelprodukt (**H 1.2.7**) sowie die subjektive Belastungseinschätzung (**H 1.2.9**) zwischen den einzelnen Serien.

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich der Laktatwert (**H 1.2.2**), der systolische Blutdruck (**H 1.2.4**), die Herzfrequenz (**H 1.2.6**), das Doppelprodukt (**H 1.2.8**) sowie die subjektive Belastungseinschätzung (**H 1.2.10**) zwischen den einzelnen Gruppen.

Wie Vorstudien gezeigt haben, kommt es bei einer Belastungsgestaltung mit konstanter Wiederholungszahl und fester Pausendauer unter der Prämisse der maximalen Ausbelastung in einer Serie zu einer Reduktion der bewältigten Last über mehrere Serien (vgl. FRÖHLICH et al. 2001a; FRÖHLICH/SCHMIDBLEICHER/EMRICH 2002a). In Abhängigkeit von den inneren Ressourcen (Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften) muss die bewältigte Last von Serie zu Serie unterschiedlich angepasst werden (Ringer: eher Kraftausdauer (flacherer Kurvenverlauf) vs. Leichtathleten: eher Schnellkraft (steilerer Kurvenverlauf)). Des Weiteren ergibt sich im Laufe der Serien eine Ermüdungsaufstockung (bspw. Laktatakkumulierung). Somit wird vermutet, dass sich sowohl die Beanspruchung über die Serien als auch

zwischen den Gruppen unterscheidet (vgl. BLOMSTRAND et al. 1984; FLECK 2002; FLECK/KRAEMER 1997; POLLMANN 1993). Bezug nehmend darauf werden folgende Hypothesen formuliert:

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich der Laktatwert (H 1.3.1), der systolische Blutdruck (H 1.3.3), die Herzfrequenz (H 1.3.5), das Doppelprodukt (H 1.3.7) sowie die subjektive Belastungseinschätzung (H 1.3.9) zwischen den einzelnen Serien.

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich der Laktatwert (H 1.3.2), der systolische Blutdruck (H 1.3.4), die Herzfrequenz (H 1.3.6), das Doppelprodukt (H 1.3.8) sowie die subjektive Belastungseinschätzung (H 1.3.10) zwischen den einzelnen Gruppen.

6.3 Hypothesenkomplex zu den Treatmentvergleichen

Die Hypothesen zu den Treatmentvergleichen („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) können einerseits auf der Belastungsebene (physikalische Arbeit) und andererseits auf der Beanspruchungsebene (metabolisch, kardiovaskulär, myokardial, subjektive Einschätzung) unterschieden werden. Des Weiteren kann eine Unterscheidung über die einzelnen Serien vorgenommen werden.

6.3.1 Hypothesen zu den Treatmentvergleichen auf der Belastungsebene über die Serien

Die physikalische Arbeit (Last x Wiederholungszahl x Hubweg) stellt einen Parameter dar, welcher es erlaubt die beiden Belastungstreatments miteinander zu vergleichen. Durch die Konstanthaltung der Last (% 1-RM) bzw. der Wiederholungszahl (Vorgabe) kann die jeweils abhängige Variable (Last bzw. Wiederholungszahl) vice versa bestimmt werden. In Vorstudien konnte bspw. gezeigt werden, dass es bei 50 % 1-RM vs. 25 Wiederholungen (Kraftausdauertraining) bzw. bei 85 % 1-RM vs. 8 Wiederholungen (oberer Hypertrophietrainingsbereich) zu einer Reduktion der verrichteten Arbeit über mehrere Serien kommt (vgl. FRÖHLICH et al. 2001b; FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH 2002a). Auf die vorliegende Untersuchung übertragen können somit folgende Hypothesen aufgestellt werden:

H 2.1.1 Die verrichtete physikalische Arbeit unterscheidet sich zwischen Belastungstreatment „konstante Last“ und Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“.

H 2.1.2 Die verrichtete physikalische Arbeit unterscheidet sich zwischen den einzelnen Serien.

6.3.2 Hypothesen zu den Treatmentvergleichen auf der Beanspruchungsebene über die Serien

Die Belastungstreatments „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ werden durch eine unterschiedliche Belastungsintensität und Belastungsdauer (vgl. Kapitel 8.2.3 und 8.2.4) gekennzeichnet. Somit werden auf der Ebene der Beanspruchung unterschiedliche Steuerungs-, Regelungs- und Adaptationsprozesse initiiert (FLECK 2002; FLECK/KRAEMER 1997; TESCH 1992a). Je nach Belastungs- bzw. Reizintensität und Belastungs- bzw. Reizdauer kommt es zu einem unterschiedlichen Verhalten von Herzfrequenz, Blutdruck sowie der Laktatkonzentration (vgl. FLECK 2002; FLECK/KRAEMER 1997; HOFFMANN 1993; KRAEMER et al. 1987; POLLMANN 1993; VÖLKER/RÖDDER/HOLLMANN 1988). Da in Vorstudien gezeigt werden konnte, dass sich die äußere Belastung (physikalische Arbeit) zwischen einem Belastungstreatment „konstante Last“ und einem Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet, wird auf der Ebene der Beanspruchung Gleiches vermutet. Auf die vorliegende Untersuchung übertragen lassen sich folgende Hypothesen ableiten:

Der Laktatwert (**H 2.2.1**), der systolische Blutdruck (**H 2.2.3**), die Herzfrequenz (**H 2.2.5**), das Doppelprodukt (**H 2.2.7**) sowie die subjektive Belastungseinschätzung (**H 2.2.9**) unterscheiden sich zwischen dem Belastungstreatment „konstante Last“ und dem Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“.

Der Laktatwert (**H 2.2.2**), der systolische Blutdruck (**H 2.2.4**), die Herzfrequenz (**H 2.2.6**), das Doppelprodukt (**H 2.2.8**) sowie die subjektive Belastungseinschätzung (**H 2.2.10**) unterscheiden sich zwischen den einzelnen Serien.

EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG ZUR METHODIK DES KRAFTAUSDAUER- TRAININGS

7 Untersuchungsmethodik

7.1 Personenstichprobe

An der empirischen Querschnittsuntersuchung, die als Feldstudie angelegt war, nahmen insgesamt 42 männliche Probanden teil (vgl. HOHMANN 1999). Aufgrund methodischer Probleme sowie verletzungsbedingter Ausfälle konnten in die Auswertung nur 39 Probanden aufgenommen werden. Die gesamte Probandengruppe setzte sich aus drei Teilstichproben zu je 13 Personen zusammen. Eine Gruppe bestand aus 13 Freizeitsportlern (FS), die beiden anderen Gruppen rekrutierten sich aus Leistungssportlern der Sportarten Leichtathletik²⁰ (LA, N = 13) sowie Ringen (RI, N = 13) (hauptsächlich griechisch-römischer Stil). Die Teilnahme erfolgte freiwillig und ohne finanzielle Entschädigung. Die Anwerbung erfolgte persönlich durch den Versuchsleiter. Um den einzelnen Gruppen zugeordnet werden zu können, mussten die Probanden verschiedene Kriterien²¹ erfüllen (vgl. Fragenbogen zur Erfassung personenspezifischer Variablen im Anhang). Die Leichtathleten und Ringer trieben alle regelmäßig Sport, die Freizeitsportler zu 85 %. Die Anzahl der Trainingseinheiten sowie die zeitliche Belastung durch Training pro Woche sind in Tab. 10 und Tab. 11 wiedergegeben.

Tab. 10: Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche für die Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer in Absolut- und Prozentwerten

Trainingshäufigkeit/Woche	Freizeitsportler	Leichtathleten	Ringer
1 - 3 mal	8 (72,7 %)		
3 - 5 mal	2 (18,2 %)	5 (38,5 %)	7 (53,8 %)
5 - 7 mal	1 (9,1 %)	6 (46,1 %)	5 (38,5 %)
7 - 10 mal		2 (15,4 %)	1 (7,7 %)

²⁰ Die Gruppe der Leichtathleten bestand aus Werfern (Kugel, Speer, Diskus), Sprintern (100 m und 200 m), Weit- und Stabhochspringern sowie aus zwei Zehnkämpfern der nationalen und internationalen Spitze (vgl. Methodenkritik).

²¹ Für die Gruppe der Leichtathleten und Ringer: Objektives Kriterium Relativkraft > 1 Kilogramm pro Kilogramm Körpergewicht beim Bankdrücken, regelmäßiges Krafttraining pro Woche, regelmäßiges Krafttraining für die Brustmuskulatur, Zugehörigkeit zu einem Landes- oder Bundeskader bzw. Mitglied in der Bundesliga, mehrmaliges leistungsorientiertes Training pro Woche, Beantwortung der Frage „treiben Sie Leistungssport“ mit ja.

Tab. 11: Anzahl der Trainingsstunden pro Woche für die Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer in Absolut- und Prozentwerten

Trainingsstunden/Woche	Freizeitsportler	Leichtathleten	Ringer
1 - 3 Std.	8 (72,7 %)		
3 - 5 Std.	2 (18,2 %)		
5 - 7 Std.	1 (9,1 %)	3 (23,1 %)	5 (38,4 %)
7 - 10 Std.		3 (23,1 %)	4 (30,8 %)
> 10 Std.		7 (53,8 %)	4 (30,8 %)

Die drei Gruppen unterscheiden sich varianzanalytisch signifikant in der Trainingshäufigkeit pro Woche [$H_{(2; 39)} = 19,22$; $p < 0,001$]. A posteriori durchgeführte Paargruppenvergleiche haben ergeben, dass sich die Leichtathleten und die Ringer signifikant in der Trainingshäufigkeit pro Wochen von den Freizeitsportlern unterscheiden [(FS zu LA: $U = 13,00$; $z = -3,66$; $p < 0,001$); (FS zu RI: $U = 16,50$; $z = -3,49$; $p < 0,001$)]. Zwischen den Leistungssportler besteht kein signifikanter Unterschied [(LA zu RI: $U = 69,50$; $z = 0,77$; $p = 0,44$)]. Die drei Gruppen unterscheiden sich ebenfalls signifikant in der Anzahl der Trainingsstunden pro Woche [$H_{(2; 39)} = 25,98$; $p < 0,001$]. A posteriori durchgeführte Paargruppenvergleiche zeigen, dass sich die Leichtathleten und die Ringer von den Freizeitsportlern unterscheiden [(FS zu LA: $U = 1,50$; $z = -4,26$; $p < 0,001$); (FS zu RI: $U = 2,50$; $z = -4,20$; $p < 0,001$)]. Die Anzahl an Trainingsstunden pro Woche innerhalb der Leistungssportler differiert nicht signifikant [(LA zu RI: $U = 63,5$; $z = 1,08$; $p = 0,28$)].

76,9 % der Leichtathleten (10 Probanden) führten 1 - 3 mal und 23,1 % der Leichtathleten (3 Probanden) führten 3 - 5 mal pro Woche ein Krafttraining durch. Gleiches gilt für die Gruppe der Ringer. Ein Freizeitsportler führte 1 - 3 mal pro Woche ein Krafttraining durch. Die Häufigkeitsverteilung der Anzahl der Krafttrainingsstunden pro Woche ist Tab. 12 zu entnehmen. Die Leichtathleten und die Ringer unterscheiden sich nicht signifikant in der Anzahl an Krafttrainingstunden pro Woche [(LA zu RI: $U = 65,50$; $z = 0,97$; $p = 0,33$)].

Tab. 12: Häufigkeitsverteilung der Trainingsstunden pro Woche für Krafttraining bei den Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern in Absolut- und Prozentwerten

Trainingsstunden/Woche	Freizeitsportler	Leichtathleten	Ringer
1 - 3 Std.	1 (100 %)	5 (38,5 %)	7 (53,8 %)
3 - 5 Std.		5 (38,5 %)	5 (38,5 %)
5 - 7 Std.		1 (7,7 %)	1 (7,7 %)
7 - 10 Std.		2 (15,4 %)	

Krafttraining, speziell für die Brustmuskulatur, wurde von den Leichtathleten mit 92,3 % (12 Probanden) 1 - 3 mal und 7,7 % (1 Proband) 3 - 5 mal pro Woche durchgeführt. Gleiches gilt für die Gruppe der Ringer. Insgesamt gaben die Leichtathleten und Ringer einen zeitlichen Umfang von 1 - 3 Stunden Krafttraining, für die Brustmuskulatur, pro Woche an. Die allgemeinen anthropometrischen Daten wie Alter, Größe, Gewicht und daraus berechnet der Body-Mass-Index (BMI) sowie Griffbreite und Hubhöhe sind in Tab. 13 für die 3 Gruppen als auch für alle 39 Probanden im Mittel dargestellt.

Das durchschnittliche Alter [Jahre] unterscheidet sich signifikant zwischen den 3 Gruppen [$F_{(2; 36)} = 5,39$; $p < 0,01$]. Auf Einzelfallebene betrachtet, unterscheiden sich die Freizeitsportler von den Leichtathleten [$p < 0,05$] und von den Ringern [$p < 0,05$]. Zwischen den Leistungssportlern besteht kein signifikanter Unterschied [$p = 0,97$].

Die durchschnittliche Körpergröße [cm] unterscheidet sich signifikant zwischen den 3 Gruppen [$F_{(2; 36)} = 3,37$; $p < 0,05$]. Auf Einzelfallebene betrachtet unterscheiden sich die Leichtathleten von den Ringern [$p < 0,05$]. Zwischen den Leichtathleten und den Freizeitsportlern [$p = 0,48$] sowie zwischen den Freizeitsportler und den Ringern [$p = 0,39$] besteht kein signifikanter Unterschied (vgl. Tab. 13).

Das durchschnittliche Körpergewicht [kg] unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den 3 Gruppen [$F_{(2; 36)} = 1,44$; $p < 0,24$].

Der durchschnittliche Body-Mass-Index differiert nicht signifikant zwischen den 3 Gruppen [$F_{(2; 36)} = 1,14$; $p < 0,32$].

Tab. 13: Anthropometrische Daten der Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer sowie von allen 39 Probanden im Mittel (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum)

Alter [Jahre]	N	Mittelw.	Stdabw.	Minimum	Maximum
Freizeitsportler	13	35,4	7,6	27	52
Leichtathleten	13	26,1	7,6	18	44
Ringer	13	25,3	10,6	16	52
Alle Teilnehmer	39	28,9	9,7	16	52
Größe [cm]	N	Mittelw.	Stdabw.	Minimum	Maximum
Freizeitsportler	13	179,5	5,7	172,0	192,0
Leichtathleten	13	183,5	10,0	169,0	199,0
Ringer	13	175,0	8,8	160,0	193,0
Alle Teilnehmer	39	179,0	8,9	160,0	199,0
Gewicht [kg]	N	Mittelw.	Stdabw.	Minimum	Maximum
Freizeitsportler	13	76,3	5,7	66,0	84,5
Leichtathleten	13	84,6	14,7	64,0	117,0
Ringer	13	77,9	16,1	54,0	105,0
Alle Teilnehmer	39	79,6	13,2	54,0	117,0
BMI	N	Mittelw.	Stdabw.	Minimum	Maximum
Freizeitsportler	13	23,7	1,9	20,1	26,4
Leichtathleten	13	24,9	2,6	21,6	29,6
Ringer	13	25,2	3,4	20,8	30,7
Alle Teilnehmer	39	24,6	2,7	20,2	30,7
Griffbreite [cm]	N	Mittelw.	Stdabw.	Minimum	Maximum
Freizeitsportler	13	75,2	2,9	71,0	80,0
Leichtathleten	13	78,9	5,6	72,0	90,0
Ringer	13	74,7	4,0	69,0	81,0
Alle Teilnehmer	39	76,0	4,6	69,0	90,0
Hubhöhe [cm]	N	Mittelw.	Stdabw.	Minimum	Maximum
Freizeitsportler	13	41,3	3,6	35,0	48,0
Leichtathleten	13	38,9	4,9	33,0	51,0
Ringer	13	37,2	2,6	33,0	44,0
Alle Teilnehmer	39	39,2	4,1	33,0	51,0

7.2 Variablenstichprobe

Im Folgenden werden die abhängigen Variablen²² (Parameter), sowohl auf der Belastungsebene als auch auf der Beanspruchungsebene, dargestellt. Die abhängigen Variablen (AV) auf der Belastungsebene sind:

- Die Hubhöhe, als Differenz aus Brustabstand und Drückweite in [cm]: Die Hubhöhe wurde als die Differenz aus Brustabstand (die Hantelstange lag auf der Brust) und Drückweite (Ellbogen ca. 170 Grad) als „range of motion“ (vgl. WAGNER et al. 1992) bestimmt. Mit Hilfe eines Bandmaßes seitlich an der Multipresse konnte die Hubhöhe in cm abgelesen werden.
- Die Zeit für das Realisieren der Wiederholungszahlen in einer Serie in [sec]: Die Zeit wurde operationalisiert als Zeitspanne für das Realisieren der Wiederholungen in einer Serie. Beginn der Messung war das erste Herablassen der Hantelstange. Ende der Messung war das Einhängen der Hantelstange in die vorgesehene Arretierung.
- Die Last als das bewältigte Gewicht in [kg]: Die Last wurde operationalisiert als bewältigtes Gewicht in kg. Dabei setzte sich die Last aus dem Gewicht der Hantelstange (15 kg) und den Zusatzscheiben (0,5 kg abgestuft) zusammen.
- Die Wiederholungszahl in einer Serie [Wdh.]: Die Wiederholungszahl wurde operationalisiert als die Anzahl an Wiederholungen pro Serie über die volle Hubhöhe, also ein kompletter Zyklus aus Herablassen der Hantelstange auf die Brust und erneutem Strecken der Arme (Ellbogen ca. 170 Grad; vgl. FRY/NEWTON 2002). Wurde die geforderte Hubhöhe nicht erreicht oder wurde die Wiederholung nur teilweise bewältigt, so wurde diese nicht gewertet. Ein reaktives Arbeiten, d. h., die Elastizität des Brustkorbs wird zur Unterstützung hinzugezogen, wurde untersagt.
- Die konzentrische Maximalkraft als 1-RM in [kg]: Die konzentrische Maximalkraft wurde operationalisiert als diejenige Last, welche maximal einmal über einen kompletten Bewegungszyklus bewältigt werden kann (vgl. KRAEMER/FRY 1995, 121f.; ULMER 2001). Zur Bestimmung des 1-RM wurde die Vorgehensweise von ANDERSON/KEARNEY (1982) herangezogen. Um die Anzahl der Versuche möglichst gering zu halten (vgl. BERGER 1962a, 329) und um die graduelle Annäherung an das 1-RM zu beschleunigen, wurde die Last so lange gesteigert, bis eine

²² Je nach Treatment wurde aus den abhängigen Variable eine Treatmentvariable bzw. eine Kontrollvariable vice versa. Die zeitliche Erfassung der abhängigen Variablen ist dem Kapitel Untersuchungsdesign sowie dem Kapitel Messtechnik und Messsystem zu entnehmen.

zweite geforderte Wiederholung nicht mehr bewältigt werden konnte. Zwischen den Versuchen lag eine Pause von 3 Minuten (vgl. MAYHEW et al. 1995; WEIR/WAGNER/HOUSH 1994). Das 1-RM wurde im Weiteren als 100 % festgesetzt und diente als Referenzgröße zur deduktiven Bestimmung der Gewichtslast bei 60 % 1-RM (vgl. WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991).

- Die physikalische Arbeit in einer Serie in [Nm]: Die physikalische Arbeit wurde berechnet als das Produkt aus Last x Hubhöhe x Wiederholungszahl. Hierzu wurde die Last in Newton umgerechnet. Mit der berechneten physikalischen Arbeit steht ein Parameter zur Verfügung, der ein „lastorientiertes“ („konstante Last“) und ein „wiederholungszahlorientiertes“ („konstante Wiederholungszahl“) Treatment (Trainingsmethode) vergleichbar macht.

Die abhängigen Variablen (Parameter) auf der Beanspruchungsebene sind:

- Die Beanspruchung des metabolischen Systems wurde über das Laktatverhalten in mmol/l vorgenommen. Das Laktatverhalten innerhalb der Treatments wurde über das Δ Laktat (Differenz aus Belastungslaktat und Ruhelaktat und Differenz aus Nachbelastungslaktat und Ruhelaktat) in mmol/l operationalisiert.
- Die Beanspruchung des kardialen Systems wurde operationalisiert über die Herzfrequenz in Schläge pro Minute.
- Die Beanspruchung des kardialen Systems wurde weiter erfasst über den systolischen und den diastolischen Blutdruck in mmHg.
- Der Sauerstoffbedarf des Herzmuskels (Belastung des Herzens, sog. Doppelprodukt) wurde berechnet über das Produkt aus systolischem Blutdruck und Herzfrequenz in mmHg x 1/min.
- Die subjektive Einschätzung (RPE) der äußeren Belastung wurde über eine Itemliste von „keine Anstrengung“ bis „maximale Anstrengung“ über Zahlenwerte von 6 bis 20 operationalisiert (vgl. BORG 1985).

7.3 Treatmentstichprobe

Die Treatmentstichprobe war dreifach gestuft. Treatmentstufe A bestand aus der Gruppenzugehörigkeit mit $[p = 3]$ (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer). Treatmentstufe B bestand aus der Belastungsgestaltung (Trainingsmethode) mit $[q = 2]$ („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“). Treatmentstufe C war der Faktor Messwiederholung (vgl. hierzu Kapitel 7.4 und Tab. 14).

7.4 Untersuchungsdesign und Untersuchungsablauf

Zunächst soll das Untersuchungsdesign, das für alle drei Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten, und Ringer) identisch war, dargestellt werden (vgl. Tab. 14). Unter versuchsmethodischen Aspekten kann das verwendete Design am ehesten mit einem Blockversuchsplan in Verbindung gebracht werden (vgl. SARRIS 1992, 97). Dabei verbindet der Blockversuchsplan die Vorteile des Designs mit Wiederholungsmessungen mit denen des Zufallsgruppenplans. Einerseits wurden die drei verschiedenen experimentellen Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer) unter den verschiedenen Treatmentbedingungen („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) untersucht. Andererseits konnten durch die Kontrolle der „Between-Varianz“ dieselben statistischen Auswertungsverfahren (ANOVA) verwendet werden wie bei Versuchsplantypen mit wiederholten Messungen (ebd.). Anzumerken sei jedoch, dass der Blockversuchsplan stets die zusätzliche Erhebung von besonderen experimentell-statistischen Daten erforderlich macht (vgl. Lern- und Gewöhnungstermine). Im vorliegenden Fall wurden die drei Experimentalgruppen jedoch nicht anhand einer, sondern aufgrund mehrerer definierter Variablen (siehe Kapitel 7.2) eingeteilt. Darüber hinaus wurden die Probanden nicht in sogenannte homogene Untergruppen parallelisiert, sondern die Gruppen wurden aufgrund mehrerer definierter Variablen (siehe Kapitel 7.1 sowie die entsprechenden Fußnoten hierzu) vor Untersuchungsbeginn festgelegt. Der Untersuchungsablauf hatte einen zeitlichen Umfang von drei Wochen pro Proband und setzte sich aus vier einzelnen Terminen zusammen. Beginnend mit zwei Lern- und Gewöhnungsterminen wurden anschließend zwei Testtermine durchgeführt, innerhalb derer die drei Gruppen die beiden Treatmentbedingungen zu erfüllen hatten. Die beiden Lern- und Gewöhnungstermine wurden innerhalb einer Woche mit einem zeitlichen Abstand von 2 - 3 Tagen bewältigt. In der Regel wurden die beiden Termine montags und donnerstags durchgeführt. In der folgenden Woche fand der 1. Testtermin („konstante Last“ 60 % 1-RM) statt. Genau eine Woche später, am gleichen Tag und zur gleichen Uhrzeit, fand der 2. Testtermin („konstante Wiederholungszahl“ Vorgabe 20 Wdh.) statt. Diese Vorgehensweise wurde durchgeführt, um trainingsspezifische Adaptationen auszuschließen bzw. möglichst gering zu halten (POLLMANN/WILLIMCZIK 1991). Darüber hinaus sollten durch die strikte Einhaltung der Tagesperiodik sowie der festen Uhrzeit, circadianrhythmische Einflüsse auf die Untersuchungsbedingungen möglichst minimiert werden (vgl. OSCHÜTZ 1991; 1993; 1994).

Vor der eigentlichen Untersuchung wurden die Probanden über den Zweck der Studie mittels eines Informationsblattes unterrichtet (vgl. Anhang 1). Danach erfolgte die Erfassung personenspezifischer Variablen in Form eines standardisierten Fragebogens (vgl. Anhang 2).

Tab. 14: Untersuchungsdesign bestehend aus den zwei Lern- und Gewöhnungsterminen und den zwei eigentlichen Testterminen („konstante Last“ versus „konstante Wiederholungszahl“)

1. Gewöhnungstermin
4 Minuten allgemeine Erwärmung auf einem Cross-Trainer mit 100 rpm 3 min Pause Bankdrücken 25 Wdh. mit 20 % Körpergewicht als spezielle Erwärmung 3 min Pause Bankdrücken 10 Wiederholungen mit 50 % Körpergewicht 3 min Pause Ermittlung des 5-RM über trial and error
2. Gewöhnungstermin
4 Minuten allgemeine Erwärmung auf einem Cross-Trainer mit 100 rpm 3 min Pause Bankdrücken 25 Wdh. mit 20 % Körpergewicht als spezielle Erwärmung 3 min Pause Ermittlung des 5-RM über trial and error 3 min Pause Ermittlung des 2-RM über trial and error 3 min Pause Ermittlung des 1-RM über trial and error
1. Testtermin „konstante Last“ (60 % 1-RM)
Bestimmung von Ruhelaktat, Herzfrequenz und Blutdruck in Ruhe 4 Minuten allgemeine Erwärmung auf einem Cross-Trainer mit 100 rpm 3 min Pause Bankdrücken 25 Wdh. mit 20 % Körpergewicht als spezielle Erwärmung (AV siehe Anhang 3) 3 min Pause Ermittlung des 1-RM über trial and error (AV siehe Anhang 3) 3 min Pause 6 Serien mit 60 % 1-RM und einer Serienpause von 1 min (AV siehe Anhang 3) Bestimmung von Laktat, Herzfrequenz und Blutdruck in der 1. Nachbelastungsminute Bestimmung von Laktat und Herzfrequenz in der 3. Nachbelastungsminute
2. Testtermin „konstante Wiederholungszahl“ (Vorgabe 20 Wdh.)
Bestimmung von Ruhelaktat, Herzfrequenz und Blutdruck in Ruhe 4 Minuten allgemeine Erwärmung auf einem Cross-Trainer mit 100 rpm 3 min Pause Bankdrücken 25 Wdh. mit 20 % Körpergewicht als spezielle Erwärmung (AV siehe Anhang 4) 3 min Pause Ermittlung des 1-RM über trial and error (AV siehe Anhang 4) 3 min Pause 6 Serien mit 20-RM und einer Serienpause von 1 min (AV siehe Anhang 4) Bestimmung von Laktat, Herzfrequenz und Blutdruck in der 1. Nachbelastungsminute Bestimmung von Laktat und Herzfrequenz in der 3. Nachbelastungsminute

7.4.1 Lern- und Gewöhnungstermine

Um mögliche koordinative Einflüsse (inter- und intramuskulärer Art) speziell bei neuen und ungewohnten Bewegungen zu minimieren, sollte generell eine Lern- und Gewöhnungsphase im Krafttraining durchgeführt werden (vgl. MORITANI 1992; RUTHERFORD/JONES 1986). KRAEMER/FRY (1995, 118) schreiben hierzu: „It is important to get a baseline value for muscular strength at start of a program or scientific investigation, and to familiarize individuals with each type of strength-testing protocol.“ Speziell bei Krafttrainingsunerfahrenen sowie neuen Testübungen ist dies besonders wichtig. „This familiarization period is even more important if the subjects has no prior experience with resistance exercise or if several exercises will be tested.“ (ebd.). SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER (1999) untermauern diese Aussage, indem sie erwähnen, dass die ersten Kraftgewinne ausschließlich auf koordinativen Lerneffekten beruhen. Die beiden Lern- und Gewöhnungstermine hatten jedoch nicht nur das Ziel, mögliche koordinative Einflüsse zu minimieren, sondern sie dienten ebenso der Bestimmung der Maximalkraft. Darüber hinaus sollten mögliche negative Auswirkungen einer zu hohen Kraftanforderung auf Muskulatur und Bindegewebe minimiert werden (vgl. ZERNICKE/LOITZ 1992).

Vor den eigentlichen Terminen wurde von den Probanden ein standardisiertes allgemeines Erwärmen auf einem Cross-Trainer durchgeführt. Die vierminütige Belastung wurde körperrgewichtbezogen mit 100 rpm vorgegeben. Nach drei Minuten Pause folgte eine spezielle Erwärmung an der Multipresse mit 25 Wiederholungen Bankdrücken und einer Gewichtsbelastung von 20 % des Körpergewichts. Dieses Prozedere war bei allen vier Terminen identisch.

Nach weiteren drei Minuten Pause sollten die Probanden beim 1. Gewöhnungstermin zehn Wiederholungen mit 50 % des Körpergewichts absolvieren. Es folgten drei Minuten Pause. Danach wurde das 5-RM nach der „trial and error-Methode“ bestimmt. In der Regel gelang dies mit 1 - 3 Versuchen. Zwischen den Versuchsdurchgängen wurde eine Pause von drei Minuten eingehalten. Wurde bspw. in einem Versuchsdurchgang ein Gewicht gewählt, mit dem der Proband nur zwei oder drei Wiederholungen realisieren konnte, so wurde dieses Gewicht und die Wiederholungsanzahl notiert.

Der 2. Gewöhnungstermin wurde nach der allgemeinen und der speziellen Erwärmung mit dem 5 RM begonnen. Anschließend wurde das 2-RM sowie das 1-RM bestimmt. Zwischen den RM-Tests lag eine Pause von drei Minuten. Da die Probanden eine sehr gute Selbsteinschätzung des 1-RM geben konnten (vgl. KRAEMER/FRY 1995, 121), bzw. das 1-RM im Vorhinein in etwa wussten, wurden insgesamt nicht mehr als maximal vier Versuchsdurchgänge benötigt, um das 1-RM zu bestimmen. Zwischen den beiden Gewöhnungsterminen lag ein zeitlicher Abstand von 2 - 3 Tagen. In der Regel wurden die Termine montags und donnerstags, in Ausnahmefällen dienstags und freitags durchgeführt. In der Folgewoche fand der 1. Testtermin („konstante Last“) statt.

7.4.2 Testtermine „konstante Last“ versus „konstante Wiederholungszahl“

Vor den beiden Testterminen wurde jeweils der Termin des letzten Trainings sowie die Trainingsart protokolliert. Danach folgten Fragen zur Selbsteinschätzung der Tagesform und deren Begründung. Des Weiteren sollten die Probanden angeben, ob sie Muskelkater haben (vgl. Anhang 3). Diese Angaben wurden unter anderem erhoben, um eventuelle situationsabhängige und/oder motivationale Einflussgrößen auf die Maximalkraft im Nachhinein erklären zu können.

Nach diesen einleitenden Fragen folgte die Blutabnahme zur Bestimmung des Ruhelaktat sowie die Bestimmung der Herzfrequenz und des Blutdruck in Ruhe. Anschließend wurde das allgemeine und das spezielle Erwärmen durchgeführt. Zwischen dem allgemeinen und dem speziellen Erwärmen lag eine Pause von drei Minuten. Sofort nach dem speziellen Erwärmen wurden Laktat, Herzfrequenz, Blutdruck und RPE registriert. Drei Minuten nach dem speziellen Erwärmen wurde das 1-RM bestimmt. Danach wurden wiederum Herzfrequenz und Blutdruck gemessen sowie die subjektive Belastungseinschätzung erfragt (RPE). Angelehnt an die Werte des zweiten Gewöhnungstermins konnte das 1-RM nahezu immer im 1. Versuch bestimmt werden (vgl. FRÖHLICH/MARSCHALL 2001). Nach drei Minuten Pause folgte das eigentliche Treatment. Beim 1. Testtermin sollten die Probanden jeweils 6 Serien mit 60 % des 1-RM und einer Serienpause von exakt 1 Minute bewältigen. Abhängige Variablen waren: die benötigte Zeit für das Realisieren der Wiederholungen, die Anzahl an realisierten Wiederholungen, das gebildete Laktat, die Herzfrequenz, der systolische und diastolische Blutdruck sowie die subjektive Einschätzung (RPE) der Belastung. Aus der Wiederholungszahl, der bewältigten Last (60 % 1-RM) sowie der Hubhöhe wurde die physikalische Arbeit berechnet. In der 1. Nachbelastungsminute wurde Blutlaktat entnommen und Herzfrequenz und Blutdruck erhoben. In der 3. Nachbelastungsminute wurde Blut zur Laktatbestimmung entnommen und die Herzfrequenz bestimmt.

Der 2. Testtermin war dem 1. Testtermin analog (vgl. Anhang 4). Die Belastungsvorgabe bestand jedoch nicht aus der deduzierten Belastungsintensität, sondern aus der Vorgabe 20 Wiederholungen pro Serie zu realisieren (vgl. FRÖHLICH et al. 2001a, 26). Die Bestimmung des 1-RM, die Pausenzeiten, die Anzahl der Serien, der Hubweg sowie weitere Einflussgrößen (Griffbreite, Bankposition, Tageszeit etc.) wurden konstant gehalten. Abhängige Variablen waren: die benötigte Zeit für das Realisieren der Wiederholungen, die bewältigte Last bei Vorgabe²³ 20 Wiederholungen, das gebildete Laktat, die Herzfrequenz, der systolische und diastolische Blutdruck sowie die subjektive Einschätzung der Belastung

²³ Beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“, d. h. Vorgabe 20 Wdh., wussten die Probanden nicht, dass sie 20 Wdh. machen sollten. Aus motivationalen Gründen wurden die Probanden aufgefordert so viele Wdh. wie möglich zu bewältigen, ähnlich Treatment konstante Last. Der Versuchsleiter versuchte ein Gewicht abzuschätzen, mit dem gerade 20 Wdh. in der Serie möglich sein sollten (vgl. Kapitel Methodenkritik).

(RPE). Aus der Wiederholungszahl (Vorgabe 20), der bewältigten Last sowie der Hubhöhe wurde die physikalische Arbeit berechnet. Es wurde ebenfalls in der 1. Nachbelastungsminute Blut zur Laktatbestimmung entnommen sowie die Herzfrequenz und der Blutdruck bestimmt. In der 3. Nachbelastungsminute erfolgte die Laktatabnahme und Bestimmung der Herzfrequenz. Belastungstreatment „konstante Last“ wurde immer vor dem Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ durchgeführt. Unter testmethodische Aspekten können Sequenzeffekte hierbei nicht ausgeschlossen werden (vgl. BORTZ 1993, 312). Diese Vorgehensweise wurde jedoch gewählt, um das 20-RM bei Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ besser abschätzen zu können.

7.5 Messtechnik und Messsysteme sowie Messfehlerabschätzung

Vergleichend dem Kapitel 7.2 können die Messtechnik und die verwendeten Messsysteme sowohl auf der Belastungsebene als auch auf der Beanspruchungsebene dargestellt werden. Die Messung der konzentrischen Maximalkraft in Form des 1-RM beim Bankdrücken²⁴ sowie die Durchführung der Treatmentbedingungen erfolgte unter Zuhilfenahme der in Abb. 13 dargestellten Messtechnik. Hierbei handelt es sich um eine handelsübliche Multipresse mit Gewichtsarretierung in der oberen Position. Die Hantelstange hatte eine Gewichtslast von 15 kg. Durch das seitliche Anbringen von Hantelscheiben in 0,5 kg Schritten war eine fein abgestufte Belastungsgestaltung möglich. Die Messung bzw. Operationalisierung des 1-RM ist in Kapitel 7.2 beschrieben. Durch die Markierung der Griffbreite (Brust und Oberarm 180 Grad, Ellbogengelenk 90 Grad), der Hubhöhe, der Positionierung der Probanden auf der Hantelbank (beim Absenken der Hantelstange über der Brustmitte) sowie dem Ausrichten der Hantelbank sollte ein möglichst gleicher Versuchsaufbau für die Bestimmung des 1-RM und der Treatments realisiert werden (vgl. BERGER 1962b; BISCOTTI et al. 1998; DELAVIER 2000, HART/WARD/MAYHEW 1991; PHILLIPS 2002a; 2002b; WAGNER et al. 1992).

Den Probanden wurde das Bewegungstempo gleichmäßig mit einem Rhythmus von zwei Sekunden für einen vollständigen Bewegungszyklus vorgegeben. Abbruchkriterien waren das mehrfache Auftreten von Ausweichbewegungen (bspw. Abheben des Rückens von der Unterlage), unvollständige Bewegungsamplitude, reaktives Arbeiten (Brustkorb wird zur Unterstützung eingesetzt), nicht Einhalten der Pausendauer (vgl. RADLINGER et al. 1998). Aufgrund dieser Standardisierung sollte die Objektivität der Versuchsdurchführung gewährleistet werden. Bezüglich der Reliabilität konnten bei der Bestimmung des 1-RM Test-Retest-Korrelationskoeffizienten als Grad für die Genauigkeit des gemessenen Merk-

²⁴ „The bench press was the exercise selected for use in all testing and training procedures. This exercise was chosen because it was familiar to the subjects, easily administered, and has been shown to be a valid and reliable measure of muscular function.“ (ANDERSON/KEARNEY 1982, 2)

mals von $r_{tt} > 0,90$ vom 2. Gewöhnungstermin zu Testtermin „konstante Last“ als auch von Testtermin „konstante Last“ zu Testtermin „konstante Wiederholungszahl“ ermittelt werden (vgl. BERGER 1962a; BRAITH et al. 1993; MAYHEW et al. 1995; SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 2000).



Abb. 13: Mess- und Trainingssystem zur Erfassung des 1-RM sowie der verrichteten Arbeit (handelsübliche Multipresse mit Gewichtsarretierung in der obersten Position)

Auf der Beanspruchungsebene wurden die Parameter Laktat, Herzfrequenz, Blutdruck und subjektives Belastungsempfinden (RPE) erhoben.

Zur Laktatbestimmung wurde aus dem mit Finalgon® forte hyperämisierten und mit Desinfektionsmittel gesäuberten Ohrläppchen Kapillarblut entnommen. Das Kapillarblut wurde mittels einer 0,02 ml end-to-end Einmal-Kapillarpipette entnommen und in 1 ml Hämolyselösung ESTAT (Firma Rolf Greiner Bio-Chemica GmbH) entleert und bis zur Bestimmung im Kühlschrank gelagert. Die Laktatanalyse erfolgte innerhalb der nächsten 60 Stunden, meist jedoch am selben Tag, nach der enzymatisch-amperometrischen Methode mit dem Gerät Super GL (Firma Dr. Müller Gerätebau GmbH). Die Zeitpunkte der Blutentnahme waren bei beiden Treatments jeweils vor der Belastung (Ruhelaktat), sofort nach dem speziellen Erwärmen, nach den 6 Serien sowie in der 1. und 3. Nachbelastungsminute (vgl. Anhang 3 und Anhang 4). Bei exakter Blutentnahme liegt der Variabilitätskoeffizient bei 1,5 % (persönliche Mitteilung Institut für Sport- und Präventivmedizin Prof. KINDERMANN).

Die Herzfrequenzmessung erfolgte kontinuierlich mit Hilfe der Sender-Empfänger-Einheit S710™ der Firma Polar Electro und einem Speicherintervall von fünf Sekunden. Das komplette Treatment wurde aufgezeichnet und zusätzlich zu den Laktatentnahmezeitpunkten sowie bei der 1-RM Bestimmung punktuell notiert. Durch die Datenübertragung konnte von jedem Probanden ein charakteristisches

Herzfrequenzverlaufsprofil erstellt werden (vgl. Abb. 14). Die Messgenauigkeit liegt laut Herstellerangaben bei $\pm 1\%$. Bei der vorliegenden Untersuchung betrug der höchst gemessene Herzfrequenzwert 200 [1/min], woraus ein maximaler Messfehler von ± 2 Schlägen pro Minute resultiert.

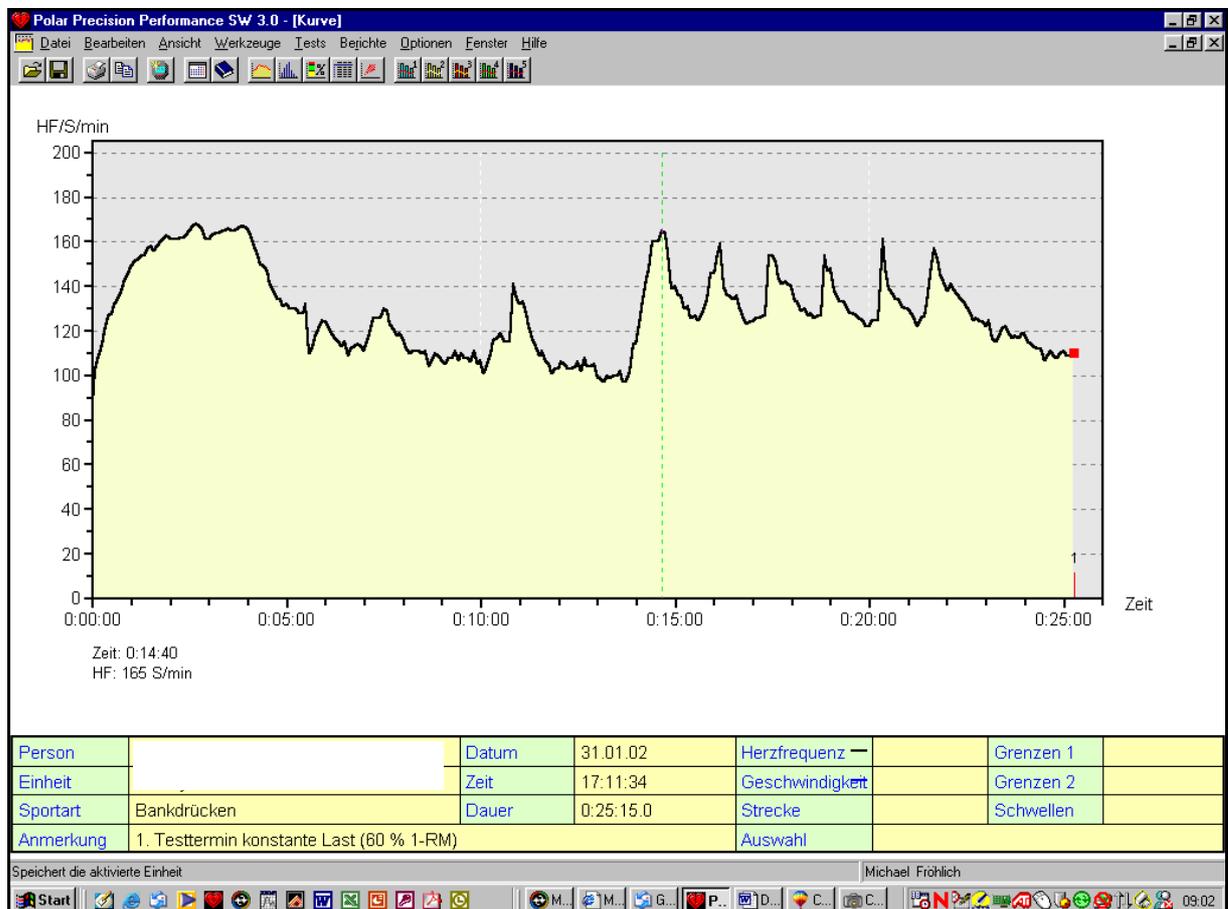


Abb. 14: Charakteristisches Herzfrequenzprofil eines Probanden während des Treatments „konstante Last“

Die Bestimmung der Blutdruckwerte erfolgte oszillometrisch mit dem nicht-invasiven Blutdruckmessgerät Blood Pressure Watch® der Firma NAIS. Auf das korrekte Anlegen der Druckmanschette sowie die korrekte Messung (Ruhe halten während der Messung, nicht bewegen, Druckmanschette in Herzhöhe) wurde geachtet und explizit hingewiesen. Die Messgenauigkeit wird laut Hersteller mit ± 3 mmHg angegeben. Aus einer maximal gemessenen systolischen Blutdruckspitze von 205 mmHg ergibt sich so ein maximaler Messfehler von ca. 3 %. Die Messzeitpunkte waren identisch mit denen der Laktat- bzw. Herzfrequenzmessung. In der 3. Nachbelastungsminute wurde kein Blutdruck gemessen. Zu den Messzeitpunkten ist anzumerken: Der Start der Messung erfolgte sofort nach der Belastung, da nicht genau abzuschätzen war, wann die letzte Wiederholung realisiert werden konnte. Das Aufpumpen der Blutdruckmanschette dauerte in der Regel 20 bis 30 Sekunden. Somit wurde nicht der Belastungsblutdruck, sondern der Nachbelastungsblutdruck gemessen (vgl. Methodenkritik).

Da sowohl bei beiden Testterminen als auch bei allen Probanden die gleichen Messsysteme zum Einsatz gelangten, können die gerätebedingten Messfehler insgesamt vernachlässigt werden.

Die Erfassung des subjektiven Belastungsempfinden bei den beiden Treatmentbedingungen „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ wurde über die „rating of perceived exertion“ Skala von BORG vorgenommen (siehe Kapitel 7.2). Eine Abschätzung bzw. Berechnung des Messfehlers der subjektiven Belastungseinschätzung (RPE) ist dem Autor nicht bekannt. GLASS/HOLCOMB (1997) verweisen auf eine Lern- und Gewöhnungsphase beim Einsatz der RPE-Skala.

Generell muss bei wissenschaftlichen Experimenten sowie bei Messprozessen nach der klassischen Testtheorie (vgl. ROST 1996, 34ff.), davon ausgegangen werden, dass jedes Experimentalergebnis mit einem Messfehler behaftet ist. Messfehler können durch Ungenauigkeiten in der Messwertregistrierung, durch Beeinflussung des Messvorgangs, durch mangelnde Standardisierung, durch unterschiedliche Motivation oder Vertrautheit mit dem Mess- und Testverfahren etc. verursacht werden. Nach der Fehlerursache können systematische (verfälschen den Messwert durch einen konstanten Faktor und unterliegen bestimmten physikalischen Gesetzmäßigkeiten), zufällige (haben die Eigenschaft einer Zufallsvariablen und ergeben sich aus dem Zusammenwirken einer Vielzahl unbekannter oder schwer kontrollierbarer Einflüsse) und fahrlässige (kommen durch Nachlässigkeit zustande) Fehler unterschieden werden. Statistisch ist die Brauchbarkeit eines Messsystems oder eines Tests dann gegeben, wenn die intraindividuelle Varianz gegenüber der interindividuellen Varianz gering ist (vgl. ROST 1996, 36).

7.6 Methodenkritik

Im Folgenden werden verschiedene Verfahrensweisen und das methodische Vorgehen kritisch hinterfragt. Des Weiteren wird dargelegt, warum an den einzelnen Stellen eine Kompromisslösung notwendig war bzw. warum auf das jeweilige Verfahren oder die jeweilige Methode zurückgegriffen wurde.

An der Querschnittsstudie nahmen insgesamt 39 Probanden teil, die sich auf drei Gruppen verteilten (vgl. Kapitel 7.1). Somit lag die Fallzahl bei 13 Probanden pro Gruppe, was unter teststatistischen Aspekten bzw. bei der Dateninterpretation zu berücksichtigen ist. Die Heterogenität innerhalb der Gruppe der Leistungssportler²⁵ (verschiedene Disziplinen der Leichtathletik, unterschiedliche Gewichtsklassen bei den Ringern, unterschiedliches Leistungsniveau etc.) muss als weiterer Kritikpunkt erwähnt werden, wobei neben der fragwürdigen Repräsentativität triviale Untersuchungsergebnisse die Folge sein können (vgl. HOHMANN 1999). So erfährt das Krafttraining bspw. je nach Disziplin (Sprinter vs. Werfer) für die Brustmuskulatur eine unterschiedliche Gewichtung. Die gefundenen Ergebnisse lassen sich demnach nicht auf andere Gruppen, bspw. Gesundheitssportler, übertragen. In diesem Zusammenhang soll jedoch erwähnt werden, dass die Rekrutierung von Leistungssportlern des nationalen und internationalen Niveaus immer mit Schwierigkeiten verbunden ist. Angaben wie „Angst vor Verletzung“, „passt nicht in die Trainingsplanung“, „hat mir der Trainer nicht erlaubt“ sowie zusätzliche zeitliche Engpässe (bspw. Trainingslager, Wettkämpfe etc.) erschwerten die Datengewinnung, was die geringe Stichprobengröße erklärt.

Innerhalb des Untersuchungsdesigns wurde das Belastungstreatment „konstante Last“ jeweils vor dem Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ durchgeführt. Zusätzliche Lern-, Anpassungs- und/oder Trainingseffekte des Belastungstreatments „konstante Last“ auf das Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ können bei dieser Vorgehensweise nicht ausgeschlossen werden und sogenannte Sequenzeffekte in der Treatmentabfolge konnten nicht berücksichtigt werden. Durch das Vorschalten von zwei Lern- und Gewöhnungsterminen sollte dieser Einfluss jedoch minimiert werden. Auf eine Randomisierung der Treatmentbedingungen wurde aufgrund der besseren Abschätzung der zu bewältigten Last bei der Vorgabe 20 Wiederholungen verzichtet. Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ sollte die Last jeweils so angepasst werden, dass 20 Wiederholungen zur Ausbelastung in der Serie führen. Diese Vorgabe konnte jedoch nicht immer exakt reproduziert werden. Durch

²⁵ Da die Versuchsgruppen bzw. Probanden bei trainingswissenschaftlichen Felduntersuchungen meist aus regionalen (Leistungssportler aus dem Umfeld des Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland), ökonomischen (13 Probanden pro Gruppe) oder trainingsbedingten Gründen eine Auswahl darstellen und in den seltensten Fällen randomisiert werden, wird die Repräsentativität in Bezug auf die interessierende Grundgesamtheit oft beeinträchtigt (vgl. HOHMANN 1999, 22).

die natürliche Variabilität (Motivation, Tagesverfassung, Einfluss von zusätzlichen Trainingseinheiten etc.) sowie durch eine falsche Abschätzung der zu bewältigenden Last bei Vorgabe 20 Wiederholungen kam es zu den in Tab. 15 aufgeführten mittleren Wiederholungszahlen über die 6 Serien. Einerseits wird diese Fehlerquelle durch eine möglichst gute Selbsteinschätzung der Probanden verringert, andererseits kommt es im Laufe eines Trainingszyklus, über mehrere Wochen, zu einer immer exakteren Annäherung an die Wiederholungszahlvorgabe. Darüber hinaus darf nicht vergessen werden, dass die verschiedenen Trainingsmethoden in der Praxis durch einen Wiederholungszahlkorridor festgelegt sind. Beispielsweise geben GÜLLICH und SCHMIDTBLEICHER (1999, 232) für die Entwicklung der Kraftausdauer eine Wiederholungszahl von 20 bis 40 Wiederholungen pro Serie an.

Tab. 15: Anzahl der tatsächlich verrichteten Wiederholungen bei Vorgabe 20 Wiederholungen über die einzelnen Serien bei allen 39 Teilnehmern

	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
Serie 1	21,3	2,3	20,5	22,0
Serie 2	18,1	4,4	16,7	19,5
Serie 3	18,1	4,4	16,7	19,5
Serie 4	21,3	4,6	19,8	22,8
Serie 5	21,4	3,7	20,2	22,6
Serie 6	21,4	2,8	20,5	22,3

Als weiterer Kritikpunkt könnte die Zeitdauer für einen Bewegungszyklus (range of motion) ins Feld geführt werden. So könnte man bspw. die Zeitdauer für einen Bewegungszyklus mittels Metronom vorgeben. Da diese Studie jedoch als Feldexperiment unter weitestgehend natürlichen Bedingungen angelegt war, sollte keine derart restriktive Einschränkung vorgenommen werden. Bezüglich der Zeitdauer in Abhängigkeit vom Belastungstreatment wird auf die Ausführungen in Kapitel 8.2.2 und 8.2.3 verwiesen. An dieser Stelle soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Zeitdauer²⁶ beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ nicht den Vorgaben in der Literatur für die Entwicklung der Kraftausdauer von 50 sec bis 2 Minuten entspricht. Bei der Bewertung der Beanspruchungsparameter systolischer und diastolischer Blutdruck²⁷ sowie der subjektiven Belastungseinschätzung mittels BORG-Skala müs-

²⁶ Bei eingelenkigen bzw. isolierten Bewegungen (z. B. Biceps curl) werden die einzelnen Wiederholungszahlvorgaben in der Regel in einer kürzeren Zeitspanne bewältigt als bei mehrgelenkigen bzw. komplexeren Bewegungen (z. B. Kniebeuge).

²⁷ Bei einer indirekten Messung des Blutdrucks lässt sich der systolische Blutdruck weitgehend korrekt wiedergeben. Nach ROST/HOLLMANN (1982) wird aufgrund der hämodynamischen Verhältnisse der diastolische Blutdruck tendenziell falsch bestimmt (vgl. APPELL et al. 2001) bzw. steigt nur sehr gering an (vgl. HOFFMANN 1993). Daher erfolgte die Hypothesenformulierung ausschließlich für den systolischen Blutdruck.

sen folgende Sachverhalte berücksichtigt werden: Das Blutdruckverhalten hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab (vgl. Kapitel 3.3) und erstreckt sich über mehrere Herzaktionen, so dass rasche Veränderungen im Messzeitraum nicht erfasst werden können. Die höchsten Blutdruckwerte werden bei Erschöpfung oder kurz davor erreicht. Da eine Vorhersage der letzten Wiederholung in der Serie nicht gemacht werden konnte, wurde unter pragmatischen Gesichtspunkten der Blutdruck direkt im Anschluss an die Serie gemessen. Somit lag zwischen der Ausbelastung in der Serie und der Registrierung des Blutdruck eine Zeitspanne von ca. 20 bis 30 Sekunden. Dieses Vorgehen wurde unter anderem auch gewählt, da sich in Voruntersuchungen gezeigt hatte, dass das Aufpumpen der Blutdruckmanschette während der Serie einen sehr stark hemmenden Einfluss auf die Wiederholungszahl besitzt. D. h., durch die Blutdruckmanschette kommt es zu einer Vasokonstriktion und somit zu einer Mangelversorgung der Muskulatur mit Sauerstoff. Dem muss man entgegenhalten, dass diese Art der indirekten Messung einerseits niedrigere Werte liefert als die intraarterielle Messung und andererseits der Blutdruck sofort nach Belastungsende rapide abfällt (vgl. MEYER/GREINACHER/WEIDEMANN 1991, 57; URHAUSEN et al. 2000, 135).

Die Verwendung der BORG-Skala zur Einschätzung der subjektiven Belastung konnte nicht immer mit der objektiven Belastung in Zusammenhang gebracht werden (vgl. Abb. 41). So schätzen bspw. die Mehrzahl der Probanden die maximale Kraftanstrengung (1-RM) als weniger beanspruchend ein, als die submaximale Belastung über die Serien. D. h., die Probanden hatten Schwierigkeiten zwischen der maximalen Ausbelastung in einer Wiederholung (1-RM) und der maximalen Ausbelastung in einer Serie zu differenzieren. Während jedoch bei der Bestimmung des 1-RM eher die Motivation im Vordergrund steht, wird bei den Wiederholungen eher die Volition entscheidend (vgl. HECKHAUSEN 1989). Des Weiteren scheint die verwendete 20-stufige BORG-Skala keine hinreichende Trennschärfe im oberen Bereich (15 = „schwer“, 17 = „sehr schwer“ und 19 = „extrem schwer“) für die Diagnose der subjektiven Belastungseinschätzung im Krafttraining zu besitzen. Da zur Zeit unter teststatistischen Aspekten keine besseren Testinstrumente vorliegen, wurde auf die BORG-Skala zurückgegriffen. Die fünf- bzw. siebenstufige Skala von WANNER (1985) bzw. BUSKIES/BOECKH-BEHRENS/ZIESCHANG (1996) wurde nicht verwendet, da dem Autor keine Testgütekriterien (Validität, Reliabilität, Objektivität) bzgl. der subjektiven Belastungseinschätzung vorlagen.

7.7 Statistische Auswertung der Daten

Die deskriptive Darstellung erfolgte mit Hilfe der Berechnung von Mittelwert, Standardabweichung und 95 %igem Konfidenzintervall sowie von Minimum und Maximum. Darüber hinaus werden Angaben zu Häufigkeitsverteilungen und Prozentwerten sowie über den Variabilitätskoeffizienten gemacht. Die inferenzstatistische Berechnung und Hypothesenprüfung wurde mit den angezeigten statistischen Verfahren wie Varianzanalyse(n) mit Messwiederholung(en) (ANOVA), Kovarianzanalyse(n) mit Messwiederholung(en) sowie t-Tests für gepaarte Stichproben durchgeführt.

In der empirischen Forschung sollte bei mehreren abhängigen Variablen anstelle mehrerer univariater Tests ein multivariates Testverfahren eingesetzt werden. Der univariate Ansatz ist jedoch dann zu rechtfertigen und dem multivariaten Ansatz vorzuziehen, wenn die Bedeutung jeder einzelnen Variablen im Gruppenvergleich überprüft werden soll (vgl. HUBERTY/MORRIS 1989). Beim vorliegenden Untersuchungsansatz wurden sowohl univariate als auch multivariate Testverfahren durchgeführt.

Bei a priori formulierten Einzelvergleichsanalysen bspw. Kontraste innerhalb von Varianzanalysen ist keine α -Fehler-Korrektur erforderlich (vgl. BORTZ 1993, 250). Bei a posteriori Einzelvergleichen sollte man, wenn man nach einer „Overall-Signifikanz“ feststellen möchte, welche Einzelvergleiche maßgeblich dafür verantwortlich sind, dass die globale Nullhypothese der Varianzanalyse zu verwerfen ist, eine α -Fehler-Korrektur durchführen (ebd.). Um eine α -Fehler-Korrektur bspw. mittels einer BONFERONI Anpassung zu umgehen, wurden a posteriori Einzelvergleiche mit dem SCHEFFÉ-Test durchgeführt. Der konservative SCHEFFÉ-Test überprüft dabei ex post alle möglichen Einzelvergleiche „family wise“ auf dem vorgegebenen α -Niveau.

Varianzanalytische Verfahren²⁸ setzen neben intervallskalierten Daten voraus, dass sich die Fehlerkomponenten der Grundgesamtheit, aus denen die Stichprobe entnommen wurde, normalverteilen (BORTZ 1993, 261). Die Prüfung der einzelnen Datensätze auf Normalverteilung²⁹ erfolgte mit dem KOL-

²⁸ Varianzanalytische Verfahren sind bei gleichgroßen Stichproben gegenüber Verletzung ihrer Voraussetzungsprüfungen wie Normalverteilung, Homogenität der Varianzen relativ robust (BORTZ 1993, 263; HOSENFELD/HÖFT 1999, 363ff.). Gleiches gilt für die Durchführung von post hoc Einzelvergleichen (SCHEFFÉ-Test). Generell: Die Entscheidung für einen nicht-parametrischen Test und gegen einen parametrischen Test impliziert nicht, dass die analysierten Daten in irgendeiner Weise „schlecht“ sind. Die Entscheidung gibt viel eher einen Hinweis auf eine kritische Selbstreflexion des Anwenders- und auf seinen Sachverstand.“ (HOSENFELD/HÖFT 1999, 373). Aufgrund der größeren Effizienz wurde auf parametrische Testverfahren zurückgegriffen (vgl. FLEISCHER 1999, 309ff.).

²⁹ Die Bedeutsamkeit der Normalverteilung lässt sich auf 4 Aspekte zurückführen: die Normalverteilung als empirische Verteilung, die Normalverteilung als Verteilungsmodell für statistische Kennwerte, die Normalverteilung als mathematische Ba-

MOGOROV-SMIRNOV-Anpassungstest mit LILLIEFORS-Modifikation (vgl. BORTZ/LIENERT/BOEHNE 1990, 321ff.). Nach BORTZ (1993, 263) kann jedoch die Verletzung der Normalverteilungsannahme vernachlässigt werden, wenn die Populationsverteilung schief ist. Der F-Test entscheidet bei extrem schmalgipfligen Verteilungen eher konservativ. Bei breitgipfligen Verteilungen ist das tatsächliche α -Risiko etwas höher als das nominelle Risiko. Weitere Voraussetzungen sind die Homogenität der Fehlervarianzen und die Unabhängigkeit der Fehlerkomponenten (BORTZ 1993, 261ff.) bzw. bei Varianzanalysen mit Messwiederholungen die Homogenität der Varianzen unter den einzelnen Faktorstufen sowie die Korrelation zwischen den Faktorstufen (BORTZ 1993, 326f.). Eine Verletzung der Voraussetzung der Varianzhomogenität bzw. Kovarianzhomogenität wirkt sich üblicherweise nicht gravierend auf die Validität multivariater Ergebnisse aus und kann durch eine Anpassung der Freiheitsgrade nach GREENHOUSE-GEISSER (ϵ) korrigiert werden (ebd.). Dadurch verringert sich die Wahrscheinlichkeit eines zufällig signifikanten Ergebnisses gegenüber dem normalen F-Test. Die Voraussetzung der Sphärizität und die Voraussetzung der verbundenen Symmetrie wurde mit dem MAUCHLEYS Test auf Sphärizität überprüft. Bei Varianzanalysen ohne Messwiederholung wurde zur Überprüfung der Voraussetzung der Varianzhomogenität der LEVENE-Test durchgeführt. Kovarianzanalysen setzen neben obigen Voraussetzungen noch eine homogene Regression (Parallelität der Regressionsgeraden) voraus (vgl. LIPPITSCH/MÖLLER 1999, 306f.).

Bei signifikanten Interaktionseffekten im Rahmen von Varianzanalysen wird a posteriori eine Klassifikation der jeweiligen Interaktion gefordert (BORTZ 1993, 275), um gegebenenfalls die Interpretation der signifikanten Haupteffekte zu modifizieren (BORTZ/DÖRING 1995, 496ff.). An den entsprechenden Stellen wird hierauf explizit eingegangen.

Die Varianzklärung (η^2 bzw. η^2_p) wurde über den Quotienten aus QS_{treat} und QS_{tot} multipliziert mit 100 % berechnet und gibt somit denjenigen Varianzanteil der abhängigen Variablen an, der auf die unabhängige Variable zurückzuführen ist (BORTZ 1993, 257).

Zum Vergleich zweier Stichprobenmittelwerte aus abhängigen Stichproben (Messwiederholungen) wurde der t-Test für gepaarte Stichproben gerechnet. Bei kleinen Stichproben ($N < 30$) wird gefordert, dass sich die Differenzen in der Grundgesamtheit normalverteilen. Diese Voraussetzung ist erfüllt, wenn sich

sisverteilung und die Normalverteilung in der statistischen Fehlertheorie (vgl. BORTZ 1993, 75ff.; CONZELMANN 1999, 226). Da viele inferenzstatistische Verfahren normalverteilte Werte voraussetzen, werden Prüfverfahren, wie der KOLMOGOROV-SMIRNOV-Test eingesetzt. Oftmals stehen jedoch theoretische Überlegungen einer Normalverteilungsannahme (bspw. Körpergröße der Spieler einer Basketballmannschaft, subjektives Belastungsempfinden bei Leistungssportlern) entgegen, so dass implizit und explizit nicht von einer Normalverteilung auszugehen ist (vgl. BORTZ/DÖRING 1995, 198).

die Differenzen in der Stichprobe annähernd normalverteilen. Die Überprüfung erfolgte mit dem KOLMOGOROV-SMIRNOV-Test mit LILLIEFORS-Modifikation. Bei Verletzung der Voraussetzung reagiert der t-Test jedoch relativ robust (BORTZ 1993, 135f.).

Zur Überprüfung von Unterschieden bei unabhängigen Stichproben und Ordinalskalenniveau wurde die Rangvarianzanalyse (H-Test) nach KRUSKAL-WALLIS gerechnet. A posteriori Einzelvergleiche wurden mit dem MANN-WHITNEY U-Test durchgeführt (vgl. FLEISCHER 1999, 322f., 326ff.). Auf Voraussetzungsprüfungen kann hierbei weitestgehend verzichtet werden (BORTZ 1993, 263; FLEISCHER 1999, 311ff.).

Die Test-Retest-Reliabilität (r_{tt}) wurde mit der Produkt-Moment-Korrelation nach PEARSON überprüft. Nach WILLIMCZIK (1999, 75) besteht bei $0,4 < |r| \leq 0,7$ ein mittlerer, bei $0,7 < |r| < 1,0$ ein hoher und bei $|r| = 1,0$ ein vollständiger, idealer Zusammenhang.

Die kritische Irrtumswahrscheinlichkeit wird für die Überprüfung der Unterschieds- bzw. Veränderungshypothesen auf $\alpha = 0,05$ festgelegt, so dass nach BORTZ (1993, 110f.) ein signifikantes Ergebnis bei $\alpha < 0,05$, ein sehr signifikantes Ergebnis bei $\alpha < 0,01$ und ein hoch signifikantes Ergebnis bei $\alpha < 0,001$ vorliegt. Auch für die rein deskriptive Beschreibung bestimmter Veränderungen bzw. Unterschiede, welche nicht einer Hypothesenprüfung unterzogen werden, sind die Wahrscheinlichkeitswerte in obigem Sinne angegeben. Die Wahrscheinlichkeitswerte der Voraussetzungsprüfungen bspw. auf Normalverteilung, Varianzhomogenität etc. wurden auf $\alpha > 0,2$ festgelegt, um indirekt somit die Wahrscheinlichkeit eines β -Fehlers zu verringern (vgl. BORTZ 1993, 117).

Die statistische Berechnung erfolgte mit dem Statistikprogramm STATISTICA 5.1 für Windows, Edition 97, der Firma StatSoft, Inc..

8 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse gliedert sich in drei Bereiche: Der erste Bereich umfasst die Ergebnisse der Hypothesenprüfung zu den Ausgangsniveaumessungen. Der zweite Bereich befasst sich mit den Ergebnissen der Hypothesen zu den Gruppenvergleichen und der dritte Bereich stellt die Ergebnisse der Hypothesenprüfung zu den Treatmentvergleichen dar. Innerhalb der einzelnen Bereiche wird jeweils noch eine Unterscheidung auf der Belastungsebene sowie auf der Beanspruchungsebene vorgenommen.

8.1 Ergebnisse zu den Ausgangsniveaumessungen

Die konzentrische Maximalkraft und die Relativkraft unterscheiden sich sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“ als auch beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ signifikant zwischen den Gruppen.

Aus Tab. 16 können die Mittelwerte, die Standardabweichung sowie das 95 %ige Konfidenzintervall für die Gruppe der Freizeitsportler, der Leichtathleten und der Ringer entnommen werden. Aufgrund der inferenzstatistischen Berechnung kann konstatiert werden, dass sich die konzentrische Maximalkraft (1-RM) sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“ [$F_{(2; 36)} = 14,77$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 54,9$ %] als auch beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(2; 36)} = 15,40$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 53,8$ %] zwischen den drei Gruppen signifikant unterscheidet. Post hoc Einzelvergleiche beim Belastungstreatment „konstante Last“ ergaben, dass sich die Freizeitsportler von den Leichtathleten [$p < 0,001$] und von den Ringern [$p < 0,01$] unterscheiden. Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ führten post hoc Einzelvergleiche zu gleichen Ergebnissen. D. h., die Freizeitsportler unterscheiden sich signifikant von den Leichtathleten [$p < 0,001$] und signifikant von den Ringern [$p < 0,01$]. Innerhalb der Gruppe der Leistungssportler besteht sowohl beim Treatment „konstante Last“ [$p = 0,25$] als auch beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“ [$p = 0,21$] kein signifikanter Unterschied. Die Relativkraft unterscheidet sich sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“, als auch beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ signifikant zwischen den drei Gruppen [$F_{(2; 36)} = 21,64$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 45,4$ %] bzw. [$F_{(2; 36)} = 21,25$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 45,8$ %]. Dabei unterscheiden sich beim Treatment „konstante Last“ die Freizeitsportler von den Leichtathleten [$p < 0,001$] als auch von den Ringern [$p < 0,001$]. Gleiches gilt für das Treatment „konstante Wiederholungszahl“. Die Gruppe der Leistungssportler selbst differiert weder beim Treatment „konstante Last“ [$p = 0,88$] noch beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“ [$p = 0,84$].

Die Hypothese H 0.1.1 wird angenommen

Die konzentrische Maximalkraft [$t_{(38; 0,05)} = 0,00$; $p = 1,00$] sowie die Relativkraft [$t_{(38; 0,05)} = -0,25$; $p = 0,81$] unterscheiden sich beim Testtermin „konstante Last“ und beim Testtermin „konstante Wiederholungszahl“ nicht signifikant von einander (vgl. Tab. 16).

Bei der Unterschiedsprüfung der konzentrischen Maximalkraft auf Gruppenebene erhält man für die Freizeitsportler eine Irrtumswahrscheinlichkeit von [$p = 1,00$], für die Leichtathleten [$p = 0,67$] und für die Ringer [$p = 0,58$]. Bei der Unterschiedsprüfung der Relativkraft liegen die p-Werte bei [$p = 0,96$] für die Gruppe der Freizeitsportler, bei [$p = 0,49$] für die Leichtathleten und bei [$p = 0,64$] für die Ringer.

Tab. 16: Konzentrische Maximalkraft (1-RM) sowie Relativkraft beim Treatment „konstante Last“ bzw. beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“ bei den jeweils 13 Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern sowie bei allen 39 Teilnehmern (Mittelwert, Standardabweichung und 95 %iges Konfidenzintervall aus Rohdaten)

Freizeitsportler	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
1-RM konstante Last [kg]	70,0	10,1	63,9	76,1
1-RM konstante Wdh. [kg]	70,0	10,1	63,9	76,10
Relativkraft konstante Last [1-RM/KG]	0,9	0,1	0,8	1,00
Relativkraft konstante Wdh. [1-RM/KG]	0,9	0,1	0,8	1,00
Leichtathleten	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
1-RM konstante Last [kg]	105,4	22,1	92,0	118,8
1-RM konstante Wdh. [kg]	105,6	21,4	92,6	118,5
Relativkraft konstante Last [1-RM/KG]	1,2	0,2	1,2	1,3
Relativkraft konstante Wdh. [1-RM/KG]	1,3	0,2	1,2	1,3
Ringer	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
1-RM konstante Last [kg]	94,0	16,4	84,1	104,0
1-RM konstante Wdh. [kg]	93,9	16,4	83,9	104,0
Relativkraft konstante Last [1-RM/KG]	1,2	0,2	1,1	1,3
Relativkraft konstante Wdh. [1-RM/KG]	1,2	0,1	1,1	1,3
Alle Teilnehmer	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
1-RM konstante Last [kg]	89,8	22,3	82,6	97,0
1-RM konstante Wdh. [kg]	89,8	22,1	82,6	97,0
Relativkraft konstante Last [1-RM/KG]	1,1	0,2	1,1	1,2
Relativkraft konstante Wdh. [1-RM/KG]	1,1	0,2	1,1	1,2

Die Hypothese H 0.1.2 wird angenommen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Hypothesenprüfung auf der Seite der Beanspruchungsparameter dargestellt. Die dazugehörigen deskriptiven Kennwerte wie Mittelwert, Standardabweichung und 95 %iges Konfidenzintervall sind in Tab. 17 wiedergegeben.

Der Laktatwert als Teilbeanspruchungsparameter des metabolischen Systems unterscheidet sich sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“ [$F_{(2; 36)} = 1,17; p = 0,32$] als auch beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(2; 36)} = 2,76; p = 0,08$] zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau nicht signifikant zwischen den Gruppen (vgl. Tab. 17).

Die Hypothese H 0.2.1 wird angenommen

Der Laktatwert als Teilbeanspruchungsparameter des metabolischen Systems unterscheidet sich beim Belastungstreatment „konstante Last“ und beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau nicht signifikant von einander [$t_{(38; 0,05)} = -1,82; p = 0,86$].

Die Hypothese H 0.2.2 wird angenommen

Der systolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“ [$F_{(2; 36)} = 1,84; p = 0,17$] als auch beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(2; 36)} = 0,49; p = 0,61$] zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau nicht signifikant zwischen den Gruppen (vgl. Tab. 17).

Der diastolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“ [$F_{(2; 36)} = 1,68; p = 0,19$] als auch beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(2; 36)} = 0,29; p = 0,74$] zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau nicht signifikant zwischen den Gruppen (vgl. Tab. 17).

Die Hypothese H 0.3.1 wird angenommen

Der systolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich beim Belastungstreatment „konstante Last“ und beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau nicht signifikant von einander [$t_{(38; 0,05)} = 0,05; p = 0,96$].

Der diastolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich beim Belastungstreatment „konstante Last“ und beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau nicht signifikant von einander [$t_{(38; 0,05)} = -0,15; p = 0,88$].

Die Hypothese H 0.3.2 wird angenommen

Die Herzfrequenz als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“ [$F_{(2; 36)} = 0,08$; $p = 0,92$] als auch beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(2; 36)} = 0,39$; $p = 0,67$] zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau nicht signifikant zwischen den Gruppen (vgl. Tab. 17).

Die Hypothese H 0.4.1 wird angenommen

Die Herzfrequenz als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich beim Belastungstreatment „konstante Last“ und beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau nicht signifikant von einander [$t_{(38; 0,05)} = 1,00$; $p = 0,32$].

Die Hypothese H 0.4.2 wird angenommen

Das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarfs unterscheidet sich sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“ [$F_{(2; 36)} = 0,34$; $p = 0,71$] als auch beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(2; 36)} = 0,09$; $p = 0,92$] zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau nicht signifikant zwischen den Gruppen (vgl. Tab. 17).

Die Hypothese H 0.5.1 wird angenommen

Das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarfs unterscheidet sich beim Belastungstreatment „konstante Last“ und beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau nicht signifikant von einander [$t_{(38; 0,05)} = 0,59$; $p = 0,56$].

Die Hypothese H 0.5.2 wird angenommen

Eine zusammenfassende Ergebnisdarstellung der deskriptiven Werte zu den Ausgangsniveaumessungen von Laktat, systolischem und diastolischem Blutdruck, Herzfrequenz und Doppelprodukt ist in Tab. 17 und Tab. 18 für die einzelnen Gruppen bzw. für die einzelnen Treatments wiedergegeben. Abschließend kann für die Ausgangsmessungen konstatiert werden, dass sich alle untersuchten Teilbeanspruchungsparameter nicht statistisch signifikant unterscheiden. Somit sind die Grundlagen für die Veränderungsmessungen sowohl für den Gruppenvergleich (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer) als auch für den Treatmentvergleich („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) über die einzelnen Serien gegeben.

Tab. 17: Ruhelaktat, systolischer und diastolischer Blutdruck in Ruhe, Ruheherzfrequenz und Doppelprodukt in Ruhe beim Treatment „konstante Last“ bzw. beim Treatment „konstante Wdh.“ bei den Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern (Mittelwert, Standardabweichung und 95 %iges Konfidenzintervall)

	Freizeitsportler	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
Treatment „konstante Last“	Ruhelaktat [mmol/l]	1,1	0,3	0,9	1,3
	Systolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	129,2	16,9	119,0	139,4
	Diastolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	82,2	13,7	73,9	90,5
	Ruheherzfrequenz [1/min]	75,1	11,8	67,9	82,3
	Doppelprodukt in Ruhe [mmHg x 1/min]	9789,3	2506,5	8274,7	11303,9
	Leichtathleten	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
	Ruhelaktat [mmol/l]	0,9	0,2	0,8	1,1
	Systolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	138,7	11,8	131,6	145,8
	Diastolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	87,2	10,7	80,8	93,7
	Ruheherzfrequenz [1/min]	74,1	11,5	67,1	81,0
	Doppelprodukt in Ruhe [mmHg x 1/min]	10246,0	1653,1	9247,1	11244,9
	Ringer	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
	Ruhelaktat [mmol/l]	1,1	0,4	0,8	1,3
	Systolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	131,9	9,3	126,3	137,5
	Diastolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	79,8	5,7	76,3	83,2
Ruheherzfrequenz [1/min]	73,4	9,2	67,8	78,9	
Doppelprodukt in Ruhe [mmHg x 1/min]	9665,4	1278,6	8892,7	10438,0	
	Freizeitsportler	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
Treatment „konstante Wiederholungszahl“	Ruhelaktat [mmol/l]	1,0	0,3	0,9	1,2
	Systolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	129,7	22,8	115,9	143,5
	Diastolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	82,8	14,7	74,0	92,0
	Ruheherzfrequenz [1/min]	74,8	11,4	68,0	82,0
	Doppelprodukt in Ruhe [mmHg x 1/min]	9801,6	2755,7	8136,3	11467,
	Leichtathleten	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
	Ruhelaktat [mmol/l]	1,2	0,3	1,0	1,4
	Systolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	136,3	11,6	129,3	143,3
	Diastolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	85,5	13,6	77,2	94,0
	Ruheherzfrequenz [1/min]	72,2	10,5	65,9	79,0
	Doppelprodukt in Ruhe [mmHg x 1/min]	9892,2	1963,6	8705,6	11079,0
	Ringer	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
	Ruhelaktat [mmol/l]	0,9	0,3	0,8	1,1
	Systolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	133,5	14,4	124,8	142,2
	Diastolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	81,6	10,6	75,2	88,0
Ruheherzfrequenz [1/min]	71,3	9,8	65,4	77,2	
Doppelprodukt in Ruhe [mmHg x 1/min]	9540,2	1957,4	8357,3	10723,0	

Tab. 18: Ruhelaktat, systolischer und diastolischer Blutdruck in Ruhe, Ruheherzfrequenz und Doppelprodukt in Ruhe beim Treatment „konstante Last“ bzw. beim Treatment „konstante Wdh.“ bei allen 39 Teilnehmern (Mittelwert, Standardabweichung und 95 %iges Konfidenzintervall)

	Alle Teilnehmer	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
Treatment „konst. Last“	Ruhelaktat [mmol/l]	1,1	0,3	0,9	1,2
	Systolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	133,3	13,3	128,9	137,6
	Diastolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	83,1	10,8	79,6	86,5
	Ruheherzfrequenz [1/min]	74,2	10,7	70,7	77,6
	Doppelprodukt in Ruhe [mmHg x 1/min]	9900,2	1851,2	9300,1	10500,3
	Alle Teilnehmer	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
Treatment „konst. Wdh.“	Ruhelaktat [mmol/l]	1,1	0,3	1,0	1,2
	Systolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	133,2	16,7	127,7	138,6
	Diastolischer Blutdruck in Ruhe [mmHg]	83,3	12,9	79,1	87,5
	Ruheherzfrequenz [1/min]	72,8	10,4	69,4	76,1
	Doppelprodukt in Ruhe [mmHg x 1/min]	9744,7	2201,9	9030,9	10458,5

8.2 Ergebnisse zu den Gruppenvergleichen

8.2.1 Ergebnisse zu den Gruppenvergleichen auf der Belastungsebene beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) sowie beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.)

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) kommt es zu einer signifikanten Reduktion der realisierten Wiederholungszahlen über die Serien [$F_{(5; 180)} = 864,77$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 96,0\%$].

Die Ergebnisse der post hoc Einzelvergleiche können aus Tab. 20 entnommen werden. In Tab. 19 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Wiederholungszahlen bei 60 % 1-RM über die 6 Serien dargestellt. Wie zu erkennen ist, kommt es zu einer sehr deutlich ausgeprägten Reduktion der Wiederholungszahlen über die Serien. Dabei ist die Reduktion besonders innerhalb der ersten 3 Serien auffällig, während in den Serien 4 - 6 ein Wiederholungszahlplateau erreicht wird (vgl. FRÖHLICH et al. 2001b). Die prozentuale Verringerung beträgt bspw. von Serie 2 zu Serie 1 ca. 61 %, von Serie 3 zu Serie 1 ca. 74 % und pendelt sich ab Serie 4 bei ca. 80 % ein (vgl. Tab. 19).

Tab. 19: Anzahl der bewältigten Wiederholungen bei 60 % 1-RM sowie der prozentuale Anteil der Wiederholungen in den Serien 2 - 6 in Relation zur Serie 1 bei allen 39 Teilnehmern ($\bar{x} \pm s$ aus Rohdaten)

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
$\bar{x} \pm s$	21,3 \pm 3,4	8,2 \pm 2,2	5,4 \pm 1,8	4,7 \pm 1,7	4,5 \pm 1,4	4,3 \pm 1,4
$\bar{x} \pm s$	100 %	38,8 \pm 9,5 %	25,9 \pm 9,5 %	22,6 \pm 9,3 %	21,4 \pm 6,9 %	20,5 \pm 6,6 %

Tab. 20: p-Werte der Einzelvergleiche der Wiederholungszahlen über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	$p < 0,001$					
Serie 3	$p < 0,001$	$p < 0,001$				
Serie 4	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,45$			
Serie 5	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,14$	$p = 0,99$		
Serie 6	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,05$	$p = 0,89$	$p = 0,99$	

Hypothese H 1.1.1 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) unterscheiden sich die realisierten Wiederholungen signifikant zwischen den Gruppen [$F_{(2; 36)} = 5,69$; $p < 0,01$; $\eta^2_p = 24,0\%$].

Der SCHEFFÉ-Test zur Überprüfung von Einzelvergleichen ergab, dass sich die Freizeitsportler von den Ringern [$p < 0,05$] und die Leichtathleten von den Ringern [$p < 0,05$] unterscheiden. Ein Unterschied zwischen den Freizeitsportlern und den Leichtathleten besteht nicht [$p = 0,83$]. Um den Gruppenvergleich bei gleicher prozentualer Belastung (60 % 1-RM) zu verdeutlichen, sind in Tab. 21 die prozentualen Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen dargestellt. So realisieren in der 3. Serie bspw. die Leichtathleten 13,8 % mehr Wiederholungen als die Freizeitsportler, die Gruppe der Ringer 51,7 % mehr als die Freizeitsportler und 33,3 % mehr als die Leichtathleten (vgl. Abb. 15).

Tab. 21: Prozentualer Unterschied in der Anzahl der bewältigten Wiederholungen über die 6 Serien zwischen den Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
FZ < LA	1,9 %	13,0 %	13,8 %	0 %	-1,9 %	8,2 %
FZ < RI	8,2 %	34,8 %	51,7 %	49,0 %	34,0 %	36,7 %
LA < RI	6,2 %	19,2 %	33,3 %	49,0 %	36,5 %	26,4 %

Generell konnte beim Hypothesenkomplex H 1.1.1 und H 1.1.2 gezeigt werden, dass es zu einer Reduktion der Wiederholungszahlen bei deduzierter Belastungsintensität über die Serien kommt. Darüber hinaus unterscheiden sich die Gruppen signifikant. Eine signifikante Interaktion Gruppe x Serie liegt nicht vor [$F_{(10, 180)} = 0,49$; $p = 0,89$]. Die Abb. 15 zeigt die Wiederholungszahlen der Freizeitsportler, der Leichtathleten und der Ringer über die 6 Serien.

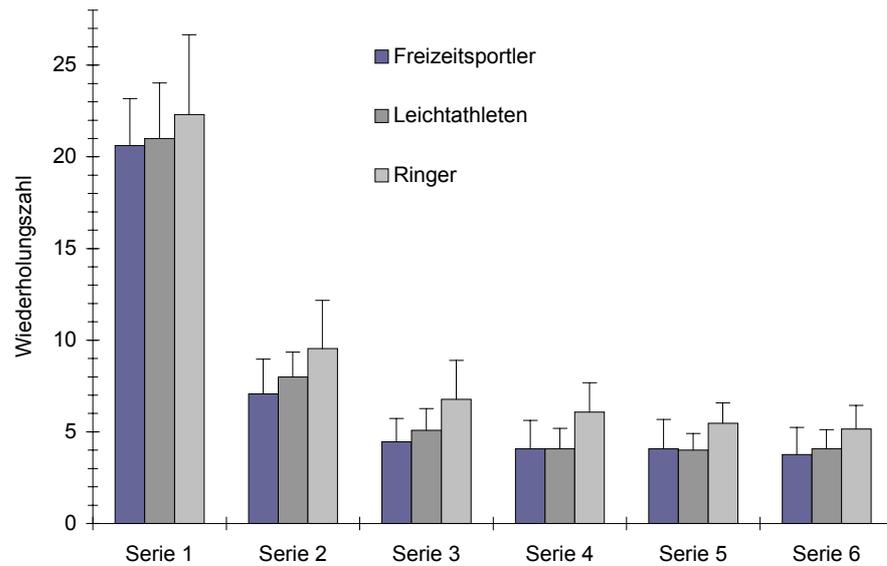


Abb. 15: Anzahl der bewältigten Wiederholungen bei 60 % 1-RM über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Hypothese H 1.1.2 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) kommt es zu einer signifikanten Reduktion der verrichteten physikalischen Arbeit über die Serien [$F_{(5; 180)} = 339,37$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 90,4$ %].

Die p-Werte der post hoc Einzelvergleiche sind in Tab. 23 dargestellt. Die verrichtete physikalische Arbeit [Nm] verändert sich ab der 3. Serie im Weiteren nicht mehr signifikant [$p \geq 0,39$]. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der verrichteten physikalischen Arbeit [Nm] über die einzelnen Serien sind in Tab. 22 wiedergegeben. Die Verringerung beträgt bspw. von der 6. Serie zur 1. Serie ca. 80 %.

Tab. 22: Mittelwerte und Standardabweichung der verrichteten physikalischen Arbeit [Nm] bei 60 % 1-RM über die einzelnen Serien bei allen 39 Teilnehmern

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
$\bar{x} \pm s$	4389 \pm 1378	1677 \pm 553	1125 \pm 471	970 \pm 397	925 \pm 347	886 \pm 326

Tab. 23: p-Werte der Einzelvergleiche der verrichteten physikalischen Arbeit über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	$p < 0,001$					
Serie 3	$p < 0,001$	$p < 0,001$				
Serie 4	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,82$			
Serie 5	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,60$	$p = 0,99$		
Serie 6	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,39$	$p = 0,98$	$p = 0,99$	

Hypothese H 1.1.3 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) unterscheidet sich die verrichtete physikalische Arbeit signifikant zwischen den Gruppen [$F_{(2; 36)} = 9,09$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 33,6$ %].

Auf Gruppenebene betrachtet unterscheiden sich die Freizeitsportler signifikant von den Leichtathleten [$p < 0,01$] und von den Ringern [$p < 0,01$]. Die Leistungssportler differieren nicht signifikant [$p = 0,99$].

Des Weiteren besteht eine signifikante ordinale Interaktion Gruppe x Serie [$F_{(10; 180)} = 3,79$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 17,4$ %]. Da die Graphen der beiden Interaktionsdiagramme gleichsinnig verlaufen, können die beiden Haupteffekte (Gruppe vs. Serie) global interpretiert werden (BORTZ/DÖRING 1995, 500). Zu den Hypothesen H 1.1.3 und H 1.1.4 kann zusammenfassend konstatiert werden: Die verrichtete physikalische Arbeit bei 60 % 1-RM unterscheidet sich sowohl zwischen den einzelnen Serien (Serienregression) als auch zwischen den einzelnen Gruppen. Abb. 16 nimmt hierauf Bezug.

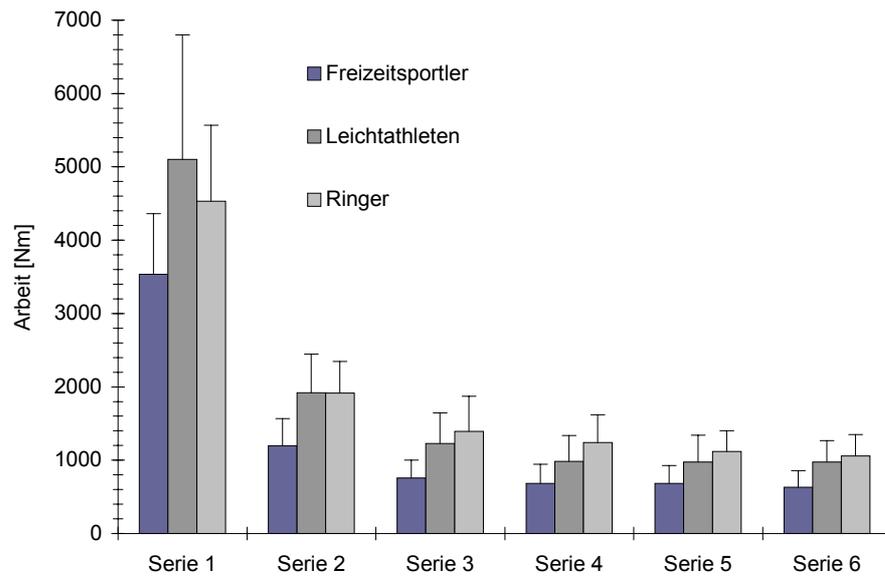


Abb. 16: Verrichtete physikalische Arbeit [Nm] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Hypothese H 1.1.4 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) kommt es zu einer signifikanten Reduktion der bewältigten Last über die Serien [$F_{(5; 175)} = 341,35$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 90,7\%$].

Die Ergebnisse der post hoc Einzelvergleiche können aus Tab. 25 entnommen werden. In Tab. 24 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der bewältigten Last bei Vorgabe 20 Wiederholungen³⁰ über die 6 Serien dargestellt. Wie zu erkennen ist, kommt es zu einer deutlichen Reduktion der bewältigten Last über die Serien. Die Reduktion bezieht sich hierbei hauptsächlich auf die ersten beiden Serien. So können in der 2. Serie nur noch ca. 72 % und in der 3. Serie noch ca. 57 % der ursprünglichen Last bewältigt werden. In den weiteren Serien pendelt sich die bewältigte Last auf ein annähernd gleiches Niveau ein. In den Serien 4 - 6 beträgt die bewältigte Last noch ca. 40 - 45 % der Eingangsbelastung von Serie 1 (vgl. Tab. 24).

Tab. 24: Bewältigte Last [kg] bei Vorgabe 20 Wiederholungen sowie der prozentualer Anteil der Last in den Serien 2 - 6 in Relation zur Serie 1 bei allen 39 Teilnehmern ($\bar{x} \pm s$ aus Rohdaten)

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
$\bar{x} \pm s$	54,8 ± 13,6	39,7 ± 10,4	31,1 ± 8,6	25,3 ± 7,0	22,9 ± 5,7	21,7 ± 5,1
$\bar{x} \pm s$	100 %	72,5 ± 8,8 %	57,2 ± 10,3 %	46,7 ± 9,2 %	42,5 ± 8,7 %	40,3 ± 7,0 %

Tab. 25: p-Werte der Einzelvergleiche der bewältigten Last über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	p < 0,001					
Serie 3	p < 0,001	p < 0,001				
Serie 4	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001			
Serie 5	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,23		
Serie 6	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,05	p = 0,91	

Hypothese H 1.1.5 wird angenommen

³⁰ Bei Vorgabe 20 Wdh. werden in der 1. Serie 21,3 Wdh., in der 2. Serie 18,1 Wdh., in der 3. Serie 18,1 Wdh., in der 4. Serie 21,3 Wdh., in der 5. Serie 21,4 Wdh. und in der 6. Serie 21,4 Wdh. realisiert. Im Mittel werden über alle 6 Serien exakt 20,3 Wdh. durchgeführt. Der Variabilitätskoeffizient für die 6 Serien liegt bei 18,3 % (vgl. Kapitel 7.6 Methodenkritik).

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) unterscheidet sich die bewältigte Last signifikant zwischen den Gruppen [$F_{(2; 35)} = 12,05$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 40,8 \%$].

Der SCHEFFÉ-Test zur Überprüfung von Einzelvergleichen ergab, dass sich die Freizeitsportler von den Leichtathleten [$p < 0,001$] und von den Ringern [$p < 0,01$] unterscheiden. Innerhalb der Gruppe der Leistungssportler besteht kein signifikanter Unterschied [$p = 0,83$]. Um den Gruppenvergleich bei gleicher Wiederholungszahlvorgabe zu verdeutlichen, sind in Tab. 26 die prozentualen Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen dargestellt. In der 3. Serie liegt bspw. die bewältigte Last der Leichtathleten 37,4 % höher als die bewältigte Last der Freizeitsportler. Die bewältigte Last der Ringer liegt im Mittel 32,8 % höher als in der Gruppe der Freizeitsportler. Die bewältigte Last der Ringer ist in der 3. Serie 3,3 % geringer als die Last der Leichtathleten (vgl. Abb. 17).

Tab. 26: Prozentualer Unterschied der bewältigten Last bei Vorgabe 20 Wiederholungen über die 6 Serien zwischen den Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
FZ < LA	51,6 %	49,8 %	37,4 %	34,9 %	32,3 %	34,6 %
FZ < RI	37,5 %	39,8 %	32,8 %	37,7 %	32,3 %	40,1 %
LA < RI	-9,3 %	-6,7 %	-3,3 %	2,1 %	0 %	4,1 %

Darüber hinaus besteht eine signifikante ordinale Interaktion Gruppe x Serie [$F_{(10; 175)} = 7,54$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 30,1 \%$]. Dies erlaubt die globale Interpretation der Haupteffekte. D. h., die bewältigte Last unterscheidet sich sowohl über die einzelnen Serien (H 1.1.5) als auch zwischen den einzelnen Gruppen (H 1.1.6).

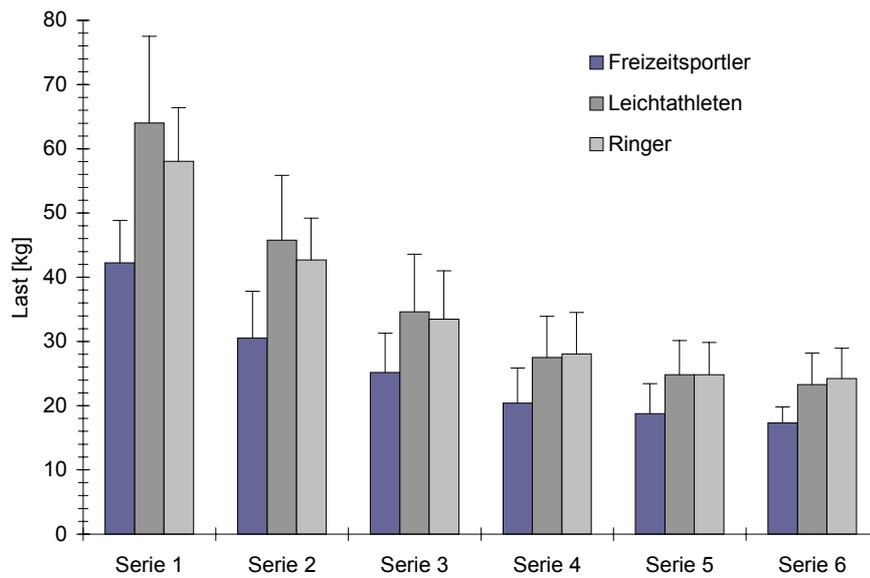


Abb. 17: Bewältigte Last [kg] bei Vorgabe 20 Wiederholungen über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Hypothese H 1.1.6 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) kommt es zu einer signifikanten Reduktion der verrichteten physikalischen Arbeit über die Serien [$F_{(5; 175)} = 193,51$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 84,7\%$].

Die p-Werte der Einzelvergleiche zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen den ersten beiden Serien und den Serien 3 - 6 [$p < 0,001$]. Die Serien 3 - 6 unterscheiden sich nicht [$p > 0,05$]. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der verrichteten Arbeit [Nm] für die einzelnen Serien können aus Tab. 27 entnommen werden.

Tab. 27: Mittelwerte und Standardabweichung der verrichteten physikalischen Arbeit [Nm] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei allen 39 Teilnehmern

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
$\bar{x} \pm s$	4458 \pm 1246	2684 \pm 772	2120 \pm 676	2001 \pm 482	1858 \pm 516	1774 \pm 462

Die Reduktion der verrichteten physikalischen Arbeit beträgt von Serie 1 bis einschließlich Serie 3 ca. 52,5 %. Die Plateaubildung von Serie 3 - 6 ist bei ca. 40 % des Ausgangswertes erreicht.

Hypothese 1.1.7 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) unterscheidet sich die verrichtete physikalische Arbeit signifikant zwischen den Gruppen [$F_{(2; 35)} = 6,51$; $p < 0,01$; $\eta^2_p = 27,3\%$].

Die Gruppenvergleiche haben ergeben, dass sich die Freizeitsportler von den Leichtathleten [$p < 0,01$] und von den Ringer [$p < 0,05$] unterscheiden. Die Leistungssportler differieren bzgl. der verrichteten physikalischen Arbeit nicht signifikant [$p = 0,76$].

Die Interaktion Gruppe x Serie wird ebenfalls signifikant [$F_{(10; 175)} = 4,00$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 18,6\%$]. Da die Graphen der Interaktionsdiagramme gleichsinnig verlaufen, können die signifikanten Haupteffekte global interpretiert und dabei die Stufen des anderen Faktors hinweg generalisiert werden (BORTZ/DÖRING 1995, 498). Somit lässt sich zu den H 1.1.7 und H 1.1.8 festhalten: Die verrichtete physikalische Arbeit [Nm] bei Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich sowohl zwischen den einzelnen Serien (Serienregression) als auch zwischen den Gruppen (Freizeitsportler vs. Leistungssportler). Die Abb. 18 verdeutlicht den Rückgang der verrichteten Arbeit über die Serien in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit.

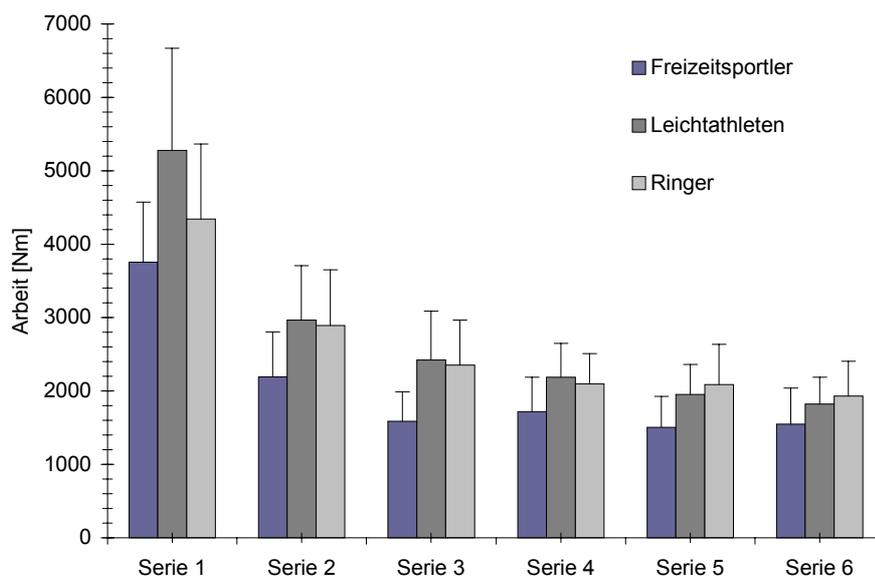


Abb. 18: Verrichtete physikalische Arbeit [Nm] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Hypothese 1.1.8 wird angenommen

8.2.2 Veränderung der Zeit in Abhängigkeit von der Wiederholungszahl bei den beiden Belastungstreatments über die 6 Serien sowie zwischen den Gruppen

Tab. 28: Benötigte Zeit [sec] für das Realisieren der Wiederholungen beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

	Freizeitsportler	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
Treatment „konstante Last“	Serie 1	43,4	8,3	38,4	48,4
	Serie 2	20,1	3,9	17,7	22,4
	Serie 3	14,2	3,6	12,0	16,4
	Serie 4	13,3	3,9	10,9	15,7
	Serie 5	13,1	4,3	10,5	15,7
	Serie 6	12,9	3,8	10,6	15,2
	Leichtathleten	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
	Serie 1	38,3	3,7	36,1	40,5
	Serie 2	19,9	2,9	18,2	21,7
	Serie 3	14,7	2,9	12,9	16,4
	Serie 4	12,2	2,6	10,6	13,7
	Serie 5	11,2	3,1	9,4	13,1
	Serie 6	10,8	2,4	9,3	12,2
	Ringer	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
	Serie 1	42,7	8,0	37,9	47,5
	Serie 2	22,5	4,1	20,0	24,9
	Serie 3	16,8	5,6	13,4	20,1
	Serie 4	15,8	4,1	13,3	18,2
	Serie 5	15,0	3,7	12,8	17,2
	Serie 6	14,5	3,0	12,7	16,4
	Alle	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
	Serie 1	41,5	7,1	39,1	43,8
	Serie 2	20,8	3,8	19,6	22,0
	Serie 3	15,2	4,2	13,9	16,6
Serie 4	13,7	3,8	12,5	15,0	
Serie 5	13,1	4,0	11,8	14,4	
Serie 6	12,7	3,4	11,6	13,9	

Der varianzanalytische Vergleich bzgl. der benötigten Zeit [sec] für das Realisieren der Wiederholungen beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 180)} = 538,84$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 93,7$ %]. Zwischen den 3 Gruppen besteht kein signifikanter Unterschied [$F_{(2; 36)} = 3,08$; $p = 0,06$; $\eta^2_p = 14,6$ %]. Die Interaktion Gruppe x Se-

rie ist ebenfalls nicht signifikant [$F_{(10; 180)} = 1,46$; $p = 0,16$; $\eta^2_p = 7,5 \%$]. Ab Serie 3 unterscheidet sich die benötigte Zeitspanne nicht mehr [$p > 0,83$]. Der Gruppenvergleich verfehlt knapp die Signifikanzschranke, wobei die Leichtathleten deutlich weniger Zeit benötigen als die Ringer [$p = 0,06$]. Die mittlere Zeitspanne von allen 39 Probanden über die 6 Serien beträgt $19,5 \pm 4,4$ sec. Die Reduktion der benötigten Zeit von der 2. Serie zur 1. Serie beträgt 49,8 %, von der 3. Serie zur 1. Serie 63,3 %. Die Reduktion in den Serien 4 - 6 beträgt 66,9 - 69,3 %. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der benötigten Zeit für das Realisieren der Wiederholungen beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) sind in Tab. 29 wiedergegeben.

Tab. 29: Benötigte Zeit [sec] für das Realisieren der Wiederholungen beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

	Freizeitsportler	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
Treatment „konstante Wiederholungszahl“	Serie 1	42,2	8,9	36,9	47,6
	Serie 2	38,5	19,4	26,8	50,3
	Serie 3	34,4	8,8	29,0	39,7
	Serie 4	48,1	24,2	33,4	62,7
	Serie 5	42,7	11,5	35,4	50,0
	Serie 6	48,0	19,5	35,6	60,4
	Leichtathleten	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
	Serie 1	37,4	3,9	35,0	39,8
	Serie 2	30,6	4,6	27,8	33,4
	Serie 3	32,0	6,7	28,0	36,0
	Serie 4	36,5	9,6	30,7	42,3
	Serie 5	35,5	5,8	31,9	39,0
	Serie 6	34,6	4,9	31,7	37,6
	Ringer	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
	Serie 1	36,8	8,0	32,0	41,7
	Serie 2	31,8	4,4	29,1	34,4
	Serie 3	32,9	6,8	28,8	37,0
	Serie 4	32,5	5,5	29,2	35,8
	Serie 5	35,2	8,7	29,9	40,4
	Serie 6	33,5	5,2	30,3	36,6
	Alle	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
	Serie 1	38,8	7,5	36,4	41,2
	Serie 2	33,6	12,0	29,7	37,5
	Serie 3	33,1	7,4	30,7	35,5
	Serie 4	39,1	16,4	33,7	44,4
	Serie 5	37,6	9,3	34,6	40,7
	Serie 6	38,4	13,1	34,1	42,8

Die benötigte Zeit [sec] für das Realisieren der Wiederholungen beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) unterscheidet sich sowohl zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 175)} = 5,43$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 14,4\%$] als auch zwischen den drei Gruppen [$F_{(2; 35)} = 3,79$; $p < 0,05$; $\eta^2_p = 17,8\%$]. Die ordinale Interaktion Gruppe x Serie ist signifikant mit [$F_{(10; 175)} = 1,99$; $p < 0,05$; $\eta^2_p = 10,2\%$]. Somit können die Haupteffekte global interpretiert werden. Die mittlere Zeitspanne für die Wiederholungen über alle 6 Serien beträgt in der Gruppe der Freizeitsportler $42,3 \pm 15,4$ sec. Bei den Leichtathleten beträgt die Zeit für das Realisieren der Wiederholungen im Mittel $34,4 \pm 5,9$ sec und bei den Ringern $33,9 \pm 6,4$ sec.

8.2.3 Veränderung der Zeit in Abhängigkeit vom Belastungstreatment („konstante Last“ versus „konstante Wiederholungszahl“) über die 6 Serien

Vergleicht man die benötigte Zeit [sec] bzgl. der Belastungstreatments „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien, so kann festgestellt werden: Die benötigte Zeit unterscheidet sich signifikant zwischen dem Belastungstreatment „konstante Last“ und dem Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(1; 75)} = 115,72$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 61,0\%$]. Die benötigte Zeit unterscheidet sich signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 375)} = 86,48$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 53,5\%$]. Die signifikante, annähernd ordinale Interaktion Treatment x Serie [$F_{(5; 375)} = 72,46$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 48,9\%$] erlaubt eine globale Interpretation der Haupteffekte. Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Abb. 19 für die beiden Belastungstreatment über die Serien wiedergegeben. Die mittlere Zeitspanne beträgt bei „konstanter Last“ 19,5 sec, bei „konstanter Wiederholungszahl“ 36,7 sec.

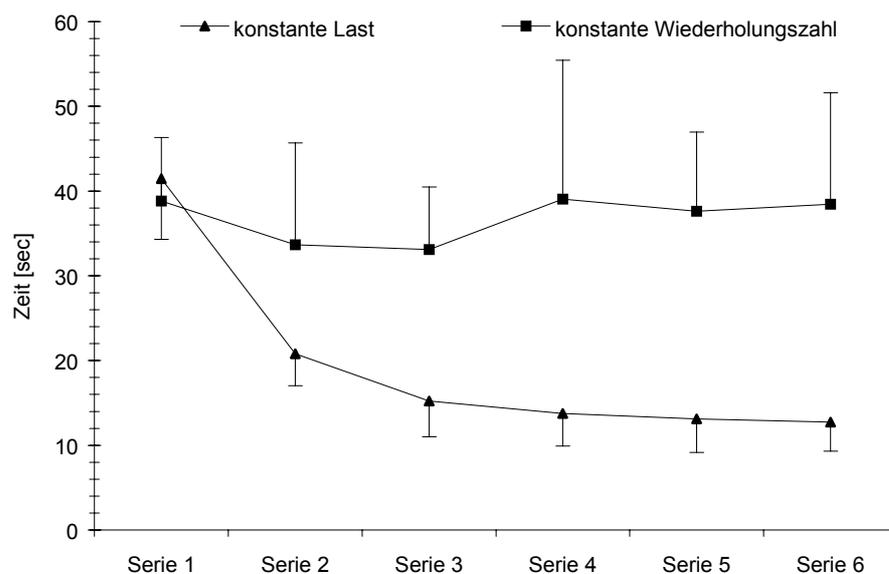


Abb. 19: Benötigte Zeit [sec] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien

8.2.4 Ergebnisse zu den Gruppenvergleichen auf der Beanspruchungsebene beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) sowie beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.)

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich der Laktatwert als Teilbeanspruchungsparameter des metabolischen Systems signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 175)} = 355,21$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 91,0\%$].

Einzelvergleiche zeigen zwischen den Serien einen signifikanten Unterschied [$p < 0,05$], außer zwischen der Serie 4 und Serie 5 [$p = 0,73$] und der Serie 5 und Serie 6 [$p = 0,71$] (vgl. Tab. 31).

Die deskriptiven Werte des Δ Laktats [mmol/l] über die einzelnen Serien von allen Probanden sind in Tab. 30 dargestellt. Von Serie 1 zu Serie 2 kommt es zu einem Anstieg um 51,6 %. Von Serie 1 zu Serie 3 um 74,2 %. In der 4. Serie beträgt der Anstieg 83,9 %, in der 5. Serie 87,1 % und in der abschließenden 6. Serie beträgt der Laktatanstieg 90,3 %.

Tab. 30: Δ Laktat [mmol/l] beim Treatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) bei allen 39 Teilnehmern

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
$\bar{x} \pm s$	3,1 \pm 0,8	4,7 \pm 0,8	5,4 \pm 0,9	5,7 \pm 0,8	5,8 \pm 0,9	5,9 \pm 0,9

Tab. 31: p-Werte der Einzelvergleiche des Δ Laktats über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	$p < 0,001$					
Serie 3	$p < 0,001$	$p < 0,001$				
Serie 4	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,05$			
Serie 5	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,73$		
Serie 6	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,05$	$p = 0,71$	

Die Hypothese 1.2.1 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich der Laktatwert als Teilbeanspruchungsparameter des metabolischen Systems nicht signifikant³¹ zwischen den einzelnen Gruppen [$F_{(2; 35)} = 2,90$; $p = 0,07$; $\eta^2_p = 14,2\%$].

Die Laktatkonzentrationen der Leichtathleten liegen über alle Serien im Mittel ca. 0,6 mmol/l höher als in den beiden anderen Gruppen (vgl. Abb. 20).

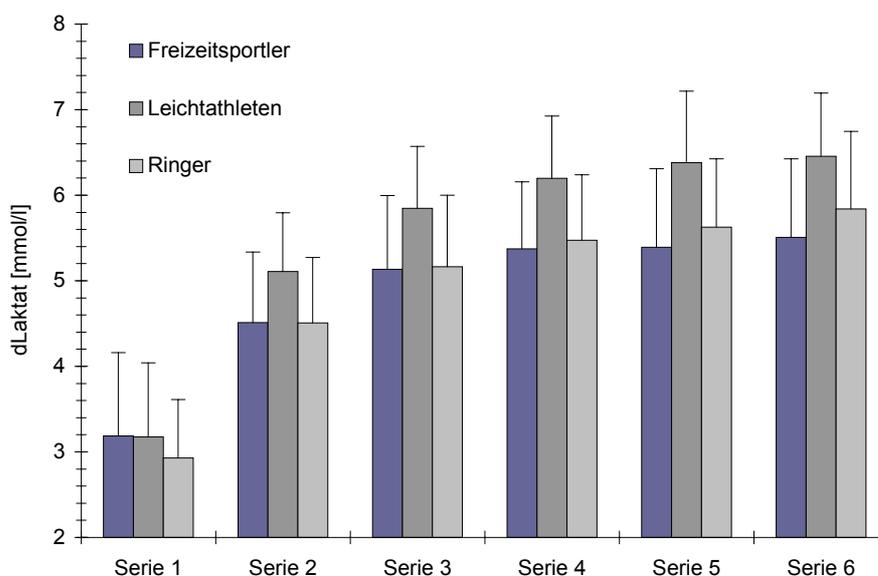


Abb. 20: Δ Laktat beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

In der nachfolgenden Tab. 32 sind zur Verdeutlichung die prozentualen Differenzen zwischen den Gruppen dargestellt. Die p-Werte der Einzelvergleiche (SCHEFFÉ-Test) sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten [$p = 0,12$], Freizeitsportler vs. Ringer [$p = 0,99$] und Leichtathleten vs. Ringern [$p = 0,14$].

Tab. 32: Prozentualer Unterschied der Laktatkonzentration [mmol/l] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien zwischen den 3 Gruppen (Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern)

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
FZ < LA	-0,4 %	13,2 %	13,9 %	15,4 %	18,4 %	17,2 %
FZ < RI	-8,1 %	0 %	0,5 %	1,9 %	4,4 %	6,0 %
LA < RI	-7,7 %	-11,7 %	-11,7 %	-11,7 %	-11,8 %	-9,6 %

³¹ Die Bedeutung von statistischer, klinischer und praktischer Relevanz der 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit wird von HOPKINS (2001) kritisch diskutiert. Zur Lösung der Problematik schlägt HOPKINS (2001) die Angabe von Konfidenzintervallen vor (vgl. BORTZ 1993, 97ff.).

Die signifikante ordinale Interaktion Gruppe x Serie [$F_{(10; 175)} = 3,35$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 16,1\%$] erlaubt eine globale Interpretation der Haupteffekte, so dass konstatiert werden kann: Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich die metabolische Beanspruchung über die einzelnen Serien, wobei kein signifikanter Unterschied zwischen den hier betrachteten Gruppen besteht.

Hypothese 1.2.2 wird verworfen

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich der systolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 135)} = 3,20$; $p < 0,01$; $\eta^2_p = 10,6\%$].

Die p-Werte der Einzelvergleiche verdeutlichen, dass sich trotz dem signifikanten Haupteffekt (Serie) die einzelnen Serien nur teilweise unterscheiden (vgl. Tab. 34). So besteht außer bei der 1. Serie und der 4. Serie [$p < 0,05$] kein signifikanter Unterschied zwischen den Serien [$p \geq 0,16$]. Die Mittelwerte und Standardabweichungen des systolischen Blutdrucks [mmHg] sind aus Tab. 33 ersichtlich. Der Variabilitätskoeffizient [V] des systolischen Blutdrucks über die 6 Serien liegt bei 11,4 %.

Tab. 33: Systolischer Blutdruck [mmHg] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien von allen Probanden

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
$\bar{x} \pm s$	123,6 \pm 14,0	128,8 \pm 16,4	128,2 \pm 14,7	131,2 \pm 14,1	124,9 \pm 14,1	128,9 \pm 14,0

Tab. 34: p-Werte der Einzelvergleiche des systolischen Blutdrucks über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	$p = 0,34$					
Serie 3	$p = 0,55$	$p = 0,99$				
Serie 4	$p < 0,05$	$p = 0,96$	$p = 0,86$			
Serie 5	$p = 0,99$	$p = 0,65$	$p = 0,83$	$p = 0,16$		
Serie 6	$p = 0,33$	$p = 1,00$	$p = 0,99$	$p = 0,97$	$p = 0,63$	

Die Hypothese 1.2.3 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich der systolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems nicht signifikant zwischen den einzelnen Gruppen [$F_{(2; 27)} = 1,31$; $p = 0,29$; $\eta^2_p = 8,9 \%$].

Die p-Werte der Einzelvergleiche sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten [$p = 0,29$], Freizeitsportler vs. Ringer [$p = 0,85$] und Leichtathleten vs. Ringer [$p = 0,63$].

Die Interaktion Gruppe x Serie ist nicht signifikant [$F_{(10; 135)} = 1,33$; $p = 0,22$; $\eta^2_p = 8,9 \%$]. Somit kann zur kardiovaskulären Beanspruchung festgehalten werden: Die systolischen Blutdruckwerte unterscheiden sich signifikant zwischen den Serien (H 1.2.3). Zwischen den Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern besteht kein statistischer Unterschied (H 1.2.4) (vgl. Abb. 21).

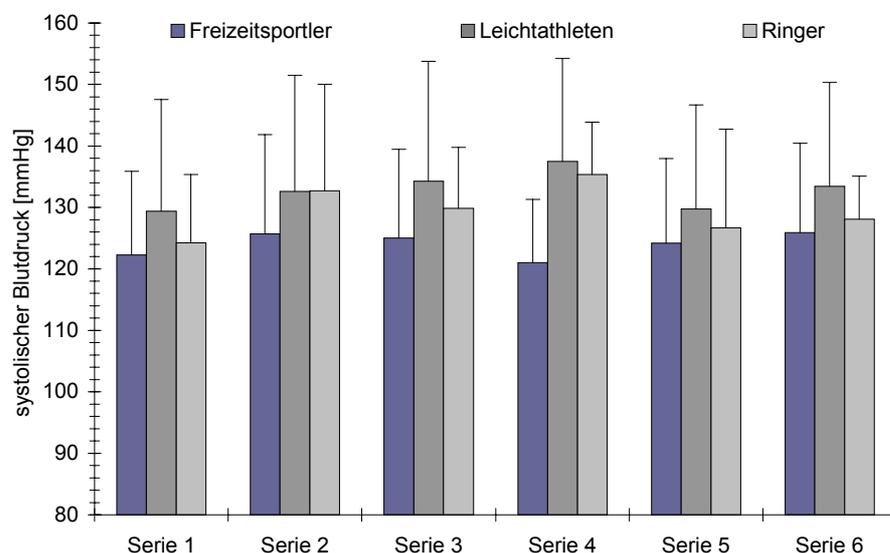


Abb. 21: Systolischer Blutdruck [mmHg] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Die Hypothese 1.2.4 wird verworfen

Anmerkung: Die diastolischen Blutdruckwerte beim Belastungstreatment „konstante Last“ liegen im Mittel in der 1. Serie bei $76,7 \pm 13,9$ mmHg, in der 2. Serie bei $76,8 \pm 16,6$ mmHg, in der 3. Serie bei $73,4 \pm 12,2$ mmHg, in der 4. Serie bei $78,6 \pm 19,9$ mmHg, in der 5. Serie bei $73,8 \pm 12,1$ mmHg und in der 6. Serie bei $72,0 \pm 14,5$ mmHg. Es besteht weder ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 135)} = 1,65$; $p = 0,15$; $\eta^2_p = 5,8 \%$], noch zwischen den 3 Gruppen [$F_{(2; 27)} = 1,41$; $p = 0,26$; $\eta^2_p = 9,4 \%$]. Der Variabilitätskoeffizient [V] über die 6 Serien beträgt 19,8 %.

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich die Herzfrequenz als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 180)} = 2,90$; $p < 0,05$; $\eta^2_p = 7,4\%$].

Post hoc Einzelvergleiche zeigen, dass sich nur die ersten beiden Serien im Herzfrequenzverhalten unterscheiden [$p < 0,05$]. In den weiteren Serien besteht kein signifikanter Unterschied (vgl. Tab. 36). Der Variabilitätskoeffizient über die 6 Serien beträgt 14,3 %. Aus Tab. 35 können die Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzwerte über die 6 Serien entnommen werden.

Tab. 35: Herzfrequenz [1/min] beim Treatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) bei allen 39 Teilnehmern

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
$\bar{x} \pm s$	145,2 \pm 23,6	139,5 \pm 19,3	140,4 \pm 19,2	141,1 \pm 20,0	140,7 \pm 19,4	140,6 \pm 20,0

Tab. 36: p-Werte der Einzelvergleiche der Herzfrequenz über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	$p < 0,05$					
Serie 3	$p = 0,14$	$p = 0,99$				
Serie 4	$p = 0,29$	$p = 0,98$	$p = 0,99$			
Serie 5	$p = 0,20$	$p = 0,99$	$p = 0,99$	$p = 0,99$		
Serie 6	$p = 0,18$	$p = 0,99$	$p = 0,99$	$p = 0,99$	$p = 1,00$	

Die Hypothese 1.2.5 wird angenommen

Anmerkung: Da sich das Durchschnittsalter der 3 Gruppen (vgl. Kapitel 7.1) unterscheidet, wurde aufgrund der bekannten Abhängigkeit von maximaler Herzfrequenz und Lebensalter (ÅSTRAND/RODAHL 1986; DE MARÉES 1996; HOLLMANN/HETTINGER 2000; NIKOLAUS/ZAHN 1995) bei allen Hypothesen zu den Gruppenvergleichen, welche die Herzfrequenz als abhängige Variable mitberücksichtigen, eine Kovarianzanalyse mit der Ko-Variablen Alter gerechnet.

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich die Herzfrequenz als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems nicht signifikant zwischen den einzelnen Gruppen [$F_{(2; 35)} = 1,92$; $p = 0,16$; $\eta^2_p = 6,5\%$].

Die p-Werte der Einzelvergleiche sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten [$p = 0,99$], Freizeitsportler vs. Ringer [$p = 0,63$] und Leichtathleten vs. Ringer [$p = 0,69$]. Während die Herzfrequenzwerte der Freizeitsportler und der Leichtathleten fast identisch sind und im Mittel über die Serien bei 143,7 [1/min] bzw. 143,5 [1/min] liegen, ist die Herzfrequenz der Ringer niedriger. Der durchschnittliche Wert liegt bei 136,9 [1/min]. Abgeleitet daraus haben die Ringer bei gleicher prozentualer Gewichtsbelastung eine um ca. 6 - 7 Schläge geringere Herzfrequenz über die einzelnen Serien (vgl. Abb. 22). Der Interaktionseffekt Gruppe x Serie ist nicht signifikant $F_{(10; 180)} = 1,10$; $p = 0,36$; $\eta^2_p = 5,8\%$. Allgemein lässt sich zu den Hypothesen H 1.2.5 und H 1.2.6 festhalten: Die Herzfrequenz als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich zwischen den verschiedenen Serien. Ein Gruppenunterschied kann statistisch nicht belegt werden.

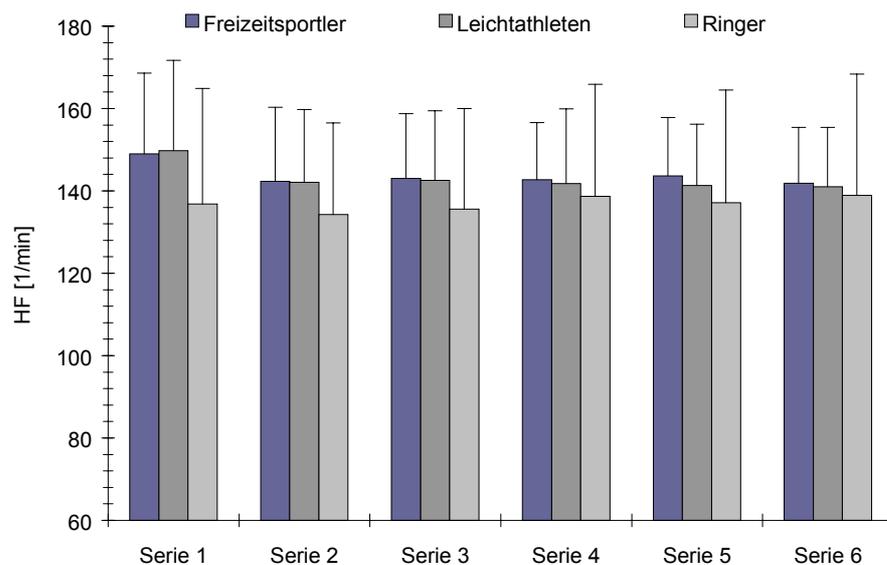


Abb. 22: Herzfrequenz [1/min] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Die Hypothese 1.2.6 wird verworfen

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarf nicht signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 135)} = 0,99$; $p = 0,43$; $\eta^2_p = 3,5 \%$].

Die Mittelwerte und Standardabweichungen sowie das 95 %ige Konfidenzintervall sind in Tab. 37 für die 6 Serien dargestellt. Der Variabilitätskoeffizient [V] als Streuungsmaß beträgt über die 6 Serien 19,1 %. Die p-Werte der post hoc Einzelvergleiche (SCHEFFÉ-Test) liegen zwischen [$p = 0,47$] und [$p = 0,99$].

Die Hypothese H 1.2.7 wird verworfen

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarf nicht signifikant zwischen den einzelnen Gruppen [$F_{(2; 26)} = 0,62$; $p = 0,55$; $\eta^2_p = 2,7 \%$].

Die Ergebnisse der Einzelvergleichsprüfungen sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten [$p = 0,76$], Freizeitsportler vs. Ringer [$p = 0,89$] sowie Leichtathleten vs. Ringer [$p = 0,49$]. Es besteht keine signifikante Interaktion Gruppe x Serie [$F_{(10; 135)} = 1,04$; $p = 0,42$; $\eta^2_p = 7,1 \%$]. Abb. 23 gibt den myokardialen Sauerstoffbedarf von den Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern über die einzelnen Serien wieder. Zum Hypothesenkomplex Doppelprodukt H 1.2.7 und H 1.2.8 kann konstatiert werden: Es besteht weder ein signifikanter Unterschied zwischen den Serien, noch besteht eine statistisch bedeutsame Differenz zwischen den 3 Gruppen.

Tab. 37: Doppelprodukt [mmHg x 1/min] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien von allen Probanden

	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
Serie 1	18164,5	3793,1	16899,8	19429,1
Serie 2	18273,1	3769,7	17016,2	19529,9
Serie 3	18215,9	3301,9	17098,6	19333,1
Serie 4	18602,2	3212,9	17481,1	19723,2
Serie 5	17851,1	3444,2	16702,8	18999,4
Serie 6	18120,8	3389,9	16956,3	19285,3

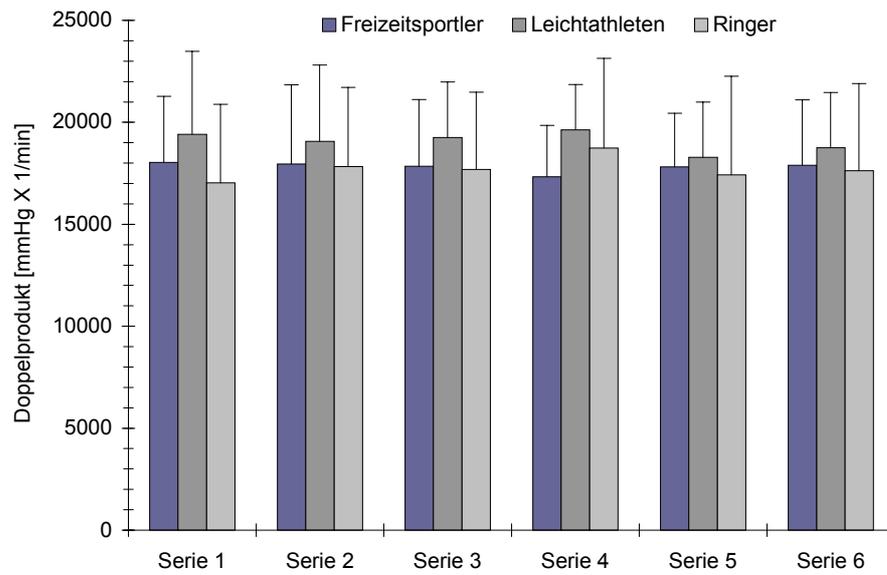


Abb. 23: Doppelprodukt [mmHg x 1/min] beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Die Hypothese H 1.2.8 wird verworfen

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich das subjektive Belastungsempfinden signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 180)} = 25,99$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 41,9\%$].

Das subjektive Belastungsempfinden beträgt im Mittel, bei allen Probanden in der 1. Serie $16,4 \pm 2,1$, in der 2. Serie $17,7 \pm 1,9$, in der 3. Serie $18,0 \pm 1,8$, in der 4. Serie $18,2 \pm 1,6$, in der 5. Serie $18,3 \pm 1,5$ und in der 6. Serie $18,5 \pm 1,6$. Tab. 38 enthält die dazugehörigen p-Werte über die Serien. Während in der 1. Serie die subjektive Belastungsempfindung mit „schwer“ und „sehr schwer“ angegeben wird, liegt die subjektive Belastungseinschätzung in der 6. Serie zwischen „sehr schwer“ und „extrem schwer“. Der Variabilitätskoeffizient [V] über die 6 Serien liegt bei 9,8 %.

Tab. 38: p-Werte der Einzelvergleiche des subjektiven Belastungsempfinden über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	$p < 0,001$					
Serie 3	$p < 0,001$	$p = 0,69$				
Serie 4	$p < 0,001$	$p = 0,07$	$p = 0,83$			
Serie 5	$p < 0,001$	$p < 0,05$	$p = 0,53$	$p = 0,99$		
Serie 6	$p < 0,001$	$p < 0,01$	$p = 0,18$	$p = 0,89$	$p = 0,99$	

Die Hypothese H 1.2.9 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ unterscheidet sich das subjektive Belastungsempfinden nicht signifikant zwischen den einzelnen Gruppen [$F_{(2; 36)} = 1,37$; $p = 0,27$; $\eta^2_p = 7,1\%$].

Die post hoc Einzelvergleiche sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten [$p = 0,74$], Freizeitsportler vs. Ringer [$p = 0,68$] sowie Leichtathleten vs. Ringer [$p = 0,27$]. Obwohl sich das subjektive Belastungsempfinden statistisch nicht zwischen den einzelnen Gruppen unterscheidet, sei doch herausgestellt, dass die Gruppe der Ringer über alle Serien eine geringere subjektive Belastungseinschätzung vornimmt. Dies verwundert umso mehr, da die Ringer bei gleicher deduzierter Belastungsintensität (60 % 1-RM) sowohl mehr Wiederholungen realisieren, als auch eine größere physikalische Arbeit in den einzelnen Serien verrichten (vgl. Kapitel 8.2.1). Die Mittelwerte und Standardabweichungen der subjektiven Belastungseinschätzung über die 6 Serien bei den 3 Gruppen sind in Abb. 24 dargestellt.

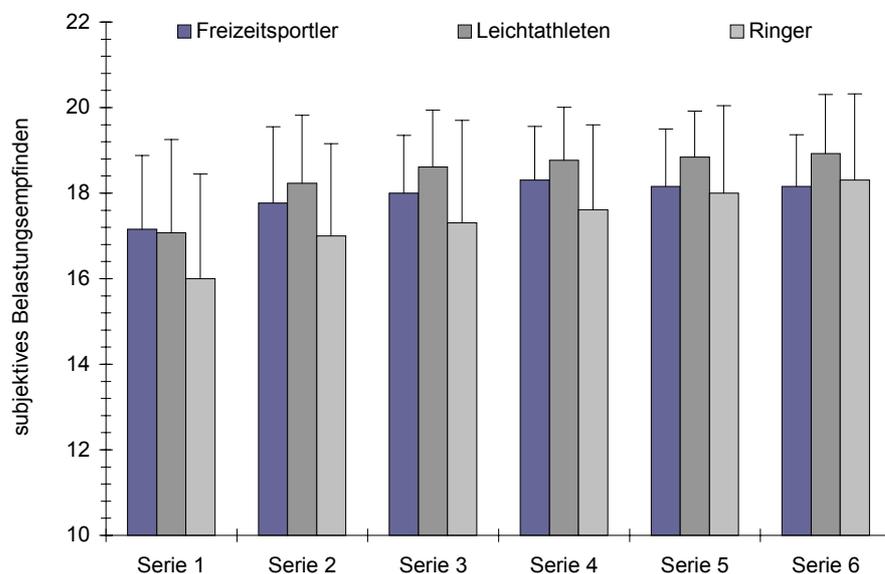


Abb. 24: Subjektives Belastungsempfinden (RPE) beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Die Hypothese 1.2.10 wird verworfen

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich der Laktatwert als Teilbeanspruchungsparameter des metabolischen Systems signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 170)} = 474,44$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 93,3\%$].

Einzelvergleiche zeigen zwischen den Serien einen signifikanten Unterschied [$p < 0,001$], außer zwischen der Serie 4 und Serie 5 [$p = 0,87$] und der Serie 5 und Serie 6 [$p = 0,40$] (vgl. Tab. 40).

Die deskriptiven Werte des Δ Laktats [mmol/l] über die einzelnen Serien von allen Probanden sind in Tab. 39 dargestellt. Von Serie 1 zu Serie 2 kommt es zu einem Anstieg um 65,5 %. Von Serie 1 zu Serie 3 beträgt der Anstieg 96,6 %. In der 4. Serie beträgt der Anstieg 120,7 %, in der 5. Serie 131,0 % und in der abschließenden 6. Serie beträgt der Laktatanstieg 137,9 %.

Tab. 39: Δ Laktat [mmol/l] beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) bei allen 39 Teilnehmern

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
$\bar{x} \pm s$	2,9 \pm 1,0	4,8 \pm 0,9	5,7 \pm 0,9	6,4 \pm 1,0	6,7 \pm 1,0	6,9 \pm 1,0

Tab. 40: p-Werte der Einzelvergleiche des Δ Laktats über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	$p < 0,001$					
Serie 3	$p < 0,001$	$p < 0,001$				
Serie 4	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$			
Serie 5	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,87$		
Serie 6	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,40$	

Die Hypothese H 1.3.1 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich der Laktatwert als Teilbeanspruchungsparameter des metabolischen Systems nicht signifikant zwischen den einzelnen Gruppen [$F_{(2; 34)} = 2,74$; $p = 0,08$; $\eta^2_p = 13,9\%$].

Die Laktatkonzentrationen in der Gruppe der Leichtathleten liegen über alle Serien im Mittel um ca. 0,7 [mmol/l] höher als in den beiden anderen Gruppen (vgl. Abb. 25).

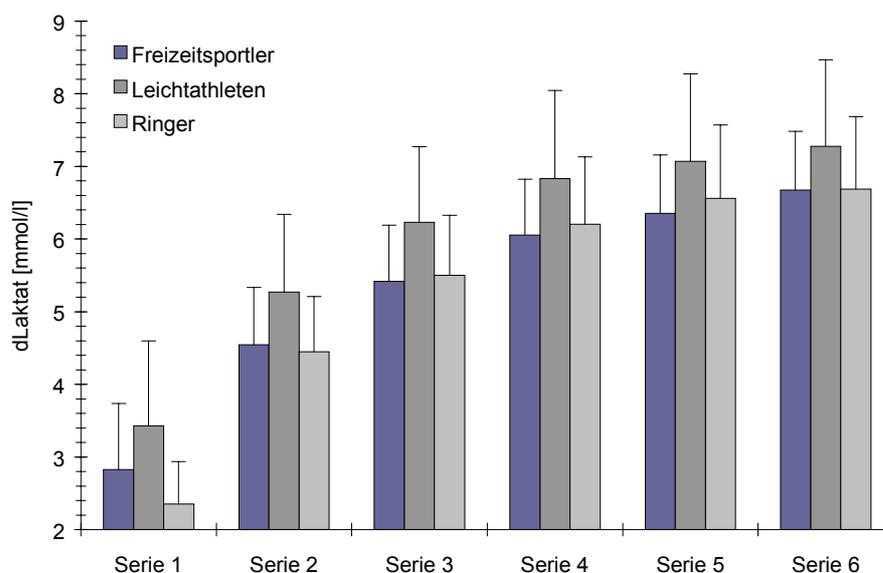


Abb. 25: Δ Laktat beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

In der nachfolgenden Tab. 41 sind zur Verdeutlichung die prozentualen Differenzen zwischen den Gruppen dargestellt. Die p-Werte der Einzelvergleiche (SCHEFFÉ-Test) sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten [$p = 0,17$], Freizeitsportler vs. Ringer [$p = 0,99$] und Leichtathleten vs. Ringer [$p = 0,13$].

Tab. 41: Prozentualer Unterschied der Laktatkonzentration [mmol/l] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien zwischen den 3 Gruppen (Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringer)

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
FZ < LA	21,4 %	16,0 %	15,0 %	12,8 %	11,3 %	9,0 %
FZ < RI	-16,8 %	-2,1 %	1,5 %	2,5 %	3,2 %	0,2 %
LA < RI	-31,4 %	-15,6 %	-11,7 %	-9,2 %	-7,2 %	-8,1 %

Die Interaktion Gruppe x Serie ist nicht signifikant [$F_{(10; 170)} = 1,25$; $p = 0,26$; $\eta^2_p = 6,8\%$], so dass für den Hypothesenkomplex H 1.3.1 und H 1.3.2 konstatiert werden kann: Die Laktatkonzentration als Teil-

beanspruchungsparameter des metabolischen Systems unterscheidet sich signifikant zwischen den einzelnen Serien. Der Gruppenunterschied verfehlt mit $[p = 0,08]$ die Signifikanzschranke.

Die Hypothese H 1.3.2 wird verworfen

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich der systolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems signifikant zwischen den einzelnen Serien $[F_{(5; 145)} = 2,64; p = 0,03; \eta^2_p = 8,4 \ %]$.

Die p-Werte der Einzelvergleiche verdeutlichen, dass sich trotz des signifikanten Haupteffektes (Serie) die einzelnen Serien nur teilweise unterscheiden (vgl. Tab. 43). So besteht außer bei der 1. Serie und der 4. Serie $[p < 0,05]$ kein signifikanter Unterschied zwischen den Serien $[p \geq 0,46]$. Die Mittelwerte und Standardabweichungen des systolischen Blutdrucks [mmHg] von allen Probanden sind aus der Tab. 42 zu entnehmen. Der Variabilitätskoeffizient [V] des systolischen Blutdrucks über die 6 Serien liegt bei 12,5 %.

Tab. 42: Systolischer Blutdruck [mmHg] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien von allen Probanden

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
$\bar{x} \pm s$	124,6 ± 14,5	129,2 ± 15,3	130,2 ± 16,2	133,9 ± 17,1	128,7 ± 17,9	128,9 ± 16,0

Tab. 43: p-Werte der Einzelvergleiche des systolischen Blutdrucks über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	p = 0,66					
Serie 3	p = 0,51	p = 0,99				
Serie 4	p < 0,05	p = 0,67	p = 0,81			
Serie 5	p = 0,84	p = 0,99	p = 0,99	p = 0,46		
Serie 6	p = 0,79	p = 0,99	p = 0,99	p = 0,53	p = 0,99	

Die Hypothese H 1.3.3 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich der systolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems nicht signifikant zwischen den einzelnen Gruppen [$F_{(2; 29)} = 1,59$; $p = 0,22$; $\eta^2_p = 9,9 \%$].

Die p-Werte der Einzelvergleiche sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten [$p = 0,23$], Freizeitsportler vs. Ringer [$p = 0,48$] und Leichtathleten vs. Ringer [$p = 0,86$].

Die Interaktion Gruppe x Serie ist nicht signifikant [$F_{(10; 145)} = 0,68$; $p = 0,74$; $\eta^2_p = 4,5 \%$]. Somit kann zur kardiovaskulären Beanspruchung festgehalten werden: Die systolischen Blutdruckwerte unterscheiden sich signifikant zwischen den Serien (H 1.3.3). Zwischen den Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern besteht kein statistisch bedeutsamer Unterschied (H 1.3.4) (vgl. Abb. 26).

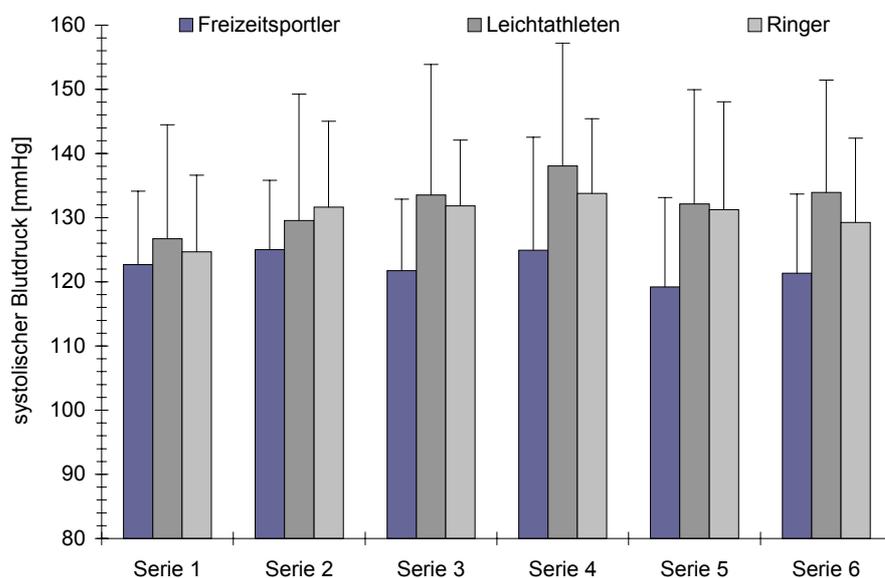


Abb. 26: Systolischer Blutdruck [mmHg] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Die Hypothese H 1.3.4 wird verworfen

Anmerkung: Die diastolischen Blutdruckwerte beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ liegen im Mittel in der 1. Serie bei $76,4 \pm 13,2$ mmHg, in der 2. Serie bei $78,7 \pm 14,8$ mmHg, in der 3. Serie bei $75,6 \pm 13,2$ mmHg, in der 4. Serie bei $75,7 \pm 12,7$ mmHg, in der 5. Serie bei $75,8 \pm 16,6$ mmHg und in der 6. Serie bei $73,6 \pm 12,3$ mmHg. Es besteht weder ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 150)} = 1,94$; $p = 0,09$; $\eta^2_p = 9,9 \%$] noch zwischen den 3 Gruppen [$F_{(2; 30)} = 2,46$; $p = 0,10$; $\eta^2_p = 14,1 \%$]. Der Variabilitätskoeffizient [V] über die 6 Serien beträgt 18,2 %.

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich die Herzfrequenz als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems nicht signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 175)} = 2,17$; $p = 0,06$; $\eta^2_p = 5,8\%$].

Die Tab. 44 enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen sowie das 95 %ige Konfidenzintervall der Herzfrequenzwerte [1/min] von allen Probanden. Der Variabilitätskoeffizient [V] beträgt über die 6 Serie 16,8 %.

Tab. 44: Herzfrequenz [1/min] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei allen Probanden

	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
Serie 1	143,4	27,0	134,7	152,2
Serie 2	140,8	24,4	132,9	148,7
Serie 3	144,1	24,2	136,2	151,9
Serie 4	145,5	23,8	137,7	153,2
Serie 5	144,8	23,2	137,2	152,5
Serie 6	146,3	22,7	138,8	153,7

Die Hypothese H 1.3.5 wird verworfen

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich die Herzfrequenz als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems nicht signifikant zwischen den einzelnen Gruppen [$F_{(2; 24)} = 1,87$; $p = 0,17$; $\eta^2_p = 6,5\%$].

Die p-Werte der Einzelvergleiche sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten [$p = 0,98$], Freizeitsportler vs. Ringer [$p = 0,63$], Leichtathleten vs. Ringer [$p = 0,50$]. Während die Herzfrequenzwerte der Freizeitsportler und der Leichtathleten fast identisch sind und im Mittel über die 6 Serien bei 146,3 [1/min] bzw. 148,1 [1/min] liegen, ist die durchschnittliche Herzfrequenz der Ringer niedriger. Der Mittelwert über die Serien liegt bei 137,8 [1/min]. Folgernd haben die Ringer beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ eine um ca. 10 Schläge pro Minute geringere Herzfrequenz und dies, obwohl die bewältigte Last als auch die verrichtete Arbeit in der Gruppe der Ringer am Größten ist.

Die Interaktion Gruppe x Serie ist nicht signifikant [$F_{(10; 175)} = 0,15$; $p = 0,99$; $\eta^2_p = 0,9\%$]. Somit lässt sich für die Hypothesen H 1.3.5 und H 1.3.6 feststellen: Die Herzfrequenz als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den einzelnen Serien, wobei die Irrtumswahrscheinlichkeit mit [$p = 0,06$] knapp verfehlt wird. Des Weiteren besteht zwischen den Gruppen keine statisch belegbare Differenz (vgl. Abb. 27).

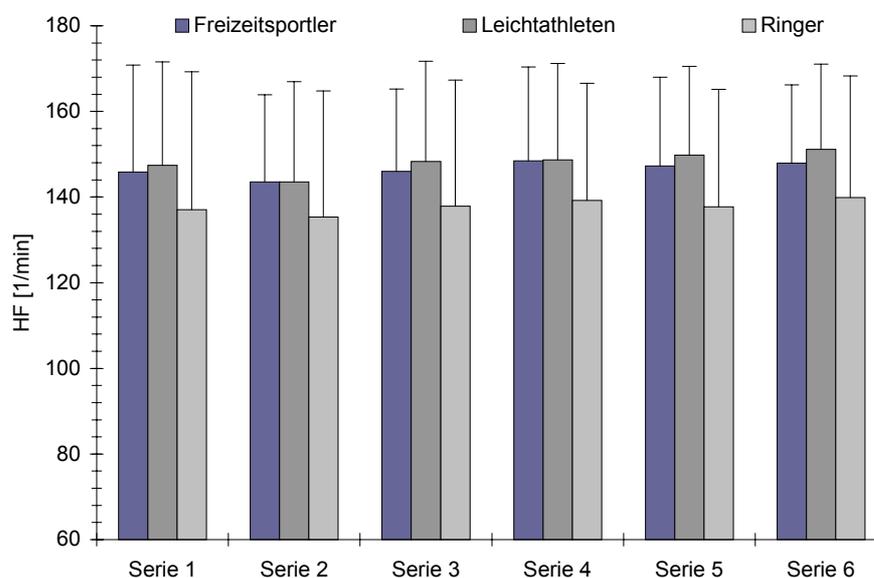


Abb. 27: Herzfrequenz [1/min] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Die Hypothese H 1.3.6 wird verworfen

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarfs signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 145)} = 2,67$; $p = 0,02$; $\eta^2_p = 8,4\%$].

Die Mittelwerte und Standardabweichungen sowie das 95 %ige Konfidenzintervall sind in Tab. 45 für die 6 Serien dargestellt. Der Variabilitätskoeffizient [V] als Streuungsmaß beträgt über die 6 Serien 21,6 %. Die p-Werte der post hoc Einzelvergleiche (SCHEFFÉ-Test) liegen zwischen [$p = 0,08$] und [$p = 1,00$].

Tab. 45: Doppelprodukt [mmHg x 1/min] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien von allen Probanden

	Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
Serie 1	17774,9	4138,4	16395,1	19154,7
Serie 2	18254,3	3953,2	16916,7	19591,9
Serie 3	18580,0	3874,1	17306,6	19853,3
Serie 4	19393,9	4149,2	17990,0	20797,8
Serie 5	18545,7	4164,2	17157,3	19934,1
Serie 6	18756,6	3744,4	17508,2	20005,1

Die Hypothese H 1.3.7 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarfs nicht signifikant zwischen den einzelnen Gruppen [$F_{(2; 28)} = 1,38$; $p = 0,27$; $\eta^2_p = 8,3 \%$].

Die Ergebnisse der Einzelvergleichsprüfungen sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten [$p = 0,24$], Freizeitsportler vs. Ringer [$p = 0,84$] und Leichtathleten vs. Ringer [$p = 0,50$].

Es besteht keine signifikante Interaktion Gruppe x Serie [$F_{(10; 145)} = 0,76$; $p = 0,67$; $\eta^2_p = 5,0 \%$]. Abb. 28 gibt den myokardialen Sauerstoffbedarf von den Freizeitsportlern, Leichtathleten und Ringern über die einzelnen Serien wieder. Zum Hypothesenkomplex Doppelprodukt H 1.3.7 und H 1.3.8 kann konstatiert werden: Einerseits besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Serien. Andererseits unterscheiden sich die Gruppen nicht signifikant.

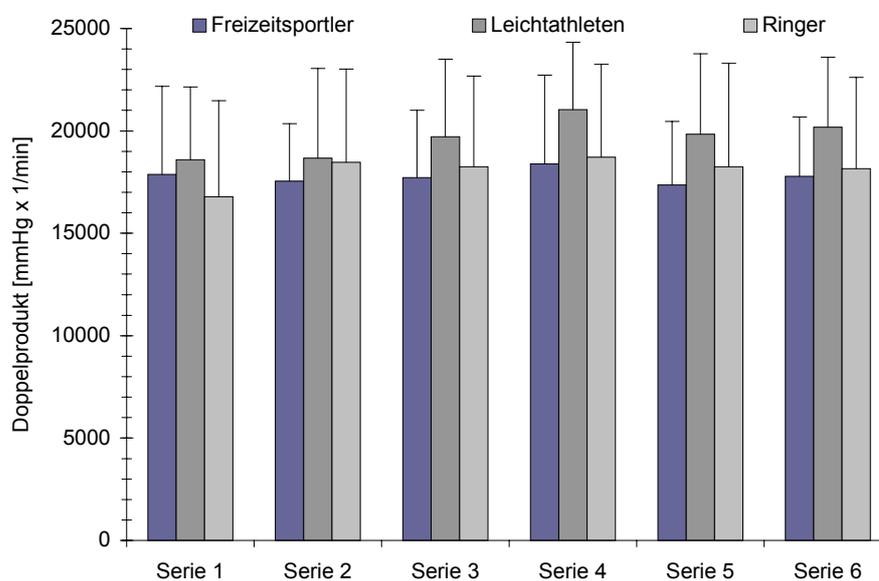


Abb. 28: Doppelprodukt [mmHg x 1/min] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Die Hypothese H 1.3.8 wird verworfen

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich das subjektive Belastungsempfinden signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 175)} = 7,75$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 18,1\%$].

Das subjektive Belastungsempfinden beträgt im Mittel bei allen Probanden in der 1. Serie $16,8 \pm 1,8$, in der 2. Serie $17,3 \pm 1,9$, in der 3. Serie $17,4 \pm 1,9$, in der 4. Serie $17,7 \pm 2,3$, in der 5. Serie $17,8 \pm 2,6$ und in der 6. Serie $18,0 \pm 2,6$. Tab. 46 enthält die dazugehörigen p-Werte über die Serien. Während in der 1. Serie die subjektive Belastungsempfindung mit „schwer“ und „sehr schwer“ angegeben wird, liegt die subjektive Belastungseinschätzung in der 6. Serie zwischen „sehr schwer“ und „extrem schwer“. Der Variabilitätskoeffizient [V] über die 6 Serien liegt bei 12,8 %.

Tab. 46: p-Werte der Einzelvergleiche des subjektiven Belastungsempfinden über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	p = 0,35					
Serie 3	p = 0,15	p = 0,99				
Serie 4	p < 0,01	p = 0,78	p = 0,95			
Serie 5	p < 0,01	p = 0,44	p = 0,72	p = 0,99		
Serie 6	p < 0,001	p = 0,06	p = 0,18	p = 0,72	p = 0,95	

Die Hypothese H 1.3.9 wird angenommen

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ unterscheidet sich das subjektive Belastungsempfinden nicht signifikant zwischen den einzelnen Gruppen [$F_{(2; 35)} = 1,75$; $p = 0,19$; $\eta^2_p = 9,1\%$].

Die post hoc Einzelvergleiche sind: Freizeitsportler vs. Leichtathleten [$p = 0,80$], Freizeitsportler vs. Ringer [$p = 0,20$] sowie Leichtathleten vs. Ringer [$p = 0,49$]. Obwohl sich das subjektive Belastungsempfinden statistisch nicht zwischen den einzelnen Gruppen unterscheidet, sei doch erwähnt, dass die Gruppe der Ringer über alle Serien eine geringere subjektive Belastungseinschätzung vornimmt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der subjektiven Belastungseinschätzung über die 6 Serien bei den 3 Gruppen sind in Abb. 29 dargestellt.

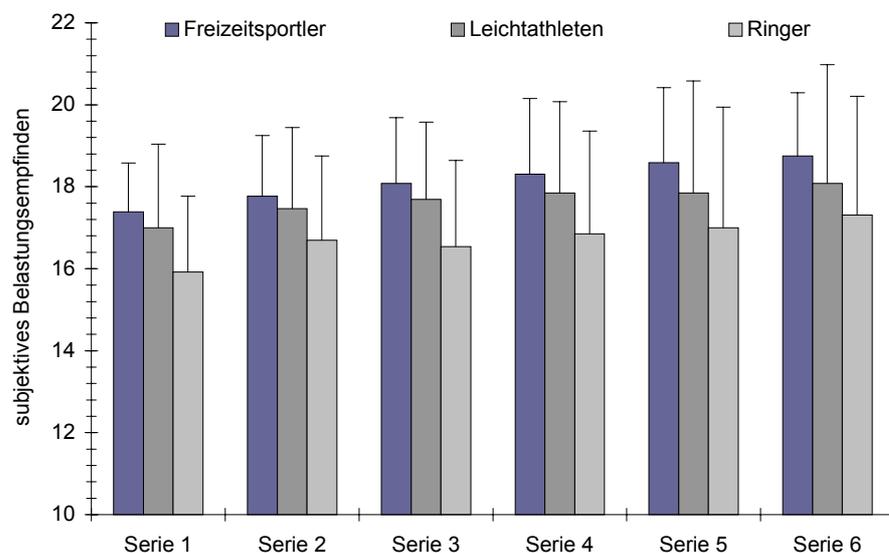


Abb. 29: Subjektives Belastungsempfinden (RPE) beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ kann zum subjektiven Belastungsempfinden konstatiert werden: Zwischen den einzelnen Serien besteht ein signifikanter Unterschied (H 1.3.9). Ein Gruppenunterschied (H 1.3.10) kann statistisch nicht belegt werden. Die Interaktion Gruppe x Serie ist nicht signifikant [$F_{(10; 175)} = 0,18$; $p = 0,99$; $\eta^2_p = 10,0\%$].

Die Hypothese H 1.3.10 wird verworfen

8.3 Ergebnisse zu den Treatmentvergleichen

8.3.1 Ergebnisse zu den Treatmentvergleichen auf der Belastungsebene über die einzelnen Serien

Die verrichtete physikalische Arbeit unterscheidet sich signifikant zwischen Belastungstreatment „konstante Last“ und Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(1; 75)} = 41,79$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 34,9\%$].

Die Hypothese H 2.1.1 wird angenommen

Die verrichtete physikalische Arbeit unterscheidet sich signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 375)} = 453,64$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 85,7\%$].

Die p-Werte der post hoc Einzelvergleichsprüfung sind in der folgenden Tab. wiedergegeben. Die Mittelwerte und dazugehörigen Standardabweichungen der verrichteten physikalischen Arbeit [Nm] der beiden Belastungstreatments über die 6 Serien sind in Abb. 30 dargestellt.

Tab. 47: p-Werte der Einzelvergleiche der verrichteten physikalischen Arbeit über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	$p < 0,001$					
Serie 3	$p < 0,001$	$p < 0,001$				
Serie 4	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,70$			
Serie 5	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,12$	$p = 0,92$		
Serie 6	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,05$	$p = 0,56$	$p = 0,99$	

In Tab. 48 ist die verrichtete Arbeit [Nm] der einzelnen Serien in Relation zur verrichteten Arbeit in der 1. Serie bei beiden Belastungstreatment wiedergegeben. Bildet man über alle 6 Serien die Summe der verrichteten Arbeit bei beiden Treatments, so wird beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“ [14897 ± 4156 Nm] signifikant mehr Arbeit verrichtet als beim Treatment „konstante Last“ [9974 ± 3474 Nm]. Der t-Wert liegt bei [$t_{(231; 0,05)} = -20,80$; $p = 0,00$]. Die Differenz über alle 6 Serien beträgt ca. 4900 [Nm] bzw. ca. 33 % (vgl. Abb. 31).

Tab. 48: Verrichtete Arbeit in den Serien 2 - 6 in Relation zur verrichteten Arbeit in der 1. Serie in Prozent

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Konstante Last	100 %	38,2 %	25,6 %	22,1 %	21,1%	20,2 %
Konstante Wdh.	100 %	60,1 %	47,5 %	44,8 %	41,5 %	39,7 %

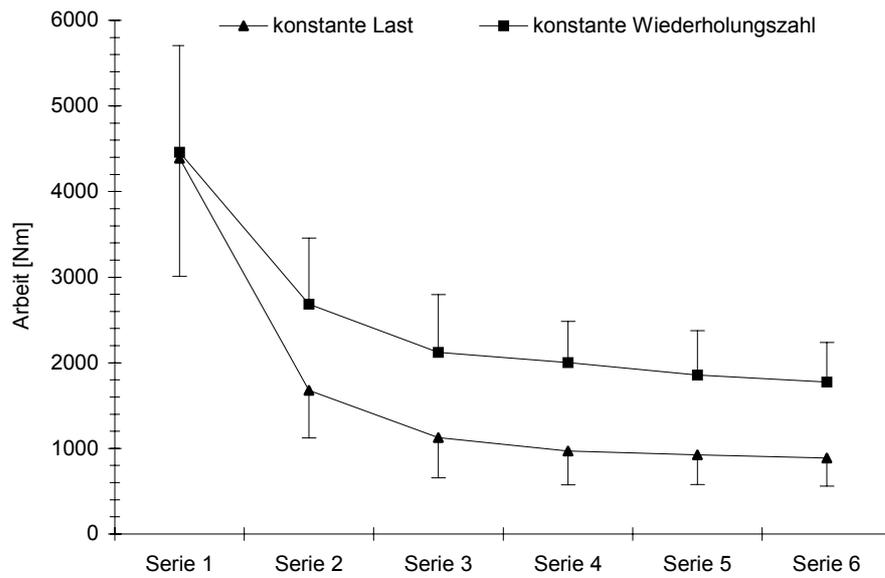


Abb. 30: Verrichtete physikalische Arbeit [Nm] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien

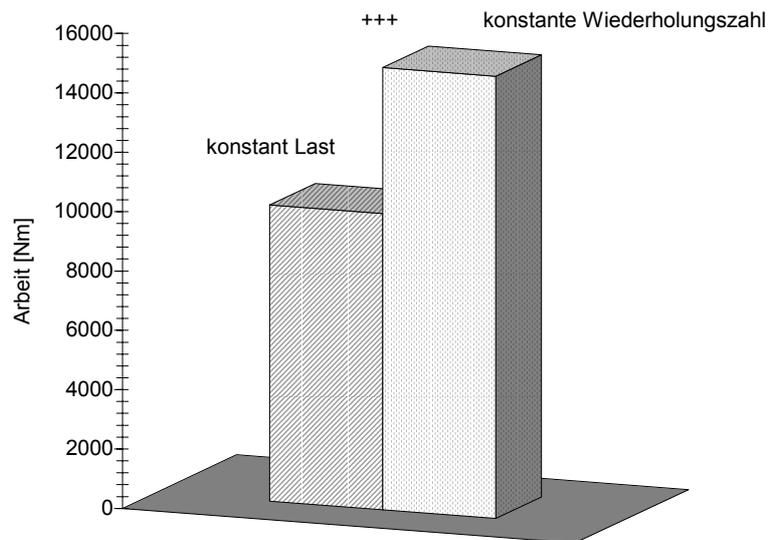


Abb. 31: Totale verrichtete physikalische Arbeit [Nm] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“

Die Hypothese H 2.1.2 wird angenommen

8.3.2 Ergebnisse zu den Treatmentvergleichen auf der Beanspruchungsebene über die einzelnen Serien

Der Laktatwert als Teilbeanspruchungsparameter des metabolischen Systems unterscheidet sich signifikant zwischen Belastungstreatment „konstante Last“ und Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(1; 73)} = 4,69$; $p < 0,05$; $\eta^2_p = 6,4 \%$].

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Δ Laktatkonzentrationen von Belastungstreatment „konstante Last“ und Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ sind in Abb. 32 dargestellt.

Die Hypothese H 2.2.1 wird angenommen

Der Laktatwert als Teilbeanspruchungsparameter des metabolischen Systems unterscheidet sich signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 365)} = 791,46$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 91,5 \%$].

Post hoc Einzelvergleichsprüfungen haben gezeigt, dass sich außer Serie 5 und Serie 6 [$p = 0,19$] alle Serien signifikant unterscheiden [$p < 0,05$].

Die mittlere Laktatkonzentration bei beiden Belastungstreatments liegt in der 1. Serie bei $3,0 \pm 0,9$ mmol/l, in der 2. Serie bei $4,8 \pm 0,9$ mmol/l, in der 3. Serie bei $5,6 \pm 0,9$ mmol/l, in der 4. Serie bei $6,0 \pm 1,0$ mmol/l, in der 5. Serie bei $6,2 \pm 1,1$ mmol/l und in der 6. Serie bei $6,4 \pm 1,1$ mmol/l.

Wie in Abb. 32 ersichtlich, liegt ab der 3. Serie die Δ Laktatkonzentration beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ ca. 0,3 - 0,9 mmol/l höher als beim Treatment „konstante Last“. Die Interaktion Treatment x Serie ist signifikant [$F_{(5; 365)} = 25,65$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 25,8 \%$]. Das Interaktionsdiagramm erlaubt eine globale Interpretation der Haupteffekte. Somit kann zur metabolischen Beanspruchungssituation konstatiert werden: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Belastungstreatments und dies über die einzelnen Serien hinweg.

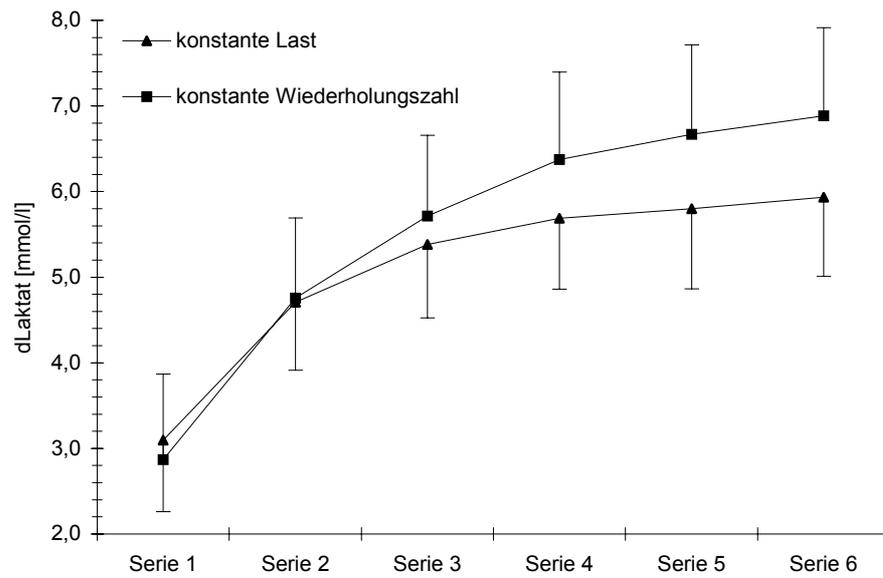


Abb. 32: Δ Laktat [mmol/l] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien

Die Hypothese H 2.2.2 wird angenommen

Der systolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich nicht signifikant zwischen Belastungstreatment „konstante Last“ und Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(1; 60)} = 0,26$; $p = 0,61$; $\eta^2_p = 3,1\%$].

Die Hypothese H 2.2.3 wird verworfen

Der systolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 300)} = 5,56$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 8,7\%$].

SCHEFFÉ-Einzelvergleiche zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen den Serien 1 und 4 [$p < 0,001$] sowie zwischen den Serien 4 und 5 [$p < 0,05$]. Die Interaktion Treatment x Serie ist nicht signifikant [$F_{(5; 300)} = 0,38$; $p = 0,86$; $\eta^2_p = 4,0\%$]. Der Variabilitätskoeffizient [V] beträgt beim Treatment „konstante Last“ 11,4 %, beim Treatment „konstante Wiederholungszahl“ 12,5 %. Die mittleren systolischen Blutdruckwerte bei beiden Belastungstreatments sind in Abb. 33 dargestellt.

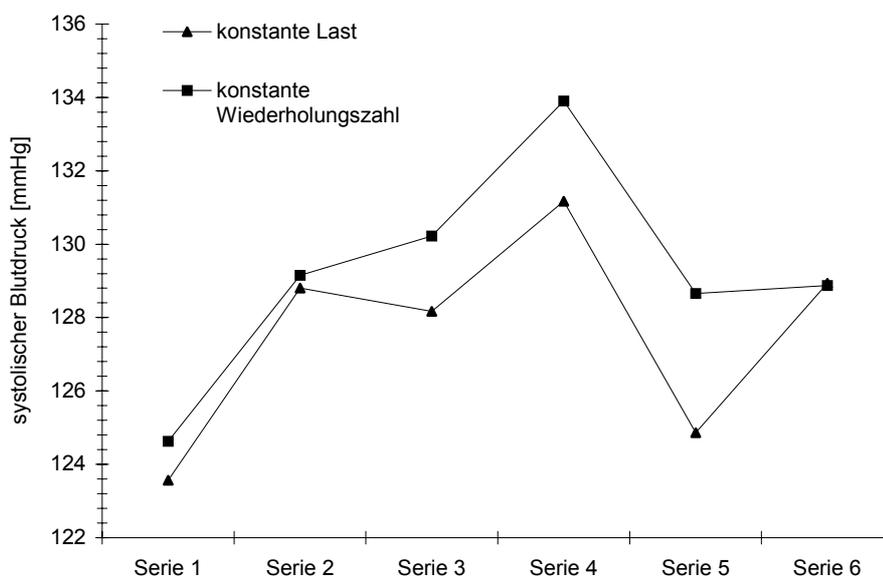


Abb. 33: Systolischer Blutdruck [mmHg] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien

Die Hypothese H 2.2.4 wird angenommen

Die Herzfrequenz als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich nicht signifikant zwischen Belastungstreatment „konstante Last“ und Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(1; 75)} = 0,33$; $p = 0,56$; $\eta^2_p = 0,4 \%$].

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ liegen die Herzfrequenzwerte ca. 3 - 6 Schläge pro Minute höher als beim Belastungstreatment „konstante Last“ (vgl. Tab. 49).

Die Hypothese H 2.2.5 wird verworfen

Die Herzfrequenz als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 375)} = 2,83$ $p < 0,05$; $\eta^2_p = 3,5 \%$].

Die p-Werte der Einzelfallprüfungen belaufen sich in Serie 1 und Serie 2 auf [$p < 0,05$]. In den weiteren Serien liegen die p-Werte [$p \geq 0,20$]. Die Mittelwerte und Standardabweichungen sowie das 95 %ige Konfidenzintervall der Herzfrequenzwerte sind in Tab. 49, für beide Belastungstreatments, wiedergegeben.

Tab. 49: Herzfrequenz [1/min] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“

		Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
„konstante Last“	Serie 1	145,2	23,6	137,5	152,9
	Serie 2	139,5	19,3	133,3	145,8
	Serie 3	140,4	19,2	134,2	146,6
	Serie 4	141,1	20,0	134,6	147,5
	Serie 5	140,7	19,4	134,4	147,0
	Serie 6	140,6	20,0	134,1	147,1
		Mittelw.	Stdabw.	Konf. -95 %	Konf. 95 %
„konstante Wdh.“	Serie 1	143,4	27,0	134,7	152,2
	Serie 2	140,8	24,4	132,9	148,7
	Serie 3	144,1	24,2	136,2	151,9
	Serie 4	145,5	23,8	137,7	153,2
	Serie 5	144,8	23,2	137,2	152,5
	Serie 6	146,3	22,7	138,8	153,7

Der Variabilitätskoeffizient [V] beträgt beim Belastungstreatment „konstante Last“ über die 6 Serien 14,3 % und beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ 16,8 %. Abb. 34 gibt die Herzfrequenzmittelwerte bei beiden Belastungsvorgaben über die 6 Serien wieder. Ab der 3. Serie liegt die Herzfrequenz bei „konstanter Wiederholungszahl“ ca. 5 - 6 Schläge pro Minute höher als bei „konstanter Last“.

Die Interaktion Treatment x Serie ist signifikant [$F_{(5; 375)} = 2,28$ $p < 0,05$; $\eta^2_p = 2,7$ %]. Die Interaktionsgraphen verlaufen gleichsinnig, so dass die Haupteffekte global interpretiert werden können. Es besteht mit [$p = 0,56$] kein signifikanter Unterschied zwischen den Treatments. Die einzelnen Serien unterscheiden sich signifikant mit [$p < 0,05$].

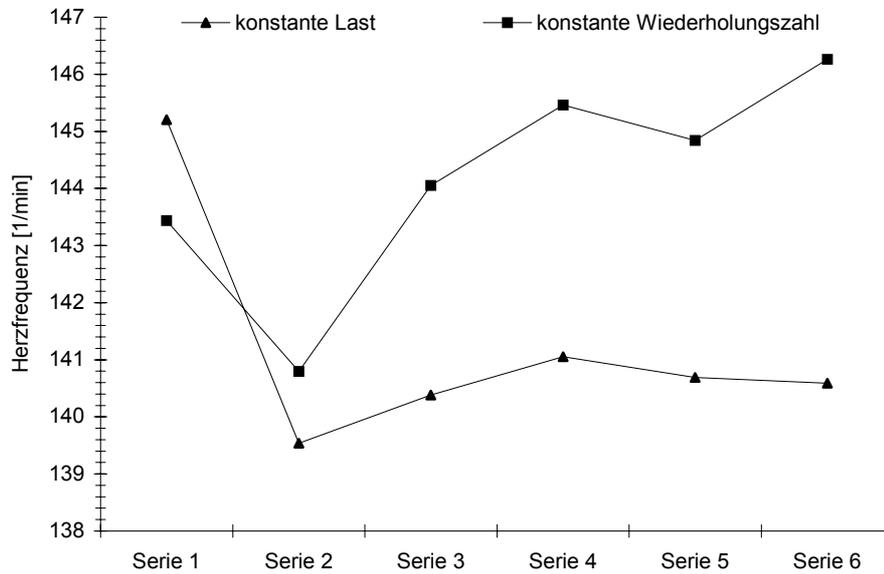


Abb. 34: Herzfrequenz [1/min] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien

Die Hypothese H 2.2.6 wird angenommen

Das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarfs unterscheidet sich nicht signifikant zwischen Belastungstreatment „konstante Last“ und Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(1; 60)} = 0,76$; $p = 0,39$; $\eta^2_p = 1,0 \%$].

Die Hypothese H 2.2.7 wird verworfen

Das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarfs unterscheidet sich signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 300)} = 2,37$; $p < 0,05$; $\eta^2_p = 4,0 \%$].

Die p-Werte der post hoc Einzelvergleichsprüfungen (SCHEFFÉ-Test) sind in Tab. 50 wiedergegeben. Der Variabilitätskoeffizient [V] beträgt beim Belastungstreatment „konstante Last“ über die einzelnen Serien 19,4 % und beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ 20,8 %.

Tab. 50: p-Werte der Einzelvergleiche des Doppelprodukts über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	p = 0,99					
Serie 3	p = 0,97	p = 0,98				
Serie 4	p = 0,16	p = 0,21	p = 0,62			
Serie 5	p = 0,99	p = 1,00	p = 0,98	p = 0,20		
Serie 6	p = 0,86	p = 0,91	p = 0,99	p = 0,84	p = 0,89	

Die Interaktion Treatment x Serie ist nicht signifikant [$F_{(5; 300)} = 1,79$; $p = 0,12$; $\eta^2_p = 2,6 \%$]. Zum Hypothesenkomplex myokardialer Sauerstoffbedarf ist zu konstatieren: Zwischen den beiden Belastungstreatments „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ besteht kein signifikanter Unterschied. Bei beiden Treatments unterscheiden sich jedoch die einzelnen Serien signifikant voneinander (vgl. Abb. 35).

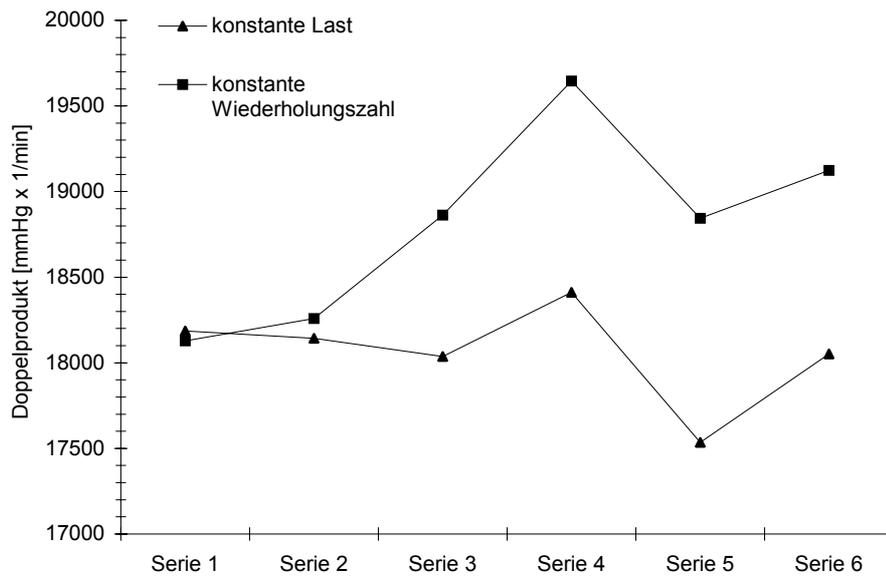


Abb. 35: Doppelprodukt [mmHg x 1/min] beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien

Die Hypothese H 2.2.8 wird angenommen

Das subjektive Belastungsempfinden unterscheidet sich nicht signifikant zwischen Belastungstreatment „konstante Last“ und Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ [$F_{(1; 75)} = 0,93$; $p = 0,34$; $\eta^2_p = 1,5\%$].

Abb. 36 zeigt die Mittelwerte der subjektiven Belastungseinschätzung bei beiden Belastungstreatments über die Serien. Die Mittelwerte beim Belastungstreatment „konstante Last“ liegen, außer in der 1. Serie, höher als beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“.

Die Hypothese H 2.2.9 wird verworfen

Das subjektive Belastungsempfinden unterscheidet sich signifikant zwischen den einzelnen Serien [$F_{(5; 375)} = 29,06$; $p < 0,001$; $\eta^2_p = 27,4\%$].

Die p-Werte der Einzelvergleichsprüfungen (SCHEFFÉ-Test) sind in Tab. 51 wiedergegeben.

Tab. 51: p-Werte der Einzelvergleiche der subjektiven Belastungseinschätzung über die einzelnen Serien

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6
Serie 1						
Serie 2	$p < 0,001$					
Serie 3	$p < 0,001$	$p = 0,82$				
Serie 4	$p < 0,001$	$p = 0,06$	$p = 0,68$			
Serie 5	$p < 0,001$	$p < 0,01$	$p = 0,23$	$p = 0,98$		
Serie 6	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,01$	$p = 0,46$	$p = 0,89$	

Die Interaktion Treatment x Serie ist nicht signifikant [$F_{(5; 375)} = 1,43$; $p = 0,21$; $\eta^2_p = 2,0\%$]. Zusammenfassend kann zum subjektiven Belastungsempfinden (H 2.2.9 und H 2.2.10) festgestellt werden: Das subjektive Belastungsempfinden unterscheidet sich nicht zwischen den Treatments. Zwischen den einzelnen Serien besteht ein statistisch signifikanter Unterschied.

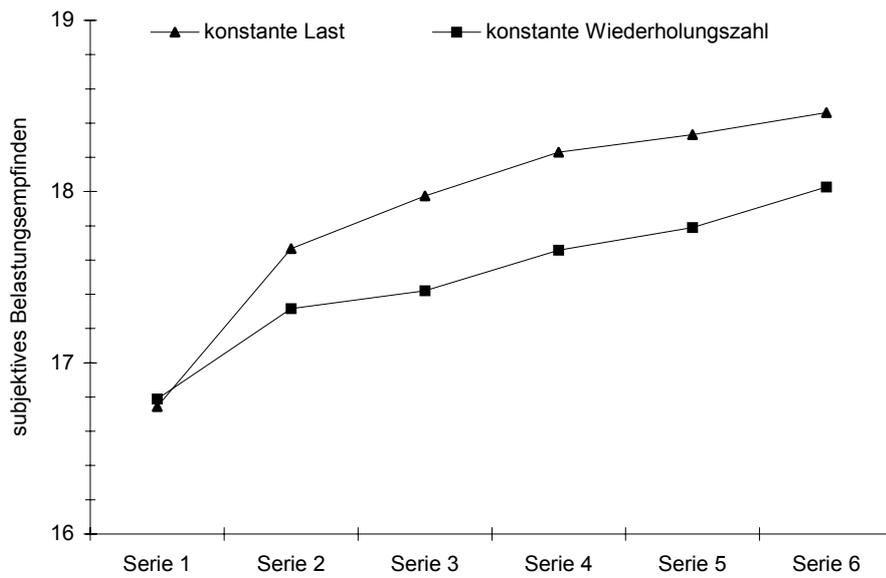


Abb. 36: Subjektives Belastungsempfinden (RPE) beim Belastungstreatment „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ über die 6 Serien

Die Hypothese H 2.2.10 wird angenommen

8.4 Ergebnisse zu den Gruppen- und Treatmentvergleichen in der Nachbelastungsphase

Die Ergebnisse zu den Gruppen- und Treatmentvergleichen in der Nachbelastungsphase beziehen sich auf die Beanspruchungsgrößen Laktat, systolischer Blutdruck, Herzfrequenz und Doppelprodukt. Die Beanspruchungsgrößen wurden 1 Minute (1'p) und 3 Minuten (3'p) nach Belastungsende erhoben. Die Mittelwerte und Standardabweichungen, die F- bzw. t-Werte sowie die entsprechenden p-Werte sind in den jeweiligen Tabellen enthalten.

8.4.1 Ergebnisse zu den Gruppenvergleichen in der Nachbelastungsphase

Die Ergebnisse der Beanspruchungsgrößen (Laktat, systolischer Blutdruck, Herzfrequenz und Doppelprodukt) in der Nachbelastungsphase bei den Belastungsvorgaben 60 % 1-RM bzw. 20 Wiederholungen von den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer) sind in Tab. 52 und Tab. 53 wiedergegeben. Außerdem Beanspruchungsparameter Δ Laktat beim Belastungstreatment (60 % 1-RM) [$p < 0,05$] unterscheiden sich die weiteren Beanspruchungsparameter nicht signifikant in der Nachbelastungsphase zwischen den einzelnen Gruppen.

Tab. 52: Beanspruchungsgrößen in der Nachbelastungsphase beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

	FS ($\bar{x} \pm s$)	LA ($\bar{x} \pm s$)	RI ($\bar{x} \pm s$)	F	p
Δ Laktat 1'p	6,0 \pm 1,0	7,0 \pm 0,8	6,2 \pm 0,8	4,76	p < 0,05
Δ Laktat 3'p	5,9 \pm 1,0	7,0 \pm 0,9	6,1 \pm 0,9	5,03	p < 0,05
Sys. Blutdruck 1'p	124,3 \pm 12,4	134,8 \pm 11,8	134,8 \pm 15,9	2,46	p = 0,10
Herzfrequenz 1'p	106,8 \pm 12,4	107,8 \pm 13,3	105,4 \pm 17,0	0,09	p = 0,91
Herzfrequenz 3'p	99,2 \pm 12,8	100,7 \pm 12,6	97,8 \pm 14,7	0,15	p = 0,86
Doppelprodukt 1'p	13170 \pm 2086	14463 \pm 1607	14308 \pm 3494	0,95	p = 0,39

Tab. 53: Beanspruchungsgrößen in der Nachbelastungsphase beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

	FS ($\bar{x} \pm s$)	LA ($\bar{x} \pm s$)	RI ($\bar{x} \pm s$)	F	p
Δ Laktat 1'p	7,0 \pm 0,8	7,8 \pm 1,2	7,3 \pm 1,0	1,68	p = 0,20
Δ Laktat 3'p	7,0 \pm 0,8	7,7 \pm 1,2	7,2 \pm 1,0	1,43	p = 0,25
Sys. Blutdruck 1'p	124,7 \pm 13,2	134,8 \pm 13,9	130,0 \pm 8,7	0,94	p = 0,40
Herzfrequenz 1'p	113,2 \pm 14,9	112,1 \pm 13,6	107,3 \pm 17,9	0,51	p = 0,61
Herzfrequenz 3'p	104,0 \pm 15,0	102,7 \pm 11,6	97,6 \pm 16,1	0,70	p = 0,50
Doppelprodukt 1'p	14259 \pm 2737	14758 \pm 2106	14309 \pm 2883	0,14	p = 0,87

8.4.2 Ergebnisse zu den Treatmentvergleichen in der Nachbelastungsphase

Die Ergebnisdarstellung der Beanspruchungsgrößen (Laktat, systolischer Blutdruck, Herzfrequenz und Doppelprodukt) in der Nachbelastungsphase von den beiden Treatments („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) ist in Tab. 54 wiedergegeben.

Tab. 54: Beanspruchungsgrößen in der Nachbelastungsphase bei den beiden Treatments („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“)

	„konst. Last“ ($\bar{x} \pm s$)	„konst. Wdh.“ ($\bar{x} \pm s$)	t	p
ΔLaktat 1´p	6,4 ± 1,0	7,4 ± 1,0	-7,56	p < 0,001
ΔLaktat 3´p	6,3 ± 1,0	7,3 ± 1,0	-6,78	p < 0,001
Sys. Blutdruck 1´p	132,1 ± 13,9	129,3 ± 12,1	1,28	p = 0,21
Herzfrequenz 1´p	106,9 ± 14,1	110,8 ± 15,4	-2,62	p < 0,05
Herzfrequenz 3´p	99,5 ± 13,1	101,4 ± 14,2	-1,60	p = 0,12
Doppelprodukt 1´p	14232 ± 2540	14467 ± 2501	-0,78	p = 0,44

Wie aus Tab. 54 zu entnehmen ist, unterscheidet sich die ΔLaktatkonzentration als Beanspruchungsparameter des metabolischen Systems in der 1. und 3. Nachbelastungsminute zwischen den Treatments „konstante Last“ und „konstante Wiederholungszahl“. Die Herzfrequenz als Beanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems differiert in der 1. Nachbelastungsminute zwischen den beiden Treatmentbedingungen. In der 3. Nachbelastungsminute besteht kein Unterschied zwischen den Belastungstreatments.

9 Ergebnisszusammenfassung

Die Zusammenfassung der Ergebnisse ist angelehnt an die inhaltliche Gliederung der operationalen Hypothesen sowie der Darstellung der Ergebnisse. Somit werden anfangs die Ergebnisse der Ausgangsniveaumessungen zusammengefasst. Im Weiteren wird auf die Gruppen- sowie auf die Treatmentvergleiche (Trainingsmethoden) im Überblick eingegangen. Im Anschluss daran folgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Gruppen- und Treatmentvergleichen in der Nachbelastungsphase. Das Kapitel endet mit einem Resümee.

9.1 Ergebnisszusammenfassung zu den Ausgangsniveaumessungen

Um einen Gruppen- bzw. Treatmentvergleich anstellen zu können, müssen in einem ersten Schritt die jeweiligen, zu Grunde liegenden Annahmebedingungen geprüft werden. D. h., um die Gruppen- bzw. Treatmentvergleiche möglichst kausal erklären zu können, müssen die Antezedensbedingungen hinreichend erfüllt sein. Bezogen auf die äußere Belastung kann man daraus ableiten, dass sich die konzentrische Maximalkraft und die Relativkraft zwischen den Freizeitsportlern und den Leistungssportlern unterscheiden sollte und dass zwischen den Belastungstreatments kein Unterschied bestehen sollte. Bezogen auf die einzelnen Teilbeanspruchungsparameter sollte weder ein Gruppenunterschied noch ein Unterschied zwischen den Messzeitpunkten („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) in Ruhe auszumachen sein. Aus der folgenden Auflistung ist zu entnehmen, dass alle Annahmebedingungen erfüllt wurden (vgl. Hypothese H 0.1.1 - H 0.5.2). Die Gruppenvergleiche (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer) und Treatmentvergleiche („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) können somit entsprechend interpretiert werden.

- Die konzentrische Maximalkraft und die Relativkraft unterscheiden sich sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“ als auch beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ zwischen den Gruppen. Die Messzeitpunkte „konstante Last“ und „konstante Wiederholungszahl“ unterscheiden sich nicht.
- Der Laktatwert als Teilbeanspruchungsparameter des metabolischen Systems unterscheidet sich weder zwischen den Gruppen noch zwischen den Treatments in Ruhe.
- Der systolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich weder zwischen den Gruppen noch zwischen den Treatments in Ruhe.
- Der diastolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich weder zwischen den Gruppen noch zwischen den Treatments in Ruhe.

- Die Herzfrequenz als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich weder zwischen den Gruppen noch zwischen den Treatments in Ruhe.
- Das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarfs unterscheidet sich weder zwischen den Gruppen noch zwischen den Treatments in Ruhe.

Wie aus der Tab. 17 und Tab. 18 entnommen werden kann, liegen alle Teilbeanspruchungsparameter (Laktat, Blutdruck, Herzfrequenz, Doppelprodukt) in Ruhe in einem Normbereich und zeigen keinerlei Auffälligkeiten (vgl. APPELL et al. 2001; ÅSTRAND/RODAHL 1986; DE MARÉES 1996; HOLLMANN/HETTINGER 2000; KENT 1996; NÖCKER 1980).

9.2 Ergebniszusammenfassung zu den Gruppenvergleichen

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) kommt es zu einer signifikanten Reduktion der realisierten Wiederholungen über die Serien (vgl. Abb. 15). Die Wiederholungszahlen unterscheiden sich dabei signifikant zwischen den Gruppen. Die Gruppe der Ringer realisiert bei deduzierter Belastungsintensität signifikant mehr Wiederholungen als die Gruppe der Freizeitsportler und Leichtathleten. Die verrichtete physikalische Arbeit reduziert sich signifikant über die Serien. Die Reduktion bezieht sich hauptsächlich auf die beiden ersten Serien. Zwischen den drei Gruppen besteht ein signifikanter Unterschied (vgl. Abb. 16). Die Leistungssportler (Leichtathleten und Ringer) verrichten signifikant mehr physikalische Arbeit als die Freizeitsportler.

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) kommt es zu einer signifikanten Reduktion der bewältigten Last über die Serien. Die Reduktion bezieht sich hauptsächlich auf die beiden ersten Serien. Die bewältigte Last unterscheidet sich signifikant zwischen den Gruppen. Die Gruppe der Freizeitsportler unterscheidet sich von der Gruppe der Leistungssportler. Die Leistungssportler (Ringer vs. Leichtathleten) unterscheiden sich bezüglich dieser Messgröße nicht. Die verrichtete physikalische Arbeit reduziert sich signifikant über die Serien. Die Reduktion bezieht sich hauptsächlich auf die beiden ersten Serien. Zwischen den drei Gruppen besteht ein signifikanter Unterschied. Die Leistungssportler (Leichtathleten und Ringer) verrichten signifikant mehr physikalische Arbeit als die Freizeitsportler. Ein Unterschied zwischen der Gruppe der Leichtathleten und der Gruppe der Ringer besteht nicht (vgl. Abb. 18).

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) unterscheidet sich der Laktatwert als Teilbeanspruchungsparameter des metabolischen Systems signifikant zwischen den einzelnen Serien. Zwischen den drei Gruppen besteht kein signifikanter Unterschied, wobei die Irrtumswahrscheinlichkeit mit $[p = 0,07]$ knapp verfehlt wird. Die Laktatkonzentration in der Gruppe der Leichtathleten ist ca. 0,6 mmol/l höher als in den beiden anderen Gruppen. Der systolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter unterscheidet sich ebenfalls signifikant zwischen den Serien.

parameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich signifikant zwischen den einzelnen Serien. Zwischen den Gruppen konnte kein Unterschied festgestellt werden. Die systolischen Blutdruckwerte der Leichtathleten liegen tendenziell am höchsten. Die Herzfrequenz als weiterer Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich signifikant zwischen den Serien. Ein Gruppenunterschied ist nicht zu konstatieren. Tendenziell ist die Herzfrequenz der Ringer ca. 6 - 7 Schläge pro Minute niedriger als die Herzfrequenz der Freizeitsportler und Leichtathleten (vgl. Abb. 22). Das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarfs unterscheidet sich weder zwischen den einzelnen Serien noch zwischen den drei Gruppen. Im Trend liegt das Doppelprodukt bei den Leichtathleten über die einzelnen Serien am höchsten. Das subjektive Belastungsempfinden verändert sich signifikant über die Serien wobei sich die drei Gruppen statistisch nicht voneinander unterscheiden. Die subjektive Belastungseinschätzung wird von der Gruppe der Ringer bei gleicher deduzierte Belastungsintensität geringer vorgenommen.

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) unterscheidet sich der Laktatwert als Teilbeanspruchungsparameter des metabolischen Systems signifikant zwischen den einzelnen Serien. Ein Gruppenunterschied kann statistisch nicht belegt werden [$p = 0,08$]. Die Laktatkonzentration in der Leichtathletikgruppe liegt über alle Serien ca. 0,7 mmol/l höher als in der Gruppe der Freizeitsportler und der Gruppe der Ringer. Der systolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich signifikant zwischen den Serien. Ein Gruppenunterschied ist nicht festzustellen. Die Herzfrequenz als weiterer kardiovaskulärer Teilbeanspruchungsparameter unterscheidet sich weder zwischen den einzelnen Serien noch zwischen den drei Gruppen. Die Gruppe der Ringer besitzt eine um ca. 10 Schläge pro Minute geringere Herzfrequenz über die Serien als die Gruppe der Freizeitsportler und der Leichtathleten (vgl. Abb. 27). Das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarfs unterscheidet sich über die Serien. Ein Gruppenunterschied liegt nicht vor. Die subjektive Belastungseinschätzung unterscheidet sich zwischen den einzelnen Serien. Ein Gruppenunterschied ist statistisch nicht zu konstatieren. Die subjektive Belastungseinschätzung in der Gruppe der Ringer ist, im Vergleich zu den Freizeitsportlern und den Leichtathleten, geringer (vgl. Abb. 29).

9.3 Ergebnisszusammenfassung zu den Treatmentvergleichen

Die verrichtete physikalische Arbeit, als Parameter, welcher beide Treatments auf der Belastungsebene vergleichbar macht, unterscheidet sich sowohl zwischen den Belastungstreatments „konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“ als auch zwischen den einzelnen Serien signifikant. Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ wird über die Serien signifikant mehr physikalische Arbeit verrichtet als beim Belastungstreatment „konstante Last“. Die Differenz zwischen den beiden Be-

lastungstreatments beträgt ca. 33 % (vgl. Abb. 31). Der Laktatwert als Teilbeanspruchungsparameter des metabolischen Systems, unterscheidet sich sowohl zwischen den beiden Belastungstreatments als auch zwischen den einzelnen Serien signifikant. Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ wird über die Serie mehr Laktat akkumuliert als beim Belastungstreatment „konstante Last“. Der systolische Blutdruck als Teilbeanspruchungsparameter des kardiovaskulären Systems unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Belastungstreatments. Zwischen den Serien besteht ein signifikanter Unterschied. Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ liegt der systolische Blutdruck tendenziell höher. Die Herzfrequenz als weiterer kardiovaskulärer Teilbeanspruchungsparameter unterscheidet sich nicht zwischen den Belastungstreatments. Zwischen den einzelnen Serien besteht ein signifikanter Unterschied. Ab der 3. Serie liegt die Herzfrequenz beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ ca. 5 - 6 Schläge pro Minute höher als beim Belastungstreatment „konstante Last“. Das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarfs unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Belastungstreatments. Zwischen den einzelnen Serien besteht ein signifikanter Unterschied. Ab der 3. Serie liegt das Doppelprodukt beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ ca. 900 - 1200 mmHg x 1/min bzw. ca. 5 % höher als bei Belastungstreatment „konstante Last“. Das subjektive Belastungsempfinden unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Belastungstreatments. Über die Serien kommt es zu einem nahezu parallelen signifikanten Anstieg des subjektiven Belastungsempfindens. Beim Belastungstreatment „konstante Last“ ist das subjektive Belastungsempfinden tendenziell höher.

9.4 Ergebnisszusammenfassung zu den Gruppen- und Treatmentvergleichen in der Nachbelastungsphase

Beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) unterscheidet sich der Δ Laktatwert in der 1. und 3. Nachbelastungsminute zwischen den drei Gruppen. Der systolische Blutdruck, die Herzfrequenz und das Doppelprodukt unterscheiden sich nicht signifikant. Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) unterscheidet sich der Laktatwert, der systolische Blutdruck, die Herzfrequenz und das Doppelprodukt nicht signifikant in der Nachbelastungsphase.

In der 1. und 3. Nachbelastungsminute liegt die Δ Laktatkonzentration bei Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ signifikant höher als beim Belastungstreatment „konstante Last“. Der systolische Blutdruck und das Doppelprodukt unterscheiden sich nicht signifikant in der Nachbelastungsphase. In der 1. Nachbelastungsminute liegt die Herzfrequenz beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ signifikant höher als beim Belastungstreatment „konstante Last“. In der 3. Nachbelastungsminute ist kein statistischer Unterschied nachweisbar.

9.5 Resümee

Um Schlussfolgerungen zwischen verschiedenen Gruppen und Treatments ziehen zu können, sollte gewährleistet sein, dass die Stichproben vor der Untersuchung in Bezug auf alle untersuchungsrelevanten Merkmale vergleichbar bzw. äquivalent sind (vgl. BORTZ/DÖRING 1995, 489f.). D. h., die interne Validität ist eingeschränkt, wenn sich die Probanden der Stichproben nicht nur bezüglich der unabhängigen Variablen, sondern auch in Bezug auf weitere, mit der abhängigen Variablen zusammenhängende Merkmale unterscheiden. Aus diesem Grunde wurden die abhängigen Variablen (vgl. Variablenstichprobe) zu Beginn der Untersuchung auf Unterschiede geprüft. Wie aus den Untersuchungsergebnissen zu den Ausgangsniveaumessungen zu entnehmen ist, sind alle Annahmen (vgl. Kapitel 6.1.1 und 6.1.2) hinreichend erfüllt (vgl. Kapitel 8.1).

Die Gruppenunterschiede bezüglich der äußeren Belastung können wie folgt zusammengefasst werden: Beim Belastungstreatment „konstante Last“ (60 % 1-RM) kommt es zu einer Reduktion der realisierten Wiederholungen bzw. der verrichteten physikalischen Arbeit über die einzelnen Serien (vgl. Kapitel 8.2.1). Des Weiteren unterscheiden sich die drei Gruppen bezüglich der Reduktion der realisierten Wiederholungen bzw. der verrichteten physikalischen Arbeit. Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) kommt es zu einer Reduktion der bewältigten Last bzw. der verrichteten physikalischen Arbeit über die einzelnen Serien. Bezüglich der Reduktion der bewältigten Last bzw. der verrichteten physikalischen Arbeit unterscheiden sich die drei Gruppen. Die Teilbeanspruchungsparameter Laktat, systolischer Blutdruck, Herzfrequenz sowie subjektive Belastungseinschätzung verändern sich über die einzelnen Serien beim Belastungstreatment „konstante Last“. Ein Gruppenunterschied kann statistisch nicht verifiziert werden. Das Doppelprodukt als Teilbeanspruchungsparameter des myokardialen Sauerstoffbedarfs unterscheidet sich weder zwischen den Serien noch zwischen den Gruppen. Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ verändert sich die Δ Laktatkonzentration, der systolische Blutdruck, das Doppelprodukt sowie die subjektive Belastungseinschätzung über die einzelnen Serien. Ein Gruppenunterschied ist statistisch nicht zu belegen. Die Herzfrequenz unterscheidet sich weder zwischen den Serien noch zwischen den Gruppen. Die Treatmentunterschiede bezüglich der äußeren Belastung können wie folgt zusammengefasst werden: Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ wird über die einzelnen Serien signifikant mehr physikalische Arbeit verrichtet als beim Belastungstreatment „konstante Last“. Der Unterschied beträgt ca. 33 %. Die Laktatkonzentration spiegelt diesen Belastungsunterschied auf der Ebene der metabolischen Beanspruchung recht gut wider. So akkumuliert das Laktat über die Serien und liegt beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ signifikant höher als beim Belastungstreatment „konstante Last“ (vgl. Abb. 32). Der systolische Blutdruck, die Herzfrequenz, das Doppelprodukt sowie die subjektive Belastungseinschätzung un-

terscheiden sich nicht zwischen den beiden Belastungstreatments. Ein Unterschied besteht jedoch zwischen den einzelnen Serien. In der 1. und 3. Nachbelastungsminute unterscheidet sich die Laktatkonzentration beim Belastungstreatment „konstante Last“ zwischen den Gruppen. Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ wird in der Nachbelastungsphase signifikant mehr Laktat akkumuliert als beim Belastungstreatment „konstante Last“.

10 Diskussion und Ausblick

In der vorliegenden Untersuchung sollte auf der Grundlage des phänomenorientierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes der Nachweis erbracht werden, dass in Abhängigkeit von individuellen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften gleiche Belastungen zu unterschiedlichen Beanspruchungen führen (vgl. POLLMANN 1993; ROHMERT 1983, 1984; SCHÖNPFLUG 1987). Dargestellt an der Belastungs- bzw. Reizkonfiguration der Trainingsmethodik, zur Entwicklung der Kraftausdauer, wurde bei deduzierter Belastungsintensität bzw. vorgegebener Wiederholungszahl die Belastung als auch die Teilbeanspruchung des metabolischen, kardiovaskulären, myokardialen Systems sowie der subjektiven Belastungseinschätzung analysiert.

Ehe die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchung diskutiert und einem Ausblick unterzogen werden, soll an dieser Stelle auf eine im Anschluss an die Querschnittsuntersuchung durchgeführte explorative Studie hingewiesen werden. Ziel und Zweck dieser a posteriori Längsschnittstudie war einerseits eine empirische Überprüfung der Effektivität der verwendeten Belastungstreatments (Trainingsmethoden), andererseits sollte die Belastungs-Beanspruchungs-Situation während einer Trainings- und Detrainingsphase dokumentiert werden, um daraus eventuelle Schlussfolgerungen für die Praxis ableiten zu können. Diese zusätzlichen Informationen könnten dann im Sinne einer Optimierung der Belastungsgestaltung im Kraftausdauertraining eingesetzt werden.

10.1 Diskussion der Gruppen- und Treatmentvergleiche auf der Belastungs- und Beanspruchungsebene

Wie aus dem Kapitel 8.2.1 und entnommen werden kann, kommt es je nach Belastungstreatment („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) zu einem Abfall bzw. einer Reduktion der jeweiligen abhängigen Variablen (Wiederholungszahl vs. Last) über die Serien. Gleiches ist für die physikalische Arbeit zu konstatieren. Somit stehen diese Untersuchungsergebnisse im Einklang mit den Ergebnissen von FRÖHLICH et al. (2001a; 2001b) zum Kraftausdauertraining (50 % 1-RM vs. 25 Wdh.) und FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH (2002a) zum Muskelaufbautraining (85 % 1-RM vs. 8 Wdh.). Darüber hinaus kommt es jedoch nicht nur zu einem Abfall bzw. einer Reduktion der Parameter Wiederholungszahl, Last, physikalische Arbeit über die Serien, sondern es konnte ein signifikanter Gruppenunterschied manifestiert werden. Des Weiteren ist auffallend, dass die Parameter Wiederholungszahl, Last und physikalische Arbeit sich hauptsächlich in den ersten drei Serien verringern, während in den folgenden Serien ein annäherndes Plateau erreicht wird.

Detailliert betrachtet konnte die kraftausdauerspezifisch trainierte Gruppe der Ringer in dem für die Kraftausdauer relevanten Trainingsbereich von 60 % 1-RM, signifikant mehr Wiederholungen über alle

6 Serien bewältigen als die beiden anderen Gruppen. Die schnellkraft- bzw. explosivkraftspezifisch trainierte Gruppe der Leichtathleten bewältigte etwa die gleiche Anzahl an Wiederholungen bei 60 % 1-RM über die Serien wie die Gruppe der Freizeitsportler. Geht man davon aus, dass spezifische Trainingsreize zu spezifischen Adaptationen führen (Specific Adaptations to Imposed Demands principle SAID) sind die gefundenen Ergebnisse nicht nur plausibel, sondern geradezu das Wesen des jeweiligen Trainings (vgl. KENT 1996; SALE/MACDOUGALL 1981; SEMMLER/ENOKA 2000). Während Ringer einen Großteil des Krafttrainings im Kraftausdauerbereich absolvieren (vgl. HASEGAWA et al. 2002) bzw. die Sportart Ringen generell zu den kraftausdauerorientierten Sportarten zählt (vgl. JOST/RUCH/SCHREY 2001), zielt das Krafttraining bei Leichtathleten in der Regel auf eine Verbesserung der Schnelligkeit bzw. der Schnell- und/oder Explosivkraft ab (vgl. Rahmentrainingsplan des DLV 1993). Hierbei kommen verstärkt Maximalkrafttrainingsmethoden zur Vergrößerung des Muskelquerschnitts bzw. zur Verbesserung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit zur Anwendung (vgl. PAMPUS 1995; SCHMIDTBLEICHER 1992). D. h., bei den spezifischen Trainingsmethoden der Leichtathleten ist die Belastungsintensität deutlich höher (ca. 75 - 95 %) und die Wiederholungszahl in der Serie ist reduziert (ca. 5 - 10 Wdh.), wobei die Serienpause wiederum verlängert ist (> 2 - 3 Minuten).

Vergegenwärtigt man sich diese spezifischen Adaptationen, so verwundert es nicht, dass die Gruppe der Ringer einen gestreckteren Kurvenverlauf speziell ab der 3. Serie produziert und, dass sich die Gruppe der Freizeitsportler (kein spezifisches Krafttraining) über die Serien den Wiederholungszahlen der Leichtathleten annähert. Bereits 1993 wurde von BAYER/RAMLOW auf die ausgesprochene Variabilitätsspezifität des Zusammenhangs von gehobener Last und möglicher Wiederholungszahl hingewiesen, wobei sich insbesondere für Ausdauersportler ein wesentlich gestreckterer Kurvenverlauf zeigt. Selbst ZATSIORSKY (1996, 108) weist darauf hin, dass keine feste Beziehung zwischen der Größe der gehobenen Last (als prozentuales Verhältnis von F_{mm} bei relevanten Bewegungen) und der Wiederholungszahl bis zum Abbruch RM besteht. Vielmehr variiert dieses Verhältnis bei verschiedenen Sportlern und Bewegungen (vgl. Abb. 37). Ferner ist festzustellen, dass ein bestimmter Prozentsatz von 1-RM bei verschiedenen Hebeleistungen nicht immer der gleichen Anzahl von Wiederholungen bis zum Abbruch entspricht (ZATSIORSKY 1996, 108). So ist zu vermuten, dass die mögliche Anzahl an Wiederholungen für eine feste prozentuale Belastungsintensität typabhängig ist (Schnellkrafttyp vs. Ausdauerart) und vom Trainingszustand beeinflusst wird (BUSKIES 1999b, 183). BUSKIES/BOECKH-BEHRENS (1999) verweisen zusätzlich auf den Einfluss der Maximalkraft auf das Verhältnis von Wiederholungszahl und Belastungs-/Reizintensität. Gleiches konnte in dieser Untersuchung empirisch belegt werden (vgl. Kapitel 8.2.1).

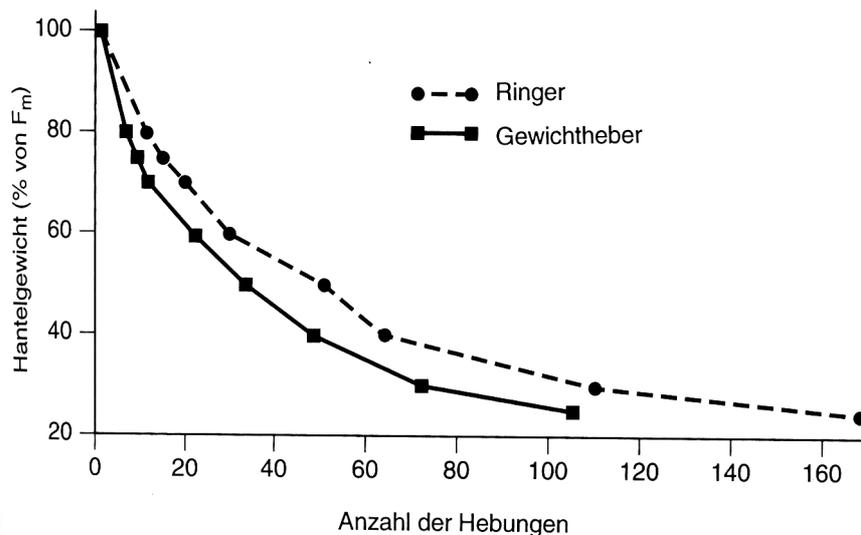


Abb. 37: Abhängigkeit der maximalen Wiederholungsanzahl bis zum Abbruch (RM, Abszisse) vom gehobenen Gewicht (% F_m Ordinate) beim Bankdrücken. Probanden: je ein Spitzensportler im Ringen (eher Kraftausdauer) und Gewichtheben (eher Maximalkraft). Die Bankdrückversuche waren jeweils 2,5 sec auszuführen. (n. ZATSIORSKY/KULIK/SMIRNOV 1968. In: ZATSIORSKY 1996, 109)

Trainingsmethoden zur Entwicklung der Kraftausdauer werden im Allgemeinen charakterisiert durch eine Belastungsintensität von ca. 50 - 60 % 1-RM, 20 - 40 Wiederholungen pro Serie und einer Serienpause von 0,5 - 1 Minute. Insgesamt sollen ca. 6 - 8 Serien pro Muskelgruppe durchgeführt werden (vgl. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999; HARRE 1986; MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993; SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997).

Wie bereits für das Kraftausdauertraining (50 % 1-RM vs. 25 Wdh.) und das Hypertrophietraining (85 % 1-RM vs. 8 Wdh.) gezeigt werden konnte, kommt es auch in dieser Studie bei deduzierter Belastungsintensität zu einer variablen Wiederholungsanzahl über die einzelnen Serien. Diese Variabilität zeigt sich sowohl individuell als auch intraindividuell sowie für die verschiedenen Gruppen (vgl. Abb. 15). So werden in der ersten Serie durchschnittlich $21,2 \pm 3,4$ Wdh. durchgeführt, wobei die Spannweite von 11 bis 29 Wdh. reicht. In der dritten Serie werden im Mittel $5,4 \pm 1,8$ Wdh. mit einer Spannweite von 3 bis 11 durchgeführt. In der abschließenden 6. Serie liegt die mittlere Wiederholungszahl bei $4,3 \pm 1,4$ Wdh. mit einem Minimum von 2 Wdh. und einem Maximum von 8 Wdh. (vgl. Tab. 19). Orientiert man sich an den Trainingsempfehlungen der Literatur zur Entwicklung der Kraftausdauer unter dem Kriterium der Ausbelastung in der einzelnen Serie, so konnten diese Bedingungen nur in der ersten Serie für alle drei Gruppen erfüllt werden. Bereits in der zweiten Serie hat sich die Wiederholungszahl auf $8,2 \pm 2,2$ Wdh. (Minimum 4 und Maximum 15) reduziert. Würde man diese 8 Wdh. mit einer fixen Intensitätsvorgabe, wie es in der Literatur vorgeschlagen wird (vgl. GUSTAVSEN/STREECK 1997; HARTMANN/TÜNNEMANN 1990),

gleichsetzen, so wäre man bei einer Belastungsintensität von ca. 75 - 85 % 1-RM, was einem Hypertrophietraining entsprechen würde (vgl. FLECK/KRAEMER 1997; STONE/O'BRYANT 1987; TESCH 1992a). Die mittlere Wiederholungszahl in der letzten Serie liegt bei 4 Wdh., also in einem Bereich der in der Literatur mit 90 - 95 % 1-RM assoziiert ist (vgl. BÜHRLE 1985). Dieses Training mit seinen hohen Intensitäten, sogenanntes intramuskuläres Koordinationstraining, zielt jedoch auf die Verbesserung des Zusammenspiels des Nerv-Muskel-Systems, innerhalb eines gezielten Bewegungsablaufes, ab (vgl. RADLINGER et al. 1998, 44; SALE 1992, 249).

Generell kann man feststellen, dass die eigentliche Intention, nämlich ein Kraftausdauertraining durchzuführen, nur in der ersten Serie erfüllt ist. In der zweiten Serie wird von den Belastungsnormativa (Belastungs-/Reizintensität, Belastungs-/Reizdauer) eigentlich ein Hypertrophietraining durchgeführt und in der abschließenden sechsten Serie handelt es sich, wenn man die Anzahl an bewältigten Wiederholungen zu Grunde legt, um ein intramuskuläres Koordinationstraining³². Während bei einem Kraftausdauertraining die Verbesserung des Energieflusses im Muskel, die Entwicklung einer hohen Stoffwechseldurchsatzrate, eine Zunahme der Puffer- und Enzymaktivität und eine Verbesserung der Kapillarisation vorrangig Zielstellung ist, steht bei einem Hypertrophietraining hauptsächlich die Vergrößerung des Muskelquerschnitts, d. h., der morphologische Aspekt, im Vordergrund. Die Hauptintention eines intramuskulären Koordinationstrainings besteht in der Verbesserung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit (Zunahme der Maximal- und Explosivkraft) ohne nennenswerte Muskelquerschnittsvergrößerung (vgl. SANDS et al. 2000). Dass sich die einzelnen Trainingsmethoden hierbei von ihrer Zielstellung unterscheiden, ist evident (vgl. Tab. 56). So hat BÜHRLE bereits (1985, 94) unter Berufung auf BERGER (1962b) und O'SHEA (1966) darauf hingewiesen, dass bspw. für das Hypertrophietraining die Belastungshöhe so zu wählen ist, dass nach jeder Serie mit 6 bis 8 Wiederholungen keine weitere Wiederholung mehr gelingt (Kriterium der Ausbelastung). Insgesamt sollen so 3 bis 5 Serien durchgeführt werden. Dieses Vorgehen lässt sich mit der optimalen Beanspruchung von Stoffwechselprozessen (vgl. GOLDS-PINK 1992) begründen, die für die Auslösung des Hypertrophieeffektes (vgl. ATP-Mangel- bzw. ATP-Umsatz-Theorie, Reizspannungs-Theorie, Theorie des mechanischen Repairs) als ursächlich betrachtet werden (vgl. HOLLMANN/HETTINGER 2000; VIRU 1996; ZATSIORSKY 1996). Gleiches gilt in modifizierter Form für das Kraftausdauertraining sowie für das intramuskuläre Koordinationstraining (vgl. KIBELE 1995; SALE/MACDOUGALL 1981). RADLINGER et al. (1998, 45) nehmen hierauf explizit Bezug, indem sie darauf verweisen, dass es wichtig erscheint, den gewünschten Zielbereich (intramuskuläre Koordination oder Muskelaufbau) anhand des Kriteriums „Ausbelastung in einer methodenspezifischen Belastungs-

³² Ein intramuskuläres Koordinationstraining mit seinen hohen Belastungsintensitäten setzt jeweils einen ausgeruhten Zustand voraus. Die Serienpausen sind > 6 Minuten.

dauer“ beschreiben zu können. Bei wie viel Prozent sich dieser, offensichtlich individuelle, Bereich einordnet, ist nebensächlich und ist für die richtige Therapieintensität ohne Bedeutung.

Durch die Verringerung der Belastungs-/Reizdauer bedingt durch die Reduktion der Wiederholungszahlen über die Serien (vgl. Kapitel 8.2.2) kommt es zu unterschiedlichen Beanspruchungen der jeweiligen zu Grunde liegenden morphologischen, neurophysiologischen, metabolischen, kardiovaskulären etc. Faktoren in Abhängigkeit von den individuellen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften (vgl. Kapitel 4.3). Bevor hierauf Bezug genommen wird, soll allgemein auf die Problematik von deduzierter Belastungsintensität und maximaler Wiederholungszahl zur Steuerung und Regelung des Krafttraining sowie der Bestimmung der Maximalkraft zur Trainingssteuerung hingewiesen werden.

Wie in den Untersuchungen von BUSKIES (1999a; 1999b); BUSKIES/BOECKH-BEHRENS (1999), HOEGER et al. (1987; 1990); MARSCHALL/FRÖHLICH (1999); RADLINGER et al. (1998); WARE et al. (1995) u. a. gezeigt wurde, ist das Verhältnis von deduzierter Belastungsintensität und maximaler Wiederholungszahl von einer Reihe von Faktoren und Einflussgrößen abhängig und zeigt eine ausgesprochene Variabilität (vgl. im Überblick FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH 2002b sowie Kapitel 5.1). So konnten das Geschlecht, der Trainingszustand, das jeweilige Maximalkraftniveau, die Muskelgruppe, die Krafttrainingsübung, die Krafttrainingserfahrung, der Gelenkwinkel, die Anzahl der Serien, die Krafttrainingspezifität als Einflussfaktoren empirisch belegt werden (vgl. BOECKH-BEHRENS/BUSKIES 2000, 69; KRAEMER 2002, 52). Des Weiteren ist ein Rückschluss von der Anzahl an Wiederholungen zur gewählten Intensität in Bezug auf das 1-RM für den Einzelfall und über mehrere Serien in der Regel nicht möglich. Bezug nehmend auf die Gleichung von MAYHEW/BALL/ARNOLD (1989) [% 1-RM = 93,2 - 1,84 REPS + 0,023 REPS² (R = 0,80; p < 0,001)] zur Abschätzung der Belastungsintensität aus der Wiederholungszahl bei submaximalen Intensitäten erhält man für die Belastungs-/Reizintensität: 1. Serie (21,3 Wdh.) 64,4 %, 2. Serie (8,2 Wdh.) 79,7 %, 3. Serie (5,4 Wdh.) 83,9 %, 4. Serie (4,7 Wdh.) 85,1 %, 5. Serie (4,5 Wdh.) 85,4 % und 6. Serie (4,3 Wdh.) 85,8 % (vgl. Tab. 19; KRAVITZ et al. 2003; MAYHEW et al. 1995). Zusätzlich ergibt sich die Problematik, dass bei einer Trainings-/Belastungssteuerung über eine prozentuale Festlegung (% 1-RM) eigentlich nur die ersten Wiederholungen, mit eben diesem Prozentsatz, beansprucht werden. Mit zunehmender Wiederholungszahl nimmt die Belastungs-/Reizintensität zu, da die objektiv gleiche Gewichtsbelastung für einen ausgeruhten Muskel bzw. Muskelgruppe als Prozentanteil zum 1-RM bestimmt wurde (BUSKIES 1999a, 12). Die letztmögliche Wiederholungszahl in einer Serie bedeutet somit immer eine 100 %ige Beanspruchung, wobei dieser Aspekt über mehrere Serien verstärkt zum Tragen kommt (vgl. Kapitel 8.2.4). D. h., der Beanspruchungsgrad in der zweiten Serie liegt bereits auf einem anderen, in der Regel auf einem höheren, Niveau (vgl. POLLMANN 1993). Gesetzt der Fall, eine deduzierte Belastungsintensitätsfestlegung könnte in der Praxis als valide Steuergröße fungieren, so bliebe die Problematik der Maximalkraftbestimmung sowohl des 1-RM als auch des MVC bestehen. Dies spie-

gelt sich im leistungssportlichen wie auch im gesundheitsorientierten, präventiven und rehabilitativen Krafttraining wider (vgl. Tab. 55).

Tab. 55: Aspekte, die bei der Bestimmung der Maximalkraft eine zentrale Rolle spielen sowie Probleme, die die Bestimmung der Maximalkraft erschweren (modif. n. FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH 2002b, 746)

<ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund orthopädischer, internistischer und kardiologischer Aspekte ist gerade bei Trainingsanfängern bzw. Personen mit geringer/eingeschränkter Leistungsfähigkeit (Patienten, Rehabilitanden etc.) eine Bestimmung der Maximalkraft nicht anzuraten. Hier können bspw. gesundheitsgefährdende Begleiterscheinungen wie Pressatmung, hoher Blutdruck, kardiale Belastungsspitzen sowie Gelenk- und Meniskusbelastungen auftreten (vgl. BUSKIES 1999a).
<ul style="list-style-type: none"> • Eine hohe Motivation und Volition ist für das Erbringen einer maximalen Leistung (Maximalkrafttest) zwingend nötig, damit der ermittelte Maximalkraftwert eine valide Bezugsgröße darstellt (vgl. HOLLMANN/HETTINGER 2000).
<ul style="list-style-type: none"> • Test- und Trainingsbewegung bzw. Test- und Trainingsübung sollten gleich sein, damit koordinative Einflüsse minimiert werden. Des Weiteren ist darauf hinzuweisen, dass neue Übungen bzw. Trainingsanfänger eine Lern- und Gewöhnungsphase benötigen, um auch hier eine valide Bezugsgröße zu erhalten (vgl. KRAEMER/FRY 1995).
<ul style="list-style-type: none"> • Aspekte messtechnischer Art, wie Messgeräte (Dehnungsmessstreifen und Kraftmessplatten bei isometrischen Messungen, Gelenkwinkelstellungen, Kosten, Routinebetrieb, Ökonomie usw.), Standardisierungsprobleme, Feinabstimmung bei Steckgewichten, Gewichtsbelastung bei Kraftmaschinen nicht ausreichend, Sicherheitsaspekt bei Training mit freien Gewichten (Partnerhilfe) etc.
<ul style="list-style-type: none"> • Bei Krafttrainingsanfängern bzw. in den ersten Wochen des Trainings muss die Maximalkraft in zeitlich kurzen Abständen neu bestimmt werden, da hier sehr schnell Trainingsfortschritte zu dokumentieren sind (vgl. SCHMIDTBLEICHER 1989).
<ul style="list-style-type: none"> • Bei koordinativ anspruchsvollen Übungen, z. B. Kabelzug, wirken bei Maximalkrafttests oftmals nicht die Hauptaktionsmuskeln limitierend, sondern die Muskeln, die zur Aufrechterhaltung der Rumpf- und/oder Gesamtkörperstabilität benötigt werden (vgl. SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 2000)

Resümierend ist aufgrund obiger Erläuterungen festzustellen, dass eine pauschale Intensitätssteuerung über Prozentangaben, ausgehend von der Maximalkraft (1-RM bzw. MVC), nur sehr mangelhaft eine individuelle Trainingsplanung ermöglicht und somit die jeweiligen Trainingsintentionen nur unzureichend widerspiegelt werden (vgl. RADLINGER et al. 1998, 44). Dies um so mehr, wenn mit mehreren Sätzen trainiert werden soll. Schlussfolgernd ist BOECKH-BEHRENS/BUSKIES (2000) zuzustimmen:

„Selbst dann, wenn eine **Maximalkraftbestimmung** korrekt vorgenommen werden kann, ist sie dennoch in den meisten Fällen als Bezugsgröße zur Steuerung der Trainingsintensität wenig geeignet.“ (BOECKH-BEHRENS/BUSKIES 2000, 67)

Wie aus den bisherigen Ausführungen zu entnehmen ist, scheint eine intensitätsorientierte Trainings- bzw. Belastungssteuerung (% der Maximalkraft) wenig geeignet zu sein, den individuellen und höchst

spezifischen Bedürfnissen des Leistungssports bzw. auch des Gesundheits-, Präventions- und Rehabilitationssports gerecht zu werden. Mit Einschränkungen gilt dies auch für den Freizeit- und Breitensport. In der Praxis des Krafttrainings, und dies gilt für alle Bereiche, hat sich deshalb die Trainingssteuerung bzw. Belastungssteuerung über die Wiederholungszahl in der Serie durchgesetzt (vgl. FRITSCH 1989, 116; SUCHOTZKI 1989, 107). Dieser „wiederholungszahlorientierte“ Ansatz scheint nach bisherigem Kenntnisstand zwei entscheidende Vorteile zu besitzen: Einerseits ist die Belastungsgestaltung wesentlich pragmatischer und andererseits wird die jeweilige Trainingsintention deutlich besser wiedergegeben.

Dieses in leicht modifizierter Form auf DE LORME (1945) zurückgehende Prinzip der Beurteilung der muskulären Kraftentwicklung findet im gesamten Sportbereich, jedoch im Besonderen im rehabilitativen Bereich, Anwendung. Die Grundidee von DE LORME (1945) besteht darin, die Kraft durch die Wiederholungszahl zu definieren, bei der eine bestimmte Last bis zur subjektiven Erschöpfung maximal bewältigt werden kann (Repetition Maximum). Ist es bspw. möglich, eine Last von 65 Kilogramm 10 x zu bewältigen, so entspricht diese Last für diese Übung unter den gegebenen Bedingungen 10-RM (vgl. KNUTTGEN/KOMI 1992, 5f.). Darüber hinaus wird von zahlreichen Autoren die Auffassung vertreten, dass man von einem x-RM bspw. dem 10-RM auf das 1-RM schließen kann, wenn die Bestimmung des 1-RM problematisch erscheint (BRAITH et al. 1993; MAYHEW et al. 1995; ROSE/BALL 1992; STONE/O'BRYANT 1987). Hierzu wurden Gleichungen konzipiert, die aus der Wiederholungszahl eine Ableitung des 1-RM ermöglichen sollen (vgl. KRAVITZ et al. 2003; LANDER 1985; LESUER et al. 1997; WARE et al. 1995). Dieses Vorgehen ist jedoch mit den gleichen Schwierigkeiten verbunden wie eine Ableitung der Wiederholungen aus submaximalen Intensitäten (vgl. KRAEMER 2002, 52).

Beim nachfolgend beschriebenen, „wiederholungszahlorientierten“ Ansatz (spezifische Wiederholungszahl, respektive Zeit) bedient man sich deshalb zweier grundsätzlicher Kriterien:

- 1) Es muss mit der Dauer und dem Ende der bewältigten Wiederholungen eine Ausbelastung in der Serie statt finden.
- 2) Die Belastungs-/Reizdauer (operationalisiert über die Wiederholungszahl) muss dem gewünschten Krafttrainingsziel (intramuskuläre Koordination, Muskelaufbau, Kraftausdauer) auf metabolischer, neurophysiologischer, kardiovaskulärer Ebene entsprechen.

Die methodischen Probleme, die sich bei der Bestimmung der Gewichtsbelastung bei x-RM ergeben, unterscheiden sich in nahezu allen Punkten von denen der 1-RM³³ Bestimmung. D. h., die orthopädischen, internistischen und kardiologischen Risiken sind gerade bei niedrigem RM (bspw. 20-RM) deutlich reduziert. Test- und Trainingsbewegung sowie Test- und Trainingsgewicht sind identisch, so dass die Lern- und Gewöhnungsphase minimiert werden kann. Ein Leistungsfortschritt ist jederzeit dokumentierbar, da die Last und die Wiederholungszahl in jeder Serie und während des gesamten Trainings sofort Auskunft über den momentanen Trainings- und Leistungszustand gibt. Darüber hinaus kann in jedem Satz, in jedem Training, individuell auf die temporäre Verfassung (Motivation, Tagesform etc.) eingegangen werden. Aspekte messtechnischer Art können vernachlässigt und auf Normtabellen (vgl. LANDERS 1985; STONE/O'BRYANT 1987) sowie Umrechnungen kann verzichtet werden. Bei korrekter Anweisung kann mit freien Gewichten sowie mit Geräten für generell alle Muskeln und Muskelgruppen gearbeitet werden. Des Weiteren eignet sich die „wiederholungszahlorientierte“ Belastungsgestaltung sowohl für den Leistungssport, den Freizeit- und Breitensport als auch für den Gesundheits-, Präventions- und Rehabilitationsbereich. Daher erscheint eine zielgerichtete Trainingssteuerung anhand einer methodenspezifischen Belastungs-/Reizdauer, respektive Wiederholungszahl, sehr viel sinnvoller und effektiver (vgl. STRACK 2001, 33).

Die nachfolgende Tab. 56 gibt für die Kerntrainingsbereiche Kraftausdauer, Hypertrophie und Intramuskuläre Koordination die jeweiligen Wiederholungszahlen, die Pausenzeiten, die Anzahl der Serien sowie die Haupttrainingsziele wieder. Bei den einzelnen Trainingsmethoden sind die Belastungsnormativa jedoch in Abhängigkeit vom Trainingszustand, der Konstitution, vom Geschlecht, den verschiedenen Übungen (Varianten), der Anzahl der beteiligten Muskel-Gelenk-Einheiten etc. zu sehen. Innerhalb der einzelnen Trainingsbereiche findet eine Serienregression und eine Mesozyklusprogression statt.

³³ Aus Sicht des Autors sprechen für die Bestimmung der Maximalkraft (1-RM) drei Aspekte: erstens die Motivation (d. h. die Maximalkraft wird als motivationaler Faktor im langfristigen Trainingsaufbau bzw. im direkten Leistungsvergleich zu anderen Sportlern eingesetzt). Zweitens die Trainingssteuerung über das Kraftdefizit (d. h. aus der Höhe des Kraftdefizits lässt sich schließen ob eher die Kraftausdauer, die Muskelhypertrophie oder eher die Maximalkraft (Rekrutierung/Frequenzierung) trainiert werden sollte). Drittens die Maximalkraft wird als Belastungsreiz bspw. im Training der Gewichtheber/Powerlifter verwendet.

Tab. 56: Belastungsnormativa für die Trainingsmethoden Kraftausdauer, Hypertrophie und Intramuskuläre Koordination

Trainingsziel (hauptsächlich)	<ul style="list-style-type: none"> • Kraftausdauer: Vergrößerung der intramuskulären Energiespeicher (u. a. KP, Glykogen), Steigerung der energiestoffwechselrelevanten Enzyme, Kapillarisierung, Muskelmasse • Hypertrophie: Steigerung Maximalkraft, Steigerung der Muskelmasse, strukturelle Veränderung der Muskelfasern, Muskelquerschnittszunahme, vermehrte Enzymaktivität, Kapillarisierung • Intramuskuläre Koordination: Steigerung Maximalkraft, Explosivkraft, Schnellkraft, Verbesserung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit, Kraftzunahme ohne Muskelmassenzunahme, Verbesserung der intra- und intermuskulären Koordination, neuronale Anpassung 		
Trainingsziel	Kraftausdauer	Hypertrophie	Intramuskuläre Koordination
Belastungsumfang	20 - 40 Wdh. 50 - 90 Sekunden	6 - 20 Wdh. 20 - 50 Sekunden	1 - 3 (5) Wdh. < 20 Sekunden
Belastungsintensität	Geringe Intensität	Mittlere Intensität	Hohe Intensität
Belastungsdichte	0,5 - 1 Minute	2 - 3 Minuten	≥ 6 Minuten
Belastungsumfang	3 - 8	2 - 6	2 - 6

Ist die Trainingsintention in der Verbesserung der Kraftausdauer bzw. in der Vergrößerung der Muskelmasse zu sehen und wird eine Ausbelastung in der einzelnen Serie angestrebt, so muss die bewältigte Last unter Vorgabe einer festen Wiederholungszahl von Serie zu Serie angepasst werden. Für das Kraftausdauertraining (Vorgabe 25 Wdh., Serienpause 1 Minute, 6 Serien) und für das Hypertrophietraining (Vorhabe 8 Wdh., Serienpause 3 Minuten, 6 Serien) konnten FRÖHLICH et al. (2001a, 2001b) sowie FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH (2002a) dies empirisch belegen. Für das intramuskuläre Koordinationstraining steht nach Wissen des Autors dieser Beweis noch aus. Bei einer Wiederholungszahl von 1 - 3 (5) Wdh. und einer Serienpause > 6 Minuten wird jedoch vermutet, dass das metabolische und neuromuskuläre System wieder so weit hergestellt ist, dass die ursprüngliche Last über alle Serien bewältigt werden kann (vgl. KRAEMER 2002, 51). GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER (1999, 231) weisen darauf hin, dass 6 Minuten Pause zwischen den Serien nicht zur Erholung der Muskulatur, sondern vielmehr zur Wiederherstellung der neuronalen Reizübertragung und Reizfortleitung, insbesondere auf spinal-segmentaler Ebene erforderlich sind. Bei der Reizkonfiguration zur Entwicklung der Kraftausdauer bzw. zur Erhöhung der Muskelmasse (Muskelaufbautraining) scheint nach den vorliegenden Erkenntnissen die Pausendauer (0,5 bis 1 Minute respektive 2 bis 3 Minuten) nicht ausreichend zu sein, um in der folgenden Serie die gleiche Wiederholungszahl oder die gleiche Last zu bewältigen. Somit müssen entweder die Pausenzeiten verlängert oder die zu bewältigende Last von Serie zu Serie jeweils neu ange-

passt werden (SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 1999, 9). Dies konnte nun mehr für Sportstudenten, Leistungssportler der Sportarten Badminton, Leichtathletik und Ringen sowie für Freizeitsportler empirisch belegt werden. In diesem Zusammenhang sind zwei weitere Aspekte zu erwähnen: Einerseits ist die prozentuale Reduktion der bewältigten Last von Serie zu Serie geringer als die prozentuale Reduktion der Wiederholungszahlen über die Serien (vgl. Kapitel 8.2.1) und andererseits findet auch hier eine Plateaubildung der bewältigten Last ab der 3. Serie statt. Nach MARSCHALL/FRÖHLICH (1999, 314) wäre zu klären, ob mit der angegebenen Wiederholungszahl beim Kraftausdauertraining analog zu den Angaben beim Hypertrophietraining (optimale Spannung und maximaler Energieumsatz) eine maximale Beanspruchung der Muskulatur pro Serie oder erst über die Gesamtzahl von 4 bis 6 Serien erreicht werden soll. Auf diesen Aspekt wird bei der Diskussion der Beanspruchungsparameter näher eingegangen.

10.1.1 Physikalische Arbeit als Vergleichskriterium

Die Einführung des Parameters physikalische Arbeit gestattet einen Vergleich zwischen einem „intensitätsorientierten“ (lastorientierten) Belastungstreatment und einem „wiederholungszahlorientierten“ Belastungstreatment. Sowohl beim „intensitätsorientierten“ als auch beim „wiederholungszahlorientierten“ Belastungstreatment kommt es zu einer Reduktion der physikalischen Arbeit über die Serien. Ab der dritten Serie kommt es auch hier zu einer annähernden Plateaubildung. Somit wäre die Pausenlänge wieder zu diskutieren.

Der entscheidende Unterschied besteht jedoch darin, dass bei einer „wiederholungszahlorientierten“ Trainingsmethode signifikant mehr physikalische Arbeit verrichtet wird als bei einem „intensitätsorientierten“ Vorgehen (vgl. Kapitel 8.3.1), wobei ab der 3. Serie ca. doppelt so viel physikalische Arbeit (vgl. Tab. 48) umgesetzt wird. D. h., die äußere Belastung unterscheidet sich zwischen den beiden Belastungs-/Trainingsmethoden und dies speziell ab der 3. Serie. Dass sich die äußere Belastung zwischen den drei Gruppen unterscheidet, ist evident und hängt mit dem unterschiedlichen Ausgangsniveau der Gruppen zusammen.

10.1.2 Belastungs-/Reizdauer als Vergleichskriterium

Die Belastungs-/Reizdauer als Hauptbelastungsnormativ neben der Belastungs-/Reizintensität (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 126) reduziert sich beim Belastungstreatment „konstante Last“ bei den drei Gruppen signifikant über die 6 Serien (vgl. Tab. 28). Während in der 1. Serie die Belastungsdauer im Mittel bei $41,5 \pm 7,1$ sec liegt und somit annähernd in einem Bereich, der für das Kraftausdauertraining als adäquat anzusehen ist, hat sich die Belastungsdauer in der 2. Serie ($20,8 \pm 2,8$ sec) bereits auf eine mittlere Zeitspanne reduziert, die genuin mit der Reizkonfiguration des Muskelaufbautrainings assoziiert ist (vgl. Tab. 56). In den Serien 4 bis 6 liegt die mittlere Zeitspanne (Belastungsdauer) bei ca. 12 - 13 sec und somit in einem Bereich der dem intramuskulären Koordinationstraining bzw. dem Maximalkraft-

training zugeordnet ist. Vergewärtigt man sich den Anteil der verschiedenen energieliefernden Substrate an der Energiebereitstellung so stellt man fest, dass bei einer Belastungs-/Reizdauer bis ca. 20 sec hauptsächlich die energiereichen Phosphate ATP und KP, d. h., die anaerobe alaktazide Energiebereitstellung, ausgeschöpft werden (vgl. VIRU 1996). Wesentliche Trainingsadaptationen bestehen hierbei in einer Vergrößerung des KP-Speichers (DE MARÉES 1996, 418). Bei einer Belastungsdauer von ca. 30 - 45 (50) sec wird die hauptsächlich Energiebereitstellung über die anaerobe laktazide Glykolyse vorgenommen (vgl. HOLLMANN/HETTINGER 2000, 67). Bei dieser Art der Trainingsform steht die Vergrößerung der Vorräte an Glykogen sowie die Aktivität der Enzyme der Glykogenolyse und Glykolyse im Vordergrund. Im weiteren zeitlichen Verlauf kommen dann mehr und mehr die oxidativen Vorgänge (aerob) zum Tragen. D. h., beim Belastungstreatment „konstante Last“ findet die Energiebereitstellung in der 1. Serie über die anaerobe laktazide Glykolyse statt. In den Serien 2 - 6 wird die Energielieferung auf anaerobe alaktazide Wege über ATP und KP abgedeckt.

Spezifizierend muss man jedoch zwischen der maximalen ATP-Bildungsrate (Flussrate) und der verfügbaren Menge an ATP, KP, Glykogen, Glukose und Fettsäuren unterscheiden. Während die ATP-Bildungsrate [mmol/sec/kg] von ATP, KP, Glykogen, Glukose und Fettsäuren um jeweils ca. 50 % über die einzelnen Systeme abnimmt, steigt die verfügbare Menge [mmol/kg] an (vgl. BACHL/BARON 1998, 51). Zusammenfassend lässt sich nach den Ausführungen von BACHL/BARON (1998, 53f.) konstatieren:

- Die höchsten ATP-Bildungsraten aus KP und anaerober Glykolyse treten bei Maximalbelastungen etwa in den ersten 10 Sekunden auf, wobei jene aus dem ATP-KP-Pool unmittelbar nach Belastungsende am höchsten sind.
- Bei Belastungen zwischen 10 und 30 Sekunden erreicht die ATP-Bildungsrate aus der Glykolyse nicht jene Maximalwerte, welche aus den Untersuchungen mit einer Zeitdauer unter 10 Sekunden bekannt sind.
- Bei Belastungen bis zu 30 Sekunden Dauer werden die KP-Speicher zwischen 10 und 30 Sekunden entleert, die glykolytische ATP-Bildungsrate liegt bei etwa 50 % der ersten 10 Sekunden. Die mittlere glykolytische ATP-Bildungsrate bei Belastungen von 30 Sekunden wird etwa 3 bis 4 mal höher angegeben, als die ATP-Bildungsrate aus dem KP-Speicher.
- Bei intensiven Belastungen länger 30 Sekunden (60 bis 90 Sekunden) muss überdies die Laktatfreisetzung aus der arbeitenden Muskulatur zwecks exakter Bestimmung der glykolytischen ATP-Bildungsrate sowie der Anteil der aeroben ATP-Bildungsrate mitberücksichtigt werden, welcher auch schon bei Belastungen bis zu 30 Sekunden Dauer eine gewisse Rolle spielt.

Beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ liegt die mittlere Belastungs-/Reizdauer über die 6 Serien bei ca. 38 sec (vgl. Tab. 29). Somit wird die Energiebereitstellung in allen Serien hauptsächlich durch die anaerobe laktazide Glykolyse abgedeckt (vgl. HASEGAWA et al. 2002, 102f.). Daraus folgt eine ausgeprägte Laktatakkumulation über die Serien (vgl. Abb. 32). Da für die Entwicklung der Kraftausdauer eine möglichst weitgehende Beanspruchung der sauerstoffunabhängigen Energiebereitstellungsprozesse angestrebt wird, scheint eine Trainingsmethode mit „konstanter Wiederholungszahl“ (Dauer) somit entscheidende Vorteile zu besitzen (vgl. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999, 232). Entsprechend fanden FABIAN et al. (1995, 173) zwischen der Ausschöpfung der anaeroben Energiebereitstellung im Training und der Verbesserung der Ermüdungsresistenzkomponente (Harnsäureanstieg) eine Korrelation von $r = 0,85$.

Zum derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand muss aus Sicht der Energiebereitstellung und der ATP-Bildungsrate festgestellt werden, dass eine isolierte Beurteilung der alaktaziden Leistung/Kapazität mittels der zur Verfügung stehenden Testverfahren jedoch nicht hinreichend möglich ist (BACHL/BARON 1998, 54).

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass die Belastungs- bzw. Reizdauer eigentlich nicht den genuinen Empfehlungen für ein Kraftausdauertraining entspricht (vgl. Tab. 56). Wie die Angaben in der Literatur belegen, sollte die Belastungsdauer zur Entwicklung der Kraftausdauer ca. 50 sec bis 2 Minuten betragen (vgl. HOHMANN/LAMES/LETZELTER 2002; SCHMIDTBLEICHER 1989; STRACK 2001). Stellt man die beiden Belastungstreatments jedoch gegenüber, so wird schnell deutlich, dass bei einem Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ diese Vorgaben deutlich besser umgesetzt werden. Um die bisherigen Ergebnisse und Diskussionspunkte weiter zu erhellen, wird im Folgenden auf die (Teil-)Beanspruchung bei der Trainingsmethode „konstante Last“ und „konstante Wiederholungszahl“ sowie auf die Anzahl der Serien im Detail eingegangen.

Wie bereits CARL (1989, 9) treffend herausgestellt hat, reicht es im Kraftausdauertraining sicherlich nicht aus, nur die Wirkung in Richtung auf das Haupttrainingsziel zu betrachten, sondern vielmehr sollte eine umfassende Wirkanalyse in Bezug auf möglichst alle, als leistungsrelevant erkannten, Verhaltensdimensionen stattfinden. Aus diesem Grunde wurden auf metabolischer, kardiovaskulärer, myokardialer sowie emotionaler Ebene die vermuteten Beanspruchungsparameter erhoben. Darüber hinaus sollte die Beanspruchung in den erwähnten Parametern bei einem intensitätsorientierten sowie einem wiederholungszahlorientierten Belastungstreatment erhoben werden, um die jeweilige Trainingsintention besser abschätzen zu können. Des Weiteren sollten die auf der Belastungsebene gefundenen Unterschiede durch eine entsprechende Beanspruchungsanalyse einer weiteren Bewertung unterzogen werden.

10.1.3 Laktat als Vergleichskriterium

Für das metabolische System (Δ Laktat) kann aus den Untersuchungsergebnissen konstatiert werden: Obwohl sich die Wiederholungszahl (Treatment „konstante Last“) und die Last (Treatment „konstante Wdh.“) und somit die verrichtete physikalische Arbeit von Serie zu Serie verringert, steigt in gleichem Maße die Δ Laktatkonzentration über die Serien an. Dies gilt generell unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit und der Trainingsmethode, wobei sich jedoch der Δ Laktatkonzentrationsverlauf zwischen den einzelnen Gruppen unterscheidet (vgl. Abb. 39). Während in der ersten und zweiten Serie die Δ Laktatkonzentration bei beiden Belastungstreatments vergleichbar ist, kommt es aufgrund der längeren Belastungsdauer in den Serien 3 bis 6 bei der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“ zu einer stärkeren Aktivierung der anaeroben laktaziden Glykolyse. Somit findet die längere Belastungsdauer - die größere äußere Belastung (physikalische Arbeit) - eine Entsprechung auf der metabolischen Ebene. Betrachtet man sich Abb. 38, so lässt sich deutlich erkennen, dass die äußere Belastung mit der metabolischen Beanspruchung korrespondiert [$r \leq 0,37$]. D. h., das Belastungstreatment mit der größeren äußeren Belastung führt auf metabolischer Ebene auch zu der größeren Beanspruchung. In gleichem Maße wie sich die Wiederholungszahl, die Last bzw. die physikalische Arbeit ab der 3. Serie auf einem annähernd gleichen Niveau einpendelt, so spiegelt die metabolische Beanspruchung diese Situation wider.

Mit Einschränkung (Problem der Induktion, vgl. POPPER 2002) ließe sich aus den bisherigen Befunden belegen, dass sich die Belastung beim Kraftausdauertraining, bei beiden Trainingsmethoden in der Beanspruchung des metabolischen Systems widerspiegelt. Somit hätte man für das Kraftausdauertraining einen Parameter identifiziert, welcher die jeweiligen gesetzten Belastungsnormativa im Training abbildet. Andererseits könnte die Laktatdiagnostik in Verbindung mit den jeweiligen Belastungsnormativa zur Dokumentation von Trainingsanpassungen, Trainingsfortschritten sowie zur Trainingssteuerung eingesetzt werden (vgl. BAYER 1999; HASEGAWA et al. 2002; JOST/RUCH/SCHREY 2001; REIß 1992). FRITSCH (1989, 113) verweist in diesem Zusammenhang bei Leichtgewichtsruderern auf die erwünschte laktazide Form des Kraftausdauertrainings. Demnach sollen in einem Kraftausdauer-Zirkel (3 - 4 Runden) bei Wiederholungszahlen von 25 - 50 die Laktatwerte bei 6 - 8 mmol/l in Ausnahmefällen bei 10 mmol/l liegen. Demnach kommt ein Kraftausdauertraining, welches über eine „konstante Wiederholungszahl“ (Dauer) gesteuert wird, diesem metabolischen Aspekt am nächsten. Dass dabei jedoch die individuellen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften berücksichtigt werden müssen ist evident. So kommt es je nach Gruppenzugehörigkeit, der jeweiligen Trainingspezifität, zu einem unterschiedlichen Laktatanstieg in Abhängigkeit von der Wiederholungsanzahl, der bewältigten Last und somit der verrichteten Arbeit. Im Weiteren variiert dieses „steady-state“ zwischen Belastung und metabolischer Beanspruchung

individuell (Abhängig: Muskelfasertyp, enzymatischer Ausstattung, Kapillarisation, Pufferkapazität, Azidoseintoleranz etc.) als auch intraindividuell (Muskelgruppen, Muskelmasse, Fasertyp etc.). In der nachfolgenden Abb. 39 wird hierauf Bezug genommen.

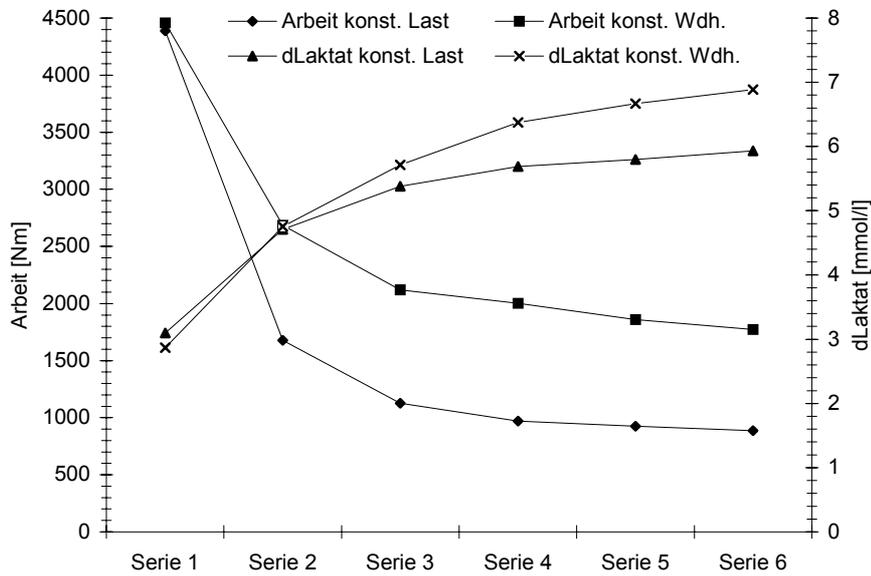


Abb. 38: Verrichtete physikalische Arbeit bei „konstanter Last“ und „konstanter Wiederholungszahl“ sowie die dazugehörigen Δ Laktatwerte über die 6 Serien (N = 39)

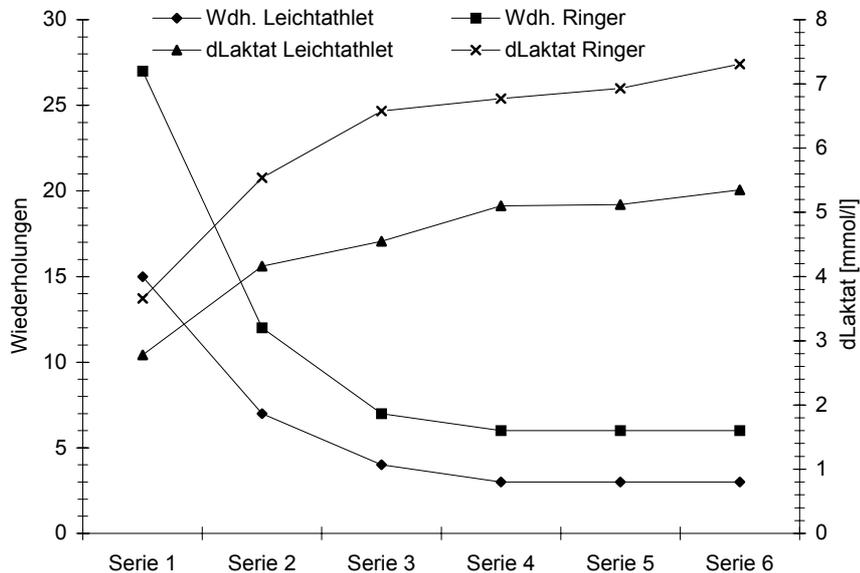


Abb. 39: Exemplarische Darstellung der bewältigten Wiederholungen bei 60 % 1-RM eines Leichtathleten und eines Ringers sowie die zugehörigen Δ Laktatwerte über die 6 Serien

Während das Ausdauertraining seit mehr als zwei Jahrzehnten, im Rahmen der Trainings- und Leistungssteuerung, auf Beanspruchungsparameter wie Laktat und Herzfrequenz zurückgreift und diese Parameter als hinreichend valide und reliabel charakterisiert sind (vgl. COEN 1997) stehen für das Krafttraining insbesondere für das Kraftausdauertraining solche Konzepte wie IAS oder Schwellenangaben noch weitestgehend aus. Erste Ansätze hierzu sind von POLLMANN (1993) vorgelegt worden. So konnte POLLMANN (1993, 99ff.) bei einer Belastungsintensität von ca. 70 % MVC und ca. zehn Wiederholungen pro Serie bei den Übungen Biceps Curl und Bankdrücken einen Laktatanstieg über die Serien feststellen. Bei der Übung Bankdrücken lag aufgrund der größeren Muskelmasse die mittlere Laktatkonzentration am Ende der 5. Serie bei 6 - 7 mmol/l. Im Gegensatz dazu bewegte sich die mittlere Laktatkonzentration am Ende der 5. Serie bei der Übung Biceps Curl bei 3 - 4 mmol/l. Somit verdeutlicht der Anstieg der Laktatwerte im Verlauf einer Trainingseinheit die Zunahme der anaerob laktaziden Beanspruchung während des Training. Aus den Ergebnisse schließt POLLMANN, dass eine dreiminütige Serienpause nicht ausreichend ist, um das angefallene Laktat zu eliminieren (vgl. RADLINGER 1987). Nimmt man weiterhin an, dass die zusätzliche Laktatausschüttung von Serie zu Serie als ein Parameter der Beanspruchung zu betrachtet ist, so nimmt die Beanspruchung im ersten Teil der Trainingseinheit stark zu, während in den letzten Serien keine weitere ausgeprägte zusätzliche Beanspruchungssteigerung zu erkennen ist (POLLMANN 1993, 142). Diese Aussage steht im Einklang mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung (vgl. Abb. 38).

Wie von FLECK (2002); FLECK/KRAEMER (1997); KRAEMER et al. (1987); PAMPUS/LEHNERTZ/MARTIN (1989) TESCH (1992a) und TESCH/COLLIANDER/KAISER (1986) gezeigt werden konnte, besteht eine Wechselwirkung zwischen der Belastungsdauer, der Belastungsintensität und der Energiebereitstellung im Krafttraining. Dabei führen Trainingsmethoden mit größerer Wiederholungszahl (Belastungsdauer) und geringerer Belastungsintensität zu höheren Laktatkonzentrationen als Trainingsmethoden mit geringerer Wiederholungszahl (Dauer) und höherer Belastungsintensität (vgl. TESCH 1992a, 239). Serien mit geringerer Belastungsintensität und größerer Wiederholungszahl ermöglichen dabei eine bessere Nutzung der anaeroben laktaziden sowie der oxidativen Energiebereitstellung. Während bei der Trainingsmethode mit „konstanter Last“ die Belastungsdauer gegenüber der Trainingsmethode mit „konstanter Wiederholungszahl“ verringert ist und die Belastungsintensität hypothetisch über die Serie ansteigt (vgl. Gleichung von MAYHEW/BALL/ARNOLD 1989) werden die Ergebnisse dieser Studie durch die Literatur bestätigt.

HEMMLING (1994) fand bei einer „Kombination von Muskelaktionen“ (KOMA; HEMMLING 1994, 23) an einem Beinbearbeitungsgerät mit einer Vorlaufgeschwindigkeit von 0,3 m/s entsprechend ca. 50 % MVC, nach fünf Wiederholungen Δ Laktatwerte in der Nachbelastungsphase von unter 1 mmol/l. Zehn Wiederholungen führten zu Δ Laktatwerten von 2 - 3 mmol/l und nach 15 Wiederholungen lag die Δ Laktatkon-

zentration bei ca. 6 mmol/l (vgl. ebd. 43). Resümierend stellt HEMMLING (1994, 43) fest, dass um den anaerob laktaziden Energiestoffwechsel maximal auszuschöpfen (Geschwindigkeitsvorgabe $\leq 0,3$ m/s) mindestens zehn Wiederholungen absolviert werden müssen.

FLECK/KRAEMER (1997, 96) stellten anhand einer Literaturanalyse zum Thema Trainingsmethode und Blutlaktatkonzentration fest: (1) body-building workout ca. 27 mmol/l, (2) low-intensity circuit weight training ca. 7,5 mmol/l, (3) high-intensity circuit weight training ca. 14 mmol/l, (4) short-rest, high-intensity workout ca. 25 mmol/l, (5) power lifting ca. 2,5 mmol/l und (6) Olympic weight lifting ca. 3,5 mmol/l. Daraus schließen die Autoren:

„These studies indicate that heavier resistance does not result in higher blood lactate concentrations. It is the amount of work performed and the duration of the force demands placed on the muscle that determine the blood lactate concentrations.” (FLECK/KRAEMER 1997, 96)

Obwohl kein signifikanter Gruppenunterschied besteht, - die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt bei $[p = 0,07]$ bzw. $[p = 0,08]$ - liegt die mittlere Δ Laktatkonzentration der Leichtathleten ca. 0,6 mmol/l bzw. 0,7 mmol/l höher als bei den Freizeitsportlern und Ringern und dies, obwohl die Gruppe der Ringer mehr Wiederholungen bei gleicher deduzierter Belastungsintensität realisieren kann (vgl. Abb. 20). Eine Begründung hierfür könnte in der Muskelfasertypisierung liegen. Leichtathleten besitzen aufgrund der Anforderungsstruktur des spezifischen Training eine besondere Ausprägung für schnelle Muskelfasern. Einerseits kommt es durch ein spezifisches Schnellkraft- bzw. Explosivkrafttraining zu einem shift der Muskelfaser hin zu eher schnellen Fasern (vgl. PETTE 1999), andererseits werden von Natur aus Schnell- und Explosivkrafttypen eher in der Leichtathletik gefördert sein. Somit spielen wahrscheinlich Anlage und Umwelt gleichermaßen eine entscheidende Rolle für die Dominanz von schnellen Muskelfasern in den Wurf-, Sprint-, Sprungdisziplinen der Leichtathletik (vgl. DAUGS 1987). Wie ESSEN und HÄGGMARK (1975) sowie ESSEN/HENRIKSSON (1974) zeigen konnten, liegt in schnellen Muskelfasern (Typ-II) die Laktatkonzentration generell höher als in langsamen Muskelfasern (vgl. VIRU 1996). Somit decken sich die gefunden Ergebnisse mit der Aussage von KARLSSON et al. (1981, 63), die bei Personen mit einem hohen Anteil an schnellen Muskelfasern mehr Laktat bei der gleichen absoluten oder relativen Belastung fanden, als bei Personen mit einem geringeren Anteil. Ringer bzw. Freizeitsportler trainieren vorwiegend im Kraftausdauerbereich bzw. decken ein wesentlich breiteres Methodenspektrum im Krafttraining ab. Dabei werden hauptsächlich die sog. Intermediär-Fasern beansprucht, was sich in der geringeren Laktatkonzentration bei gleicher Belastung niederschlägt (vgl. Kapitel 3.1.2).

10.1.4 Serienzahl als Vergleichskriterium

In jüngerer Vergangenheit kommt es immer häufiger zu einer Diskussion über die optimale Serienzahl bzw. Satzzahl im Krafttraining (vgl. GIESSING 2000; HASS et al. 2000; HEIDUK/PREUS/STEINHÖFER 2002; KIESER 1998; KRAEMER 1997; PHILIPP 1999a; 1999b; SANBORN et al. 1998; SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 1999; SCHLUMBERGER/STEC/SCHMIDTBLEICHER 2001; STARKEY et al. 1996). Dabei stehen sich die Verfechter des Einsatztrainings und des Mehrsatztrainings diametral gegenüber, wobei jede Seite scheinbar genügend gerechtfertigte Argumente³⁴ zu besitzen scheint (vgl. Literaturüberblick bei PHILIPP 1999b, 30). Auf die unterschiedlichen Argumentationspunkte in der Diskussion des Einsatz- und Mehrsatztrainings wie Verständnisklärung der Begriffe (HEIDUK/PREUSS/STEINHÖFER 2002), Ausbelastungsstrategien beim Einsatz- und Mehrsatztraining (BOECKH-BEHRENS/BUSKIES 2000; BÜHLRE/WERNER 1984; GIESSING 2000), Zielstellung (PHILIPP 1999b), Klientel (HASS et al. 2000; KIESER 1998) etc. soll nicht eingegangen werden (vgl. SCHLUMBERGER/STEC/SCHMIDTBLEICHER 2001, 284). Viel mehr soll an dem Punkt mit weitestgehender Einigkeit angesetzt werden. Nach SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER (1999, 9) ist der Auslöser von Kraftgewinnen und Muskelquerschnittserhöhungen noch nicht eindeutig identifiziert. Einigkeit besteht jedoch darüber, dass sowohl hohe Muskelspannungen (Reiz-Spannungs-Theorie), hohe intrazelluläre H⁺-Konzentrationen als auch die Ausschöpfung der Energiespeicher der Muskulatur (ATP-Mangel- bzw. ATP-Umsatz-Theorie) zum Erzielen maximaler Trainingseffekte notwendig sind (vgl. COSTILL et al. 1979; HEMMLING 1994; MACDOUGALL 1992; Philipp 1999b). Schließt man sich dieser Argumentation an, so wird deutlich, dass sowohl bei einem Belastungstreatment „konstante Last“ als auch bei einem Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ eindeutige Belege für ein Mehrsatztraining bestehen. Einerseits besteht ein signifikanter Unterschied auf der Ebene der Belastung (Wiederholungszahl, Last, physikalische Arbeit) zwischen den einzelnen Serien, andererseits verändern sich nahezu alle Beanspruchungsparameter (Laktat, systolischer Blutdruck, Herzfrequenz, Doppelprodukt sowie subjektive Belastungseinschätzung) über die Serien (vgl. Kapitel 9.2).

Da bei beiden Trainingsmethoden hohe Muskelspannungen zugrunde liegen (relativiert auf das Kraftausdauertraining), scheint es evident, dass die Summe aus mehreren Serien zu adäquateren Anpassungseffekten führt als die Einzelserie. Folgt man bspw. der Einteilung des Trainingsvolumens nach HEIDUK/PREUS/STEINHÖFER (2002, 7), so ist sowohl die physikalische Arbeit (Gesamtlast) als auch die physiologische Arbeit (Anspannungszeit) bei einem Mehrsatztraining deutlich erhöht gegenüber einem

³⁴ Ein direkter Effektivitätsvergleich (Steigerung der Maximalkraft, des Muskelmassenzuwaches etc.) zwischen einem Einsatztraining und einem Mehrsatztraining kann hier nicht gezogen werden. Daher beruht die Diskussion auf hypothetischen Annahmen und theoretischen Begründungen, welche durch vorliegende empirische Ergebnisse abgesichert sind.

Einsatztraining. KRAEMER (1997) konnte bspw. bei College Football Players der 1st Division eine Veränderung der Muskelkraft bei einem Mehrsatztraining von 385 ± 95 auf 455 ± 95 pounds [$p < 0,05$] feststellen. Dies entspricht einer prozentualen Steigerung von ca. 18 %. Die Einsatztrainingsgruppe veränderte sich im gleichen Zeitraum von 389 ± 87 auf 399 ± 78 pounds ca. 2,6 %.

Durch die Beanspruchungsparameter, insbesondere durch den Parameter Laktat, konnte dies aus metabolischer Perspektive bestätigt werden. So kommt es zu einer Laktatakkumulation, d. h., einer vermehrten Inanspruchnahme der anaeroben laktaziden Glykolyse, über die Serien (vgl. Abb. 20 und Abb. 25). Alleine durch die längere Reizeinwirkung auf den Muskel und durch die größere Ausschöpfung der energieliefernden Systeme über mehrere Serien stellt sich wahrscheinlich ein größerer Protein-Turnover ein (vgl. JONES/RUTHERFORD/PARKER 1989; MADER 1990; TESCH 1992a). Im Gegensatz dazu steht die Aussage von PHILIPP (1999b, 31), der annimmt, dass die einmalige, dafür aber vollständige Entleerung der Energiespeicher (objektiv, nicht subjektiv) wirkungsvoller sein soll, als die quasi-vollständige Entleerung. So soll der Organismus einen stärkeren Entwicklungsreiz bei insgesamt geringerem Energieaufwand (im Gegensatz zum Kalorienumsatz beim Mehrsatztraining) bekommen (ebd.). PHILIPP (1999, 31) verweist auf die Richtigkeit der Logik der Annahme der vollständigen Entleerung, gesteht jedoch ein, dass die ATP-Mangel-Theorie nicht gesichert ist.

FLECK/KRAEMER (1997, 93) sprechen sogar von einem direkten Zusammenhang zwischen Satz- bzw. Serienzahle und Trainingserfolg: „The number of sets used in a workout is directly related to training results.“ Greift man diese These auf, so stellt sich die Frage nach der „optimalen“ Satzzahl im Krafttraining. Wie aus den Untersuchungsergebnissen zu entnehmen ist, scheint es Tendenzen in Bezug auf die optimale Serienzahle zu geben. So pendelt sich die Wiederholungszahle, die Last sowie die physikalische Arbeit ab der 3. Serie auf ein annähernd gleiches Niveau ein (vgl. FRÖHLICH et al. 2001b; FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH 2002a). In gleichem Maße verändert sich die Laktatkinetik (vgl. Abb. 38). Tendenziell weisen die Parameter systolischer Blutdruck, Herzfrequenz, Doppelprodukt und subjektive Belastungseinschätzung ebenfalls in die gleiche Richtung. Bringt man diese Überlegungen mit einer Dauerleistungsgrenze in Verbindung (vgl. HOLLMANN/HETTINGER 2000; MONOD/SCHERRER 1965; ROHMERT 1960a, 1960b), so könnte sich eine Satz-/Serienzahle von drei als optimal für ein Kraftausdauertraining erweisen. D. h., die Reduktion der Belastung (Reduktion der Wiederholungszahle, der Last, der physikalischen Arbeit) und der Anstieg der Teilbeanspruchungsparameter stehen in einem günstigen Verhältnis zueinander und verändern sich im weiteren Verlauf nur noch geringfügig (vgl. Abb. 38). Interessant sind hierbei die p-Werte der post hoc Einzelvergleichsprüfungen über die einzelnen Serien. In der Literatur werden in der Regel Serienzahle in der Trainingseinheit von ≥ 3 (meist 3 - 5) angegeben (vgl. EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN 1998; GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999).

Berücksichtigt man die Zeitkomponente, welche für ein Krafttraining im Hochleistungssport zur Verfügung steht, so sind unter ökonomischen Aspekten drei Serien ein guter Kompromiss. Für den Freizeit-, Breiten- und Gesundheitssport sind drei Serien ebenfalls ausreichend, da hier nicht ein maximaler Leistungsfortschritt pro Zeiteinheit angestrebt wird (vgl. SCHLUMBERGER/STEC/SCHMIDTBLEICHER 2001, 288). Um diese Vermutungen weiter zu erhellen, wäre es lohnend, innerhalb eines Längsschnittexperiments die optimale Serienanzahl beim Kraftausdauertraining zu ermitteln.

10.1.5 Herzfrequenz als Vergleichskriterium

Diese Aussagen sind natürlich von der gewählten Pausendauer abhängig (vgl. FLECK/KRAEMER 1997, 95f.). Da eine der Hauptintentionen im Kraftausdauertraining darin besteht, die Ermüdungswiderstandsfähigkeit zu verbessern (HARRE 1986, 134), werden nach SCHNABEL/HARRE/BORDE (1997, 273) die Erholungsintervalle vornehmlich durch den Erholungsbedarf des Herz-Kreislauf- und Stoffwechselsystems bestimmt. Die Pausenzeiten sind demnach etwa 20 bis 60 Sekunden oder werden bei einem Abfall der Herzfrequenz auf 120 - 130 Schläge pro Minute beendet (vgl. Kapitel 2.4). In diesem Zusammenhang spricht man von einer sog. „lohnenden Pause“ (vgl. Abb. 14). Nach HECK (1990, 44) besteht jedoch im anaeroben Belastungsbereich keine feste Beziehung zwischen der Herzfrequenz und der metabolischen Situation. Während es in der Pause zu einer Absenkung der Herzfrequenz auf 120 - 130 Schläge pro Minute kommt, ist die Laktatelimination deutlich langsamer. Beide Aspekte konnten sowohl beim Belastungstreatment „konstante Last“ als auch bei Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ beobachtet werden. Folgt man diesen Überlegungen, so müsste man in Anlehnung an die Methoden und Inhalte des Ausdauertraining eigentlich bei dieser Form der Belastungsgestaltung im Krafttraining von einem Intervalltraining sprechen (vgl. HECK 1990, 45). Hierbei ist das Intervalltraining charakterisiert durch einen systematischen Wechsel von Belastungs- und Erholungsphasen, wobei die Zeitdauer der Pausen so knapp bemessen ist, dass eine vollständige Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit nicht möglich ist. Die Zielstellung besteht weiterhin darin, dass von Belastungsphase zu Belastungsphase ein fortlaufender Abbau energiereicher Substrate und eine ständige Aufstockung der Ermüdung erfolgt. HARTMANN/TÜNNEMANN (1993, 267ff) unterscheiden dabei ein extensives und ein intensives Intervalltraining. Beim extensiven Intervalltraining besteht nach HARTMANN/TÜNNEMANN (1993, 268) die Möglichkeit, die Intensität der Belastung durch die Herzfrequenz zu steuern. Das Training führt dann zu den gewünschten Anpassungserscheinungen, wenn eine durchschnittliche Herzfrequenz von 150 - 180 Schlägen pro Minute minus Lebensalter erreicht wird. Nimmt man ein durchschnittliches Lebensalter aller Probanden von 29 Jahren (vgl. Tab. 13), so sollte die Trainingsherzfrequenz für einen extensives Intervalltraining zwischen 121 - 151 Schlägen pro Minuten liegen. Diese Trainingsherzfrequenzvorgaben werden sowohl bei der Trainingsmethode „konstante Last“ (vgl. Tab. 35) als auch bei der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“ (vgl. Tab. 44) umgesetzt.

Die in der vorliegenden Studie registrierten Herzfrequenzwerte der beiden Trainingsmethoden von im Mittel 141 bzw. 144 Schlägen pro Minute liegen etwas über den Befunden von BUSKIES (1999a) und FLECK/DEAN (1987). So konnte BUSKIES (1999a, 139, 149) bei 17 männlichen Sportstudenten bei der Übung Bankdrücken unter der Prämisse Ausbelastung in der Serie Herzfrequenzwerte von im Mittel 121 ± 20 Schlägen pro Minute registrieren. Die Ausbelastung in der Serie sollte im Rahmen von 15 ± 3 Wiederholungen stattfinden. FLECK/DEAN (1987, 118) ermittelten bei vier männlichen Bodybuildern, sechs Novizen und sechs männlichen Probanden ohne Krafttrainingserfahrung bei der Übung knee extension bei 50 % 1-RM folgende Herzfrequenzwerte: Bodybuilder ca. 100 [1/min], Novizen ca. 127 [1/min] und Krafttrainingsunerfahrene ca. 128 [1/min]. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von HURLEY et al. (1984). Bei einem Training bis zur völligen Erschöpfung mit acht bis zwölf Wiederholungen wurden mittlere Herzfrequenzen von 155 Schlägen pro Minute registriert. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von FLECK (1992, 310), welcher bei der Durchführung einer Kraftübung entsprechend dem 8-RM, Herzfrequenzwerte bei der letzten Wiederholung von 170 Schlägen pro Minute feststellt. Innerhalb der einzelnen Serie kam es zu einem stetigen Herzfrequenzanstieg. Obwohl zwischen den drei Gruppen kein statistisch signifikanter Unterschied besteht, fällt doch auf, dass die Gruppe der Ringer über die einzelnen Serien tendenziell geringere Herzfrequenzwerte erreicht. Bei der Trainingsmethode „konstante Last“ beträgt diese Differenz ca. 6 - 7 und bei der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“ ca. 10 Schläge pro Minute. In der Studie von FLECK/DEAN (1987) lagen die Blutdruck- und Herzfrequenzwerte der Novizen und der Krafttrainingsunerfahrenen signifikant höher als die Blutdruck- und Herzfrequenzwerte der Bodybuilder. Eine Begründung könnte in der besseren Anpassung des Herzkreislauf-Systems der Bodybuilder sowie hier der Ringer liegen.

10.1.6 Blutdruck als Vergleichskriterium

Während intensiver, dynamischer Kraftbelastungen kommt es zu einem Anstieg des systolischen Blutdrucks, während der diastolische Blutdruck gleich bleibt oder sogar etwas absinkt. Dadurch nimmt die Blutdruckamplitude als Ausdruck der Vergrößerung des Schlagvolumens zu (vgl. Abb. 21, Abb. 26 und Tab. 18). Nach NÖCKER (1980, 112) besitzen Trainierte gegenüber Untrainierten eine größere Blutdruckamplitude. Somit kann man aus der Größe der Amplitude bei gleicher Belastung den leistungsschwachen vom leistungsstarken Kreislauf unterscheiden.

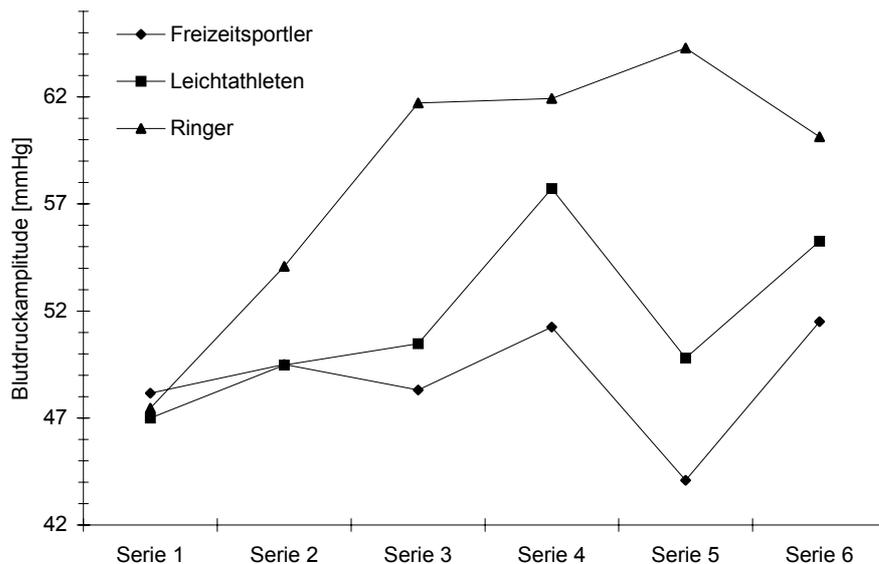


Abb. 40: Blutdruckamplitude [mmHg] beim Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ (20 Wdh.) über die 6 Serien bei den 3 Gruppen (Freizeitsportler, Leichtathleten und Ringer)

Wie aus der Abb. 40 ersichtlich, ist die Blutdruckamplitude der Leistungssportler (Leichtathleten und Ringer) größer als bei den Freizeitsportlern. Dies kann als Hinweis auf eine Schlagvolumenvergrößerung interpretiert werden. Der systolische Blutdruck unterscheidet sich weder bei der Trainingsmethode „konstante Last“ noch bei der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“ zwischen den einzelnen Gruppen. Die systolischen Blutdruckwerte der Leichtathleten liegen jedoch im Einzelnen über den Werten der Freizeitsportler und Ringer (vgl. Abb. 21). In diesem Zusammenhang sind zwei Aspekte zu erwähnen:

Mit Zunahme der Belastungsintensität werden nach dem Rekrutierungsprinzip von HENNEMAN (1957) fortlaufend motorische Einheiten zusätzlich aktiviert und infolgedessen nach dem Größenordnungsprinzip auch immer mehr FT-Fasern rekrutiert, die in der Rekrutierungsfolge erst später eingeschaltet werden (vgl. Kapitel 3.2.1). Der Blutdruck steigt umso höher an, je mehr FT-Fasern rekrutiert werden (vgl. PETROFSKY et al. 1981, 32). Da die Belastungsintensität hypothetisch ansteigt und die Leichtathleten mehr FT-Fasern besitzen, könnte dies ein Erklärungsansatz für die vorliegenden Befunde sein.

FLECK/DEAN (1987) fanden bei Bodybuildern signifikant niedrigere Blutdruckwerte als bei Novizen und Krafttrainingsunerfahrenen. MACDOUGALL et al. (1985) fanden bei fünf Hochleistungsbodybuildern, Belastungsintensität 95 % 1-RM, bei beidbeinigen Beinstreckungen bis zur Erschöpfung Blutdruckwerte von im Mittel 320 mmHg systolisch und 250 mmHg diastolisch. Bei der Übung single-arm curl lag der Mittelwert bei 255 mmHg systolisch und 190 mmHg diastolisch. VÖLKER/RÖDDER/HOLLMANN (1988) untersuchten bei 25 Bodybuildern an vier verschiedenen großen Muskelgruppen (Bein, Arm, Hand, Finger)

das systolische und diastolische Blutdruckverhalten auf den Belastungsstufen 25 %, 50 % und 75 % MVC. Die mittleren Blutdruckanstiege von Belastungsstufe zu Belastungsstufe betragen bei der Unterschenkelstreckung 12 mmHg systolisch und 10 mmHg diastolisch, bei der Unterarmbeugung 12 mmHg systolisch und 11 mmHg diastolisch, beim Handgrip 6 mmHg systolisch und 7 mmHg diastolisch, bei der Zeigefingerbeugung 4 mmHg systolisch und 5 mmHg diastolisch. Aus den Untersuchungsergebnissen schließen VÖLKER/RÖDDER/HOLLMANN (1988, 6), dass es durch die Steigerung der Belastungsintensität bei den großen Muskelgruppen (Unterschenkelstrecker und Unterarmbeuger) zu deutlich höheren Blutdruckanstiegen als bei kleinen Muskelgruppen (Handgrip und Zeigefingerbeuger) kommt.

Nach FLECK (1992, 311f.) ist der Blutdruckanstieg abhängig von der Belastungsintensität und der Wiederholungszahl und liegt bei 70 - 95 % 1-RM höher als bei niedrigeren Belastungsintensitäten. Da bei der Trainingsmethode „konstante Last“ die Belastungsintensität hypothetisch über die Serien ansteigt, sollte sich der Belastungsblutdruck ebenfalls über die Serien erhöhen. Mit Einschränkung ist dies aus Abb. 33 zu entnehmen. Die größere Wiederholungszahl bei der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“ findet tendenziell ihren Niederschlag im Blutdruckverhalten. Diese Aussagen sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten.

URHAUSEN et al. (2000) untersuchten bei Patienten einer ambulanten Herzgruppe die Durchführbarkeit sowie die kardiozirkulatorische und metabolische Beanspruchung eines Kraftausdauertrainings in Zirkelform. Die Belastungsdauer pro Station sowie die Pause zwischen den Stationen und den Durchgängen betrug eine Minute. Insgesamt wurden zwei Durchgänge à sechs Stationen mit 20 - 30 Wiederholungen für die Muskelgruppen Schulter, Arme, Rücken, Bauch und Beine durchgeführt. Die maximalen Herzfrequenzwerte der Patienten während des Kraftausdauer-Zirkel betragen 129 ± 13 Schläge pro Minute. Die maximalen Blutdruckwerte betragen systolisch 155 ± 14 mmHg und 91 ± 6 mmHg diastolisch. Die Herzfrequenz und der Blutdruck lagen während des Kraftausdauer-Zirkel signifikant niedriger als an der IAS bei Fahrradergometrie. Innerhalb der Ergebnisdiskussion gehen URHAUSEN et al. (2000, 134f.) auf einige interessante Aspekte ein, welche auch aus der vorliegenden Studie abgeleitet werden können:

- Als Steuerungsparameter zur Selbstkontrolle beim Krafttraining ist die Herzfrequenz im Vergleich zu Ausdauerbelastungen weniger geeignet.
- Eine primäre Orientierung der Trainingsintensität an der Maximalkraft ist aufgrund erheblicher Unterschiede zwischen einzelnen Individuen und Muskelgruppen nicht angebracht.
- Eine genaue Quantifizierung der Belastungsintensität der einzelnen Übungen ist nicht möglich. Die vorgenommene Angabe von Wiederholungen pro Minute ist jedoch praktikabler und genauer als die immer noch verbreitete Orientierung an der Maximalkraft.

- Die Aussagen zum Blutdruckverhalten im Kraftausdauer-Zirkel sind durch die nicht-invasiven Messungen in der Nachbelastungsphase zwangsläufig limitiert, da der Blutdruck nach Kraftbelastungen sehr schnell abfällt (vgl. MEYER/GREINACHER/WEIDEMANN 1991, 54).

SEIFFERT et al. (1990) berichten bei Kraftausdauerbelastungen (extensive Intervallmethode, 3 Serien à 12 Wiederholungen mit einer Serienpause von 2 Minuten) bei den Übungen Beindrücken, Bankdrücken, Bein-Curl-Extension und Bein-Curl-Flexion über durchschnittliche arterielle Blutdruckwerte von 118 - 137 mmHg systolisch und 85 - 92 mmHg diastolisch und von errechneten Mitteldruckwerten von 99 - 107 mmHg. Die maximalen Belastungsherzfrequenzen bewegen sich entsprechend den unterschiedlichen Übungsanforderungen im Mittel zwischen 82 und 97 Schlägen pro Minute. Nach Aussagen der Autoren entsprechen die Blutdruckwerte in etwa den Befunden, welche bei submaximaler Fahrradergometerbelastung ermittelt wurden (ebd. 1990, 86).

Als kurzes Zwischenfazit kann an dieser Stelle zu den (Teil-)Beanspruchungsparametern Laktat, Blutdruck- und Herzfrequenzverhalten konstatiert werden: Die registrierten Beanspruchungsparameter zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der Belastungs-/Reizintensität und der Belastungs-/Reizdauer (Wiederholungszahl), des Weiteren von der Größe der eingesetzten Muskelmasse und der spezifischen Trainingsadaptation (vgl. FLECK 1992; FLECK/KRAEMER 1997; PIERCE/ROZENEK/STONE 1993; STONE/O'BRYANT 1987). Selbst wenn man berücksichtigt, dass die belastungsbedingten Blutdruckwerte mittels indirekter Messungen (vgl. Methodenkritik) erhoben wurden, sind aus gesundheitlicher Sicht keine Einschränkungen für die Trainingspraxis zu erkennen. Innerhalb eines Methodenvergleichs zeigt sich generell, dass sowohl das metabolische als auch das kardiovaskuläre System bei einem Belastungstreatment „konstante Wiederholungszahl“ mehr beansprucht wird.

Der myokardiale Sauerstoffbedarf unterscheidet sich weder zwischen den einzelnen Gruppen noch zwischen den Trainingsmethoden. Lediglich bei der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“ differieren die einzelnen Serien signifikant. Hier kommt es ab der 3. Serie zu einem Anstieg des Blutdruck-Herzfrequenz-Produktes und somit zu einem myokardialen Sauerstoffmehrbedarf (vgl. Abb. 35). BUSKIES (1999a, 150) fand in einer Untersuchung zur Steuerung der Belastungsintensität im Krafttraining über das subjektive Belastungsempfinden bei Männern (N = 16) unter der Prämisse Ausbelastung in der Serie mit 15 ± 3 Wiederholungen bei den Übungen Crunch, Beinpressen, Beinbeugen und unter Ruhebedingungen folgende Werte: Crunch 27655 mmHg x 1/min, Beinpressen 39293 mmHg x 1/min, Beinbeugen 38556 mmHg x 1/min und Ruhe 9182 mmHg x 1/min.

Während unter Ruhebedingungen die Werte der Freizeitsportler (9789 bzw. 9801 mmHg x 1/min), Leichtathleten (10246 bzw. 9892 mmHg x 1/min) und Ringer (9665 bzw. 9540 mmHg x 1/min) nahezu identisch mit den Werten von BUSKIES (1999, 159) sind (vgl. Tab. 17), ist der myokardiale Sauerstoffbe-

darf bei der Übung Bankdrücken unter Ausbelastung aufgrund der geringeren Muskelmasse entsprechend geringer (vgl. Abb. 35). Die Maximalwerte des Blutdruck-Herzfrequenz-Produktes werden in der 4. Serie erreicht und liegen bei der Trainingsmethode „konstante Last“ bei 18412 mmHg x 1/min bzw. bei der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“ bei 19647 mmHg x 1/min. Dies entspricht einer Steigerung vom Ruhewert zur maximalen myokardialen Beanspruchung von etwa dem 1,9fachen bzw. 2,1fachen.

Nach FLECK (1992, 306) kann es zu einer Abnahme des myokardialen Sauerstoffverbrauchs in Ruhe durch Krafttraining kommen. Dies deckt sich mit den Aussagen von FLECK/KRAEMER (1997, 152), welche während Krafttraining, infolge chronischer Adaptationen, von geringeren Doppelproduktwerten berichten. Innerhalb dieser Untersuchung konnte kein entsprechender Gruppenunterschied zwischen Freizeitsportlern und Leistungssportler festgestellt werden (vgl. Tab. 17). Dies verwundert insofern, da die Leistungssportler in 76,9 % der Fälle 1 - 3 mal und in 23,1 % der Fälle 3 - 5 mal pro Woche ein Krafttraining durchgeführt haben (vgl. Tab. 12). Eventuell könnte hierfür die mangelnde Messgenauigkeit des Blutdruckverhaltens verantwortlich sein. Berücksichtigt man, dass der myokardiale Sauerstoffbedarf sich aus dem Produkt aus Herzfrequenz und systolischem Blutdruck zusammensetzt, so wird sofort die Abhängigkeit von der Belastungs-/Reizintensität und Belastungs-/Reizdauer einsichtig. Da beide Parameter in einem Bereich liegen (60 % 1-RM vs. 25 Wdh.), der sehr stark an das gesundheitsorientierte Muskelkrafttraining angelehnt ist (vgl. ZIMMERMANN 2000), kann man davon ausgehen, dass weder das kardiovaskuläre noch das myokardiale System in einem gesundheitlich bedenklichen Maße beansprucht werden. Somit scheint nach SEIFFERT (1990, 86) eine Integration des Kraftausdauertrainings im Rahmen der kardialen Rehabilitation denkbar. Im Gegensatz zu den Ausführungen im Gesundheitssport scheinen die kardiovaskulären und myokardialen Beanspruchungsparameter zur Leistungs- bzw. zur Trainingssteuerung im Kraftausdauertraining weniger aussagekräftig zu sein. D. h., für die Trainingssteuerung im Leistungssport werden der systolische Blutdruck und das Herzfrequenzverhalten nur eine untergeordnete Rolle spielen.

10.1.7 Subjektives Belastungsempfinden als Vergleichskriterium

In zahlreichen Studien konnte nachgewiesen werden, dass das subjektive Belastungsempfinden zur Steuerung der Belastungsintensität im Ausdauertraining eingesetzt werden kann (vgl. im Überblick BUSKIES 1999a, 15). Für den Bereich des Krafttrainings stehen solche Befunde noch weitestgehend aus. Ansätze hierzu wurden bisher von der Bayreuther Arbeitsgruppe um ZIESCHANG vorgelegt (BUSKIES 1999a; 1999b; BUSKIES 2001b; 2001a; BUSKIES/BOECKH-BEHRENS/ZIESCHANG 1996). Während in den erwähnten Untersuchungen die Belastungsintensität im Krafttraining über die subjektive Belastungseinschätzung vorgenommen wurde (in der Regel über die Zuordnung „mittel“, „schwer“ und „Ausbe-

lastung“), sollten die Probanden in der vorliegenden Studie im direkten Anschluss an die Kraftbelastung eine subjektive Belastungseinschätzung vornehmen. Weder bei der Trainingsmethode „konstante Last“ noch bei dem Treatment „konstante Wiederholungszahl“ konnte ein signifikanter Unterschied bei der subjektiven Belastungseinschätzung zwischen den drei Gruppen festgestellt werden. Während bei der ersten Belastungsgestaltung die Leichtathleten tendenziell höhere Werte anzeigen (vgl. Abb. 24), werden bei der zweiten Trainingsmethode von den Freizeitsportlern tendenziell die höchsten Werte angegeben (vgl. Abb. 29). Auffallend erscheint, dass die Ringer, obwohl sie mehr Wiederholungen bei 60 % 1-RM realisieren und die verrichtete Last sowie die physikalische Arbeit ab der 3. bzw. 4. Serie deutlich größer ist als bei den Freizeitsportlern und den Leichtathleten, die subjektive Belastungseinschätzung diametral gegen läuft.

Ein Erklärungsansatz könnte in der Trainingspezifität gesehen werden. So trainieren Ringer bspw. in einem Bereich, der sehr stark durch eine Laktatakkumulation determiniert ist. Das bedeutet, trotz einem erheblichen Schmerzgefühl in der Muskulatur wird die subjektive Interpretation der Belastung bei der Gruppe der Ringer als weniger beanspruchend empfunden. Dies deckt sich mit den Aussagen von LECSKO/VARISCO (1999), welche bei trainierten Leistungssportlern eine stärkere Ausprägung von „Leidensfähigkeit“ im Kraftausdauertraining fanden als bei untrainierten Sportlern (vgl. Abb. 29). Darüber hinaus könnte es auf Grund des sozioökonomischen sowie kulturellen Einflusses bei den Ringern als „unmännlich“ angesehen werden, wenn man angibt, dass man „extrem schwer“ bzw. „maximal anstrengend“ belastet wurde. Generell konnte ein Anstieg der subjektiven Belastungseinschätzung über die Serien konstatiert werden (vgl. Abb. 36). Im Gegensatz zu den objektiven Beanspruchungsparametern wie Laktat, systolischer Blutdruck, Herzfrequenz und Doppelprodukt liegt die subjektive Belastungseinschätzung bei der Trainingsmethode „konstante Last“ über die einzelnen Serien höher als bei der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“. Vergegenwärtigt man sich den hypothetischen Belastungsintensitätsanstieg beim Treatment „konstante Last“, so ist das vorfindliche Ergebnis dahingehend zu interpretieren, dass die größere Belastung einer größeren subjektiven Einschätzung bzw. die gleiche Belastung einer geringeren subjektiven Einschätzung entspricht. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von SUMINSKI et al. (1997), welche bei 70 % 1-RM höhere subjektive Belastungseinschätzungen fanden, als bei 50 % 1-RM. Auf die Schwierigkeit der Unterscheidung im Hinblick auf die subjektive Belastungseinschätzung innerhalb einer Serie bzw. einer Wiederholung wurde bereits im Kapitel Methodenkritik (siehe Seite 97) eingegangen.

KRAEMER et al. (1987) fanden bei neun Bodybuildern und acht Powerliftern innerhalb zehn verschiedener Übungen (bench press, double leg extensions, shoulder press, double leg curl, upright row, leg press, lat pull down, sated calf raises, two-arm curls und hang cleans) à drei Sätzen mit dem 10-RM Gewicht signifikante Korrelationen ($r = 0,84$) zwischen dem Laktatspiegel und der subjektiven Belas-

tungseinschätzung. Dabei kam es zu einem nahezu linearen Anstieg der subjektiven Belastungseinschätzung über die zehn verschiedenen Übungen sowohl bei den Bodybuildern als auch bei den Powerliftern (vgl. KRAEMER et al. 1997, 249). In einer Studie von SUMINSKI et al. (1997) kam es zu einem korrespondierenden Anstieg von subjektiver Belastungseinschätzung und Laktatkonzentration bei 50 % 1-RM und 70 % 1-RM innerhalb von sieben verschiedenen Krafttrainingsübungen. Herzfrequenz- und Blutdruckverhalten zeigen diesen korrespondierenden Anstieg jedoch nicht.

HASSON/WILLIAMS/SIGNORILE (1989) fanden bei zehn männlichen Erwachsenen bei 50 % MVC eine signifikante Korrelation von $r = 0,49$ bis $0,89$ ($p < 0,05$) zwischen dem root mean squared des EMG und der subjektiven Belastungseinschätzung (RPE) sowie eine inverse Korrelation von $r = 0,80$ bis $0,95$ ($p < 0,05$) der mean power frequency des EMG und der subjektiven Belastungseinschätzung (RPE). In der Zusammenfassung schreiben die Autoren:

„In Summary, the results of this investigation indicate that during sustained isometric exercise leading to exhaustion, changes in the perception of effort are related to changes in both the amplitude and frequency content of the EMG signal.“ (HASSON/WILLIAMS/SIGNORILE 1989, 102)

Während BUSKIES (2001b, 57) darauf verweist, dass das subjektive Belastungsempfinden hervorragend als Parameter zur Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining geeignet ist, wird von URHAUSEN et al. (2000, 135) die Aussage getroffen, dass das subjektive Belastungsempfinden zur Belastungsdosierung im Krafttraining der Bewegungstherapie nur wenig geeignet erscheint. Innerhalb der Diskussion, ob das subjektive Belastungsempfinden als Steuerungsparameter im Krafttraining eingesetzt werden kann, wird oftmals vergessen, dass einerseits unterschiedliche Zielstellungen mit dem Krafttraining verfolgt werden und andererseits verschiedene Adressatengruppen angesprochen werden. Der entscheidende Unterschied dürfte jedoch in der Vorgehensweise zur Belastungssteuerung liegen.

In der vorliegenden Studie wurde im Anschluss an die Belastung die subjektive Belastungseinschätzung mittels BORG-Skala ermittelt. A posteriori durchgeführte Korrelationsberechnungen zwischen Belastung (verrichteter physikalischer Arbeit) bzw. Beanspruchung (Δ Laktatkonzentration, systolischem Blutdruck, Herzfrequenzverhalten, Doppelprodukt) und subjektiver Belastungseinschätzung führten zu keinen signifikanten Zusammenhängen bzw. die Effekte waren so gering, dass ein induktiver Schluss von der Belastung bzw. der Beanspruchung auf die subjektive Belastungseinschätzung vice versa nicht gerechtfertigt erscheint. Exemplarisch hierfür ist in Abb. 41 der Zusammenhang zwischen verrichteter physikalischer Arbeit, Δ Laktatkonzentration, systolischem Blutdruck, Herzfrequenz und subjektiver Belastungseinschätzung (RPE) bei der Trainingsmethode „konstante Last“, in der ersten Serie dargestellt.

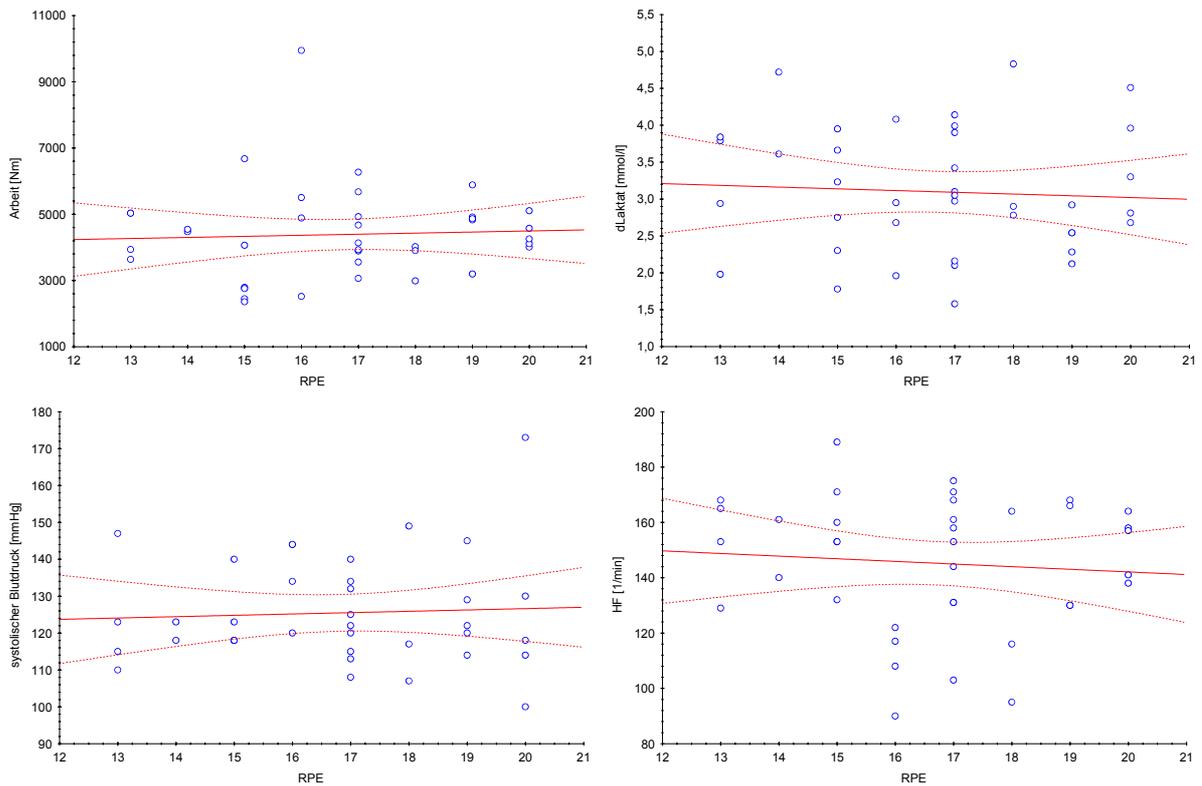


Abb. 41: Scatterplot zwischen verrichteter physikalischer Arbeit, Δ Laktatkonzentration, systolischem Blutdruck, Herzfrequenz und subjektiver Belastungseinschätzung (RPE) bei allen Probanden bei 60 % 1-RM in der ersten Serie

So eignet sich weder bei den Trainingsmethoden noch bei den verschiedenen Gruppen eine Trainingssteuerung im Kraftausdauertraining über das subjektive Belastungsempfinden. Dies war auch nicht anders zu erwarten, da die Vorgabe bei beiden Trainingsmethoden darin bestand, jeweils die maximale Ausbelastung anzustreben. Bemerkenswert erscheint die Tatsache, dass zwischen den objektiven Parametern und der subjektiven Interpretation kein Zusammenhang existiert (vgl. SUMINSKI et al. 1997).

Zur weiteren thematischen Durchdringung wurde im Anschluss an die Querschnittsstudie eine explorative Längsschnittstudie über sechs Wochen Training und zwei Wochen Detraining durchgeführt.

10.2 Explorative Längsschnittstudie zur Überprüfung der Belastungs-/Reizkonfiguration zur Entwicklung der Kraftausdauer

10.2.1 Methodik und Ergebnisse der explorativen Längsschnittstudie

An der nachfolgend beschriebenen explorativen Längsschnittstudie nahmen neun Probanden teil. Die Probanden wurden aus der Gruppe der Freizeitsportler der Querschnittsuntersuchung (siehe Personenstichprobe) akquiriert und über Parallelisierung³⁵ anhand der konzentrischen Maximalkraft (1-RM) auf drei Gruppen aufgeteilt. Die zwei Treatmentgruppen („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) trainierten über einen Zeitraum von sechs Wochen zweimal pro Woche, d. h., insgesamt zwölf Trainingseinheiten (vgl. CARROLL et al. 1998). Die Kontrollgruppe wurde nur zu den Testterminen einbestellt. Des Weiteren durfte die Kontrollgruppe während des gesamten Längsschnitts kein Krafttraining durchführen. Das Untersuchungsdesign ist der Abb. 42 zu entnehmen. Beim Eingangstest, Ausgangstest und Überdauerungstest wurde die konzentrische Maximalkraft³⁶ (1-RM), die relative Kraftausdauer³⁷ (60 % 1-RM) sowie die absolute Kraftausdauer³⁸ (60 % 1-RM Eingangstest) bestimmt. Zwi-

³⁵ Durch die Parallelisierung anhand des 1-RM sollten drei möglichst homogene Gruppen gebildet werden, so dass die Veränderungen in den abhängigen Variablen eindeutig auf den Einfluss der unabhängigen Variablen zurückzuführen sind (hohe interne Validität). Nach BORTZ/DÖRING (1995, 491) sind Vergleichsgruppen dann parallel, wenn annähernd gleiche Mittelwerte und Streuungen vorliegen. Wie jedoch aus Tab. 57 zu entnehmen ist, unterscheiden sich die Streuungen zwischen den drei Gruppen bzgl. des 1-RM. Während in der Treatmentgruppe „konstante Last“ das 1-RM bei $74,2 \pm 3,8$ kg und in der Kontrollgruppe bei $78,3 \pm 3,8$ kg liegt, ist das 1-RM in der Treatmentgruppe „konstante Wiederholungszahl“ $75,8 \pm 23,8$ kg. Die Spannweite beträgt 47,5 kg bei einem Minimum von 52,5 kg und einem Maximum von 100,0 kg.

³⁶ Aus Sicht des Autors ist das 1-RM kein geeignetes Kriterium zur Beschreibung von Krafttrainingseffekten im Kraftausdauertraining (siehe Tab. 55). Da jedoch die Mehrzahl der zu diesem Thema veröffentlichten Studien auf das 1-RM als Quantifizierungsmöglichkeit zurückgreifen, wurde das 1-RM ebenfalls mit erhoben. In Kapitel 10.3 wird ein theoretisches Alternativverfahren beschrieben.

³⁷ Die relative Kraftausdauer [Nm] wurde berechnet aus der Wiederholungszahl und der relativen Last in Prozent des 1-RM. In dieser Studie wurde die relative Gewichtsbelastung in Kilogramm als 60 % 1-RM definiert (vgl. SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 2000, 225). Unter relativer Kraftausdauer verstehen ANDERSON/KEARNEY (1982, 2): „The maximum number of repetitions that each subject was able to perform, against a resistance equaling 40 % of his own 1-RM, done at a rate of 40 repetitions per minute, served as the test of relative endurance.“

³⁸ Die absolute Kraftausdauer [Nm] wurde berechnet aus der Wiederholungszahl und der definierten submaximalen Last. In dieser Studie wurde die Gewichtsbelastung in Kilogramm als 60 % 1-RM des Eingangstests definiert (vgl. SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 2000, 225). Unter absoluter Kraftausdauer verstehen ANDERSON/KEARNEY (1982, 2): „Absolute endurance was assessed similarly with all subjects being tested using 27,23 kilograms. The resistance used for assessment of relative endurance was adjusted to the new 1-RM at the post-test, whereas the absolute task was done using 27,23 kilograms at both test periods.“

schen der Bestimmung des 1-RM und der relativen Kraftausdauer lag eine Pause von drei Minuten. Nach weiteren fünf Minuten wurde die absolute Kraftausdauer bestimmt. Der Eingangstest, Ausgangstest und Überdauerungstest gestaltete sich für alle drei Gruppen identisch. Die weiteren abhängigen Variablen waren Laktat-, Herzfrequenz- und Blutdruckverhalten sowie die subjektive Belastungseinschätzung (vgl. Kapitel 7.2). Die Messzeitpunkte für obige Teilbeanspruchungsparameter waren: in Ruhe (außer subjektive Belastungseinschätzung), nach dem speziellen Erwärmen, nach der 1-RM Bestimmung (außer Laktat), nach der Bestimmung der relativen Kraftausdauer, nach der Bestimmung der absoluten Kraftausdauer sowie nach der 1. Nachbelastungsminute (außer subjektive Belastungseinschätzung) (vgl. Anhang 5).

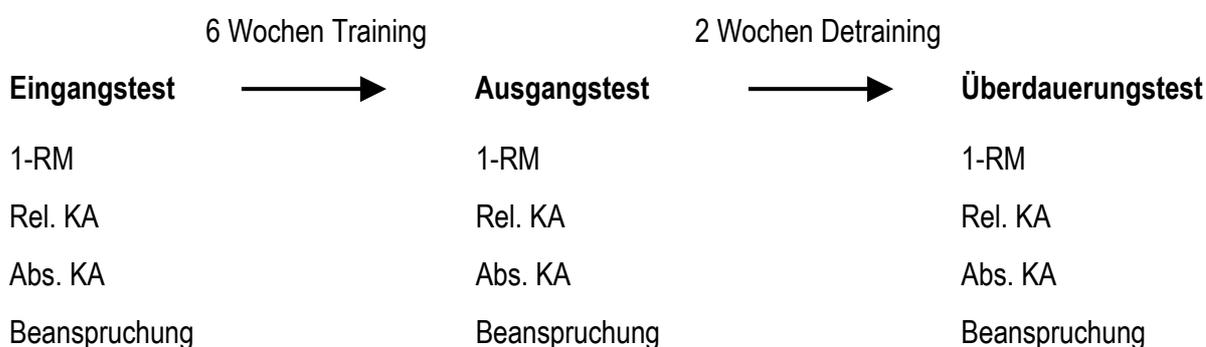


Abb. 42: Untersuchungsdesign der explorativen Längsschnittstudie für die Treatmentgruppen „konstante Last“ und „konstante Wiederholungszahl“

Die Treatmentgruppe „konstante Last“ trainierte sechs Wochen mit 60 % 1-RM des Eingangstests. Die Treatmentgruppe „konstante Wiederholungszahl“ trainierte sechs Wochen mit der Gewichtsbelastung, mit der 20 Wiederholungen pro Serie möglich waren. Insgesamt mussten die Probanden der beiden Treatmentgruppen sechs Serien mit einer Serienpause von exakt einer Minute bewältigen (vgl. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999). Vor dem eigentlichen Training wurde ein standardisiertes Erwärmen (4 Minuten Cross-Trainer mit 100 rpm) durchgeführt. Der Hubweg, die benötigte Zeit für die Wiederholungen, die Bankposition etc. wurden protokolliert. Die Test- und Trainingseinheiten wurden mit der in Kapitel 7.5 beschriebenen Messtechnik durchgeführt. Die Trainingstage sowie die Uhrzeit wurden über die zwölf Trainingseinheiten annähernd konstant gehalten. Zwischen den Trainingseinheiten lagen zwei bzw. drei Tage Ruhe. Bei der Gruppe „konstante Last“ kam es zu einem Abfall der Wiederholungen über die Serien. Im Gegensatz dazu musste die Last bei Treatment „konstante Wiederholungszahl“ über die Serien jeweils neu angepasst werden (vgl. Abb. 43).

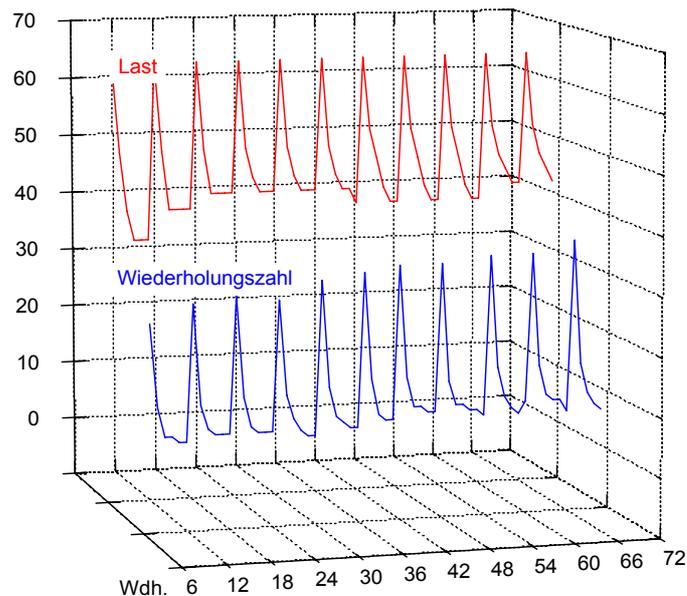


Abb. 43: Exemplarische Darstellung der verrichteten Wiederholungszahlen (60 % 1-RM) über 6 Serien bei 12 Trainingseinheiten sowie bewältigte Last (20 Wdh.) über 6 Serien bei 12 Trainingseinheiten von 2 Probanden

Die anthropometrischen Daten der Probanden sehen wie folgt aus: Die Treatmentgruppe „konstante Last“ war durchschnittlich $30,3 \pm 14,5$ Jahre alt, die Körpergröße war im Mittel $177,0 \pm 4,4$ cm und das Körpergewicht lag bei $72,3 \pm 4,5$ kg. Die Treatmentgruppe „konstante Wiederholungszahl“ war durchschnittlich $38,0 \pm 13,0$ Jahre alt, $177,0 \pm 4,6$ cm groß und $73,3 \pm 4,6$ kg schwer. Die Probanden der Kontrollgruppe waren durchschnittlich $37,3 \pm 5,5$ Jahre alt, $182,3 \pm 9,1$ cm groß und das mittlere Körpergewicht lag bei $77,0 \pm 8,7$ kg.

Aus Tab. 57 sind die jeweiligen Werte der konzentrischen Maximalkraft (1-RM), der relativen Kraftausdauer und der absoluten Kraftausdauer von Eingangstest, Ausgangstest und Überdauerungstest bei den drei Gruppen („konstante Last“, „konstante Wiederholungszahl“ und Kontrollgruppe) zu entnehmen.

Die weitere Ergebnisdarstellung erfolgt ausschließlich auf deskriptiver Ebene, da eine inferenzstatistische Berechnung mit einer Gruppengröße von $N = 3$ testmethodischen Aspekten nicht Rechnung trägt.

Tab. 57: Konzentrische Maximalkraft (1-RM), relative Kraftausdauer und absolute Kraftausdauer beim Eingangstest, Ausgangstest und Überdauerungstest von den drei Gruppen

	1-RM [kg] ET	1-RM [kg] AT	1-RM [kg] ÜT
Konstante Last	74,2 ± 3,8	82,5 ± 2,5	84,2 ± 2,9
Konstante Wdh.	75,8 ± 23,8	82,5 ± 23,8	84,2 ± 24,0
Kontrollgruppe	78,3 ± 3,8	78,3 ± 3,8	78,3 ± 3,8
	Rel. KA [Nm] ET	Rel. KA [Nm] AT	Rel. KA [Nm] ÜT
Konstante Last	3370 ± 591	4066 ± 781	4524 ± 1338
Konstante Wdh.	4276 ± 1045	4694 ± 860	4683 ± 992
Kontrollgruppe	4568 ± 1031	4283 ± 834	4566 ± 944
	Abs. KA [Nm] ET	Abs. KA [Nm] AT	Abs. KA [Nm] ÜT
Konstante Last	2261 ± 455	3431 ± 369	3857 ± 978
Konstante Wdh.	3147 ± 1232	3798 ± 997	3783 ± 1048
Kontrollgruppe	3319 ± 992	3394 ± 1028	3235 ± 718

Wie aus der folgenden Abb. 44 zu entnehmen ist, steigt die Wiederholungszahl bei 60 % 1-RM bei der Treatmentgruppe „konstante Last“ vom Eingangstest zum Ausgangstest um 51,2 % und vom Eingangstest zum Überdauerungstest um 69,8 % an. Bei der Treatmentgruppe „konstante Wiederholungszahl“ liegt die Steigerungsrate bei 24,0 % vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest. Die Wiederholungszahlen der Kontrollgruppe verändern sich quasi nicht (± 2,2 %).

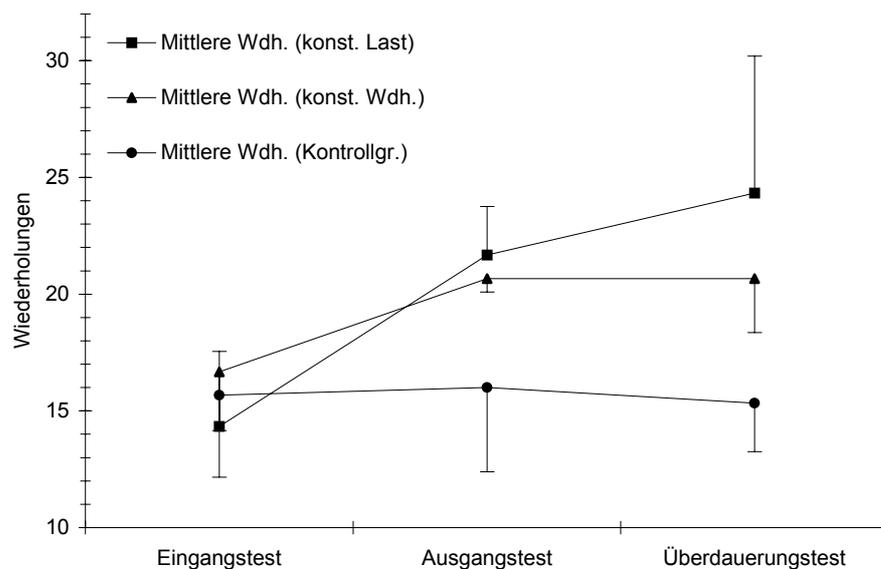


Abb. 44: Wiederholungszahl bei 60 % 1-RM Eingangstest bei den 3 Gruppen („konstante Last“, „konstante Wiederholungszahl“, Kontrollgruppe) beim Eingangstest, Ausgangstest und Überdauerungstest

Im Untersuchungszeitraum kam es zu einer Steigerung der konzentrischen Maximalkraft (1-RM) bei der Treatmentgruppe „konstante Last“ vom Eingangstest zum Ausgangstest um 11,4 % und vom Eingangstest zum Überdauerungstest um 13,7 %. Die Treatmentgruppe „konstante Wiederholungszahl“ steigerte sich um 9,4 % bzw. 11,8 % (vgl. Abb. 45).

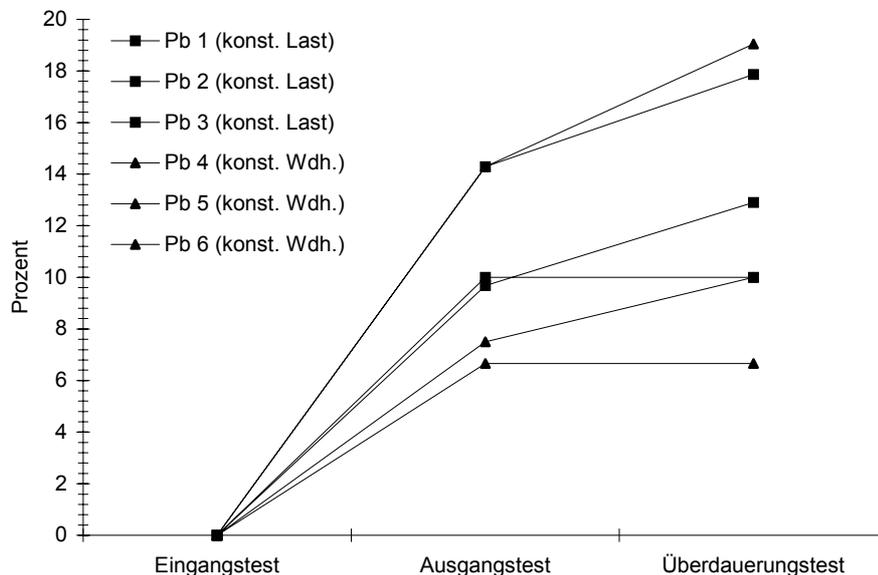


Abb. 45: Prozentuale Veränderung der konzentrischen Maximalkraft (1-RM) vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest bei den beiden Belastungstreatments („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) für die einzelnen Probanden

Die konzentrische Maximalkraft der Kontrollgruppe veränderte sich nicht zu den einzelnen Messzeitpunkten (vgl. Tab. 57). Die prozentuale Veränderung der konzentrischen Maximalkraft bei den einzelnen Probanden der Trainingsgruppen ist in Abb. 45 wiedergegeben.

Die Treatmentgruppe „konstante Last“ verbesserte sich bei der relativen Kraftausdauer vom Eingangstest zum Ausgangstest um 22,0 % und vom Eingangstest zum Überdauerungstest um 35,2 %. Die Treatmentgruppe „konstante Wiederholungszahl“ verbessert sich bezüglich der relativen Kraftausdauer um 11,1 % vom Eingangstest zum Ausgangstest und vom Eingangstest zum Überdauerungstest um 10,2 %. Die Kontrollgruppe verändert sich im gleichen Zeitraum vom Eingangstest zum Ausgangstest um minus 5,7 % und vom Eingangstest zum Überdauerungstest um 0,3 %. Aus der Abb. 46 können auf Einzelfallebene die prozentualen Veränderungen der relativen Kraftausdauer vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest entnommen werden. Auf die Darstellung der prozentualen Veränderung der relativen Kraftausdauer der Kontrollgruppe wurde verzichtet, da keine Veränderung bzw. eine Abnahme der relativen Kraftausdauer zu verzeichnen war.

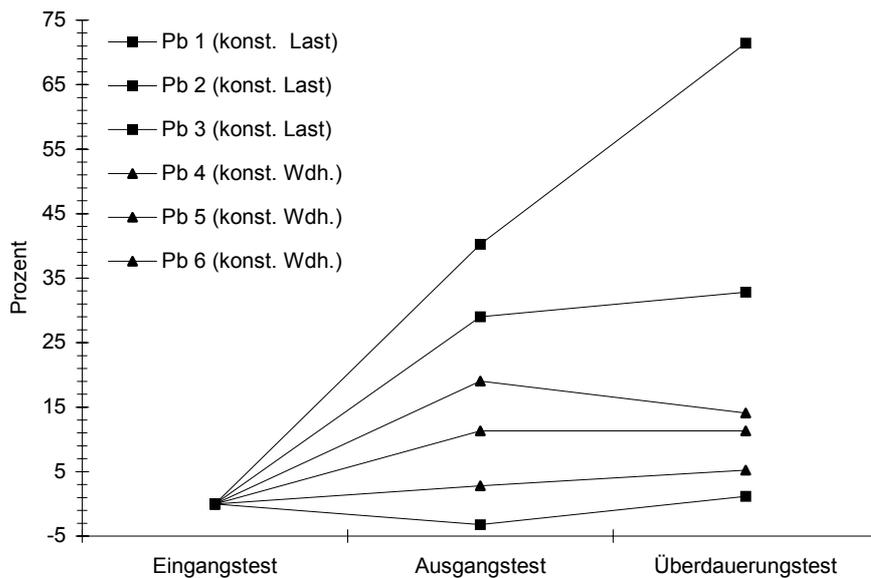


Abb. 46: Prozentuale Veränderung der relativen Kraftausdauer [Nm] vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest bei den beiden Belastungstreatments („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) für die einzelnen Probanden

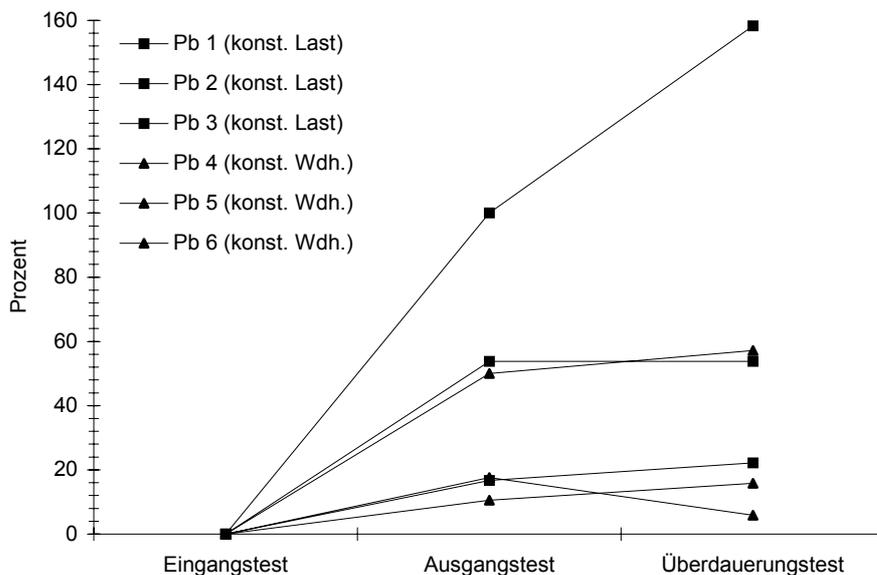


Abb. 47: Prozentuale Veränderung der absoluten Kraftausdauer [Nm] vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest bei den beiden Belastungstreatments („konstante Last“ vs. „konstante Wiederholungszahl“) für die einzelnen Probanden

Die absolute Kraftausdauer konnte in der Treatmentgruppe „konstante Last“ im Mittel vom Eingangstest zum Ausgangstest um 56,8 % und vom Eingangstest zum Überdauerungstest um 78,1 % gesteigert werden. Bei der Treatmentgruppe „konstante Wiederholungszahl“ lagen die mittleren Steigerungsraten

vom Eingangstest zum Ausgangstest bei 26,1 % und vom Eingangstest zum Überdauerungstest bei 26,3 %. Die absolute Kraftausdauer der Kontrollgruppe veränderte sich im gleichen Zeitraum um 2,1 % bzw. um minus 0,7%. Die prozentuale Veränderung der absoluten Kraftdauer der einzelnen Probanden der Treatmentgruppen ist aus Abb. 47 ersichtlich. Die erhobenen Teilbeanspruchungsparameter sind für die drei Gruppen in Tab. 58 dargestellt.

Tab. 58: Δ Laktat, systolischer Blutdruck und Herzfrequenz der relativen und absoluten Kraftausdauer bei den 3 Gruppen beim Eingangstest, Ausgangstest und Überdauerungstest

		Δ Laktat [mmol/l] der rel. KA	Δ Laktat [mmol/l] der abs. KA
ET	Konstante Last	2,6 \pm 1,5	4,9 \pm 1,3
	Konstante Wdh.	2,9 \pm 0,6	5,2 \pm 1,0
	Kontrollgruppe	3,2 \pm 1,7	5,5 \pm 1,2
AT	Konstante Last	3,0 \pm 0,6	5,5 \pm 0,8
	Konstante Wdh.	4,0 \pm 0,4	6,1 \pm 0,5
	Kontrollgruppe	3,2 \pm 1,0	4,9 \pm 0,8
ÜT	Konstante Last	3,0 \pm 0,5	5,3 \pm 0,9
	Konstante Wdh.	3,6 \pm 0,1	6,1 \pm 0,9
	Kontrollgruppe	2,9 \pm 0,1	4,3 \pm 0,3
		Sys. BD [mmHg] der rel. KA	Sys. BD [mmHg] der abs. KA
ET	Konstante Last	137,0 \pm 17,3	125,3 \pm 7,2
	Konstante Wdh.	120,3 \pm 26,6	133,7 \pm 9,3
	Kontrollgruppe	105,3 \pm 13,6	127,7 \pm 9,5
AT	Konstante Last	125,3 \pm 9,1	127,7 \pm 22,5
	Konstante Wdh.	133,3 \pm 10,6	129,7 \pm 10,1
	Kontrollgruppe	115,0 \pm 3,5	118,0 \pm 9,5
ÜT	Konstante Last	140,0 \pm 31,2	128,7 \pm 25,7
	Konstante Wdh.	143,3 \pm 3,5	129,3 \pm 9,2
	Kontrollgruppe	125,3 \pm 8,0	129,7 \pm 18,8
		HF [1/min] der rel. KA	HF [1/min] der abs. KA
ET	Konstante Last	137,0 \pm 33,2	139,7 \pm 28,3
	Konstante Wdh.	132,0 \pm 9,5	136,7 \pm 5,5
	Kontrollgruppe	143,7 \pm 16,6	149,3 \pm 7,6
AT	Konstante Last	152,7 \pm 7,1	148,7 \pm 4,7
	Konstante Wdh.	152,3 \pm 28,3	140,3 \pm 28,0
	Kontrollgruppe	140,3 \pm 12,2	147,3 \pm 13,6
ÜT	Konstante Last	138,7 \pm 11,0	149,0 \pm 5,2
	Konstante Wdh.	149,3 \pm 24,0	149,0 \pm 25,4
	Kontrollgruppe	136,7 \pm 18,6	146,0 \pm 8,7

10.2.2 Diskussion der Ergebnisse der explorativen Längsschnittstudie

Die Diskussion der Ergebnisse der explorativen Längsschnittstudie muss mit Vorsicht erfolgen, da aufgrund der geringen Stichprobengröße und der zeitlichen Dauer der Studie nur eine bedingte Aussagekraft gegeben ist. Um möglichst homogene Vergleichsgruppen zu erhalten, wurde eine Parallelisierung anhand des 1-RM vorgenommen. Wie sich im Nachhinein herausstellte, befand sich in der Treatmentgruppe „konstante Last“ ein Proband, welcher über eine sehr große Adaptationskapazität verfügte (Zunahme der Wiederholungszahl bei 60 % 1-RM von Training zu Training), während in der Trainingsgruppe „konstante Wiederholungszahl“ ein Proband mit einer nur noch sehr geringen Adaptationskapazität zu finden war (vgl. HOHMANN/LAMES/LETZELTER 2002, 153). Dieser Proband führte seit längeren Jahren 1 - 3 mal pro Woche ein Krafttraining durch (vgl. Kapitel 7.1). Berücksichtigt man diese Erkenntnisse, so sind im Kapitel 10.2 beschriebenen Mittelwertsangaben entsprechend zu bewerten. Darüber hinaus sollte man bedenken, dass bei Krafttrainingsunerfahrenen vermehrt koordinative Einflüsse zum Tragen kommen und somit die ersten Krafttrainingszuwächse (Maximalkraft) hauptsächlich auf koordinative bzw. neuromuskuläre Anpassungen zurückzuführen sind. (vgl. KRAEMER/FRY 1995; RUTHERFORD/JONES 1986; SEMMLER/ENOKA 2000).

Betrachtet man den Anstieg der konzentrischen Maximalkraft (siehe Fußnote 36) vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest, so sind keine Unterschiede zwischen den Trainingsmethoden zu erkennen. Bei beiden Kraftausdauertrainingsmethoden kommt es zu einem Anstieg der Maximalkraft innerhalb vier bzw. sechs Wochen um ca. 11 % (11,4 % bzw. 9,4 % ET zu AT sowie 13,7 % bzw. 11,8 % ET zu ÜT). Die etwas höheren Maximalkraftzuwächse bei der Trainingsmethode „konstante Last“ könnten sich dadurch erklären, dass sich ab der 2. Serie die Wiederholungszahlen im Hypertrophietrainingsbereich befanden (vgl. Abb. 43). Da bekanntlich die Reizkonfiguration zur Erhöhung der Muskelmasse (Wiederholungen pro Serie 6 - 20) zu größeren Anpassungseffekten auf die Maximalkraft führt als Reizkonfigurationen zur Entwicklung der Kraftausdauer, stehen die tendenziell etwas höheren Maximalkraftzuwachsrate im Einklang zu den theoretischen Annahmen. ANDERSON/KEARNEY (1982) untersuchten bspw. bei drei verschiedenen Trainingsgruppen (high resistance-low repetition group 3 Sätze à 6 - 8-RM, medium resistance-medium repetition group 2 Sätze à 30 - 40-RM und low resistance-high repetition group 1 Satz à 100 - 150-RM) die Effektivität auf das 1-RM, die absolute und relative Kraftausdauer. Alle Probanden trainierten dreimal pro Woche über neun Wochen Bankdrücken. Die high resistance-low repetition group steigerte die Maximalkraft um 20 %, die medium resistance-medium repetition group um 8 % und die low resistance-high repetition group um 5 % (vgl. CAMPOS et al. 2002). Diese und die vorliegenden Befunde können als weiterer Beleg dafür gewertet werden, dass durch Kraftausdauertrainingsprogramme bei Krafttrainingsanfängern auch Maximalkraftsteigerungen möglich sind (ZIMMERMANN 2000). Diese beruhen in der Regel jedoch hauptsächlich auf

neuronalen Anpassungen (vgl. MORITANI 1992). Darüber hinaus werden in dieser Studie ebenfalls die deutlicheren Maximalkraftzuwächse bei Trainingsmethoden mit hoher Intensität belegt. Interessant ist ebenfalls die Tatsache, dass sich die Maximalkraft sowie die relative und absolute Kraftausdauer nach einer Detrainingsphase von zwei Woche in einem Überdauerungstest noch einmal steigern. SCHLUMBERGER (2000) führte zu diesem Sachverhalt grundlegende Untersuchungen durch. So konnte SCHLUMBERGER bei 27 krafttrainingserfahrenen Männern bei der Übung Bankdrücken innerhalb von vier Wochen (zweimal pro Woche) bei rein konzentrischem Training bzw. bei kombiniert exzentrisch-konzentrischem Training, im Gegensatz zu einer Kontrollgruppe, die in Tab. 59 dargestellten Zuwachsraten ermitteln. Nach konzentrischem Training traten Verbesserungen von 5,2 % bis 7,7 % auf, wobei der höchste Zuwachs zehn Tage nach Trainingsende zu beobachten war. Exzentrisch-konzentrisches Training führte zu Erhöhungen der dynamischen Maximalkraft von 8,2 % bis 13,5 %. Der höchste Zugewinn war 21 Tage nach Beendigung des Trainings zu verzeichnen (ebd. 55).

Tab. 59: Mittelwerte und Standardabweichungen der dynamischen Maximalkraft (in kg); vT = vor Training, N3 - N21 = 3 - 21 Tage nach Trainingsende; + =signifikant höher als Vortestwert, ¹ = signifikant höher als Wert 3 Tage nach (n. SCHLUMBERGER 2000, 55)

Gruppe	vT	N3	N7	N10	N14	N21
Kontrolle	66,6 ± 6,1	66,2 ± 4,7	67,6 ± 5,1	68,0 ± 4,3	68,7 ± 5,1 ¹	69,1 ± 4,6 ¹
Konz	73,3 ± 18,7	76,6 ± 18,4	77,8 ± 16,8	78,3 ± 17,4 ⁺	77,0 ± 17,5	77,3 ± 16,4
Exz-Konz	74,0 ± 21,3	79,5 ± 21,0 ⁺	81,9 ± 20,3 ⁺	82,0 ± 21,6 ⁺	82,3 ± 20,0 ⁺	83,0 ± 20,0 ⁺¹

MARX et al. (1998) führten eine in zweierlei Hinsicht interessante Studie durch: 34 untrainierte Frauen wurden in drei Gruppen randomisiert aufgeteilt. Die erste Gruppe (N = 10) diente als Kontrollgruppe. Die zweite Gruppe (low-volume (LV), N = 12) führte dreimal pro Woche einen Satz mit 8 - 12 Wiederholungen und zwei Minuten Serienpause durch. Konnten mehr als 12 Wiederholungen realisiert werden, so wurde das Gewicht neu angepasst. Die dritte Gruppe (high-volume (HV), N = 12) trainierte viermal pro Woche mit einem abwechselnden Programm: a) heavy (3 - 5 RM), b) moderate (8 - 10 RM) und c) light (12 - 15 RM). Gefordert waren drei Sätze mit 1 - 4 Minuten Serienpause.

Innerhalb von drei Monaten kam es zu einer Steigerung des 1-RM beim Bankdrücken in der low-volume Gruppe von 22 ± 2 kg auf 25 ± 2 kg. Die high-volume Gruppe verbesserte sich im gleichen Zeitraum von 22 ± 2 kg auf 27 ± 1 kg. Nach weiteren drei Monaten Training war das 1-RM in der low-volume Gruppe immer noch bei 25 ± 2 kg, während in der high-volume Gruppe eine weitere Steigerung auf 32 ± 3 kg zu verzeichnen war. Ähnlich fielen die Zuwachsraten bei der Übung Beinpressen aus. Die Kraftausdauer (Wiederholungszahl bei 80 % 1-RM) verbesserte sich von 11 ± 1 Wdh. auf 13 ± 1 Wdh. bzw.

13 ± 1 Wdh. bei der low-volume Gruppe und von 11 ± 2 Wdh. auf 15 ± 2 Wdh. bzw. 18 ± 2 Wdh. bei der high-volume Gruppe bei der Übung Beinpresse. Resümierend konstatieren MARX et al. (1998):

„In the 1-RM bench press, 1-RM leg press, leg press repetitions, and vertical jump, both training groups made significant improvements from T1 to T2, however only the HV group made continued improvement from T2 to T3.“ (MARX et al. 1998, 168)

Aus den bisherigen Ausführungen kann einerseits dokumentiert werden, dass es zu Beginn eines Krafttrainings unabhängig von der verwendeten Trainingsmethode zu Kraftverbesserungen kommt und andererseits im weiteren Verlauf die Trainingsmethode immer mehr mit der Zielstellung korrespondiert. Darüber hinaus scheinen Maximalkraftsteigerungen auch durch ein Kraftausdauertraining möglich zu sein.

Spezifische Reize führen zu spezifischen Adaptationen. Diese Aussage wird bei der Darstellung der Ergebnisse der deduzierten Wiederholungszahlen bei 60 % 1-RM verdeutlicht. Während die Trainingsgruppe „konstante Last“ immer ausgehend von 60 % 1-RM über 12 Trainingseinheiten die verrichteten Wiederholungen vom ET zum AT um 51,2 % und vom ET zum ÜT um 69,8 % steigerte, liegen die Steigerungsraten bei der Trainingsgruppe „konstante Wiederholungszahl“ bei 24,0 %. D. h., durch das spezifischen Training und durch die Gleichheit von Trainingssituation und Testsituation ist es nicht verwunderlich, dass die Trainingsgruppe konstante Last die größeren prozentualen Zuwachsraten aufzuweisen hat (vgl. SALE/MACDOUGALL 1981). Die Wiederholungszahlen der Kontrollgruppe veränderten sich im Untersuchungszeitraum nicht (vgl. Abb. 44). Somit kann die Zunahme der Wiederholungszahlen auf das spezifische Training zurückgeführt werden.

Da sich die relative und die absolute Kraftausdauer aus der Wiederholungszahl und der relativen Last in Prozent des 1-RM bzw. der definierten submaximalen Last zusammensetzt, ist es evident, dass eine größere Veränderung der Wiederholungszahl bei der Trainingsgruppe „konstante Last“ zu größeren Veränderungen in der relativen und absoluten Kraftausdauer führt. Da sich die konzentrische Maximalkraft bei beiden Trainingsgruppen nahezu identisch verbesserte, resultiert die Zunahme der relativen und der absoluten Kraftausdauer aus der Steigerung der Wiederholungszahl. Die prozentualen Steigerungen sind: relative Kraftausdauer ET zu AT 22,0 % bzw. ET zu ÜT 35,2 % bei der Trainingsgruppe „konstante Last“ und ET zu AT 11,1 % bzw. ET zu ÜT 10,2 % bei der Trainingsgruppe „konstante Wiederholungszahl“. Die absolute Kraftausdauer veränderte sich um 56,8 % vom ET zum AT und um 78,1 % vom ET zum ÜT bei der Trainingsgruppe „konstante Last“ und um 26,1 % vom ET zum AT bzw. um 26,3 % vom ET zum ÜT bei der Trainingsgruppe „konstante Wiederholungszahl“.

Da es sich bei der Stichprobe der Längsschnittstudie um Freizeitsportler gehandelt hat, wird sich zunächst die Maximalkraft (1-RM) verbessern. Erst in einem zweiten Schritt werden spezifische Anpassungseffekte eintreten (vgl. KRAEMER/FRY 1995, RUTHERFORD/JONES 1986).

In der bereits erwähnten Studie von ANDERSON/KEARNEY (1982, 3) konnte die high resistance-low repetition group die absolute Kraftausdauer um 23,58 %, die medium resistance-medium repetition group um 39,23 % und die low-resistance-high repetition group um 41,30 % steigern. Die relative Kraftausdauer veränderte sich um minus 6,99 % bei der high resistance-low repetition group. Die medium resistance-medium repetition group steigerte die relative Kraftausdauer um 22,45 % und die low-resistance-high repetition group um 28,45 % (vgl. CAMPOS et al. 2002).

Somit kann sehr anschaulich belegt werden, dass die Trainingsintention in Abhängigkeit steht zur bewältigten Last und zur realisierten Wiederholungszahl (vgl. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999). Demnach sollte man sich überlegen, was die spezifische Trainingsintention ist:

„Therefore, in designing a resistance training program one may adjust the resistance and repetitions used to optimize specific outcomes with confidence that concomitant gains will be made in muscular strength or muscular endurance.“ (ANDERSON/KEARNEY 1982, 6)

Während Trainings- bzw. Leistungsfortschritte im Ausdauersport und im Ausdauertraining durch die Protokollierung von Belastung und Beanspruchung hinreichend valide abgeschätzt werden können (vgl. COEN 1997), stehen solche Befunde für das Krafttraining noch weitestgehend aus. Trainings- bzw. Leistungsfortschritte können dabei im zeitlichen Verlauf, in zwei Richtungen interpretiert werden: Entweder ist bei gleicher Belastung die Beanspruchung geringer geworden oder bei gleicher Beanspruchung ist die Belastung angestiegen (vgl. PIERCE/ROZENEK/STONE 1993). So dokumentiert bspw. eine Rechtsverschiebung der Laktatleistungs- bzw. Herzfrequenzleistungskurve bei stufenweise ansteigender Laufgeschwindigkeit eine Zunahme der „Ausdauerleistungsfähigkeit“.

Im Krafttraining könnte es ein lohnendes Unterfangen sein, solche Konzepte in naher Zukunft zu entwickeln. Zum derzeitigen Wissensstand kann aus den vorliegenden Daten der Längsschnittstudie entnommen werden, dass der Anstieg der Belastung (Zuwachs von relativer und absoluter Kraftausdauer) in der Tendenz zu einem Anstieg der Beanspruchung (Δ Laktat, systolischer Blutdruck, Herzfrequenz) führt (vgl. Tab. 58). Eine Trainingsadaptation könnte durch die Betrachtung der Δ Laktatkonzentration bei beiden Trainingsmethoden abgeleitet werden. So nimmt sowohl bei der Trainingsmethode „konstante Last“ als auch bei der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“ die Δ Laktatkonzentration parallel zur relativen Kraftausdauer und absoluten Kraftausdauer vom Eingangstest zum Ausgangstest zu. Nach der Detrainingsphase nimmt die Δ Laktatkonzentration bei der relativen und absoluten Kraft-

ausdauer vom Ausgangstest zum Überdauerungstest ab, obwohl die relative und absolute Kraftausdauer weiter ansteigt. D. h., obwohl die Belastung weiter ansteigt, nimmt die Beanspruchung ab (vgl. Abb. 48). Forschungsansätze hierzu sind von PIERCE/ROZENEK/STONE (1993) dokumentiert.

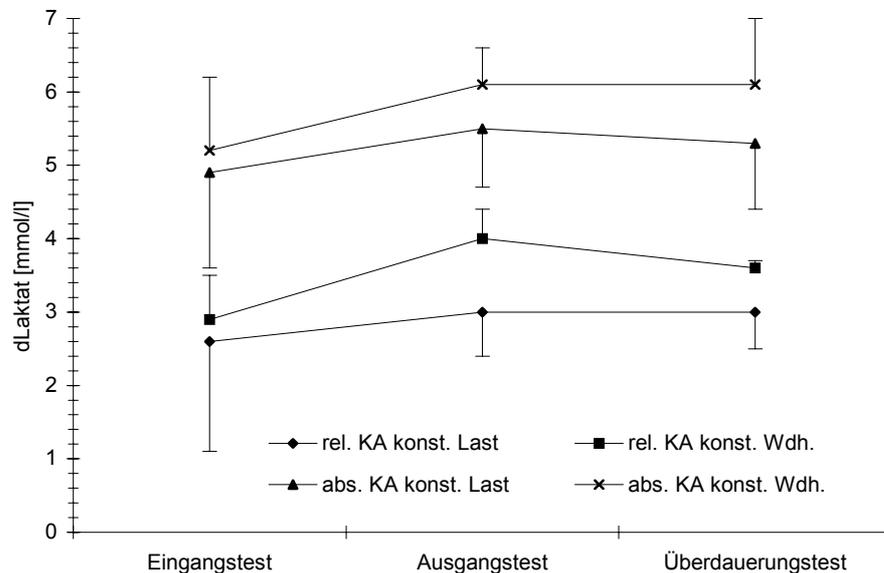


Abb. 48: Veränderung der Δ Laktatkonzentration der relativen und absoluten Kraftausdauer bei der Trainingsmethode „konstante Last“ bzw. „konstante Wiederholungszahl“ vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest

Aus den Daten der Nachbelastungsphase sind im Weiteren keine Anhaltspunkte für eine Trainingsadaptation zu entnehmen. Ebenso verhält es sich bei der subjektiven Einschätzung der Belastung des Eingangstests, Ausgangstests und Überdauerungstests. Auf Spekulationen, inwieweit sich das metabolische, kardiovaskuläre sowie myokardiale System bei den beiden Trainingsmethoden spezifisch angepasst hat, auf Mutmaßungen inwiefern sich die Trainingsgruppen unterscheiden, soll nicht eingegangen werden, da die Datenbasis keine seriöse Interpretation erlaubt. Vielmehr soll herausgestellt werden, wo zukünftige Forschungsvorhaben ansetzen könnten und wo aus Sicht des Autors lohnende Perspektiven, im Sinne der Optimierung und Effektivierung von Trainingsstrategien im Krafttraining respektive im Kraftausdauertraining, liegen.

10.3 Ausblick und Folgerung für die Praxis

Sowohl in der Querschnittstudie als auch in der explorativen Längsschnittstudie konnte hinreichend belegt werden, dass in Abhängigkeit von den individuellen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften beim Kraftausdauertraining neben unterschiedlichen Belastungen (vgl. FRÖHLICH et al. 2001a) unterschiedliche Beanspruchungen des metabolischen, kardiovaskulären, myokardialen Systems sowie der subjektiven Belastungseinschätzung resultieren. Innerhalb eines Methodenvergleiches der Reizkonfiguration zur Entwicklung der Kraftausdauer („intensitätsorientiert“ vs. „wiederholungszahlorientiert“) konnte weiterhin gezeigt werden, dass entweder die Wiederholungszahl oder die Last angepasst oder die Serienpause verlängert werden muss (vgl. FRÖHLICH/SCHMIDTBLEICHER/EMRICH 2002a). Des Weiteren scheint tendenziell die Beanspruchung, aufgrund der längeren Reizdauer bei der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“ respektive Dauer, größer zu sein. Krafttrainingsanfänger können durch beide Trainingsmethoden ihre Maximalkraft, relative und absolute Kraftausdauer verbessern, wobei die Trainingsintention mit der Testmethode zu korrespondieren scheint.

Bei der Trainingsmethode „konstante Last“ kommt es zu einer Reduktion der Wiederholungszahlen über die Serien (vgl. Tab. 19). D. h., die Wiederholungszahlen (die Reizdauer) verlassen den Bereich des Kraftausdauertrainings und tendieren immer mehr in den Bereich des Muskelaufbautrainings. So kommt es hypothetisch innerhalb mehrerer Serien zu einem Methodenmix, ähnlich einem Pyramidentraining (bspw. 20 x 60 %, 8 x 80 %, 5 x 85 %, 4 x 90 %). Wie in zahlreichen Studien gezeigt werden konnte, führen die einzelnen Trainingsmethoden jedoch zu jeweils spezifischen Anpassungen bzw. Einflüssen auf bestimmte Komponenten des Kraftverhaltens (vgl. BÜHRLE 1985; GARHAMMER/TAKANO 1992; SCHMIDTBLEICHER 1980; 1987a; 1992; SCHMIDTBLEICHER/FRICK 2001). GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER (1999, 233) sehen diese Mischmethoden nicht ohne Vorbehalt: Insofern dürften von den o.g. Mischmethoden ebenfalls nur Effekte im muskulären Bereich - Hypertrophie, ggf. Kraftausdauer - zu erwarten sein. Die Anpassungen dürften geringer ausfallen, als bei gezielt für die jeweilige Dimension ausgewiesenen Methoden. Neuronale Adaptationen erfordern wiederum eigene, spezifische, zeitlich abgetrennte Trainingsreize.

Somit müssten die spezifischen Trainingseffekte bei einer Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“ im Kraftausdauertraining stärker zum Tragen kommen. Problematisch erscheint derzeit, diese spezifischen Trainingseffekte des Kraftausdauertraining quantifizieren zu können. In der Regel erfolgt zur Zeit eine Quantifizierung der Effektivität des Kraftausdauertrainings über die relative bzw. absolute Kraftausdauer sowie über die Maximalkraft (ANDERSON/KEARNEY 1982; CAMPOS et al. 2002). Da hierbei die Veränderungen der Wiederholungszahl und der Maximalkraft ausschlaggebend sind, wird ein Training, welches die Wiederholungszahl als abhängige Variable hat, evident zu besseren Effekten

führen. Um diesem Problem zu begegnen, wurde von KLEIN/FRÖHLICH (2001) ein theoretisches Modell zur Quantifizierung der Effektivität von Kraftausdauertraining vorgestellt. Der Grundgedanke dieses Modells besteht darin, dass die Erfassung der Trainingsveränderung nicht nur durch die Zunahme der maximalen Wiederholungszahl bei vorgegebener Last (prozentual oder absolut) erfolgen kann, sondern dass die Veränderung der Lasthöhe bei zumindest annähernd gleicher Wiederholungszahl eine Aussage über den Trainingserfolg zulässt. Somit ließe sich die Trainingswirkung in eine „Ausdauerkomponente“ - Zunahme der maximalen Wiederholungszahl bei gleicher Last - als auch in eine „Kraftkomponente“ - Zunahme der Last bei gleicher Wiederholungszahl - zerlegen (vgl. hierzu auch die von NICOLAUS (1995) vorgenommene Unterscheidung in eine kraftgeprägte Merkmalskomponente der Kraftausdauerleistung einerseits und eine muskelstoffwechselbezogene Komponente andererseits).

Aufbauend auf diesen Ausführungen bezüglich der „Ausdauerkomponente“ und der „Kraftkomponente“ sind zwei unterschiedliche Verfahren denkbar, um Trainingserfolge im Bereich des Kraftausdauertraining zu quantifizieren. Es sei angemerkt, dass beide Verfahren als Referenzwert einen Prätest zu Beginn des Trainingprozesses voraussetzen, d. h., die Bestimmung des Ist-Zustandes durch das Bruttokriterium „Arbeit“. Sind die Ausgangsbedingungen erfasst und protokolliert, so kann im Posttest zur Registrierung des Trainingserfolges bzw. der Trainingseffektivität einerseits die Zunahme der maximalen Wiederholungszahl³⁹ bei festgelegtem Gewicht (Prätest) ermittelt werden. Aus dieser Veränderung kann die Effektivität der Trainingswirkung auf die „Ausdauerkomponente“ abgeschätzt werden. Andererseits kann versucht werden, eine Last zu bestimmen, welche mit (maximal) der gleichen Wiederholungszahl des Prätests bewältigt werden kann. Die Differenz der Last von Posttest und Prätest liefert eine quantitative Information über die Ausprägung der Veränderung der „Kraftkomponente“.

Zusammenfassend lassen sich die Aussagen über die Trainingsveränderungen in folgenden Beispielrechnungen, wie in Abb. 49 und Abb. 50 dargestellt, veranschaulichen:

Aus der Beispielrechnung für den Prätest kann entnommen werden, dass bei einer maximalen Last von 500 [N] für 25 Wiederholungen bei der Übung Bankdrücken und einem Hubweg von 0,4 [m] eine Arbeit von 5000 [Nm] verrichtet wird. Nach einem fiktiven Kraftausdauertraining über sechs Wochen mit jeweils drei Trainingseinheiten pro Woche und einer Gewichtbelastung, die in drei Serien etwa 30 Wiederholungen zulässt, können folgende Werte für die Quantifizierung der Trainingseffektivität ermittelt werden (vgl. Abb. 50). Während in der Beispielrechnung eins, eine Zunahme der maximalen Last y_2 eine Aussage über die Kraftkomponente im Kraftausdauertraining liefert, erhält man aus der Zunahme der Wiederholungszahl x_2 bei Beispielrechnung zwei, eher eine Aussage über die Ausdauerkomponente im

³⁹ Die Wiederholungszahl liefert eine wichtige Aussage über den Serien-Gesamtweg der Last

Kraftausdauertraining. Interessant wären nun Antworten auf die Fragen, ob sich die Arbeit in der getesteten Serie in beiden Testvarianten nach einem realen Training unterscheidet und ob sich die einzelnen Komponenten im Muskelausdauertraining gezielt ansteuern lassen. Generell könnten diese theoretischen Überlegungen in Abwandlung auch auf die Trainingsmethoden des intramuskulären Koordinationstrainings als auch des Hypertrophietrainings übertragen werden. In einem nächsten Schritt müssten die theoretischen Überlegungen zur Quantifizierung der Effektivität des Krafttraining einer Validierung unterzogen werden (vgl. KLEIN/FRÖHLICH 2001).

<u>Prätest:</u>	Ermittlung der maximalen Last y_1 bei Vorgabe maximal x_1 Wiederholungen und konstantem Arbeitsweg s_1
<u>Beispielrechnung:</u>	$x_1 = 25$ Wiederholungen für ein Kraftausdauertraining, $s_1 = 0,4$ Meter Hubweg bei der Übung Bankdrücken, $y_1 = 500$ N als maximale Last für 25 Wiederholungen $f_{(\text{Prätest})} = x_1 \times s_1 \times y_1$ $f_{(\text{Prätest})} = 25 \times 0,4 \times 500$ [Wdh. \times m \times N] $f_{(\text{Prätest})} = 5000$ [Nm]

Abb. 49: Exemplarische Berechnung des Ist-Zustandes (Prätest) (n. KLEIN/FRÖHLICH 2001, 219)

<u>Posttest 1:</u>	Ermittlung der maximalen Last y_2 für die jeweilige Trainingssituation x_1 und einem konstanten Hubweg s_1
<u>Beispielrechnung 1:</u>	$f_{(\text{Posttest1})} = x_1 \times s_1 \times y_2$ $f_{(\text{Posttest1})} = 25 \times 0,4 \times \underline{600}$ $f_{(\text{Posttest1})} = 6000$ Nm $E_{(\text{Effektivität } 1)} = x_1 \times (y_2 - y_1) \times s_1 = \mathbf{1000}$ Nm (erfasst <u>eher</u> Kraftkomponente)
<u>Posttest 2:</u>	Ermittlung der maximalen Wiederholungszahl x_2 bei Last y_1 und konstantem Hubweg s_1
<u>Beispielrechnung 2:</u>	$f_{(\text{Posttest2})} = x_2 \times s_1 \times y_1$ $f_{(\text{Posttest2})} = \underline{40} \times 0,4 \times 500$ $f_{(\text{Posttest1})} = 8000$ Nm $E_{(\text{Effektivität } 2)} = y_1 \times (x_2 - x_1) \times s_1 = \mathbf{3000}$ Nm (erfasst <u>eher</u> Ausdauerkomponente)

Abb. 50: Exemplarische Berechnung der Kraft- bzw. Ausdauerkomponente nach einem fiktiven Kraftausdauertraining über sechs Wochen (n. KLEIN/FRÖHLICH 2001, 219)

10.4 Fazit in Form von Thesen

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand können aus den empirischen Studien zusammenfassend folgende Thesen abgeleitet werden:

- Unter der Prämisse der Ausbelastung innerhalb einer Serie können die Belastungsnormativa bei den Reizkonfigurationen zur Entwicklung der Kraftausdauer in der Praxis nicht befriedigend umgesetzt werden. Entweder kommt es zu einer Reduktion der Wiederholungszahl oder die Last muss angepasst werden. Eine weitere Möglichkeit würde in der Verlängerung der Pausendauer liegen.
- Eine Belastungssteuerung anhand der Maximalkraft ist problematisch. Als Alternative würde sich eine Belastungssteuerung anbieten, innerhalb der die Trainingssituation mit der Testsituation identisch ist.
- Es gibt Hinweise, die vermuten lassen, dass drei Serien im Kraftausdauertraining unter ökonomischen Gesichtspunkten ausreichend sind.
- Durch die Diagnostik der Teilbeanspruchung (metabolisch, kardiovaskulär, myokardial, subjektiv) konnte in Teilen gezeigt werden, dass individuelle Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften bei der Trainingsplanung berücksichtigt werden müssen.
- Eine kausale Begründung für die Verwendung der Beanspruchungsvariable Laktat ist im Kraftausdauertraining gegeben. Daher sollte in der weiteren wissenschaftlichen Durchdringung der Methodik des Kraftausdauertrainings dem Parameter Laktat eine besondere Rolle zukommen. Da das Kraftausdauertraining im Gegensatz zum reinen Ausdauertraining nicht durch das Kardio-Pulmonale-System limitiert ist, bringen die Beanspruchungsparameter Herzfrequenz, Blutdruck, Doppelprodukt keine weitere Aufhellung.
- Des Weiteren sind aus gesundheitlicher Sicht, sowohl bei der Trainingsmethode „konstante Last“ als auch bei der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“, keine Einschränkungen zu erkennen.
- Zukünftige Trainingsstrategien sollten im Sinne einer Optimierung des langfristigen Trainings- bzw. Leistungsfortschritts individuelle und intraindividuelle Gegebenheiten oder Merkmale berücksichtigen.
- Sowohl theoretische als auch empirische Befunde scheinen bei der vorliegenden Studie eine Überlegenheit der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“, respektive Dauer, gegenüber der Trainingsmethode „konstante Last“ zu zeigen.

11 Literaturverzeichnis

- ANDERSON, T./KEARNEY, J. T.: Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. In: *Research Quarterly for Exercise and Sport* 53 (1982) 1, 1-7.
- APPELL, H.-J.: Mechanismen und Grenzen des Muskelwachstums. In: DECKER, W./LÄMMER, M. R.: *Kölner Beiträge zur Sportwissenschaft* 12. Hofmann, Schorndorf 1983, 7-18.
- APPELL, H.-J./FORSBERG, S./HOLLMANN, W.: Satellite cell activation in human skeletal muscle after training: Evidence for muscle fibre neof ormation. In: *International Journal of Sports Medicine* 9 (1988) 4, 297-299.
- APPELL, H.-J./GRAF, C./PREDEL, H.-G./ROST, R.: Herz-Kreislauf-System. In: ROST, R. (Hrsg.): *Lehrbuch der Sportmedizin*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 2001, 361-476.
- ÅSTRAND, P.-O./RODAHL, K.: *Textbook of work physiology*. McGraw-Hill Book Company, New York u. a. 1986.
- BACHL, N./BARON, R.: Prinzipien der anaeroben Leistungsdiagnostik. In: JESCHKE, D./LORENZ, R. (Hrsg.): *Sportartspezifische Leistungsdiagnostik - Energetische Aspekte*. Sport und Buch Strauß, Köln 1998, 49-64.
- BASMAJIAN, J. V./DELUCA, C. J.: *Muscles alive. Their functions revealed by electromyography*. Williams & Wilkins, Baltimore, London, Sydney 1985.
- BAYER, G.: Untersuchungen zur Bewegungsgeschwindigkeit als Belastungskennziffer im Krafttraining sowie zur Schnellkraft und Schnellkraftausdauerfähigkeit als Faktoren der Struktur personeller Leistungsvoraussetzungen in Ausdauersportarten am Beispiel von Rudersportlern. Unveröffentlichte Habilitationsschrift, Humboldt-Universität zu Berlin 1999. <http://dochostrz.hu-berlin.de/habilitationen/phil/bayergerhart/PDF/Bayer.pdf> (Zugriff am 22.11.2002).
- BAYER, G./RAMLOW, J.: Verhältnis von Kraft- und Ausdauerfähigkeit für die Vervollkommnung der Kraftausdauer im Rennrudern. In: *Leistungssport* 23 (1993) 3, 15-19.
- BENEKE, R./BRÜGGEMANN, G. P./BOHNDORF, K./RITZDORF, W./HOLLMANN, W.: Die Bedeutung der Computertomographie in der Muskelkraftdiagnostik. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 41 (1990) 5, 160-168.
- BERGER, R. A.: Comparison of static and dynamic strength increases. In: *Research Quarterly for Exercise and Sports* 33 (1962a) 3, 329-333.
- BERGER, R. A.: Effect of varied weight training programs on strength. In: *Research Quarterly for Exercise and Sports* 33 (1962b) 2, 168-181.
- BERGER, R. A.: Determination of a method to predict 1-RM chin and dip from repetitive chins and dips. In: *Research Quarterly for Exercise and Sports* 38 (1967) 3, 330-335.
- BIGLAND-RITCHIE, B.: EMG and fatigue of human voluntary and stimulated contractions. In: PORTER, R./WHELAN, J.: *Human muscle fatigue: physiological mechanisms*. Pitman Medical, London 1981a, 130-148.

- BIGLAND-RITCHIE, B.: EMG/Force relations and fatigue of human voluntary contractions. In: *Exercise and Sport Sciences Review* 9 (1981b) 75-117.
- BIGLAND-RITCHIE, B./WOODS, J. J.: Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. In: *Muscle & Nerve* 7 (1984) Nov/Dec, 691-699.
- BILLETER, R./HOPPELER, H.: Muscular basis of strength. In: KOMI, P. V.: *Strength and Power in Sport*. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 39-63.
- BISCIOTTI, G. N./BELLI, A./LACOUR, J. R./PELLIS, G. C.: A simple method for evaluating maximal force in bench press exercise. In: HÄKKINEN, K. (Hrsg.): *International conference on weightlifting and strength training*. Gummerus Printing, Lathi, Finland 1998, 291-292.
- BLOMSTRAND, E./BERGH, U./ESSÉN-GUSTAVSSON, B./EKBLUM, B.: Influence of low muscle temperature on muscle metabolism during intense dynamic exercise. In: *Acta Physiol Scand* 120 (1984) 229-236.
- BOECKH-BEHRENS, W.-U./BUSKIES, W.: *Fitness-Krafttraining*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg 2000.
- BORG, G.: Psychophysical studies of effort and exertion: some historical, theoretical and empirical aspects. In: BORG, G./OTTOSON, D.: *The perception of exertion in physical work*. Macmillan, Basingstroke 1985, 3-12.
- BORTZ, J.: *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Springer, Berlin, Heidelberg u. a. 1993.
- BORTZ, J./DÖRING, N.: *Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler*. Springer, Berlin, Heidelberg u. a. 1995.
- BORTZ, J./LIENERT, G. A./BOEHNKE, K.: *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*. Springer, Berlin, Heidelberg u. a. 2000.
- BOSCO, C.: Kontrolle des Krafttrainings durch das Kraft-Geschwindigkeits-Verhältnis. In: *Leistungssport* 13 (1983) 6, 23-28.
- BRAITH, R. W./GRAVES, J. E./LEGGETT, S. H./POLLOCK, M. L.: Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25 (1993) 1, 132-138.
- BÜHRLE, M.: Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In: BÜHRLE, M. H. (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings*. Hofmann, Schorndorf 1985, 82-111.
- BÜHRLE, M.: Maximalkraft - Schnellkraft - Reaktivkraft. Kraftkomponenten und ihre dimensionale Struktur. In: *Sportwissenschaft* 19 (1989) 3, 311-325.
- BÜHRLE, M.: Schnellkraft. In: *Spectrum der Sportwissenschaften* 5 (1993) 2, 5-29.
- BÜHRLE, M./SCHMIDTBLEICHER, D.: Komponenten der Maximal- und Schnellkraft. Versuch einer Neustrukturierung auf der Basis empirischer Ergebnisse. In: *Sportwissenschaft* 11 (1981) 1, 11-27.
- BÜHRLE, M./WERNER, E.: Das Muskelquerschnittstraining der Bodybuilder. In: *Leistungssport* 14 (1984) 3, 5-9.

- BUSKIES, W.: Sanftes Krafttraining. Unter besonderer Berücksichtigung des subjektiven Belastungsempfindens. Sport und Buch Strauß. Köln 1999a.
- BUSKIES, W.: Zur Problematik der Trainingsintensitätssteuerung im Krafttraining mittels Prozentangaben auf der Basis von Maximalkrafttests. In: WIEMEYER, J. (Hrsg.): Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport. Czwalina Verlag, Hamburg 1999b, 181-185.
- BUSKIES, W.: Vergleich der Effekte und Belastungsstruktur eines Krafttrainings bis zur letztmöglichen Wiederholung in der Trainingsserie versus einem sanften Krafttraining. In: THORHAUER, H.-A./CARL, K./TÜRCK-NOACK, U. (Hrsg.): Muskel-Ermüdung. Forschungsansätze in der Trainingswissenschaft. Sport und Buch Strauß, Köln 2001a, 111-117.
- BUSKIES, W.: Zur Bedeutung des sanften Krafttrainings nach dem subjektiven Belastungsempfinden. In: Sportwissenschaft 31 (2001b) 1, 45-60.
- BUSKIES, W./BOECKH-BEHRENS, W. U./ZIESCHANG, K.: Möglichkeiten der Intensitätssteuerung im gesundheitsorientierten Krafttraining. In: Sportwissenschaft 26 (1996) 2, 170-183.
- BUSKIES, W./BOECKH-BEHRENS, W.-U.: Probleme bei der Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining auf der Basis von Maximalkrafttests. In: Leistungssport 29 (1999) 3, 4-8.
- CAMPOS, G. E./LUECKE, T. J./WENDELN, H. K./TOMA, K./HAGERMAN, F. C./MURRAY, T. F./RAGG, K. E./RATAMESS, N. A./KRAEMER, W. J./STARON, R. S.: Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. In: European Journal of Applied Physiology (2002) 88, 50-60.
- CARL, K.: Zu den Zielen des Hearings "Kraftausdauertraining". In: CARL, K./STARISCHKA, S./STORK, H.-M. (Hrsg.): Kraftausdauertraining. Sport und Buch Strauß, Köln 1989, 6-9.
- CARL, K.: Fähigkeit (ability). In: RÖTHIG u. a. (Hrsg.): Sportwissenschaftliches Lexikon. Hofmann, Schorndorf 1992, 158-159.
- CARL, K./STARISCHKA, S./STORK, H.-M. (Hrsg.): Kraftausdauertraining. Sport und Buch Strauß, Köln 1989.
- CARROLL, T. J./ABERNETHY, P. J./LOGAN, P. A./BARBER, M./MCENIERY, M. T.: Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. In: European Journal of Applied Physiology 78 (1998) 3, 270-275.
- CHALLIS, J. H.: Muscle-tendon architecture and athletic performance. In: ZATSIORSKY, V. M.: Biomechanics in sport. Blackwell Science, Oxford 2000, 33-55.
- CHILIBECK, P. D./CALDER, A. W./SALE, D. G./WEBBER, C. E.: A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. In: European Journal of Applied Physiology 77 (1998) 1-2, 170-175.
- COEN, B.: Individuelle anaerobe Schwelle. Sport und Buch Strauß, Köln 1997.

- CONLEY, M. S./STONE, M. H./NIMMONS, M./DUDLEY, G. A.: Specificity of resistance training responses in neck muscle size and strength. In: *European Journal of Applied Physiology* 75 (1997) 5, 443-448.
- CONZELMANN, A.: Grundlagen der Inferenzstatistik. In: STRAUß, B./HAAG, H./KOLB, M. (Hrsg.): *Datenanalyse in der Sportwissenschaft*. Hofmann, Schorndorf 1999, 213-276.
- COSTILL, D./COYLE, E./FINK, W./LESMEIS, G./WITZMANN, F.: Adaptations in skeletal muscle following strength training. In: *Journal of Applied Physiology* 46 (1979), 96-99.
- DAUGS, R.: Werden Spitzensportler geboren oder gemacht? Zum Einfluss von Anlage und Umwelt auf die sportmotorische Leistungsfähigkeit. In: *Erbe und Umwelt*, Frankfurt am Main 1987, 318-333.
- DE LORME, T. L.: Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. In: *Journal of Bone and Joint Surgery* 27 (1945) 4, 645-667.
- DE MAREES, H.: *Sportphysiologie*. Sport und Buch Strauß, Köln 1996.
- DELAVIER, F.: *Muskel Guide. Gezieltes Krafttraining Anatomie*. BLV Verlagsgesellschaft, München u. a. 2000.
- DIETZ, V.: Neurophysiologische Grundlagen des Kraftverhaltens. In: BÜHRLE, M. H. (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings*. Hofmann, Schorndorf 1985, 16-34.
- DEUTSCHER LEICHTATHLETIK VERBAND (Hrsg.): *Rahmentrainingsplan für das Aufbautraining Wurf*. Meyer & Meyer, Aachen 1993.
- DUDEL, J.: Informationsvermittlung durch elektrische Erregung. In: SCHMIDT, R. F./THEWS, G. (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*. Springer, Berlin, Heidelberg u. a. 1995a, 20-42.
- DUDEL, J.: Erregungsübertragung von Zelle zu Zelle. In: SCHMIDT, R. F./THEWS, G. (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*. Springer, Berlin, Heidelberg u. a. 1995b, 43-66.
- DURELL, D.: Effective strength-training - understanding the intensity-duration relationship. In: <http://www.cyberpump.com/training/trainhard/intduration.html> (Zugriff am 27.09.2002).
- EDMAN, P. K. A.: Contractile performance of skeletal muscle fibres. In: KOMI, P. V.: *Strength and Power in Sport*. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 96-114.
- EDWARDS, R. H. T.: Human muscle function and fatigue. In: PORTER, R./WHELAN, J. (Hrsg.): *Human muscle fatigue: physiological mechanisms*. London Pitman Medical, 1981, 1-18.
- EHLENZ, H./GROSSER, M./ZIMMERMANN, E.: *Krafttraining. Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme*. BLV Sportwissen, München 1998.
- EHRSAM, R./ZAHNER, L.: Kraft und Krafttraining im Alter. In: DENK, H.: *Alterssport*. Hofmann, Schorndorf 1996, 191-211.
- EL-SAYED, M.: Fibrinolytic and hemostatic parameter response after resistance exercise. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25 (1993) 5, 597-602.

- ENOKA, R. M.: Neuromechanical basis of kinesiology. Human Kinetics, Champaign, Illinois 1994.
- ESSEN, B./HÄGGMARK, T.: Lactate concentration in typ I and II muscle fibres during muscle contraction in man. In: Acta Physiological Scand. 90 (1975), 344-346.
- ESSEN, B./HENRIKSSON, J.: Glycogen content of individual muscle fibres in man. In: Acta Physiological Scand. 90 (1974) 645-647.
- EVJENTH, O./SCHOMACHER, J.: Wie trainieren? In: Manuelle Therapie 1 (1997) 3, 44-49.
- FABIAN, K./WALTHER, A./BIELIG, B./ZIEGLER, E./ZERBES, H.: Pilotstudie zum S-Harnsäureanstieg bei Ruderern nach einem allgemeinen Kraftausdauer-Kreistraining. In: CARL, K./QUADE, K./STEHLE, P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Sport und Buch Strauß, Köln 1995, 171-175.
- FINK, W. J./COSTILL, D. L.: Skeletal muscle structure and function. In: MAUD, P. J./FOSTER, C.: Physiological assessment of human fitness. Human Kinetics, Champaign, Illinois 1995, 139-165.
- FLECK, S. J.: Cardiovascular adaptations to resistance training. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 20 (1988) 5, 146-151.
- FLECK, S. J.: Cardiovascular response to strength training. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 305-315.
- FLECK, S. J.: Periodization of training. In: KRAEMER, W. J./HÄKKINEN, K. (Ed.): Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport. Blackwell Science Ltd, Oxford u. a. 2002, 55-68.
- FLECK, S. J./DEAN, L. S.: Resistance-training experience and the pressor response during resistance exercise. In: Journal of Applied Physiology 63 (1987) 1, 116-120.
- FLECK, S. J./KRAEMER, W. J.: Designing resistance training programs. Human Kinetics, Champaign, Illinois 1987.
- FLECK, S. J./KRAEMER, W. J.: Designing resistance training programs. Human Kinetics, Champaign, Illinois 1997.
- FLEISCHER, H.: Grundlagen nichtparametrischer Testverfahren. In: STRAUß, B./HAAG, H./KOLB, M. (Hrsg.): Datenanalyse in der Sportwissenschaft. Hofmann, Schorndorf 1999, 309-336.
- FRICK, U.: Kraftausdauerverhalten im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Sport und Buch Strauß, Köln 1993.
- FRIDÉN, J./SEGER, J./SJÖSTRÖM, M./EKBLOM, B.: Adaptive response in human skeletal muscle subjected to prolonged eccentric training. In: International Journal of Sports Medicine 4 (1983) 3, 177-183.
- FRIDÉN, J./SJÖSTRÖM, M./EKBLOM, B.: Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. In: International Journal of Sports Medicine 4 (1983) 3, 170-176.
- FRITSCH, W.: Praxis des Kraftausdauertrainings am Beispiel von Spitzenruderern der Leichtgewichtsklasse. In: CARL, K./STARISCHKA, S./STORCK, H.-M. (Hrsg.): Kraftausdauertraining. Sport und Buch Strauß, Köln 1989, 111-122.

- FRÖHLICH, M./KLEIN, M./EMRICH, E./SCHMIDTBLEICHER, D.: Arbeit als Bruttokriterium der Belastung im Kraftausdauertraining. In: Leistungssport 31 (2001a) 2, 24-28.
- FRÖHLICH, M./KLEIN, M./EMRICH, E./SCHMIDTBLEICHER, D.: Workload as an external criterion for intensity strength training versus repetition strength training. In: MESTER, J./KING, G./STRÜDER, H./TSOLAKIDIS, E./OSTERBURG, A.: 6 th Annual Congress of the European College of Sport Science. Sport und Buch Strauß, Köln 2001b, 1061.
- FRÖHLICH, M./MARSCHALL, F.: Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung der isometrischen und konzentrischen Maximalkraft. In: THORHAUER, H.-A./CARL, K./TÜRCK-NOACK, U. (Hrsg.): Muskel-Ermüdung. Forschungsansätze in der Trainingswissenschaft. Sport und Buch Strauß, Köln 2001, 119-125.
- FRÖHLICH, M./KLEIN, M./FELDER, H./EMRICH, E./SCHMIDTBLEICHER, D.: Varianzanalytische Betrachtung von deduzierter äußerer Gewichtsbelastung und neuronaler Aktivität. In: Leistungssport 32 (2002) 1, 41-45.
- FRÖHLICH, M./SCHMIDTBLEICHER, D./EMRICH, E.: Belastungssteuerung im Muskelaufbautraining - Belastungsnormativ Intensität versus Wiederholungszahl. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 53 (2002a) 3, 79-83.
- FRÖHLICH, M./SCHMIDTBLEICHER, D./EMRICH, E.: Intensität und Wiederholungszahl als Steuerungsparameter im Krafttraining - State of the art. In: Zeitschrift für Physiotherapeuten 54 (2002b) 5, 745-750.
- FRY, A. C./NEWTON, R. U.: A brief history of strength training and basic principles and concepts. In: KRAEMER, W. J./HÄKKINEN, K. (Ed.): Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport. Blackwell Science Ltd, 2002, 1-19.
- FRY, A. C./POWELL, D. R./KRAEMER, W.: Validity of isokinetic and isometric testing modalities for assessing short-term resistance exercise strength gains. In: Journal of Sport Rehabilitation 1 (1992) 4, 275-283.
- FÜRST, D. O.: Titin, ein molekularer Gigant regiert im quergestreiften Muskel. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 50 (1999) 7+8, 218-222.
- GARHAMMER, J./TAKANO, B.: Training for weightlifting. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 357-369.
- GHEZ, C./GORDON, J.: Einführung in die Motorik. In: KANDEL, E. R./SCHWARTZ, J. H./JESSELL, T. M. (Hrsg.): Neurowissenschaften. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin u. a. 1996a, 499-511.
- GHEZ, C./GORDON, J.: Muskeln und Muskelrezeptoren. In: KANDEL, E. R./SCHWARTZ, J. H./JESSELL, T. M. (Hrsg.): Neurowissenschaften. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin u.a. 1996b, 513-525.
- GIESSING, J.: Das Heavy-Duty-Konzept. In: Leistungssport 30 (2000) 4, 19-23.
- GLASS, S. C./HOLOCOMB, R. R.: Heart rate response associated with non-paced exercise prescription using ratings of perceived exertion. In: Journal of Strength and Conditioning Research 11 (1997) 4, 246-250.

- GOLDSPIK, G.: Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. In: KOMI, P. V.: *Strength and Power in Sport*. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 211-229.
- GRAF, C./HARTMANN, U./PLATEN, P./ROST, R./SCHÄNZER, W.: Biologische Grundlagen. Grundlagen des Energiestoffwechsels. In: ROST, R. (Hrsg.): *Lehrbuch der Sportmedizin*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 2001, 26-41.
- GUEZENNEC, L./LEGER, L./LHOSTE, F./AYMONOD, M./PESQUIES, P. C.: Hormone and metabolite response to weight-lifting training sessions. In: *International Journal of Sports Medicine* 7 (1986) 100-105.
- GÜLLICH, A./SCHMIDTBLEICHER, D.: Struktur der Krafftigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 50 (1999) 7 + 8, 223-234.
- GUSTAVSEN, R./STREECK, R.: *Trainingstherapie im Rahmen der Manuellen Medizin*. Thieme, Stuttgart, New York 1997.
- HÄKKINEN, K./ALEN, M./KALLINEN, M./NEWTON, R. U./KRAEMER, W. J.: Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. In: *European Journal of Applied Physiology* 83 (2000) 1, 51-62.
- HÄKKINEN, K./KOMI, P. V.: Alterations of mechanical characteristics of human skeletal muscle during strength training. In: *European Journal of Applied Physiology* 50 (1983a) 161-172.
- HÄKKINEN, K./KOMI, P. V.: Electromyographic changes during strength training and detraining. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 15 (1983b) 6, 455-460.
- HARRE, D.: *Trainingslehre: Einführung in die Theorie und Methodik des sportlichen Trainings*. Sportverlag, Berlin 1986.
- HARRE, D./LEOPOLD, W.: Kraftausdauer und Kraftausdauertraining. In: *Theorie und Praxis der Körperkultur* 35 (1986) 4, 282-291 und 35 (1986) 5, 355-359.
- HART, C. L./WARD, T. E./MAYHEW, J. L.: Anthropometric correlates of bench press performance following resistance training. In: *Sports Training, Medicine and Rehabilitation* 2 (1991) 2, 89-95.
- HARTMANN, J./TÜNNEMANN, H.: *Das große Buch der Kraft. Bessere Form durch Krafttraining*. Sportverlag, Berlin 1990.
- HARTMANN, J./TÜNNEMANN, H.: *Modernes Krafttraining*. Ullstein, Frankfurt/Main 1993.
- HASEGAWA, H./DZIADOS, J./NEWTON, R. U./FRY, A. C./KRAEMER, W. J./HÄKKINEN, K.: Periodized training programmes for athletes. In: KRAEMER, W. J./HÄKKINEN, K. (Ed.): *Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport*. Blackwell Science Ltd, Oxford u. a. 2002, 69-134.
- HASS, C. J./GARZARELLA, L./DE HOYOS, D./POLLOCK, M.: Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 (2000) 1, 235-242.

- HASSON, S. M./WILLIAMS, J. H./SIGNORILE, J. F.: Fatigue-induced changes in myoelectric signal characteristics and perceived exertion. In: Canadian Journal of Sports Science 14 (1989) 2, 99-102.
- HECK, H.: Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik. Hofmann, Schorndorf 1990.
- HECKHAUSEN, H.: Motivation und Handeln. Springer, Berlin, Heidelberg u. a. 1989.
- HEIDUK, R./PREUSS, P./STEINHÖFER, D.: Die optimale Satzzahl im Krafttraining: Einsatz- versus Mehrsatz-Training. In: Leistungssport 32 (2002) 4, 4-13.
- HEINOLD, M.: Muskelkraftdiagnostik und Muskelkrafttraining bei neuromuskulären Erkrankungen. Harry Deutsch Verlag, Frankfurt/Main 1995.
- HEMMLING, G.: Anpassungen des neuromuskulären Systems an eine neuentwickelte Trainingsmethode. Sport und Buch Strauß, Köln 1994.
- HENNEMAN, E.: Relation between size of neurons and their susceptibility to discharge. In: Science 126 (1957), 1345-1347.
- HENNEMAN, E./SOMJEN, G./CARPENTER, D.O.: Functional significance of cell size in spinal motoneurons. In: Journal of Neurophysiology 28 (1965), 560-580.
- HERZOG, W.: Mechanical properties and performance in skeletal muscles. In: ZATSIORSKY, V. M.: Biomechanics in sport. Blackwell Science, Oxford 2000, 21-32.
- HOEGER, W. W. K./BARETTE, S. L./HALE, D. F./HOPKINS, D. R.: Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. In: Journal of Applied Sports Science Research 1 (1987) 1, 11-13.
- HOEGER, W. W. K./HOPKINS, D. R./BARETTE, S. L./HALE, D. F.: Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. In: Journal of Applied Sport Science Research 4 (1990) 2, 47-54.
- HOFFMANN, G.: Hypertonie und Sport. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 44 (1993) 4, 153-166.
- HOHMANN, A.: Feldforschung in der Trainingswissenschaft. In: HOHMANN, A./WICHMANN, E./CARL, K. (Hrsg.): Feldforschung in der Trainingswissenschaft. Sport und Buch Strauß, Köln 1999, 13-35.
- HOHMANN, A./LAMES, M./LETZELTER, M.: Einführung in die Trainingswissenschaft. Limpert, Wiebelsheim 2002.
- HOLLMANN, W./HETTINGER, T.: Sportmedizin - Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin. Schattauer, Stuttgart, New York 2000.
- HOLTON, O.: Medisinisk Treningsterapi. In: Fysioterapeuten 5 (1962), 114-128.
- HOPKINS, W. G.: Clinical vs. statistical significance. In: Sportscience 5 (2001) 3, <http://www.sportsci.org/jour/0103/inbrief.htm#clinical> (Zugriff am 27.09.2002).

- HOPPELER, H.: Training und Feinstruktur der menschlichen Skelettmuskulatur. In: PUHL, W./NOACK, W./SCHARF, H.-P./SEDUNKO, F.: Isokinetisches Muskeltraining in Sport und Rehabilitation. perimed, Erlangen 1988, 23-29.
- HORTOBAGYI, T./KATCH, F. I./LACHANCE, P. F.: Interrelationships among various measures of upper body strength assessed by different contraction modes. Evidence for a general strength component. In: European Journal of Applied Physiology 58 (1989) 7, 749-755.
- HOSENFELD, I./HÖFT, S.: Robustheit statistischer Testverfahren. In: STRAUß, B./HAAG, H./KOLB, M. (Hrsg.): Datenanalyse in der Sportwissenschaft. Hofmann, Schorndorf 1999, 359-376.
- HOWALD, H.: Morphologische und funktionelle Veränderung der Muskelfasern durch Training. In: BÜHRLE, M. H. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Hofmann, Schorndorf 1985, 35-52.
- HOWALD, H.: Veränderung der Muskelfasern durch Training. In: Leistungssport 19 (1989) 2, 18-24.
- HUBERTY, C. J./MORRIS, J. D.: Multivariate analysis versus multiple univariate analysis. In: Psychological bulletin 105 (1989), 302-308.
- HUIJING, P. A.: Mechanical muscle models. In: Komi, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 130-150.
- HULTMAN, E./BERGSTRÖM, M./LAWRENCE, L. S./SÖDERLUND, K.: Energy metabolism and fatigue. In: TAYLOR, A. W. et al. (Ed.): Biochemistry of exercise. VII International Series on Sport Sciences. Vol. 21 Champaign 1990, 73-92.
- HULTMAN, E./SJÖHOLM, H./SAHLIN, K./EDSTRÖM, L.: Glycolytic and oxidative energy metabolism and contraction characteristics of intact human muscle. In: PORTER, R./WHELAN, J.: Human muscle fatigue: physiological mechanisms. Pitman Medical, London 1981, 19-35.
- HURLEY, B. F./SEALS, D. R./EHSANI, A. A./CARTER, L. J./DALSKY, G. P./HAGBERG, J. M./HOLLOSZY, J. O.: Effects of high-intensity strength training on cardiovascular function. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 16 (1984) 5, 483-488.
- JOHNSON, B. L./NELSON, J. K.: Effect of different motivational techniques during training and in testing upon strength performance. In: Research Quarterly for Exercise and Sports 38 (1967) 4, 630-636.
- JONES, D. A./RUTHERFORD, O. M./PARKER D. F.: Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. In: Quarterly Journal of Experimental Physiology 74 (1989), 233-256.
- JOST, J./RUCH, L./SCHREY, R.: Ein metabolisches Belastungsmodell zur Steuerung und Qualitätssteigerung des Trainings im Ringen griechisch-römischer Stil. 1. Teil: Entwicklung und Validierung des Belastungsmodells. In: Leistungssport 31 (2001) 5, 45-54.

- KARLSSON, J./SJÖDIN, B./JACOBS, I./KAISER, P.: Relevance of muscle fibre type to fatigue in short intense and prolonged exercise in man. In: PORTER, R./WHELAN, J.: Human muscle fatigue: physiological mechanisms. Pitman Medical, London 1981, 59-74.
- KENT, M. (Hrsg.): Wörterbuch Sport und Sportmedizin. Limpert, Wiesbaden 1996.
- KIBELE, A.: Bedingungsfaktoren von Kraft-Ausdauerleistungen. Harri Deutsch Verlag, Frankfurt/Main 1995.
- KIBELE, A./MÜLLER, K.-J./MÜNST, P.: Die Aktivierungscharakteristik der Beinstreckmuskulatur an unterschiedlichen Krafttrainingsgeräten. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 41 (1990) 10, 342-354.
- KIESER, W.: Wie viele Sätze beim Krafttraining? In: Leistungssport 28 (1998) 3, 50-51.
- KLEIN, M./FRÖHLICH, M.: Theoretische Überlegungen zur Quantifizierung der Effektivität im Muskelkrafttraining. Dargestellt am Beispiel des Muskelaufbautrainings. In: Gesundheitssport und Sporttherapie 17 (2001) 6, 216-220.
- KNAPIK, J. J./WRIGHT, J. E./MAWDSLEY, R. H./BRAUN, J. M.: Isokinetic, isometric and isotonic strength relationships. In: Arch Phys Med Rehabil 64 (1983) 2, 77-80.
- KNUTTGEN, H. G./KOMI, P. V.: Basic definitions for exercise. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 3-6.
- KOH, T. J.: Do adaptations in serial sarcomere number occur with strength training? In: Human Movement Science 14 (1995) 61-77.
- KOMI, P. V.: Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. In: International Journal of Sports Medicine 7 (1986) Supp. 1, 10-15.
- KOMI, P. V.: Skelettmuskulatur. In: DIRIX, A./KNUTTGEN, H. G./TITTEL, K. (Hrsg.): Olympia Buch der Sportmedizin. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1989, 29-49.
- KOMI, P. V.: Stretch-shortening cycle. In: KOMI, P. V. (Ed): Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 169-179.
- KOVARIK, J.: Bemessung des Krafttrainings aufgrund des Zusammenhangs zwischen Belastung, Wiederholungen pro Serie und Serienanzahl. In: Leistungssport 21 (1991) 6, 49-51.
- KRAEMER, W. J.: A series of studies: The physiological basis for strength training in American football: Fact over philosophy. In: Journal of Strength and Conditioning Research 11 (1997) 3, 131-142.
- KRAEMER, W. J.: Developing a strength training workout. In: KRAEMER, W. J./HÄKKINEN, K. (Ed.): Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport. Blackwell Science Ltd, Oxford u. a. 2002, 37-54.
- KRAEMER, W. J./FRY, A. C./WARREN, B. J./STONE, M. H./FLECK, S. J./KEARNEY, J. T./CONROY, B. P./MARESH, C. M./WESEMAN, C. A./TRIPLETT, N. T./GORDON, S. E.: Acute hormonal responses in elite junior weightlifters. In: International Journal of Sports Medicine 13 (1992) 20, 103-109.

- KRAEMER, W. J./FRY, A. C.: Strength Testing: Development and Evaluation of Methodology. In: MAUD, P. J./FOSTER, C. (Ed): Physiological assessment of human fitness. Human Kinetics, Champaign, Illinois 1995, 115-138.
- KRAEMER, W. J./HÄKKINEN, K. (Ed.): Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport. Blackwell Science Ltd, Oxford u. a. 2002.
- KRAEMER, W. J./NOBLE, B. J./CLARK, M. J./CULVER, B. W.: Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. In: International Journal of Sports Medicine 8 (1987) 4, 247-252.
- KRAEMER, W. J./PATTON, J./GORDON, S. E./HARMAN, E. A./DESCHENES, M. R./REYNOLDS, K./NEWTON, R. U./TRIPLETT, N. T./DZIADOS, J. E.: Compatibility of high intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. In: Journal of Applied Physiology 78 (1995) 3, 976-989.
- KRAEMER, W. J./VOLEK, J., S./FLECK, S., J.: Chronic musculoskeletal adaptations to resistance training. In: WILLIAMS/WILKINS: ACSM'S Resource manual for guidelines for exercise testing and prescription. American college of sports medicine, Baltimore u. a. 1998, 174-181.
- KRAVITZ, L./AKALAN, C./NOWICKI, K./KINZEY, S. J.: Prediction of 1 repetition maximum in high-school power lifters. In: Journal of Strength and Conditioning Research 17 (2003) 1, 167-172.
- KROEMER, K. H. E./MARRAS, W. S.: Towards an objective assessment of the "maximal voluntary contraction" component in routine muscle strength measurements. In: European Journal Applied Physiology 45 (1980) 1, 1-9.
- KUEHL, K./ELLIOT, D. L./GOLDBERG, L.: Prediction caloric expenditure during multi-station resistance exercise. In: Journal of Applied Sport Science Research 4 (1990) 3, 63-67.
- KURAMOTO, A. K./PAYNE, G. V.: Predicting muscular strength in women: A preliminary study. In: Research Quarterly for Exercise and Sport 66 (1995) 2, 168-172.
- LANDERS, J.: Maximum based on reps. In: National Strength and Conditioning Association Journal 6 (1985) 6, 60-61.
- LARSSON, L./TESCH, P. A.: Motor unit fibre density in extremely hypertrophied skeletal muscles in man: Electrophysiological signs of muscle fibre hyperplasia. In: European Journal of Applied Physiology 55 (1986) 130-136.
- LATASH, M. L.: Neurophysiological basis of movement. The skeletal muscle. Human Kinetics, Champaign, Illinois 1998a.
- LATASH, M. L.: Neurophysiological basis of movement. Motor units and electromyography. Human Kinetics, Champaign, Illinois 1998b.
- LAURIG, W.: Grundzüge der Ergonomie. Berlin 1980.

- LECKO, S./VARISCO, F.: Kardiovaskuläre und metabolische Beanspruchung beim Krafttraining. Ein Vergleich der physiologischen Parameter Blutdruck, Herzfrequenz und Blutlaktat vor, während und nach einem Kraftausdauertraining. In: Physiotherapie (1999) 4, 19-28.
- LEHNERTZ, K.: Optimaler Krafteinsatz aus molekularmechanischer Sicht (IX). In: Leistungssport 18 (1988a) 4, 42-46.
- LEHNERTZ, K.: Muskelkraft und Bewegungsleistung - magnetische Aspekte (VIII). In: Leistungssport 18 (1988b) 1, 48-50.
- LEHNERTZ, K./MARTIN, D./NICOLAUS, J.: Grundlegende Untersuchungen zur Kraftausdauer. In: CARL, K./QUADE, K./STEHLE, P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Sport und Buch Strauß, Köln 1995, 428-446.
- LESUER, D. A./MCCORMICK, J. H./MAYHEW, J. L./WASSERSTEIN, R. L./ARNOLD, M. D.: The accuracy of prediction equations for estimating 1-RM performance in the bench press, squat and deadlift. In: Journal of Strength and Conditioning Research 11 (1997) 4, 211-213.
- LETZELTER, H./LETZELTER, M.: Krafttraining. Theorie, Methoden, Praxis. Überarb. Auflage Reinbek: Rowohlt 1990.
- LIPPITSCH, S./MÖLLER, J.: Varianzanalysen. In: STRAUß, B./HAAG, H./KOLB, M. (Hrsg.): Datenanalyse in der Sportwissenschaft. Hofmann, Schorndorf 1999, 277-308.
- LIU, Y./STEINACKER, J./BAUR, C./LEHMANN, M./SCHLUMBERGER, A./SCHMIDTBLEICHER, D.: Skeletal muscle adaptation to strength training myosin heavy chain isoform expression. In: MESTER, J./KING, G./STRÜDER, H./TSOLAKIDIS, E./OSTERBURG, A.: 6 th Annual Congress of the European College of Sport Science. Sport und Buch Strauß, Köln 2001, 469.
- LORENZ, R./HAUSDORF, J./TUSKER, F./JESCHKE, D.: Wirkung von isometrischen Maximalkraftbelastungen unterschiedlicher Wiederholungszahl auf den Muskel. In: Tittel, K./Arndt, K.-H./Hollmann, W. (Hrsg.): Sportmedizin gestern - heute - morgen. Johann Ambrosius Barth, Leipzig, Berlin, Heidelberg 1993a, 99-102.
- LORENZ, R./LEDERER, T./JOHANN, S./STEMBERGER, A./JESCHKE, D./BLÜMEL, G.: Veränderung immunologischer Messgrößen durch intensive Kraftausdauerbelastungen. In: TITTEL, K./ARNDT, K.-H./HOLLMANN, W. (Hrsg.): Sportmedizin gestern - heute - morgen. Johann Ambrosius Barth, Leipzig, Berlin, Heidelberg 1993b, 206-210.
- LÜTHI, J. M./HOWALD, H./CLASSEN, H./RÖSLER, K./VOCK, P./HOPPELER, H.: Structural changes in skeletal muscle tissue with heavy resistance exercise. In: International Journal of Sports Medicine 7 (1986) 3, 123-127.
- MACDOUGALL, D. J.: Hypertrophy or hyperplasia. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 230-238.
- MACDOUGALL, J. D./TUXEN, D./SALE, D. G./MOROZ, J. R./SUTTON, J. R.: Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. In: Journal of Applied Physiology 58 (1985) 3, 785-790.

- MADER, A.: Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 41 (1990) 2, 40-58.
- MARSCHALL, F./FRÖHLICH, M.: Überprüfung des Zusammenhangs von Maximalkraft und maximaler Wiederholungszahl bei deduzierten submaximalen Intensitäten. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 50 (1999) 10, 311-315.
- MARTIN, D./CARL, K./LEHNERTZ, K.: Handbuch Trainingslehre. Hofmann, Schorndorf 1993.
- MARX, J. O./NINDL, B. C./GOTSHALK, L. A./VOLEK, J. S./HARMANN, F. S./DOHI, K./BUSH, J. A./FLECK, S. J./HÄKKINEN, K./KRAEMER, W. J.: The effects of a low-volume progressive resistance exercise program versus a high-volume periodized resistance exercise program on muscular performance in women. In: HÄKKINEN, K. (Hrsg.): International conference on weightlifting and strength training. Gummerus Printing, Lathi, 1998, 167-168.
- MAYHEW, J. L./BALL, T. E./ARNOLD, M. D.: Prediction of 1RM bench press from submaximal bench press performance in college males and females. In: Journal of Applied Science Research 3 (1989) 3, 73.
- MAYHEW, J. L./BALL, T. E./WARD, T. E./HART, C. L./ARNOLD, M. D.: Relationship of structural dimensions to bench press strength in college males. In: Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 31 (1991) 2, 135-141.
- MAYHEW, J. L./PRINSTER, J. L./WARE, J. S./ZIMMER, D. L./ARABAS, J. R./BEMBEN, M. G.: Muscular endurance repetitions to predict bench press strength in men of different training levels. In: Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 35 (1995) 2, 108-113.
- MCCARTNEY, N.: Acute responses to resistance training and safety. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 31 (1999) 1, 31-37.
- MCCARTNEY, N./MOROZ, D./GARNER, S. H./MCCOMAS, A. J.: The effects of strength training in patients with selected neuromuscular disorders. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 20 (1988) 4, 362-368.
- MECHLING, H.: Fertigkeit (skill). In: RÖTHIG u. a. (Hrsg.): Sportwissenschaftliches Lexikon. Hofmann, Schorndorf 1992, 162-163.
- MEYER, K./GREINACHER, W./WEIDEMANN, H.: Koronarpatienten im Fitness-Studio - eine riskante Bewegungstherapie. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 42 (1991) 2, 54-58.
- MILNER-BROWN, H. S./STEIN, R. B./YEMM, R.: Changes in firing rate of human motor units during linearly changing voluntary contractions. In: Journal Physiology 230 (1973) 371-390.
- MONOD, H./SCHERRER, J.: The work capacity of a synergic muscular group. In: Ergonomics (1965) 329-338.
- MORITANI, T.: Time course of adaptations during strength and power training. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 266-278.

- MÜLLER, K.-J.: Statische und dynamische Muskelkraft. Beiträge zur Sportwissenschaft, Frankfurt/Main 1987.
- NETT, T.: Leichtathletisches Muskeltraining. Das Übungs- und Trainingsbuch der Leichtathletik, Bd. 4. Berlin 1964.
- NICOLAUS, J.: Kenngrößen der Kraftausdauer -Qualifizierung und Quantifizierung anhand des Zweiphasen-Tests. In: MARTIN, D./WEIGELT, S. H.: Trainingswissenschaft - Selbstverständnis und Forschungsansätze. Academia, St. Augustin 1993, 130-135.
- NICOLAUS, J.: Kraftausdauer als Erscheinungsform des Kraftverhaltens. Sport und Buch Strauß, Köln 1995.
- NIKOLAUS, T./ZAHN, R. K.: Alter und Altern. In: SCHMIDT, R. F./THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Springer, Berlin, Heidelberg u. a. 1995, 708-716.
- NÖCKER, J.: Physiologie der Leibesübungen. Enke-Verlag, Stuttgart 1980.
- NOTH, J.: Cortical and peripheral control. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992a, 9-20.
- NOTH, J.: Motor units. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992b, 21-28.
- O'SHEA, P.: Effects of selected weight training programs on the development of strength and muscle hypertrophy. In: Research Quarterly 37 (1966), 95-102.
- OLIVIER, N.: Techniktraining unter konditioneller Belastung. Hofmann, Schorndorf 1996.
- OLIVIER, N.: Eine Beanspruchungstheorie sportlichen Trainings und Wettkampfs. In: Sportwissenschaft 31 (2001) 4, 437-453.
- OSCHÜTZ, H.: Chronobiologie im Sport - Zur Entwicklung der sportlichen Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung der Cirkadian-Rhythmik. In: Leistungssport 21 (1991) 4, 12-15.
- OSCHÜTZ, H.: Zur Effektivität sportlichen Trainings in Abhängigkeit von der Tageszeit. In: MARTIN, D./WEIGELT, S. (Hrsg.): Trainingswissenschaft Selbstverständnis und Forschungsansätze. Czwalina, Hamburg 1993, 262-270.
- OSCHÜTZ, H.: Zirkadianrhythmische Aspekte muskulärer Beanspruchung und wiederherstellungsfördernder Maßnahmen. In: ZICHNER, L./ENGELHARDT, M./FREIWALD, J.: Die Muskulatur. Sensibles, integratives und meßbares Organ. Ciba-Geigy Verlag, Wehr 1994, 173-180.
- PACH, M.: Empirische Untersuchung zur Abgrenzung verschiedener Kraftausdauerfähigkeiten. Dissertation TU München 1991.
- PAMPUS, B.: Schnellkraft Training. Meyer & Meyer, Aachen 1995.
- PAMPUS, B./LEHNERTZ, K./MARTIN, D.: Die Wirkung unterschiedlicher Belastungsintensitäten auf die Entwicklung von Maximalkraft und Kraftausdauer. In: Leistungssport 19 (1989) 4, 5-10.

- PÉREZ, M./LUCIA, A./RIVERO, J.-L. L./SERRANO, A. L./CALBET, J.-A. L./DELGADO, M. A./CHICHARRO, J. L.: Effects of transcutaneous short-term electrical stimulation on M. vastus lateralis characteristics of healthy young men. In: *Pfügers Archiv - European Journal of Physiology* 443 (2002) 866-874.
- PETROFSKY, J. S./PHILLIPS, C. A./SAWKA, M. N./HANPETER, D./LIND, A. R./STAFFORD, D.: Muscle fiber recruitment and blood pressure response to isometric exercise. In: *Journal of Applied Physiology* 50 (1981) 1, 32-37.
- PETTE, D.: Das adaptative Potential des Skelettmuskels. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 50 (1999) 9, 262-271.
- PETTE, D./STARON, R. S.: Cellular and molecular diversities of mammalian skeletal muscle fibers. In: *Review of Physiology, Biochemistry and Pharmacology* 116 (1990) 1-76.
- PHILIPP, M.: Ein Satz genügt! - Erfahrungen mit Mehrsatz- und Einsatz-Methoden im Krafttraining. In: *Leistungssport* 29 (1999a) 1, 26-28.
- PHILIPP, M.: Einsatz-Training versus Mehrsatz-Training. In: *Leistungssport* 29 (1999b) 4, 27-34.
- PHILLIPS, S.: How to increase your bench press by 50 pounds. A few pointers about the bench press in general. In: <http://www.musclemedia.com/training/bench/bench01.htm> (Zugriff am 26.03.2002) (2002a).
- PHILLIPS, S.: How to increase your bench press by 50 pounds. Step 1 - Determining your One-Rep Max. In: <http://www.musclemedia.com/training/bench/bench06.htm> (Zugriff am 26.03.2002) (2002b).
- PIERCE, K./ROZENEK, R./STONE, H. M.: Effects of high volume weight training on lactate, heart rate, and perceived exertion. In: *Journal of Strength and Conditioning Research* 7 (1993) 4, 211-215.
- PITSCH, W.: Ideologische Einflüsse in der empirischen Sozialforschung im Sport. Sport und Buch Strauß, Köln 1999.
- POLLMANN, D.: Muskuläre Beanspruchung im Mikrozyklus des Krafttrainings. Sport und Buch Strauß, Köln 1993.
- POLLMANN, D./WILLIMCZIK, K.: Zur Möglichkeit der Beanspruchungsanalyse im Krafttraining anhand elektromyographischer Kennwerte. In: BÜHRLE, M./SCHURR, M. H.: *Leistungssport: Herausforderung für die Sportwissenschaft*. Hofmann, Schorndorf 1991, 384-396.
- POLLMANN, D./WILLIMCZIK, K.: Beanspruchung im Mikrozyklus des Krafttrainings. In: Carl, K./Quade, K./Stehle, P.: *Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung*. Sport und Buch Strauß, Köln 1995, 392-425.
- POPPER, K.: *Logik der Forschung*. Mohr Siebeck, Tübingen 2002.
- PREIS, R.: Biomechanische Merkmale. In: BALLREICH, R./BAUMANN, W. (Hrsg.): *Grundlagen der Biomechanik des Sports*. Enke Verlag, Stuttgart 1996, 54-74.
- RAASTAD, T./HALLÉN, L.: Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. In: *European Journal of Applied Physiology* 82 (2000) 3, 206-214.

- RADLINGER L.: Lokale Kraftausdauer - Theoretische und empirische Untersuchung leistungsbetimmender Parameter. Dissertation Deutsche Sporthochschule Köln 1987.
- RADLINGER, L./BACHMANN, W./HOMBURG, J./LEUENBERGER, U./THADDEY, G.: Rehabilitatives Krafttraining. Thieme Verlag, Stuttgart, New York 1998.
- REIß, M.: Steigerung der Kraftausdauerfähigkeit durch wirkungsvolles Kraftausdauertraining. In: Leistungssport 22 (1992) 5, 15-20.
- ROHEN, J. W./LÜTJEN-DRECOLL, E.: Funktionelle Histologie. Schattauer, Stuttgart, New York 1990.
- ROHMERT, W.: Zur Theorie der Erholungspausen bei dynamischer Arbeit. In: Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie, einschließlich Arbeitsphysiologie 18 (1960a) 191-212.
- ROHMERT, W.: Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Menschen. In: Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie, einschließlich Arbeitsphysiologie 18 (1960b) 123-164.
- ROHMERT, W.: Formen menschlicher Arbeit. In: ROHMERT, W./RUTENFRANZ, J. (Hrsg.): Praktische Arbeitsphysiologie. Thieme Verlag, Stuttgart, New York u. a. 1983, 5-29.
- ROHMERT, W.: Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 38 (1984) 4, 193-200.
- ROSE, K./BALL, T. E.: A field test for predicting maximum bench press lift of college women. In: Journal of Applied Sport Science Research 6 (1992) 2, 103-106.
- ROST, J.: Lehrbuch Testtheorie, Testkonstruktion. Verlag Hans Huber, Bern, Göttingen u. a. 1996.
- ROST, R./HOLLMANN, W.: Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Thieme, Stuttgart, New York u. a. 1982.
- ROY, R. R./EDGERTON, R. V.: Skeletal muscle architecture and performance. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 115-129.
- RÜEGG, J. C.: Muskel. In: SCHMIDT, R. F./THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Springer, Berlin, Heidelberg u.a. 1995, 67-87.
- RUTHERFORD, O. M./JONES, D. A.: The role of learning and coordination in strength training. In: European Journal of Applied Physiology 55 (1986) 100-105.
- SALE, D. G.: Neural adaptation to resistance training. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 20 (1988) 5 (Supp.), 135-145.
- SALE, D. G.: Neural adaptation to strength training. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 249-265.
- SALE, D. G./MACDOUGALL, D.: Specificity in strength training: a review for the coach and athlete. In: Canadian Journal of Applied Sport Sciences 6 (1981) 1, 87-92.

- SALE, D. G./MACDOUGALL, J. D./JACOBS, I./GARNER, S.: Interaction between concurrent strength and endurance training. In: *Journal of Applied Physiology* 68 (1990) 1, 260-270.
- SANBORN, K./BOROS, R./HRUBY, J./SCHILLING, B./O'BRYANT, H./JOHNSON, R./HOKE, T./STONE, M./STONE, M.: Performance effects of weight training with multiple sets not to failure versus a single set to failure in women: a preliminary study. In: HÄKKINEN, K. (Hrsg.): *International conference on weightlifting and strength training*. Gummerus Printing, Lathi, Finland 1998, 157-158.
- SANDS, W. A./MCNEAL, J. R./JENNI, M./DELONG, T. H.: Should female gymnasts lift weights? In: *Sportscience* 4 (2000) 3, <http://www.sportsci.org/jour/0003/was.html> (Zugriff am 27.09.2002) (2000).
- SARRIS, V.: *Methodologische Grundlagen der Experimentalpsychologie: Bd. 2 Versuchsplanung und Stadien des psychologischen Experiments*. Ernst Reinhardt, München, Basel 1992.
- SCHLICHT, W.: Das sportliche Training: Überlegungen auf dem Wege zu einem integrierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: JANSSEN, J.-P./SCHLICHT, W./RIECKERT, H./CARL, K. (Hrsg.): *Belastung und Beanspruchung*. Sport und Buch Strauß, Köln 1992, 31-44.
- SCHLUMBERGER, A.: *Optimierung von Trainingsstrategien im Schnellkrafttraining*. Sport und Buch Strauß, Köln 2000.
- SCHLUMBERGER, A./SCHMIDTBLEICHER, D.: Einsatz-Training als trainingsmethodische Alternative - Möglichkeiten und Grenzen. In: *Leistungssport* 29 (1999) 3, 9-11.
- SCHLUMBERGER, A./SCHMIDTBLEICHER, D.: Grundlagen der Kraftdiagnostik in Prävention und Rehabilitation. In: *Manuelle Medizin* 38 (2000) 4, 223-231.
- SCHLUMBERGER, A./STEC, J./SCHMIDTBLEICHER, D.: Single- vs. multiple-set strength training in women. In: *Journal of Strength and Conditioning Research* 15 (2001) 3, 284-289.
- SCHMIDT, R. A.: *Motor control and learning. A behavioral emphasis*. Human Kinetics Publishers, Inc., Champaign, Illinois 1988.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: *Maximalkraft und Bewegungsschnelligkeit*. Limpert, Bad Homburg 1980.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Strukturanalyse der motorischen Eigenschaft Kraft. In: *Lehre der Leichtathletik* 35 (1984a) 30, 1785-1792.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Sportliches Krafttraining und motorische Grundlagenforschung. In: BERGER, W./DIETZ, V./HUFSCHEIDT, A./JUNG, R./MAURITZ, K.-H./SCHMIDTBLEICHER, D.: *Haltung und Bewegung beim Menschen*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg u. a. 1984b, 155-188.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Motorische Beanspruchungsform Kraft. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 38 (1987a) 9, 356-377.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Motorische Beanspruchungsform Kraft - Definitionen und Trainierbarkeit. In: VON OW, D./HÜNI, G. H. (Hrsg.): *Muskuläre Rehabilitation*, Erlangen 1987b, 62-85.

- SCHMIDTBLEICHER, D.: Zum Problem der Definition des Begriffs Kraftausdauer. In: CARL, K./STARISCHKA, S./STORCK, H.-M. (Hrsg.). Kraftausdauertraining. Sport und Buch Strauß, Köln 1989, 10-30.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Training for power events. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 381-395.
- SCHMIDTBLEICHER, D./BÜHRLE, M.: Neuronal adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. In: International Series in Biomechanics 10 (1987) 615-620.
- SCHMIDTBLEICHER, D./FRICK, U.: Neuromuskuläre Funktionen und Ermüdungsreaktionen im Kraft-/Schnellkraft-Training (Thesen). In: THORHAUER, H.-A./CARL, K./TÜRCK-NOACK, U. (Hrsg.): Muskel-Ermüdung. Forschungsansätze in der Trainingswissenschaft. Sport und Buch Strauß, Köln 2001, 79-80.
- SCHMIDTBLEICHER, D./HARALAMBIE, G.: Changes in contractile properties of muscle after strength training in man. In: European Journal of Applied Physiology 46 (1981) 211-219.
- SCHNABEL, G./HARRE, D./BORDE, A. (Hrsg.): Trainingswissenschaft. Sportverlag, Berlin 1997.
- SCHOLICH, M.: Kreistraining. Sportverlag, Berlin 1988.
- SCHÖNPFLUG, W.: Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit - Konzepte und Theorien. In: KLEINBECK, U./RUTENFRANZ, J. H.: Arbeitspsychologie. Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D, Praxisgebiete, Serie 3, Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie. Hogrefe, Göttingen 1987, 130-184.
- SEIFFERT, A./SEIFFERT, K. R./VÖLKER, K./HALHUBER, C.: Kraftausdauertraining in der kardiologischen Rehabilitation. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 41 (1990) 3, 84-92.
- SEMMLER, J. G./ENOKA, R. M.: Neural contributions to changes in muscle strength. In: ZATSIORSKY, V. M.: Biomechanics in sport. Blackwell Science, Oxford 2000, 3-20.
- SHAVER, L. G.: Maximum dynamic strength, relative dynamic endurance and their relationships. In: Research Quarterly 42 (1970), 460-465.
- STARKEY, D. B./POLLOCK, M. L./ISHIDA, Y./WELSCH, M. A./BRECHUE, W. F./GRAVES, J. E./FEIGENBAUM, M. S.: Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 28 (1996) 10, 1311-1320.
- STARON, R. S./KARAPONDO, D. L./KRAEMER, W. J./FRY, A. C./GORDON, S. E./FALKEL, J. E./HAGERMAN, F. C./HIKIDA, R. S.: Skeletal muscle adaptations during the early phase of heavy-resistance training in men and women. In: Journal of Applied Physiology 76 (1994) 1247-1255.
- STARON, R. S./LEONARDI, M. J./KARAPONDO, D. L./MALICKY, E. S./FALKEL, J. E./HAGERMAN, F. C./HIKIDA, R. S.: Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and re-training. In: Journal of Applied Physiology 70 (1991) 2, 631-640.

- STEINACKER, J./WANG, L./LORMES, W./REIßNECKER, S./LIU, Y.: Strukturanpassung des Skelettmuskels auf Training. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 53 (2002) 12, 354-360.
- STONE, M. H.: Connective tissue and bone response to strength training. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 279-290.
- STONE, M. H./FLECK, S. J./TRIPLETT, N. T./KRAEMER, W. J.: Health- and performance - related potential of resistance training. In: Sports Medicine 11 (1991) 4, 210-231.
- STONE, M./O'BRYANT, H.: Weight Training: A scientific approach. Bellwether Press, Minneapolis, MN 1987.
- STRACK, A.: Belastungsdauer - als zentrale Steuergröße des Belastungsumfangs im Krafttraining. In: Trainer (2001) 4, 20, 33-34.
- SUCHOTZKI, G.: Praxis des Kraftausdauertrainings im Kanurennsport. In: CARL, K./STARISCHKA, S./STORCK, H.-M.: Kraftausdauertraining. Sport und Buch Strauß, Köln 1989, 103-109.
- SUMINSKI, R. R./ROBERTSON, R. J./ARSLANIAN, S./KANG, J./UTTER, A. C./DASILVIO, S. G./GOSS, F. L./METZ, K. F.: Perception of effort during resistance exercise. In: Journal of Strength and Conditioning Research 11 (1997) 4, 261-265.
- TESCH, P. A.: Skeletal muscle adaptations consequent to long-term heavy resistance exercise. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 20 (1988) 5, 132-134.
- TESCH, P. A.: Short- and long term histochemical and biochemical adaptations in muscle. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992a, 339-248.
- TESCH, P. A.: Training for bodybuilding. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992b, 370-380.
- TESCH, P. A.: Strength training and muscle hypertrophy. In: HÄKKINEN, K. (Ed.): International conference on weightlifting and strength training. Gummerus Printing, Lathi, Finland 1998, 17-22.
- TESCH, P. A./COLLIANDER, E. B./KAISER, P.: Muscle metabolism during intense, heavy-resistance exercise. In: European Journal of Applied Physiology 55 (1986) 4, 362-366.
- TESCH, P. A./LARSSON, L.: Muscle hypertrophy in bodybuilders. In: European Journal of Applied Physiology 49 (1982) 301-306.
- THORHAUER, H.-A./CARL, K./TÜRCK-NOACK, U.: Muskel-Ermüdung. In: THORHAUER, H.-A./CARL, K./TÜRCK-NOACK, U. (Hrsg.): Muskel-Ermüdung. Forschungsansätze in der Trainingswissenschaft. Sport und Buch Strauß, Köln 2001, 7-14.
- TITTEL, K./WUTSCHERK, H.: Anthropometric factors. In: KOMI, P. V.: Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 180-196.
- ULMER, H.-V.: Arbeits- und Sportphysiologie. In: SCHMIDT, R. F./THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Springer, Berlin, Heidelberg u. a. 1995, 672-696.

- ULMER, H.-V.: Maximalkraft bei Wiederholungsmessungen: Mittelwert oder Maximalkraft? In: <http://www.uni-mainz.de/FB/Sport/physio/pdf/files/mkwmess01.pdf> (Zugriff am 26.07.2001) (2001).
- URHAUSEN, A./SCHWARZ, M./STEFAN, S./GABRIEL, H./KINDERMANN, W.: Kardivaskuläre und metabolische Beanspruchung durch einen Kraftausdauer-Zirkel in der ambulanten Herztherapie. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 51 (2000) 4, 130-136.
- VIRU, A.: Postexercise recovery period: carbohydrate and protein metabolism. In: Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports (1996) 6, 2-14.
- VÖLKER, K./RÖDDER, E./HOLLMANN, W.: Das Blutdruckverhalten bei Bodybuildern. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 39 (1988) 1, 4-8.
- WAGNER, L. L./EVANS, S. A./WEIR, J. P./HOUSH, T. J./JOHNSON, G. O.: The effect of grip width on bench press performance. In: International Journal of Sport Biomechanics 8 (1992) 1-10.
- WANG, Q.: Methodische Probleme bei der diagnostischen Erfassung der Maximal- und Schnelligkeitsfähigkeit. Sport und Buch Strauß, Köln 1999.
- WANNER, H.-U.: Subjektive Einstufung der Belastung bei Ausdauerleistungen. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 36 (1985) 4, 104-112.
- WARE, J. S./CLEMENS, C. T./MAYHEW, J. L./JOHNSTON, T. J.: Muscular endurance repetitions to predict bench press squat strength in college football players. In: Journal of Strength and Conditioning Research 9 (1995) 2, 99-103.
- WEICKER, H.: Metabolische Regulation unter Belastung. In: JANSSEN, J.-P./SCHLICHT, W./RIECKERT, H./CARL, K. Hrsg.): Belastung und Beanspruchung. Sport und Buch Strauß, Köln 1992, 65-90.
- WEINECK, J.: Optimales Training. PERIMED-spitta, Balingen 1994.
- WEIR, J. P./WAGNER, L. L./HOUSH, T. J.: The effect of rest interval length on repeated maximal bench press. In: Journal of Strength and Conditioning Research 8 (1994) 1, 58-60.
- WERCHOSHANSKIJ, J. W./TATJAN, W. W.: Komponenten und funktionelle Struktur der Explosivkraft des Menschen. In: Leistungssport 5 (1975) 1, 25-31.
- WILKIE, D.: Shortage of chemical fuel as a cause of fatigue: studies by nuclear magnetic resonance and bicycle ergometry. In: PORTER, R./WHELAN, J.: Human muscle fatigue: physiological mechanisms. Pitman Medical, London 1981, 102-119.
- WILLIMCZIK, K.: Statistik im Sport: Grundlagen - Verfahren - Anwendungen. Czwalina Verlag, Hamburg 1999.
- WILLIMCZIK, K./DAUGS, R./OLIVIER, N.: Belastung und Beanspruchung als Einflussgrößen der Sportmotorik. In: OLIVIER, N./DAUGS, R.: Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung. dvs-Protokoll, Clausthal-Zellerfeld 1991, 2-28.
- ZATSIORSKY, V. M.: Die körperlichen Eigenschaften des Sportlers. Bartels & Wernitz, Berlin u. a. 1977.

ZATSIORSKY, V. M.: Krafttraining - Praxis und Wissenschaft. Meyer & Meyer, Aachen 1996.

ZATSIORSKY, V. M./KULIK, N. G./SMIRNOV, Y. I.: Wechselbeziehung zwischen den motorischen Fähigkeiten. In: RIEDER, H.: Bewegungslehre des Sports. Hofmann, Schorndorf 1977, 84-102.

ZATSIORSKY, V. M./KULIK, N.: Zwei Arten von Ausdauer-Kennwerten. In: *Theorija i Praktika Fiziceskoj Kultury* 27 (1965), 35-41.

ZERNICKE, R. F./LOITZ, B. J.: Exercise-related adaptations in connective tissue. In: KOMI, P. V.: *Strength and Power in Sport*. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1992, 77-95.

ZIMMERMANN, K.: *Gesundheitsorientiertes Muskelkrafttraining*. Hofmann, Schorndorf 2000.

12 Stichwortverzeichnis

1

1-RM · 25, 64, 71, 87, 91, 93, 99, 103, 190

A

Abhängige Variablen · 87, 88

Absolute Kraftausdauer · 29, 188, 193

Adaptation · 162

Alter · 85

ATP-Mangel-Theorie · 164, 177

ATP-Umsatz-Theorie · 164, 177

Axon · 42

B

Bankdrücken · 68, 70, 91, 93

Baseline- und Ausgangsniveaumessungen · 75, 76,
103, 155

Beanspruchung · 21, 53, 54, 55, 56, 58, 62, 69, 71,
161, 173

Beanspruchungsebene · 76, 79, 81, 87, 94, 122,
144

Belastung · 21, 53, 54, 55, 57, 161, 173

Belastungs-Beanspruchungs-Konzept · 53, 54, 72

Belastungsdauer · 38, 40, 58, 119, 120, 165, 167

Belastungsdichte · 57, 59, 169

Belastungsebene · 77, 87, 142

Belastungshäufigkeit · 61

Belastungsintensität · 19, 38, 40, 46, 58, 62, 64, 65,
72, 77, 163, 165, 182

Belastungsumfang · 40, 59, 169

Bewegungszyklus · 98

Blutdruck · 46, 47, 76, 92, 99, 105, 124, 134, 146,
153, 194

Blutdruckbestimmung · 95

Body-Mass-Index · 85

C

Cirkadianrhythmische Einflüssen · 76

Cross-sectional area · 31, 32

D

Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus · 24

Doppelprodukt · 47, 48, 76, 106, 128, 138, 149, 153

E

Effektivität · 161

Eigenschaften · 54, 55

Einflussfaktoren · 21, 31, 42, 45, 46, 50, 63, 77, 92

Einsatztraining · 177

EMG · 51, 69, 71

Empirische Befunde · 65

Energiebereitstellung · 38, 171

Erholung · 59, 179

Ermüdung · 21, 53, 70, 179

Ermüdungswiderstandsfähigkeit · 27, 29, 172, 179

Erschöpfung · 99

Explosivkraft · 26

F

Fähigkeiten · 54, 55

Fast twitch fibres · 33, 34, 181

Feldstudie · 83

Fertigkeiten · 54, 55

Fragebogen · 90, 232

Freizeitsportler · 75, 83, 153

Frequenzierung · 42, 44

G

Gewöhnungsphase · 91, 166, 168
Glykolyse · 20, 35, 38, 79, 171
Gruppenvergleich · 77, 103, 109, 122, 156, 161

H

Herzfrequenz · 28, 47, 76, 92, 106, 126, 136, 147,
153, 179, 194
Herzfrequenzmessung · 94
Hubhöhe · 87, 93
Hypertonie · 46
Hypertrophie · 37, 68, 163, 164, 168
Hypothesen · 63, 72, 73, 75, 80

I

Interaktion · 112, 124, 148
Intervalltraining · 179
Irrtumswahrscheinlichkeit · 102

K

Kapillarisierung · 34, 40, 164
Kontrollgruppe · 188
Körpergewicht · 85
Körpergröße · 85
Kraft · 23
Kraftausdauer · 23, 27, 29, 30, 98, 163, 168
Kraftausdauertraining · 20, 68, 161, 182
Krafttraining · 58, 62, 75, 91
Krafttrainingsmethode · 89
Krafttrainingsübungen · 66
Kreatinphosphat · 38, 171

L

Laktat · 34, 38, 70, 76, 92, 94, 105, 122, 132, 144,

153, 194

Laktatakkumulierung · 79
Längsschnittstudie · 188
Last · 78, 87, 98, 122, 168
Leichtathleten · 79, 153
Leichtathletik · 83
Leistungssportler · 68, 75, 83, 97
Lerneffekte · 91

M

Maximalkraft · 23, 25, 63, 65, 166, 192
Mehrsatztraining · 177
Messtechnik · 87, 93
Messzeitpunkte · 189
Methodenkritik · 97
Motoneuron · 42
Motorische Einheit · 42, 44
Multipresse · 68, 93, 94
Muskelfasertypen · 32, 36, 176
Muskelleistungsschwelle · 29
Muskelmasse · 31, 46, 65, 169
Muskelquerschnitt · 31, 40, 162, 164
MVC · 25, 165, 175
Myokinase-Reaktion · 38
Myosin heavy chain · 35

N

Nachbelastungsphase · 153, 158

P

Pause · 29, 60, 79, 162, 168
Personenstichprobe · 83
Physikalische Arbeit · 78, 80, 88, 93, 112, 113, 118,
142
Plateaubildung · 117, 170
Probanden · 83, 97

Prozent · 29, 58, 162, 165

Psychische Leistungsvoraussetzungen · 50

Q

Querschnittsstudie · 97

Querschnittsuntersuchung · 83, 188

R

Reaktivkraft · 24

Reizspannungs-Theorie · 164, 177

Rekrutierung · 42, 43, 181

Relative Krafftausdauer · 29, 188, 192

Relativkraft · 103

Ressourcen · 19, 56

Resümee · 159

Ringen · 83

Ringer · 79, 153

S

Sanftes Krafttraining · 49

Schnellkraft · 23, 26

Sequenzeffekte · 93, 97

Serie · 68, 72, 177

Serienregression · 78, 112

Skelettmuskulatur · 32, 33

Slow twitch fibres · 33, 34

Startkraft · 26

Statistische Auswertung · 100

Strukturansatz · 23, 30

Subjektive Belastungseinschätzung · 51, 62, 88, 96,
130, 140, 151

Synchronisation · 42

T

Test-Retest-Korrelationskoeffizient · 93, 102

Theorie des mechanischen Repairs · 39, 164

Trainingsmethoden · 19, 28, 30, 163, 173, 175

Trainingsmethodik · 161

Treatment · 89, 92, 97

Treatmentstichprobe · 89

Treatmentvergleich · 80, 81, 103, 142, 144, 157,
161

U

Untersuchungsdesign · 75, 89, 97, 188

Untersuchungsmethodik · 83

V

Valsalva-Mechanismus · 46

Variablenstichprobe · 87

Varianzanalyse · 100

Varianzklärung · 101

W

Wiederholungen · 19, 36, 40, 63, 65, 66, 78, 87,
109, 117, 168, 192

Anhang 1:

Informationsblatt
„Belastungs-Beanspruchungssituation im Krafttraining“

Lieber Versuchsteilnehmer,

Sie nehmen an einer Untersuchung im Bereich Krafttraining teil. Hierfür schon jetzt herzlichen Dank. Diese Untersuchung findet im Rahmen eines Promotionsvorhabens am Institut für Sportwissenschaften an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main zum Thema „Belastungs- und Beanspruchungssituation im Krafttraining“ statt.

Mit Ihrer Hilfe wollen wir untersuchen, ob bei deduzierter Belastungsintensität unterschiedlichen Wiederholungszahlen sowohl individuell als auch intraindividuell resultieren und inwieweit eine unterschiedliche Beanspruchungen sowohl individuell als auch intraindividuell zu verzeichnen ist.

Dazu ist es erforderlich, die gerätespezifische konzentrische Maximalkraft, das sogenannte Einwiederholungsmaximum (Gewichtslast, die maximal einmal bewältigt werden kann), an einer Multipresse bei der Übung Bankdrücken zu bestimmen. Da die registrierten Kraftwerte sehr stark von der Motivation und der individuellen Einstellung der Versuchspersonen, sich maximal anzustrengen, abhängig sind, möchten wir Sie bitten, speziell bei den Maximalkrafttest die individuell, höchstmögliche Kraft aufzubringen. Dies gilt im Übrigen für die gesamte Untersuchung.

Bevor die eigentlichen Tests zur Bestimmung der Maximalkraft sowie die Wiederholungen bei 60 Prozent Belastungsintensitäten des Einwiederholungsmaximums bzw. Wiederholungen bei angepasster Last stattfinden, wird ein standardisiertes Aufwärmprogramm zu allen Terminen durchlaufen. Beim ersten Versuchstermin werden zusätzlich, mit Hilfe eines Fragebogens, noch personenspezifische Variablen sowie Angaben zur Leistungssportkarriere usw. erhoben.

Insgesamt erstreckt sich die gesamte Untersuchung auf vier einzelne Termine. Zwei Termine dienen der Gewöhnung bzw. der Ermittlung des Einwiederholungsmaximums. Anschließend folgen die eigentlichen Testtermine (zwei) zur Beanspruchungsermittlung im Krafttraining.

Insgesamt dauern die zwei Gewöhnungstermine jeweils ca. 30 bis 45 Minuten. Die eigentlichen Tests zur Bestimmung der Beanspruchung im Krafttraining werden ca. eine Stunde betragen. Zwischen den einzelnen Terminen liegt eine Erholungsphase von ca. zwei bis drei Tagen bzw. genau eine Woche.

Um die jeweilige Beanspruchung im Krafttraining zu ermitteln, wird Ihnen in einem festgelegten Zeitintervall aus dem hyperämisierten Ohrläppchen etwas Blut entnommen.

Genauere Instruktionen zu den einzelnen Terminen, zu den Fragebögen, zum Aufwärmprogramm, zum jeweiligen Gewöhnungs- und Testprozedere, den Rahmenbedingungen und den sonstigen für die Untersuchung relevanten Hinweisen erhalten Sie zu den entsprechenden Zeitpunkten.

Für Ihre engagierte Mitarbeit und Ihr Interesse möchten wir uns bei Ihnen im Voraus vielmals bedanken.

Einverständniserklärung

Saarbrücken, den _____

Anhang 2:

Fragebogen zur Erfassung personenspezifischer Variablen (Anamnese)

Die Beantwortung der nachfolgenden Fragen wird absolut vertraulich behandelt! Der Fragebogen dient lediglich dazu eine möglichst objektive Einschätzung der Untersuchungsergebnisse zu gewährleisten. Wir bitten Sie daher die Fragen möglichst vollständig und gewissenhaft zu beantworten!

Persönliche Daten:	Datum: Datum: _____ Uhrzeit: _____		
Name, Vorname:	Name, Vorname		
Straße u. Hausnummer:	Straße u. Hausnummer:		
PLZ u. Wohnort:	PLZ:	Wohnort:	
Telefon:	Vorwahl:	Rufnummer:	
Beruf:	Arbeitsbelastung:		
Geburtsdatum:	Geburtsdatum:	Kader:	Kader:
Größe:	Größe:	cm	
Gewicht:	Gewicht:	kg	
Griffbreite:	Griffbreite:	cm	Hubhöhe: Hubhöhe: cm

1. Leiden Sie unter orthopädischen, internistischen oder anderen gesundheitlichen Beeinträchtigungen, welche einen Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse haben könnten und wenn ja, welche?

Nein

Ja orthopädische: _____
internistische: _____
sonstige: _____

2. Nehmen Sie regelmäßig Medikamente ein und wenn ja, welche?

Nein

Ja: _____

3. Haben Sie erhöhten Blutdruck?

Nein: Ja: Systole: _____ mmHg Diastole: _____ mmHg

4. Treiben Sie regelmäßig Sport, wenn ja wie oft und wie lange pro Woche?

Nein

Ja: 1 - 3 mal 3 - 5 mal 5 - 7 mal 7 - 10 mal > 10 mal
 1 - 3 Std. 3 - 5 Std. 5 - 7 Std. 7 - 10 Std. > 10 Std.

5. Treiben Sie Leistungssport, wenn ja wie lange?

Nein

Ja: 1 - 3 Jahre 3 - 5 Jahre 5 - 7 Jahre 7 - 10 Jahre > 10 Jahre

6. Welchen Sport betreiben Sie (eher)?

kraftorientiert ausdauerorientiert schnelligkeitsorientiert technikorientiert

Sportart(en): _____

7. Führen Sie regelmäßig Krafttraining durch, wenn ja wie oft und wie lange pro Woche?

Nein

Ja: 1 - 3 mal 3 - 5 mal 5 - 7 mal > 7 mal
 1 - 3 Std. 3 - 5 Std. 5 - 7 Std. > 7 Std.

8. Führen Sie regelmäßig Krafttraining für die Brustmuskulatur durch, wenn ja wie oft und wie lange pro Woche?

Nein

Ja: 1 - 3 mal 3 - 5 mal 5 - 7 mal > 7 mal
 1 - 3 Std. 3 - 5 Std. 5 - 7 Std. > 7 Std.

9. Wie beurteilen Sie Ihre heutige Tagesform?

sehr motiviert

motiviert

eher lustlos

völlig lustlos

gestresst

etwas angespannt

locker

entspannt

10. Gibt es dafür Gründe?

11. Wann haben Sie das letzte mal trainiert?

heute

gestern

vor 2 Tagen

vor 3 - 5 Tagen

vor 1 Woche

12. Wann haben Sie das letzte mal Bankdrücken trainiert?

heute

gestern

vor 2 Tagen

vor 3 - 5 Tagen

vor 1 Woche

13. Haben Sie Muskelkater?

Nein

Ja

Anhang 3

Datenerfassungsbogen 1

Persönliche Daten:	Datum: Datum: Uhrzeit:
Name, Vorname:	Name, Vorname

Wann haben Sie das letzte Mal trainiert?

heute gestern vor 2 Tagen vor 3 - 5 Tagen vor 1 Woche

Was haben Sie das letzte Mal trainiert?

Wie beurteilen Sie Ihre heutige Tagesform?

sehr motiviert motiviert eher lustlos völlig lustlos
 gestresst etwas angespannt locker entspannt

Gibt es dafür Gründe?

Haben Sie Muskelkater? Nein Ja

Test	Hubweg [cm]	Zeit [s]	Gewicht [kg]	Wdh.	Laktat [mmol/l]	HF [1/min]	BD [mmHg]	BORG [6-20]
Ruhe								
20% KG				25				
1-RM				1				
60% 1-RM								
60% 1-RM								
60% 1-RM								
60% 1-RM								
60% 1-RM								
60% 1-RM								
1` NB								
3` NB								

Anhang 4

Datenerfassungsbogen 2

Persönliche Daten:	Datum: Datum: _____ Uhrzeit: _____
Name, Vorname:	Name, Vorname _____

Wann haben Sie das letzte Mal trainiert?

- heute gestern vor 2 Tagen vor 3 - 5 Tagen vor 1 Woche

Was haben Sie das letzte Mal trainiert?

Wie beurteilen Sie Ihre heutige Tagesform?

- sehr motiviert motiviert eher lustlos völlig lustlos
 gestresst etwas angespannt locker entspannt

Gibt es dafür Gründe?

Haben Sie Muskelkater? Nein Ja

Test	Hubweg [cm]	Zeit [s]	Gewicht [kg]	Wdh.	Laktat [mmol/l]	HF [1/min]	BD [mmHg]	BORG [6-20]
Ruhe								
20% KG				25				
1-RM				1				
20-RM								
20-RM								
20-RM								
20-RM								
20-RM								
20-RM								
1` NB								
3` NB								

Anhang 5

Testbogen-Trainingsexperiment Längsschnitt

Name, Vorname:	Hubweg [cm]:	Griffbereite [cm]:
----------------	--------------	--------------------

Wie beurteilen Sie ihre heutige Tagesform?

sehr motiviert motiviert eher lustlos völlig lustlos

Eingangstest (ET)	Zeit [s]	Gewicht [kg]	Wdh.	Laktat [mmol/l]	HF [1/min]	BD [mmHg]	BORG [6-20]
Ruhe							
20% KG			25				
1-RM							
60 % 1-RM ET							
60 % 1-RM ET							
1'NB							

Wie beurteilen Sie ihre heutige Tagesform?

sehr motiviert motiviert eher lustlos völlig lustlos

Ausgangstest (AT)	Zeit [s]	Gewicht [kg]	Wdh.	Laktat [mmol/l]	HF [1/min]	BD [mmHg]	BORG [6-20]
Ruhe							
20% KG			25				
1-RM							
60 % 1-RM AT							
60 % 1-RM ET							
1'NB							

Wie beurteilen Sie ihre heutige Tagesform?

sehr motiviert motiviert eher lustlos völlig lustlos

Überdauer.-test (ÜT)	Zeit [s]	Gewicht [kg]	Wdh.	Laktat [mmol/l]	HF [1/min]	BD [mmHg]	BORG [6-20]
Ruhe							
20% KG			25				
1-RM							
60% 1-RM ÜT							
60 % 1-RM ET							
1'NB							

Abstract

Aufbauend auf der defizitären Befundlage zur Methodik des Kraftausdauertrainings war es Zielstellung der vorliegenden Studie, Antworten auf folgende Fragen zu finden: Einerseits, ob beim Kraftausdauertraining ein festes Verhältnis von deduzierter Belastungsintensität und Wiederholungszahl sowohl individuell als auch intraindividuell über mehrere Serien besteht und inwieweit sich die zugrunde liegende Beanspruchungssituation gestaltet. Andererseits, ob sich eine Trainingsmethode „konstante Last“ von einer Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“ im Kraftausdauertraining unterscheidet, wenn sowohl die Belastung als auch die (Teil-) Beanspruchung (metabolisch, kardiovaskulär, myokardial sowie subjektiv) betrachtet wird. Darüber hinaus sollten aus den Untersuchungsergebnissen Handlungsempfehlungen für die Methodik des Kraftausdauertraining abgeleitet werden. Hierzu wurde eine Querschnittsuntersuchung mit 39 Probanden (13 Freizeitsportler, 13 Leichtathleten und 13 Ringer) und eine Längsschnittstudie mit 9 Probanden (Freizeitsportler) durchgeführt. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand können aus den empirischen Studien zusammenfassend folgende Untersuchungsergebnisse abgeleitet werden: Unter der Prämisse der Ausbelastung innerhalb einer Serie können die Belastungsnormativa bei den Reizkonfigurationen zur Entwicklung der Kraftausdauer in der Praxis nicht befriedigend umgesetzt werden. Entweder kommt es zu einer Reduktion der Wiederholungszahl oder die Last muss angepasst werden. Eine weitere Möglichkeit würde in der Verlängerung der Pausendauer liegen. Eine Belastungssteuerung anhand der Maximalkraft scheint problematisch. Als Alternative würde sich eine Belastungssteuerung anbieten, innerhalb der die Trainingssituation mit der Testsituation identisch ist. Es gibt Hinweise, die vermuten lassen, dass drei Serien im Kraftausdauertraining unter ökonomischen Gesichtspunkten ausreichend sind. Durch die Diagnostik der Teilbeanspruchung (metabolisch, kardiovaskulär, myokardial, subjektiv) konnte in Teilen gezeigt werden, dass individuelle Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften bei der Trainingsplanung berücksichtigt werden müssen. Eine kausale Begründung für die Verwendung der Beanspruchungsvariable Laktat scheint im Kraftausdauertraining gegeben. Daher sollte dem Parameter Laktat eine besondere Rolle zukommen. Da das Kraftausdauertraining im Gegensatz zum reinen Ausdauertraining nicht durch das Kardio-Pulmonale-System limitiert ist, bringen die Beanspruchungsparameter Herzfrequenz, Blutdruck, Doppelprodukt keine weitere Aufhellung. Zukünftige Trainingsstrategien sollten im Sinne einer Optimierung des langfristigen Trainings- bzw. Leistungsfortschritts individuelle und intraindividuelle Gegebenheiten oder Merkmale berücksichtigen. Sowohl theoretische als auch empirische Befunde scheinen bei der vorliegende Studie eine Überlegenheit der Trainingsmethode „konstante Wiederholungszahl“, respektive Dauer, gegenüber der Trainingsmethode „konstante Last“ zu zeigen.

Keywords: Kraftausdauer, Trainingsteuerung, Methodik, Leistungssport, Belastung, Beanspruchung

