

**Zur Belastungsbestimmung im
fitnessorientierten Krafttraining
Eine explorative Studie zur Methodik**

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

vorgelegt von

Marco Hauptert
aus St. Wendel

Saarbrücken, 2007

Der Dekan:
Prof. Dr. R. Krause

Berichterstatter:
1. Gutachter: Prof. Dr. E. Emrich
2. Gutachter: PD Dr. H. Müller

Tag der Disputation: 16.05.2007

Danksagung

Diese Arbeit widme ich meiner Frau Melanie und meinen Kindern Florian, Marcel und Melissa-Sophie. Nun habe ich wieder mehr Zeit für Euch!

Ganz herzlich möchte ich mich an dieser Stelle bei Dr. Franz Marschall für die langjährige Unterstützung bedanken, insbesondere für seine ständige Bereitschaft zur Diskussion sowie für seine stets sehr hilfreichen Denkanstöße.

Für die dienstliche Genehmigung der Promotion, welche letztlich der Grundstein des gesamten Vorhabens war, bin ich Johannes Zoehren und Peter Conradt zu besonderem Dank verpflichtet.

Großer Dank gilt auch Dr. Stefan Schönthaler für die Mitarbeit bei der inhaltlichen Ausrichtung der Arbeit zu Beginn sowie für seine Unterstützung bei der Beschaffung von Testgeräten über die Fa. ERGO-FIT. Der Fa. ERGO-FIT danke ich für die Nutzung der Kraftgeräte.

Allen Probanden, ganz besonders den Probanden der Längsschnittstudie, herzlichen Dank für die motivierte Mitarbeit und für die „Schmerztoleranz“.

Nicole Düpre, Benno Polloczek und Christoph Müller danke ich für die Unterstützung des Gesamtvorhabens durch die erstklassig durchgeführten Teilstudien im Rahmen ihrer Diplom- bzw. Examensarbeiten.

Des Weiteren danke ich Prof. Dr. Eike Emrich sowie PD Dr. Hermann Müller für die wertvollen Tipps und Anregungen in inhaltlichen Fragen.

Für das Korrektur lesen muss ich mich bei meinem Kollegen Holger Reetz sowie bei Hptm Boris Bovekamp bedanken.

Zudem sage ich herzlichen Dank dem CUA-Autorenteam der Artillerieschule in Idar-Oberstein, allen voran HFW Jörg Ferber, für die Unterstützung bei der technischen Fertigstellung der Arbeit.

Marco Hauptert

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis	11
1 Einleitung	13
2 Belastungsgestaltung im fitnessorientierten Krafttraining.....	18
2.1 Dimensionsanalytische Betrachtung der Krafftähigkeit.....	22
2.2 Muskelhypertrophie	26
2.3 Belastung und Beanspruchung.....	34
2.3.1 Empirische Befunde	37
2.3.2 Deduktive Beanspruchungsermittlung.....	45
2.3.3 Induktive Beanspruchungsermittlung.....	50
2.3.3.1 Befindlichkeitsorientiertes Krafttraining	56
2.3.3.2 Individuelle-Leistungsbild-Methode	62
3 Kritische Betrachtung kraftdiagnostischer Testverfahren	67
4 Belastungsbestimmung auf der Grundlage anthropometrischer Merkmale.....	71
5 Fragestellungen und Zielstellungen	80
6 Methodik.....	84
6.1 Personenstichprobe.....	84
6.2 Testvariablen	85
6.2.1 Kriteriumsvariablen.....	85
6.2.2 Prädiktorvariablen.....	86
6.3 Testgeräte.....	94
6.3.1 Eingelenkige Übungen	94
6.3.1.1 TRICEPS EXTENSION	95
6.3.1.2 LEG EXTENSION	98
6.3.2 Zweigelenkige Übungen	100
6.3.2.1 CHEST PRESS.....	101

6.3.2.2	LAT PULL.....	103
6.3.3	Mehrgelenkige Übungen	106
6.3.3.1	LEG PRESS VERTICAL.....	107
6.3.3.2	LEG PRESS HORIZONTAL.....	110
6.4	Testprotokolle sportmotorischer Krafttests	112
6.4.1	1RM-Tests.....	112
6.4.2	xRM-Tests	116
6.4.3	MVC-Tests	118
6.4.4	Ergebnisse: MVC als Prädiktor des 1RM und 12RM.....	120
6.5	Untersuchungsablauf.....	121
6.5.1	Standardisierung des Testverfahrens.....	121
6.5.2	Abbruchkriterien	123
6.5.3	Gewöhnungs- und Testphase	126
6.5.4	Erhebung anthropometrischer Parameter	130
6.6	Statistik	134
7	Ergebnisse	137
7.1	Eingelenkige Übungen.....	139
7.1.1	TRICEPS EXTENSION	139
7.1.1.1	TRICEPS EXTENSION – Stichprobe Universität vs. Bundeswehr.....	141
7.1.1.2	Kreuzvalidierung.....	144
7.1.1.3	TRICEPS EXTENSION – männlich vs. weiblich.....	146
7.1.2	LEG EXTENSION.....	148
7.2	Zweigenkige Übungen	151
7.2.1	CHEST PRESS	151
7.2.2	LAT PULL.....	153
7.3	Mehrgelenkige Übungen.....	155
7.3.1	LEG PRESS VERTICAL.....	155
7.3.2	LEG PRESS HORIZONTAL	156
7.4	Vergleich zwischen deduktiver und induktiver Belastungsbestimmung auf der Grundlage anthropometrischer Merkmale.....	158
7.5	Evaluative Querschnittsuntersuchung (Empirische Kreuzvalidierung).....	159
7.6	Explorative Längsschnittstudie	163
7.6.1	Methodik der explorativen Längsschnittstudie.....	163
7.6.2	Ergebnisse der explorativen Längsschnittstudie	165
8	Diskussion und Ausblick.....	172

8.1	Diskussion der Teilstudien.....	172
8.1.1	Eingelenkige Übungen.....	173
8.1.2	Zweigelenkige Übungen.....	177
8.1.3	Mehrgelenkige Übungen.....	180
8.2	Diskussion der evaluativen Querschnittsuntersuchung.....	182
8.3	Diskussion der explorativen Längsschnittstudie.....	183
8.4	Methodenkritik.....	187
8.5	Ergebniszusammenfassung.....	193
8.6	Ausblick.....	195
9	Literaturverzeichnis.....	198
10	Anhang.....	221
10.1	Normalverteilung.....	221
10.2	Infoblätter für die Untersuchungsteilnehmer.....	232
10.3	Wandzettel.....	235
10.4	Fragebogen zur Erfassung personenspezifischer Variablen.....	237
10.5	Fragebogen zur Erfassung der aktuellen physischen und psychischen Befindlichkeit.....	240
10.6	Testprotokolle.....	242

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1. Dimensionen der Kraft und ihr Zuordnung zu den einzelnen Kraftfähigkeiten (modifiziert nach Boeckh-Behrens & Buskies, 2000, 37).....	24
Abb. 2. Muskelhypertrophie durch Zunahme von Dicke (a) und Zahl (b) der Myofibrillen (modifiziert nach MacDougall, 1994, 234).....	27
Abb. 3. Zusammenhang zwischen maximalen Wiederholungszahlen und relativem Anteil des Hantelgewichts am 1RM Bankdrücken bei 16 Gewichthebern. Gerundete Mittelwerte (rote Linie) mit Standardabweichung (gestrichelte Linie) (nach Zatsiorsky & Kulik 1965, in Zatsiorsky 1996).....	47
Abb. 4. Grafische Darstellung der Abhängigkeit zwischen Lastgröße und Wiederholungszahl (nach (Weineck 2002, 243).....	47
Abb. 5. RPE-Skala (Rate of Perceived Exertion) nach Borg (1982, 378).....	59
Abb. 6. Die TRICEPS EXTENSION 3000	95
Abb. 7. Die LEG EXTENSION 3000.....	98
Abb. 8. Die CHEST PRESS 3000	101
Abb. 9. Die LAT PULL 3000	103
Abb. 10. Die LEG PRESS VERTICAL 3000.....	107
Abb. 11. Halterung für Zusatzgewichte	108
Abb. 12. Die LEG PRESS HORIZONTAL	110
Abb. 13. Körperhöhenmessung.....	130
Abb. 14. Messung des Halbspanns rechts.....	131
Abb. 15. Oberschenkellänge als Abstand zwischen Trochanter major und Kniegelenkspalt (modifiziert nach Olson, 1998)	133
Abb. 16. Unterschenkellänge als Abstand zwischen Kniegelenkspalt und Außenknöchel (modifiziert nach Olson, 1998).....	133
Abb. 17. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION.....	140
Abb. 18. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION Uni.....	142
Abb. 19. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION Bw.....	143
Abb. 20. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION männlich.....	147
Abb. 21. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION weiblich	147

Abb. 22. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM LEG EXTENSION	149
Abb. 23. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM CHEST PRESS	152
Abb. 24. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12 RM LAT PULL.....	154
Abb. 25. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM LEG PRESS VERTICAL	155
Abb. 27. Box-Plot-Diagramm des $12RM_{ber}$ und $12RM_{exp}$ der männlichen Probanden ($N = 18$) mit Interquartilen (rot).....	160
Abb. 28. Tatsächliche Abweichungen des $12RM_{ber}$ vom $12RM_{exp}$ der männlichen Probanden ($N = 18$).....	161
Abb. 29. Untersuchungsdesign der explorativen Längsschnittstudie für die Treatmentgruppe.....	165
Abb. 30. Durchschnittliches 12RM CHEST PRESS der beiden Gruppen im Eingangstest (ET), Ausgangstest (AT) und Überdauerungstest (ÜT)	167
Abb. 31. Durchschnittliches 12RM LEG PRESS VERTICAL der beiden Gruppen im Eingangstest (ET), Ausgangstest (AT) und Überdauerungstest (ÜT)	168
Abb. 32. Durchschnittliches 1RM CHEST PRESS der beiden Gruppen im Eingangstest (ET), Ausgangstest (AT) und Überdauerungstest (ÜT)	168
Abb. 33. Durchschnittliches 1RM LEG PRESS VERTICAL der beiden Gruppen im Eingangstest (ET), Ausgangstest (AT) und Überdauerungstest (ÜT)	169
Abb. 34. Prozentuale Veränderung des 12RM LEG PRESS VERTICAL vom Eingangstest über den Ausgangstest zum Überdauerungstest bei den einzelnen Probanden der Treatmentgruppe.....	169
Abb. 35. Prozentuale Veränderung des 1RM LEG PRESS VERTICAL vom Eingangstest über den Ausgangstest zum Überdauerungstest bei den einzelnen Probanden der Treatmentgruppe.....	170

Tabellenverzeichnis

<i>Tab. 1. Gesundheitliche Ziele und Effekte des fitnessorientierten Krafttrainings (vgl. Boeckh-Behrens & Buskies, 2000; Hollmann & Hettinger, 2000; Müller, 2003a; Stemper, 1994; Zimmermann, 2000)</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 2. Unterteilung der Lebensabschnitte nach dem Konzept des zweiten Mittelalters (Caimi, 2003, 24)</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 3. Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Erhöhung der Muskelmasse (nach Güllich & Schmidtbleicher 1999, 229)</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 4. Handlungsempfehlungen verschiedener Autoren für eine hypertrophieorientierte Trainingslast im Anfängerbereich (deduktive Beanspruchungsermittlung)</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 5. Literaturüberblick: Mittelwerte der maximal realisierten Wiederholungen bei hypertrophieorientierten Belastungsintensitäten und ein- u. zweigelenkigen Übungen sowie der mehrgelenkigen Übung Beinpressen</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 6. Literaturüberblick: Serienregression bei deduktiver und induktiver Beanspruchungsermittlung im Hypertrophietraining.....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 7. Abschätzung der Belastungsintensität aus der maximal realisierbaren Wiederholungszahl mit einer beliebigen Last (nach Rühl 1992, in Kolster 1994, 636).....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 8. Methode der leichten Krafteinsätze mit mittlerer Wiederholungszahl – Anfängermethode (mod. nach Grosser et al., 2001, 65)</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 9. Belastungsstruktur des primärpräventiven Krafttrainings (mod. nach Zimmermann, 2000, 193).....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 10. Wiederholungszahlen bzw. repetition maxima (RM) und Ausbelastungsgrad; Handlungsempfehlungen verschiedener Autoren für eine beanspruchungsorientierte Trainingslast im Anfängerbereich.....</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 11. Zuordnung von Autor zu dem durch die ermittelte Anfangslast induzierten Ausbelastungsgrad</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 12. Siebenstufige RPE-Skala (RPE = Rate of Perceived Exertion; mod. nach Boeckh-Behrens & Buskies, 2000, 75).....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 13. Belastungsdosierung im gesundheitsorientierten Fitness-Krafttraining im Hypertrophiebereich (mod. nach Boeckh-Behrens & Buskies, 2000, 47).....</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 14. Belastungsdosierung im gesundheitsorientierten Fitness-Training nach Trunz et al. (2002).....</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 15. Grobraster zur optimalen Krafttrainingsplanung nach der ILB-Methode (modifiziert nach Kempf & Strack, 2001, 40-41).....</i>	<i>63</i>

Tab. 16. Beispielrechnung Trainingsgewichte Einsteiger	64
Tab. 17. Methodische Kritikpunkte in der Literatur hinsichtlich der Durchführung von Krafttests	67
Tab. 18. Gesundheitliche Kritikpunkte und Risikogruppen hinsichtlich der Durchführung von Krafttests.....	69
Tab. 19. Empirische Studien zur Vorhersage des 1RM mittels anthropometrischer Parameter	71
Tab. 20: Zusammenhang zwischen Quetelet-Index, 1RM und 12RM beim Bankdrücken	81
Tab. 21. Überblick der Prädiktorselektion in Abhängigkeit von der Übung.....	93
Tab. 22. Prozentuale Laststeigerung in Bezug auf die Probandenschätzung der zusätzlich möglichen Wiederholungen (aus Debra, 2002, 53)	115
Tab. 23. Intensitäten der Serien 1-3 in Relation zum berechneten 12RM für Männer und Frauen.....	128
Tab. 24. Die Ergebnisse der signifikanten Regressionsanalysen mit Angabe der Prädiktoren, minderungskorrigierten Determinationskoeffizienten (R^{2*}) und Standardschätzfehler (SEE) im Überblick	138
Tab. 25. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION	139
Tab. 26. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION	140
Tab. 27. Koeffizienten der Modelle zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION Uni / Bw	142
Tab. 28. Koeffizienten der Modelle zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION Uni / Bw.....	143
Tab. 29. Koeffizienten der Modelle zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION männlich / weiblich	146
Tab. 30. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION männlich.....	148
Tab. 31. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION weiblich	148
Tab. 32. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 12RM LEG EXTENSION.	149
Tab. 33. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM LEG EXTENSION... ..	150
Tab. 34. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 12RM CHEST PRESS	151
Tab. 35. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM CHEST PRESS	152
Tab. 36. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 12RM LAT PULL	153
Tab. 37. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM LAT PULL	154

<i>Tab. 38. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 12RM LEG PRESS VERTICAL.....</i>	<i>155</i>
<i>Tab. 39. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM LEG PRESS VERTICAL.....</i>	<i>156</i>
<i>Tab. 40. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 12RM LEG PRESS HORIZONTAL.....</i>	<i>157</i>
<i>Tab. 41. Zusammenhang zwischen den besten Prädiktoren, 1RM und 12RM beim Armstrecken, Beinstrecken, Bankdrücken, Latziehen und Beinpressen</i>	<i>158</i>
<i>Tab. 42. Explorative Datenanalyse des 12RM_{ber} und des 12RM_{exp} der männlichen Probanden (N=18).....</i>	<i>159</i>
<i>Tab. 43. Höhe der absoluten und relativen Abweichung im Fall einer Über- bzw. Unterschätzung</i>	<i>161</i>
<i>Tab. 44. Ergebnis des t-Tests bei einer Stichprobe.....</i>	<i>162</i>
<i>Tab. 45. Deskriptive Daten des 12RM_{exp} bei Männern und Frauen.....</i>	<i>163</i>
<i>Tab. 46. Berechnete und experimentelle 12RM-Werte der einzelnen Versuchspersonen an beiden Trainingsgeräten.....</i>	<i>166</i>
<i>Tab. 47. Wiederholungsmaxima im Eingangstest, Ausgangstest und Überdauerungstest an beiden Trainingsgeräten in beiden Gruppen im Längsschnitt.....</i>	<i>167</i>

Abkürzungsverzeichnis

12RM	Zwölf-Wiederholungs-Maximum
12RM _{ber}	berechnetes Zwölf-Wiederholungs-Maximum
12RM _{exp}	experimentelles Zwölf-Wiederholungs-Maximum
1RM	Ein-Wiederholungs-Maximum
Abb.	Abbildung
ADP	Adenosindiphosphat
ASTE	Ausgangsstellung
ATP	Adenosintriphosphat
BIA	Bioimpedanzverfahren
BMI	Body-Mass-Index
bpm	beats per minute
Bw	Bundeswehr
Ca	Calcium
cm	Zentimeter
CSA	cross-sectional area
DNS	Desoxyribonukleinsäure
DVZ	Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus
ESTE	Endstellung
F	Kraft
FFM	fettfreie Masse
FG	fast glycolytic
FOG	fast oxidative glycolytic
FT	fast twitch
H ⁺	Wasserstoffionen
IEMG	integriertes Elektromyogramm
IGF	Insulin-like Growth-Faktor
ILB	Individuelle-Leistungsbild-Methode
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm
KrP	Kreatinphosphat
LBM	lean body mass
m	Masse
M.	musculus
MHC	myosin heavy chain
min	Minute

MRI	Magnetresonanzverfahren
mRNA	Messenger (Boten-) Ribonukleinsäure
MVC	isometrische Maximalkraft
N	Anzahl Versuchspersonen
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PEK	parallel-elastische Elemente
r	Korrelationskoeffizient
R	multipler Korrelationskoeffizient
R ²	Determinationskoeffizient
R ^{2*}	minderungskorrigierter Determinationskoeffizient
RNS	Ribonukleinsäure
ROM	range of motion
RPE	rate of perceived exertion
s	Weg
SEE	Standardschätzfehler
SEK	serien-elastische Elemente
Sek.	Sekunde
SPSS	Statistiksoftware
ST	slow twitch
SWI	Sportwissenschaftliches Institut der Uni Saarland
Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
Vpn	Versuchsperson (-en)
W	Arbeit
Wdh.	Wiederholungen
xRM	Wiederholungs-Maximum mit x Wiederholungen
y´	vorhergesagte Kriteriumsleistung
Z. B.	Zum Beispiel
ZNS	zentrales Nervensystem

1 Einleitung

Krafttraining ist ein immanenter Bestandteil des leistungsorientierten Trainings nahezu in allen Sportarten. Insbesondere das Muskelaufbautraining bietet dem Leistungssportler in kraftabhängigen Sportarten die Möglichkeit des progressiven Leistungsfortschritts (Bührle & Werner, 1985). Diese Erkenntnis hat in den letzten Jahren dazu geführt, dass in Physiotherapie und Rehabilitation hypertrophieorientierte Trainingsmethoden verstärkt genutzt werden (Freese, 2001; Froböse & Lagerström, 1991; Radlinger, Bachmann, Homburg, Leuenberger & Thaddey, 1998). Auch im Gesundheitssport kann Muskelaufbautraining mittlerweile als etabliert betrachtet werden (Froböse & Lagerström, 1991; Israel, 1992; Zimmermann, 2000). Morbiditätsstatistiken zeigen neuerdings eine deutliche Prävalenz von orthopädischen Erkrankungen im Vergleich zu internistischen Beschwerden. Zimmerman (2000) weist jedoch vor diesem Hintergrund darauf hin, dass der Skelettmuskulatur nicht nur eine Halte-, Stütz- und Bewegungsfunktion zukommt, sondern auch eine Prophylaxefunktion aus internistischer Sicht, da es sich neben der Leber um das wichtigste Stoffwechselorgan des Menschen handle. Israel (1995) bezeichnet demzufolge die statistische Reduktion der Muskelmasse „nichttrainierender Menschen“ zwischen dem 30. und 80. Lebensjahr um 30-40% (Hollmann & Hettinger, 2000) als „Organschwund“. Inaktivität scheint in diesem Zusammenhang eine größere Bedeutung zuzukommen als dem Einfluss biologischer Alterungsprozesse (Gottlob, 2003a). Conzelmann (1997, 286) hypothetisiert, dass die Trainierbarkeit der konditionellen Fähigkeit Kraft während des Erwachsenenalters unabhängig vom chronologischen Alter sei. Untermauert wird diese Hypothese durch mehrere Trainingsstudien mit über 70-Jährigen, die neben immensen Kraftsteigerungen auch signifikante Zunahmen der Muskelquerschnittsflächen erzielen konnten (Fiatarone, Marks, Ryan, Meredith, Lipsitz & Evans, 1990; Fiatarone, O’Neill, Ryan, Clements, Solares, Nelson, Roberts, Kehayias, Lipsitz & Evans, 1994; Frontera, Meredith, O’Reilly, Knuttgen & Evans, 1988). Diese Befunde verdeutlichen die Sinnhaftigkeit eines regelmäßigen Krafttrainings bis ins hohe Alter. Gerade der präventive Gesichtspunkt des Kraft- bzw. Muskelaufbautrainings wird angesichts einer zunehmenden Lebenserwartung, mit der auch die Zeit zunimmt, „in der sich degenerative Prozesse, chronische Erkrankungen und Verschleißerscheinungen entwickeln können“ (Israel, 1994, 322) sowie nicht zuletzt leerer Kassen im Gesundheitswesen immer stärker fokussiert. Zahlreiche Veröffentlichungen insbesondere im populärwissenschaftlichen Bereich verdeutlichen die hohe Nachfrage nach Informationen zu fitness- bzw. gesundheitsorientierten Themen des Krafttrainings (Bredenkamp & Hamm, 2001; Breitenstein, 2003; Kempf & Strack,

2001; Kieser, 2003; Rühl & Schuba, 2003; Schulz, 2002; Seibert, 2002; Trunz, Freiwald & Konrad, 2002; Unger, 1999). Infolge dessen finden immer mehr Menschen, quer durch alle Altersklassen und mit unterschiedlichsten Voraussetzungen und Zielsetzungen, den Zugang zu den aktuell 6212 Fitness-Anlagen in Deutschland (www.dssv.de/statistik/erstens.htm). Dies erfordert aus trainingswissenschaftlicher Sicht eine intensivere Auseinandersetzung zu Fragen der Methodik des Krafttrainings abseits vom Wettkampf- bzw. Leistungssport. Termini wie „sanftes Krafttraining“ (Boeckh-Behrens & Buskies, 2000), „gesundheitsorientiertes Muskelkrafttraining“ (Zimmermann, 2000), „funktionelles Fitnesskrafttraining“ (Rühl & Schuba, 2003) verdeutlichen dies. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage nach der Belastungsdosierung insbesondere für Trainingsanfänger. Man unterscheidet hierbei einen deduktiven und einen induktiven Weg, um eine zieladäquate Anfangslast definieren zu können (vgl. Fröhlich, 2003; Laurig, 1980; Rohmert, 1984; Willimczik, Daus & Olivier, 1991). Meist wird die Belastungsintensität von der isometrischen oder konzentrischen Maximalkraft prozentual abgeleitet (Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Martin, Carl & Lehnertz, 1993). Die auf diese Weise deduktiv ermittelte Trainingslast führt jedoch nicht zwangsläufig dazu, dass die trainingswirksamen physiologischen Prozesse optimal beansprucht werden, die für spezifische Trainingsanpassungen (Hypertrophie/Kraftausdauer) relevant sind. Dies ist damit begründet, dass zwischen deduzierter Intensität und den angenommenen maximal möglichen Wiederholungen kein kausaler, linearer Zusammenhang besteht (Buskies, 1999; Buskies & Boeckh-Behrens, 1999; Fröhlich & Schmidtbleicher, 2003; Hoeger, Barette, Hale & Hopkins, 1987; Hoeger, Hopkins, Barette & Hale, 1990; Marschall & Fröhlich, 1999).

Eine induktiv, beanspruchungsorientierte Ermittlung der Trainingslast, wie es im Bodybuilding praktiziert wird (Gießing, 2002; Müller, 2003b; Tesch, 1994; Weingarten, 2000), beinhaltet das gezielte Ansteuern einer Belastungsdauer respektive Wiederholungszahl, operationalisiert als Wiederholungsmaximum bzw. Repetition Maximum (DeLorme, 1946) in Verbindung mit anpassungsrelevanten Ausbelastungen (Radlinger et al., 1998). Der Vorteil liegt zum einen in der Vereinbarkeit von Test- und Trainingssituation und zum anderen in der optimalen Beanspruchung von Stoffwechselprozessen und spezifischen mechanischen Beanspruchungen z.B. für die Auslösung von Hypertrophieeffekten (vgl. Hemmling, 1994).

Beide Ansätze haben jedoch den Nachteil, dass die Bestimmung der Trainingslast Tests erfordert, die aufgrund fehlender standardisierter Testprotokolle meist mittels Versuch-und-Irrtum durchgeführt werden (Anderson & Kearney, 1982; Brown & Harrison, 1986; Gottlob, 2003a; Hoeger et al., 1990; Hortobagyi, Katch & LaChance, 1989; Kraemer & Fry, 1995; Kuramoto & Payne, 1995; Radlinger et al., 1998; Trunz

et al., 2002). Aus Gründen der Reliabilität und Validität können solche Tests erst nach einer längeren Gewöhnungsphase durchgeführt werden (vgl. Kraemer & Fry, 1995). Sowohl die Testdauer als auch die Verwendung von maximalen Lasten sind Bedingungen, die im fitness- oder gesundheitsorientierten Krafttraining und insbesondere im rehabilitativen Krafttraining kaum zu realisieren sind. Auch wenn für Trainingsanfänger Gewöhnungsphasen mit submaximalen Lasten unumgänglich sind, sollten die gewählten Anfangslasten aus Ökonomie- und Effizienzgründen möglichst den trainingswirksamen Lasten entsprechen.

Weitergehend konstatiert Schmidtbleicher (1998; vgl. auch Boeckh-Behrens & Buskies, 2000; Braith, Graves, Leggett & Pollock, 1993; Brzycki, 1993; Mayhew, Piper & Ware, 1993; Morales & Sobonya, 1996):

“Sowohl in der Rehabilitation als auch im Fitnesstraining treten Situationen auf, bei denen eine maximale Auslastung nicht angezeigt ist.“
(Schmidtbleicher, 1998, 24)

Damit ergibt sich für die Belastungsdosierung im fitnessorientierten Anfängertraining aus trainingsmethodischer Sicht eine zentrale Anforderung:

Die Festlegung einer Anfangslast, die es erlaubt, mit möglichst wenigen Sätzen eine zieladäquate Belastungsintensität an zu steuern.

Unter diesem Gesichtspunkt versuchen einige Autoren die konzentrische Maximalkraft, operationalisiert als Ein-Wiederholungs-Maximum (One Repetition Maximum oder 1RM; DeLorme, 1945), auf der Basis von anthropometrischen Parametern vorherzusagen, um daraus trainingspraktische Konsequenzen ziehen zu können (Bale, Colley, Mayhew, Piper & Ware, 1994; Cummings & Finn, 1998; Mayhew, Piper et al., 1993). Die regressionsanalytisch gewonnenen Daten zeigen meist mittlere bis hohe Zusammenhänge zwischen anthropometrischen Parametern und dem 1RM. Tittel & Wutscherk (1994) weisen vor diesem Hintergrund darauf hin,

„[...] dass zwischen der Gesamtkörper- und der Muskelmasse sehr enge Korrelationsfaktoren bestehen, die die Annahme zulassen, dass beide Parameter ähnliche Variationsbreiten aufweisen. Aus der Gesamtkörpermasse lassen sich somit Schlussfolgerungen über die Maximalkraft ableiten.“ (Tittel & Wutscherk, 1994, 185)

Jedoch wurden diese Beobachtungen nur in homogenen Gruppen des (Hoch-) Leistungssports im Rahmen einer komplexen Ganzkörperbewegung gemacht:

“Bei Gewichthebern finden sich enge Korrelationen zwischen Körpergröße, Körpergewicht und der Summe ihrer Hebeleistungen in beiden Wettkampfdisziplinen.“ (Tittel & Wutscherk, 1994, 197)

Für das heterogene Klientel der fitnessorientierten Anfänger im Krafttraining und deren Kraftwerte an handelsüblichen Trainingsmaschinen mit unterschiedlichsten Kinematiken (Gottlob, 2003a) ist die Befundlage dagegen defizitär:

„Vergleichbare Ausgangswerte, die entsprechende Berechnungen für untrainierte Populationen, bzw. für andere Kraftsportarten, ermöglichen würden, liegen bisher noch nicht vor.“ (Tittel & Wutscherk, 1994, 197)

Der hier beschriebene Weg zur Belastungsdosierung enthält allerdings zwei grundlegende Fehlerquellen: Der hohe Anteil unaufgeklärter Varianz bei der Vorhersage von trainingsrelevanten Lasten und der nicht bekannte Zusammenhang zwischen Intensitäten, die aus einem Maximalkrafttest oder einem Maximalkraftwert abgeleitet werden und den damit gegebenen Wiederholungszahlen.

Davon ausgehend stellt sich die Frage, ob sich

- (1) die Vorhersagewahrscheinlichkeit von Trainingslasten durch anthropometrische Parameter erhöhen lässt und damit
- (2) testunabhängig induktiv Anfangslasten für ein fitnessorientiertes Krafttraining bestimmen lassen.

Lediglich zwei Autorengruppen (Walsworth, Schneider, Schultz, Dahl, Allison, Underwood & Freund, 1998; Willardson & Bressel, 2004) widmen sich bisher dieser Fragestellung. Walsworth et al. (1998) erzielten auf der Grundlage der isometrischen Maximalkraft als Prädiktor, zusammen mit den Prädiktoren Körpergewicht, Alter und Geschlecht, eine sehr hohe Varianzaufklärung von 89% ($R^2 = .89$; Standardschätzfehler = 2,13 kg) des 10RM einer Knieextensionsbewegung an einem „hand-held-dynamometer“. Allerdings wurde auch hier ein Maximalkrafttest verwendet, für den die oben angesprochenen Probleme in gleicher Weise zutreffen.

Willardson & Bressel (2004) versuchten mit Hilfe des 10RM an einer 45° Beinpresse sowie den Prädiktoren Körpergewicht und Beinlänge das 10RM-Kniebeugen mit der freien Hantel bei Untrainierten und Trainierten zu bestimmen. Im Ergebnis war lediglich die 10RM-Last an der Beinpresse ein signifikanter Prädiktor. Eine Differenzierung des Trainingszustandes zeigte nur eine geringe 25%ige (untrainierte Personen) bis mittlere 55%ige (trainierte Personen) Varianzaufklärung, wohingegen bei der Gesamtstichprobe eine hohe Varianzaufklärung von 75% nachgewiesen wurde. Der Er-

kenntnisgewinn dieser Studie im Hinblick auf die Bestimmung einer Trainingslast mittels Körperproportionen ist gering, da nur mit Hilfe einer weiteren Trainingslast einer bewegungsverwandten Übung eine gute Vorhersage getroffen werden konnte. Die testunabhängige induktive Bestimmung dieser Last bleibt weiterhin offen. In der vorliegenden Arbeit sollen deshalb empirisch solche Parameter ermittelt werden, die

- unabhängig von Krafttests sind,
- einen engen Zusammenhang zu Kraftleistungen im submaximalen Bereich aufweisen und
- im Hinblick auf die Randbedingungen des Freizeitsports möglichst einfach zu erheben sind.

Zur Bearbeitung dieser Fragestellung werden im ersten Teil der Arbeit zunächst theoretische Grundlagen und empirische Befunde zur Belastungsgestaltung im fitnessorientierten Krafttraining dargelegt (Kapitel 2) sowie die damit in Verbindung stehenden kraftdiagnostischen Testverfahren einer kritischen Betrachtung unterzogen (Kapitel 3). Kapitel 4 beschäftigt sich mit empirischen Ergebnissen eines alternativen Verfahrens zur Belastungsbestimmung auf der Grundlage anthropometrischer Merkmale. Die problematischen Aspekte dieses Ansatzes leiten über zu den zentralen Frage- und Zielstellungen der Arbeit (Kapitel 5).

Der zweite Teil der Arbeit stellt den experimentellen Teil dar. In Kapitel 6 wird auf die Methodik der durchgeführten Untersuchungen eingegangen. Im folgenden Kapitel 7 werden die Ergebnisse im Einzelnen dargestellt und schließlich in Kapitel 8 innerhalb einer Methodenkritik diskutiert. Kapitel 8 endet mit einem praxisrelevanten Ausblick sowie der Formulierung zukünftig anzugehender Forschungsfragen (8.6).

2 Belastungsgestaltung im fitnessorientierten Krafttraining

Ausgehend von einer Erörterung der Zielstellung des fitnessorientierten Krafttrainings werden im Folgenden - beziehungsweise darauf - erst die zentralen theoriegeleiteten Aspekte zur Strukturierung der Kraftfähigkeiten und zur Muskelhypertrophie dargestellt und daraufhin tradierte Verfahren zur Belastungsbestimmung unter dem Beanspruchungsaspekt aufgezeigt und diskutiert.

Krafttraining kann mit unterschiedlichen Zielsetzungen in Abhängigkeit von individuellen Eigenschaften und Fähigkeiten betrieben werden. Nach Wirth (2004) betreiben die meisten Besucher eines Fitnessstudios ein Krafttraining aus präventiven oder ästhetischen Gesichtspunkten, wobei er unter dem Motiv Prävention alle durch ein gezieltes Muskelaufbautraining bewirkten positiven gesundheitlichen Veränderungen, auch im Kontext eines rehabilitativen Trainings, zusammenfasst. Exemplarisch verweist er hierbei auf die Entlastung des passiven Bewegungsapparates sowie die Herz-Kreislauf-Prophylaxe in Folge eines Stoffwechsels, der sich im Gleichgewicht befindet. Ästhetische Gesichtspunkte zielen darauf ab, einem Idealbild des menschlichen Körpers, welches auch durch die Medien suggeriert wird, zu entsprechen. Die extremste Form stellt hierbei das Bodybuilding dar. Auch Rühl und Schuba (2003) konstatieren, dass es vielen Freizeit- und Breitensportlern in erster Linie um ästhetische und gesundheitliche Aspekte geht. Zentrales Ziel vieler Krafttrainierender ist laut Boeckh-Behrens und Buskies (2000) neben dem Erhalt und der Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit die Körperformung. Nach Zarotis et al. (2003, 18) gibt es „auf Grund der dramatischen allgemeinen körperlichen Inaktivität“ einen Trend in Richtung Gesundheits- und Ganzheitsorientierung. Dies bestätigt eine aktuelle, repräsentative Befragung des Deutschen Sportstudio Verbandes (www.dssv.de/statistik/erstens.htm). Danach räumen 90% der Befragten dem Fitness-Training eine Art „Gesundheitsvorsorge“ ein.

Ehram, Stoffel, Mensink & Melges (2004) konstatieren:

„Insgesamt legt die Evidenz nahe, dass der gegenwärtige Anstieg von Übergewicht und Adipositas (in den USA, Deutschland, Österreich und der Schweiz; d. Verf.) ganz wesentlich mit der zunehmenden körperlichen Inaktivität der Bevölkerung zu tun hat.“ (Ehram et al., 2004, 284)

Zum Beispiel zeigt der Mikrozensus 2003 (Statistisches Bundesamt; zitiert nach Ehram & Stoffel et al., 2003) eine deutliche Prävalenz von Adipositas und Übergewicht

in Deutschland in einer Größenordnung von 49,7% und betrifft somit die Hälfte der Männer und Frauen.

Dem fitnessorientierten Krafttraining werden also körperformende sowie gesundheitliche Effekte zugesprochen. Jedoch trennen einige Autoren klar zwischen Gesundheitssport und Fitnesssport bzw. zwischen den durch ein systematisches Krafttraining resultierenden primär gesundheitlichen und primär fitnessorientierten Effekten. Kindermann, Jüngst, Philipp, Rosemeyer, Rost, Schwenkmezger & Zimmermann (1993) implementieren die Prävention und die Rehabilitation in den Gesundheitssport und definieren den Gesundheitssport wie folgt:

„Gesundheitssport ist eine aktive, regelmäßige und systematische körperliche Belastung mit der Absicht, Gesundheit in all ihren Aspekten, d.h. somatisch wie psycho-sozial zu fördern, zu erhalten oder wiederherzustellen. Gesundheitssport umfasst den Präventivsport, die Bewegungs- und Sporttherapie sowie den Rehabilitationssport.“ (Kindermann et al., 1993, 199)

Auf der Basis dieser Definition grenzt Zimmermann (2000) das von ihm propagierte primärpräventive Krafttraining vom Krafttraining im Fitnesssport ab:

„Die globale Zielstellung des primärpräventiven Krafttrainings besteht in der Förderung bzw. Festigung von Gesundheit, Wohlbefinden und allgemeiner psychophysischer Leistungsfähigkeit, der Vermeidung von vor allem mit dem Bewegungsmangel im Zusammenhang stehenden Krankheiten sowie der Verzögerung der gesundheitsbeeinträchtigenden Auswirkungen des Alterungsprozesses.“ (Zimmermann, 2000, 30)

Fitnessstraining geht über diese „Kompensationsfunktion“ (Martin et al., 1993) hinaus und bestrebt insbesondere die Figurformung bzw. –straffung oder die Steigerung der individuellen Kraftleistung. So definieren Martin et al. (1993) Fitness als

„[...] ein durch Training, gezielte Ernährung und gesunde Lebensführung bewusst angestrebter psycho-physischer Leistungszustand, der über gesundheitliches Wohlbefinden hinausgeht.“ (Martin et al., 1993, 319)

Fitness-Training ist auf die Verbesserung der Leistungsfähigkeit ausgerichtet und hat eher eine „Leistungsverbesserungsfunktion“ (Martin et al., 1993, 320).

Sie betonen jedoch, dass die Übergänge zwischen Gesundheits- und Fitnessstraining fließend sind und die Unterschiede deshalb auch nicht so sehr in der Art des Trainings bestehen, sondern vielmehr in den für diese Aktivitäten zugrunde liegenden Motiven.

Dieser Einschätzung folgend ist für Stemper (1994) das Gesundheitstraining immanenter Bestandteil des Fitnessstrainings. So zielt nach seiner Definition das „gerätegestützte Fitnessstraining“ primär auf die Verbesserung der motorischen Kraftfähigkeiten und auf die Entwicklung der Muskulatur ab, zusätzlich werden aber weitere Effekte, wie die Beeinflussung gesundheitlich bedeutsamer Parameter, etwa der Körperproportionen oder physiologischer Größen, erhofft. Boeckh-Behrens & Buskies (2000) sprechen gar vom „gesundheitsorientierten Fitness-Krafttraining“ und werfen dabei alle Versuche einer Differenzierung über Bord.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass ein fitnessorientiertes Krafttraining zum einen auf gesundheitliche (Buchbauer & Steininger, 2001; Freese, 2001), die funktionale Haltung (Caimi, 2003; Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Wolff, 1990), die Körperproportionen (Stemper, 1994) und physiologische Größen (Zimmermann, 2000) beeinflussende Effekte, und zum anderen auf rein ästhetische, die Figurformung bzw. -straffung (Seibert, 2002; Trunz et al., 2002; Unger, 1999; Zittlau, 2001) betreffende, Effekte abzielt, die nur über eine Verbesserung der von der Maximalkraft dominierten motorischen Kraftfähigkeiten (Güllich & Schmidtbleicher, 1999) zu erreichen sind.

Diese Arbeitsdefinition beinhaltet auch die präventiven und rehabilitativen Aspekte des Krafttrainings.

Tab. 1. *Gesundheitliche Ziele und Effekte des fitnessorientierten Krafttrainings (vgl. Boeckh-Behrens & Buskies, 2000; Hollmann & Hettinger, 2000; Müller, 2003a; Stemper, 1994; Zimmermann, 2000)*

- Aufbau von Muskelmasse und Kraftzuwachs
- Erhalt und Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit des Stütz- und Bewegungsapparates
- Verringerung des Verletzungs- und Verschleißrisikos im Alltag und im Sport
- Vorbeugung gegen Rückenbeschwerden, Haltungsschwächen, Osteoporose, arthrotische Veränderungen, muskuläre Dysbalancen, Beschwerden am Bewegungsapparat
- Vorbeugung gegen körperfettbedingtes Übergewicht und Stoffwechselerkrankungen durch Erhöhung des Grundumsatzes und gesteigerte Stoffwechselaktivität während des Trainings
- Erhalt der Mobilität und Selbstbestimmung im Alter
- Sturzprophylaxe
- Schutzeffekte für das Herz-Kreislauf-System wie z.B. Senkung der Ruheherzfrequenz, verringertes Blutdruckanstieg in Belastungssituationen und positive Beeinflussung der Blutfette
- Erhöhung der Glucosetoleranz und damit Diabetesprävention
- Stimulation der Immunabwehr
- Beschleunigung der Rehabilitation nach Verletzungen und operativen Eingriffen
- Gesteigerte Neurotransmitterproduktion in Verbindung mit Stimmungsaufhellung
- Steigerung von Selbstbewusstsein und Selbstwertgefühl
- Verbesserung von Körpergefühl und Körperbewusstsein
- Steigerung der Beweglichkeit
- Akute Beeinflussung der hormonellen Situation
- Verbesserung der hämodynamischen Verhältnissen in der Muskulatur (Kapillarisation)
- Verbesserung der metabolischen Eigenschaften (Mitochondrienzahl u. -größe, aero-anaerobe Enzymkapazität, Myoglobingehalt, intramuskuläre Glykogendepots)

Gerade die gesundheitlichen Effekte (s. Tab. 1) machen das fitnessorientierte Krafttraining so interessant für bisher Inaktive sowie insbesondere für Personen, die im Bezug auf „das Konzept des zweiten Mittelalters“ (Caimi, 2003) den letzten beiden Lebensabschnitten angehören (s. Tab. 2).

Tab. 2. Unterteilung der Lebensabschnitte nach dem Konzept des zweiten Mittelalters (Caimi, 2003, 24)

•	Kindheit/Jugend:	0-20 Jahre
•	Erstes Mittelalter:	21-40 Jahre
•	Zweites Mittelalter:	41-65 Jahre
•	Alter:	66 Jahre - Tod

Nach einer Studie der Universität Hamburg von 1998 (Schubert, Dietrich, Voss & Schwarze, 1998) sind von den geschätzten 5,39 Mio. Fitness-Studio-Mitgliedern (Müller, 2003a) 30,7% der Frauen und 27,3% der Männer über 45 Jahre alt. Demographen prognostizieren, dass im Jahre 2030 jeder dritte Bürger älter als 60 Jahre sein wird. Heute ist es nur jeder Fünfte (Freese, 2001). In Folge dessen erweitert sich mit der steigenden Anzahl älterer Menschen auch die Zielgruppe für ein fitnessorientiertes Krafttraining.

2.1 Dimensionsanalytische Betrachtung der Kraftfähigkeit

Im Sinne des dimensionsanalytischen Strukturierungsansatzes (vgl. Bührle, 1989; Bührle & Schmidtbleicher, 1981; Schmidtbleicher, 1980) wird auf der Basis morphologisch-physiologischer und neurophysiologischer Einflussgrößen die Kraftfähigkeit in die Komponenten Maximalkraft, Schnellkraft, Explosivkraft, Startkraft und Kraftausdauer unterteilt. Im Gegensatz zum phänomenologisch-beschreibenden Ansatz (Harre, 1986; Letzelter & Letzelter, 1986), der aus trainingspraktischen Gründen lediglich die drei Subkategorien Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer benennt, stehen die Einzelkomponenten nicht gleichrangig auf einer Ebene. Alle Kraftkomponenten beeinflussen sich zwar wechselseitig, jedoch stellt die Maximalkraft zusammen mit der Startkraft und der Explosivkraft die Basisfähigkeit für die Schnellkraft und darüber hinaus die Basisfähigkeit für die Kraftausdauer dar (Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Pampus, 2001). Dies bedeutet, dass der Ausprägungsgrad der Schnellkraft und der Kraftausdauer von der Maximalkraft abhängt und Maximalkraftsteigerungen in der Regel mit Schnellkraft- und Kraftausdauersteigerungen einhergehen. Die Reaktivkraft, als spezielle Ausprägung der Schnellkraft im kurzen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus, ist eine relativ eigenständige motorische Dimension und wurde zuletzt in das Strukturierungsmodell aufgenommen (Pampus, 2001).

Die vorliegende Arbeit thematisiert in erster Linie die Maximalkraft. Diese wird definiert als die höchste Kraft, die das neuromuskuläre System bei einer maximalen willkürlichen Kontraktion entfalten kann (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, 224). In der Literatur wird zwischen isometrischer und dynamisch konzentrischer Maximalkraft unterschieden. Die isometrische Maximalkraft wird im angloamerikanischen Sprachraum als „maximal voluntary contraction“ (MVC) bezeichnet (Knuttgen & Kraemer, 1987) und unter standardisierten Bedingungen bei unüberwindlichem äußeren Widerstand dynamometrisch gemessen (Kroemer & Marras, 1980). Die Maximalkraft mit dynamischer Arbeitsweise und konzentrischer (überwindender) Kontraktionsform (Knuttgen & Komi, 1994), wird allgemein mit dem Terminus „one repetition maximum“ zusammengefasst (Berger, 1961; DeLorme, 1946):

„The resistance at which the subject could perform only one lift and not be able to repeat it is termed the one repetition maximum or 1RM“. (Knuttgen & Kraemer, 1987, 7)

Güllich und Schmidtbleicher (1999) halten eine fähigkeitsbezogene Unterteilung zwischen konzentrischer und isometrischer Maximalkraft aufgrund empirischer Ergebnisse sowie aufgrund der physiologischen Grundlagentheorie (vgl. im Überblick Bührle, 1985; Bührle & Schmidtbleicher, 1981; Müller, 1987; Schmidtbleicher, 1987) für nicht gerechtfertigt.

Auch die Kraftwerte bei exzentrischen Maximalkontraktionen, die als besondere Bedingung des Kraftverhaltens gelten, da hierbei die arbeitende Muskulatur trotz maximaler willkürlicher Anspannung durch den hohen äußeren Widerstand gedehnt wird, sind ebenso der gleichen Fähigkeit zuzuordnen, der Maximalkraft.

Der Maximalkraft sowie den anderen Krafftfähigkeiten werden wiederum Dimensionen zugeordnet, die weitgehend unabhängig voneinander durch spezifische Trainingsmethoden entwickelt werden können (s. Abb. 1).

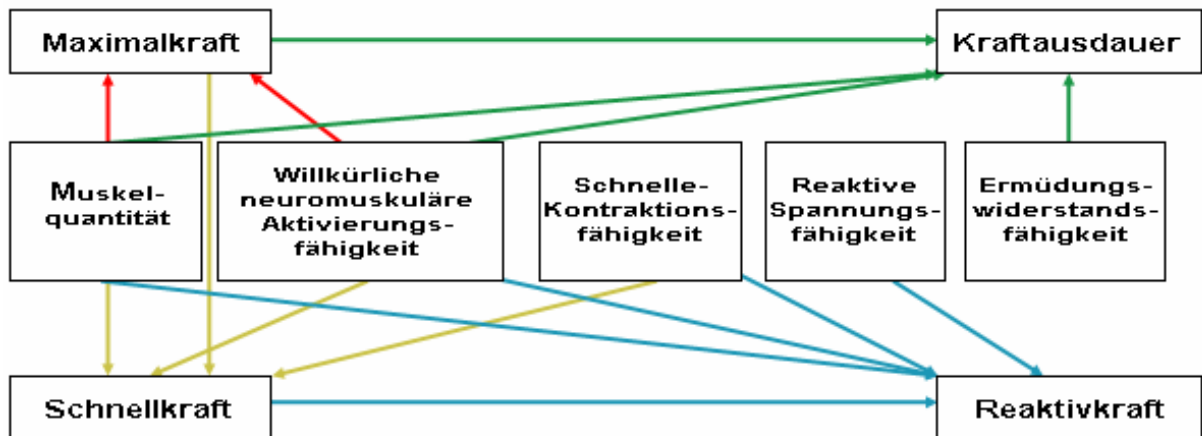


Abb. 1. Dimensionen der Kraft und ihr Zuordnung zu den einzelnen Kraftfähigkeiten (modifiziert nach Boeckh-Behrens & Buskies, 2000, 37)

Die jeweiligen Dimensionen besitzen spezifische morphologische und physiologische Einflussgrößen, die Voraussetzung für ein hohes Ausprägungsniveau einer Fähigkeit sind.

Nach Martin et al. (1993) hat für ein fitnessorientiertes Krafttraining die

„[...] Erweiterung des Energiepotentials der Muskulatur, auf der Basis einer gewissen Zunahme des Muskeldickenwachstums und der Verbesserung des Energieflusses im Muskel, die größte Bedeutung [...].“ (Martin et al., 1993, 332)

Dadurch erhält man eine für alltägliche Halte- und Kraftbildungsfunktionen gekräftigte Muskulatur, die zudem auch noch ermüdungsresistent ist. Hierfür eignen sich am besten die Methoden des Bodybuilding und des Kraftausdauertrainings. Auch Boeckh-Behrens & Buskies (2000) empfehlen für ein Fitnessstraining vor allem das Training der Dimensionen Muskelquantität und Ermüdungswiderstandsfähigkeit, wobei die Muskelquantität mit der Methode wiederholter submaximaler Krafteinsätze bis zur Ermüdung bzw. Erschöpfung (= Hypertrophiemethode) trainiert wird und die Ermüdungswiderstandsfähigkeit mit der Methode mittlerer Krafteinsätze mit hohen Wiederholungszahlen (= Kraftausdauertraining).

Güllich & Schmidtbleicher (1999) räumen dem Kraftausdauertraining eine hohe Relevanz im gesundheits- und fitnessorientierten Training ein. Die Kraftausdauer unterteilen sie in eine Ausdauerkomponente respektive Ermüdungswiderstandsfähigkeit

und eine Kraftkomponente, die in Abhängigkeit der Sportart unterschiedlich stark gewichtet ist und als die absolute realisierte Summe der Kraftstöße charakterisiert wird. Letztere ist gerade für ein fitnessorientiertes Training wichtig, wenn es darum geht,

*„[...] die funktionale Haltung und die Stabilität von Gelenken muskulär auch bei dauerhaften oder wiederholten mechanischen Belastungen zu gewährleisten.“
(Güllich & Schmidtbleicher, 1999, 226)*

Der Einfluss der Maximalkraft auf die Kraftkomponente der Kraftausdauer ist umso höher, je näher die zu bewältigende Last an das individuelle Ein-Wiederholungs-Maximum (1RM) heranreicht. Die Steigerung der Ermüdungswiderstandsfähigkeit erfordert eine weitgehende Beanspruchung der sauerstoffunabhängigen, anaerob-laktaziden Energiebereitstellungsprozesse, die bekanntlich mit hohen Laktatkonzentrationen einhergehen (Fleck & Kraemer, 1997; Saltin, 1981). Diese sind jedoch laut Radlinger et al. (1998) insbesondere im präventiven Training nicht erwünscht. Mit gleicher Einschränkung postuliert Zimmermann (2000) seine Methodik des primärpräventiven Krafttrainings. Zielstellung dieser Methodik ist die Ansteuerung primär gesundheitsrelevanter Effekte, basierend auf metabolischen, kardioprotektiven und hämodynamischen Adaptationen, unter weitgehender Vermeidung jeglicher Gesundheitsgefährdung. Das Kraftausdauertraining mit einer Belastungsintensität von 40-60% der konzentrischen Maximalkraft und 15-25 nicht erschöpfenden Wiederholungen (3/4 bis 4/5 des individuellen Wiederholungsmaximums) mit 8-12 Übungen und 2-3 Kreisdurchgängen dient hier als Methode der Wahl, um gleichzeitig anaerobe Adaptationen (Muskelaufbau) und aerobe Adaptationen (Kapillarisation, erhöhte Mitochondrienzahl, Zunahme aerober Enzymaktivität) zu generieren (Zimmermann, 2000, 54). Die Durchführung nicht ausbelastender Serien soll eine hohe Laktatazidose vermeiden. Hohe Laktatkonzentrationen werden in Verbindung gebracht mit einem negativen Einfluss auf die aerobe Kapazität, die Muskelelastizität, den Gelenkstoffwechsel sowie das Immunsystem (Zimmermann, 2000, 153).

Eine ähnliche Reizkonfiguration besitzt die von Ehlenz et al. (1998, 110) vorgeschlagene „Methode der leichten Kräfteinsätze mit mittlerer Wiederholungszahl“ für sportliche Anfänger, mit einer Reizintensität von 45-65% der konzentrischen Maximalkraft, 8-15 Wiederholungen (ca. 50% des Wiederholungsmaximums) und 6-8 Sätzen zu je 3-4 Übungen. Die Intensität ist im Kraftausdauerbereich angesiedelt, jedoch wird auf hohe Wiederholungszahlen bei gleichzeitiger hoher Inanspruchnahme des anaerob-laktaziden Stoffwechsels verzichtet. Mit dieser Methode sollten nennenswerte Effekte auf der einen (Muskelaufbau) wie auf der anderen Seite (Kraftausdauer) ausbleiben,

da Intensität und Ausbelastungsgrad einerseits für ein Hypertrophietraining zu gering sind und andererseits die geringe Belastungsdauer zusammen mit der geringen metabolischen Ausschöpfung zur Steigerung der Kraftausdauer unzureichend sind.

Dimensionsanalytisch betrachtet, scheint *eine* Trainingsmethode bezüglich der Ansteuerung der im fitnessorientierten Krafttraining erwünschten Ziele und Effekte (vgl. Arbeitsdefinition S. 20) ausreichend zu sein. Die „Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung“ (Bührle, 1985, 96; Güllich & Schmidtbleicher, 1999, 229) vereint aufgrund der breiten Wiederholungsspanne zum einen im unteren und mittleren Bereich eine Hypertrophiewirkung und zum anderen im oberen Wiederholungszahlbereich Kraftausdauerereffekte, die eher die Kraftkomponente und weniger die Ermüdungswiderstandsfähigkeit ansteuern. Zudem wird durch einen Einstieg bei einer Reizintensität von 60% bzw. 20 Wiederholungen der geringeren Belastungsverträglichkeit von Trainingsanfängern Rechnung getragen (Hartmann & Tünnemann, 1993).

Tab. 3. Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Erhöhung der Muskelmasse (nach Güllich & Schmidtbleicher 1999, 229)

Methoden der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung	
Reizintensität (Last in % des 1RM)	60 bis 85%
Wiederholung pro Serie	6 bis 20
Serien pro Trainingseinheit (pro Muskelgruppe)	5 bis 6
Serienpause	2 bis 3 min
Kontraktionsgeschwindigkeit	langsam bis zügig

2.2 Muskelhypertrophie

Zu Beginn eines Krafttrainings überwiegen neuronale Adaptationsmechanismen (Chillibeck, Calder, Sale & Webber, 1998; Rutherford & Jones, 1986; Sale, 1992; Schlumberger & Schmidtbleicher, 1998). Die Kraftsteigerungen in den ersten Trainingseinheiten basieren auf einer Verbesserung der intermuskulären Koordination im Sinne des Bewegungslernens sowie einer Steigerung der intramuskulären Koordination, welche Ausdruck einer umfangreicheren und effizienteren Aktivierung von Muskelfasern ist. Gerade Anfänger besitzen hier eine große Adaptationsreserve. Diese Anpassungsmechanismen sind insbesondere beim gerätegestützten Krafttraining re-

lativ schnell ausgeschöpft, da hier meist nur wenige Freiheitsgrade vorhanden sind. Nach vier bis sechs Wochen Training wird zunehmend eine Muskelhypertrophie für Kraftsteigerungen verantwortlich gemacht (Moritani, 1994). Auch wenn die - langfristige - Kraftsteigerung im fitnessorientierten Krafttraining nicht im Zentrum des Interesses steht (Boeckh-Behrens & Buskies, 2000, 53), ist die Ansteuerung von hypertrophieauslösenden Prozessen wichtig, um die gesundheitlichen und körperperformenden Effekte zu generieren. Im Folgenden sollen deshalb die hypertrophieauslösenden Mechanismen und Stimuli diskutiert werden.

Unter Muskelhypertrophie versteht man die Querschnittsvergrößerung eines Muskels durch Dickenwachstum der Einzelfasern infolge einer Zunahme der Zahl und des Querschnittes der Myofibrillen (Weineck, 2002). Das Vorhandensein einer Hyperplasie bzw. einer Muskelfaservermehrung wird immer noch sehr kontrovers diskutiert, von den meisten Autoren negiert, aber auch von wenigen als möglich erachtet. Eine weitere Möglichkeit des Dickenwachstums besteht in der Zunahme des interstitiellen Bindegewebes. Nach McDougall (1994) ist der Anteil des nichtkontraktilen Gewebes bei Untrainierten sowie bei hochtrainierten Bodybuildern relativ konstant bei 13% am Gesamtmuskelvolumen:

„Die Absolutmenge an Bindegewebe nimmt unter Krafttraining zwar zu, bei der Entstehung der Vergrößerung des Muskels spielt diese Zunahme jedoch nur eine untergeordnete Rolle.“ (McDougall, 1994, 233)

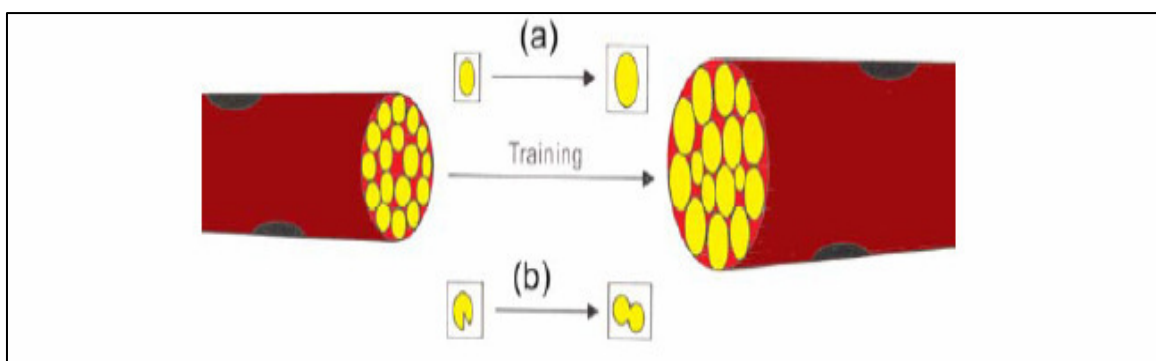


Abb. 2. Muskelhypertrophie durch Zunahme von Dicke (a) und Zahl (b) der Myofibrillen (modifiziert nach MacDougall, 1994, 234)

In zahlreichen Längsschnittuntersuchungen mit Anfängern (Chestnut & Docherty, 1999; Gotshalk et al., 1998; Lüthi et al., 1986; Sanborn et al., 1998; Stowers et al., 1983) und Fortgeschrittenen (Abe, De Hoyos, Pollock & Garzarella, 2000; Craig, E-

verhart & Brown, 1989; Kraemer et al., 1999; O'Shea, 1966; Pollock et al., 1998) konnte bestätigt werden, dass Krafttraining eine Muskelhypertrophie mit nachfolgender Kraftsteigerung auslöst. Diese Evidenz gelingt dank moderner Analyseverfahren, wie z.B. der Computertomographie (Beneke, Brüggemann, Bohndorf, Ritzdorf & Hollmann, 1990; Schmidt, Kraft, Rotte & Hagen, 1990; Schmidtbleicher & Bührle, 1987), der Kernspintomographie (Kraemer et al., 1998; Tesch, 1999) sowie der Ultraschalldiagnostik (Fröhner & Börnert, 1994; Woltering, Frohberger & Mattiaß, 1987). Das Ausmaß der Trainingsreaktion ist dabei von vielen verschiedenen Faktoren wie Dauer und Intensität der Trainingsbelastung, Trainingszustand des Einzelnen und der individuellen Adaptationsfähigkeit abhängig.

Die Querschnittsvergrößerung umfasst dabei sowohl die schnellen FT- bzw. Typ II-Fasern, aber auch die langsamen ST- bzw. Typ I-Fasern, wobei die FT-Fasern ein größeres Wachstumspotenzial besitzen (Tesch, 1998, 18).

Die schnellen Muskelfasern erlauben histochemisch - aufgrund der Färbung der Myosin-ATP-ase - eine weitere Differenzierung hinsichtlich der Myosin-Isoformen. Nach Hollmann & Hettinger (2000) unterscheidet man MHC-IIa- und MHC-IIb-Isoformen. Pette (1999) sowie Steinacker, Wang, Lormes, Reißnecker & Liu (2002) weisen auf die Existenz weiterer Subtypen hin. Bezüglich der ATP-ase Aktivität, die ein Maß für die Kontraktilität respektive Kontraktionsgeschwindigkeit darstellt, wurde zwischen der IIa- und der IIb-Isoform der Typ IID (IIX) definiert. Im Übergangsbereich von schnellen zu langsamen Muskelfasern befinden sich die sog. Hybrid- bzw. Intermediärfasern vom Typ IIC, die nicht nur eine, sondern zwei bis mehrere MHC-Isoformen besitzen. Der prozentuale Anteil dieser Fasern ist gering. Wichtig werden sie aber im Zusammenhang mit Fasertypenumwandlungen infolge spezifischer Trainingsreize.

Laut Steinacker et al. (2002) ist die Plastizität der Muskelzelle enorm. Im Allgemeinen führt ein Ausdauertraining zu einer verstärkten Expression von MHC-I und ein Krafttraining zu einer verstärkten Expression der MHC-IIa-Isoformen, beides auf Kosten schnellerer Isoformen. Während eine schnell-zu-langsam Transformation somit nachgewiesen ist, wird die umgekehrte Transformation nur in Verbindung mit verringerter neuromuskulärer Aktivität infolge Immobilisation, längerer Bettruhe oder Schwerelosigkeit gebracht. Eine durch Kraft- oder Schnelligkeitstraining induzierte langsam-zu-schnell Transformation erscheint aufgrund des prägenden Einflusses der niederfrequenten Dauerstimulation der langsamen Muskelfasern theoretisch unmöglich (Pette, 1999). Jedoch weisen Schlumberger, Wirth, Liu, Steinacker & Schmidtbleicher (2003) aufgrund Biopsiebefunden nach einem sechswöchigem Training mit einer Schnellkraftmethodenkombination mit wechselnden Last-Geschwindigkeits-

Relationen und unterschiedlichen Arbeitsweisen auf die Möglichkeit einer Typ IIa-Erhöhung durch vorwiegend Typ I-Reduktion hin.

Tesch (1994) konstatiert indes, dass es bislang noch keinen überzeugenden Beleg für einen durch Krafttraining induzierten Anstieg des prozentualen Anteils der schnellen Muskelfasern kommt. Vielmehr kommt es innerhalb der TypII-Fasern zu einer Faserverschiebung von IIb nach IIa. Dies konnte in mehreren Studien belegt werden (Adams, Hather, Baldwin & Dudley, 1993; Campos et al., 2002; Staron et al., 1994; Staron et al., 1989). Dabei ist es unerheblich, ob es sich um Trainierte oder Untrainierte handelt. In einer Trainingsstudie mit Trainierten konnten Staron et al. (1989) bei zweimaligem Training pro Woche über 20 Wochen hinweg mit einer 6-8RM-Last an vier verschiedenen Oberschenkelübungen zum einen eine signifikante Reduktion des prozentualen Verhältnisses der Typ IIb-Fasern mit gleichzeitig erhöhtem Anteil an IIa-Fasern nachweisen und zum anderen eine Zunahme der Faserfläche aller Fasertypen aufzeigen, wobei sich die Faserfläche der schnellen Fasern am deutlichsten erhöhte (selektive Hypertrophie). Sogar bei Anfängern wurden bereits nach zwei Wochen Krafttraining eine Reduktion der IIb-Fasern festgestellt (Staron et al., 1994). Die Faserumwandlung erfolgte geschlechtsunabhängig, setzte bei den Frauen jedoch etwas früher ein als bei den Männern. Eine weitere Studie mit 32 Anfängern, die in 3 Treatmentgruppen (3-5RM/4 Sätze, 9-11RM/3 Sätze, 20-28RM/2 Sätze) unterteilt wurden und 8 Wochen lang jeweils die ersten 4 Wochen zweimal und die letzten 4 Wochen dreimal an drei verschiedenen Beingeräten trainierten, zeigte ebenfalls einen shift der Typ IIb-Fasern zu Typ IIa-Fasern, wobei die Muskelhypertrophie bei der 3-5RM- und der 9-11RM-Gruppe deutlich größer ausfiel (Campos et al., 2002). Diese Anpassungsprozesse sind jedoch nach Beendigung der Trainingsintervention im Rahmen einer Deadaptation reversibel.

Eine Muskelhypertrophie wird durch Anpassungen an eine funktionelle Mehrbelastung verursacht. Voraussetzung ist das Ankurbeln der Proteinbiosynthese, die in der Muskelzelle von den Zellkernen aus gesteuert wird (de Marées, 2002, 194). Hinsichtlich des auslösenden Reizes soll bezeichnend für die aktuelle Lehrmeinung Tesch (1998) zitiert werden:

„[...] it is important to remind that we still do not know what stimulus triggers exercise-induced muscle growth.“ (Tesch, 1998, 21)

Zurzeit werden drei Modelle diskutiert. Die *ATP-Mangeltheorie* geht von einem verstärkten ATP-Abbau während einer überschwelligem kraftbetonten Muskelbeanspruchung aus, die zur Folge hat, dass der genetische Zellapparat aktiviert und über eine Vermehrung der DNS und RNS die Eiweißneubildung an den Ribosomen angeregt

wird (Mader, 1990). Die adaptierte Zelle antwortet somit bei einem neuerlich einwirkendem Reiz mit einer relativen Reduzierung des ATP-Abbaus (Weicker, 1995; Fitts & Widrick, 1996). In der genetischen Grundlagenforschung herrscht Einigkeit darüber, dass die Informationsübertragung vom Gen auf das Protein (Transkription) der limitierende Faktor der Proteinbiosynthese darstellt (Mader, 2001). Die mRNA-Konzentration im Zytoplasma bestimmt also die Rate der Synthese von Aminosäuren an den Ribosomen (Translation). Eine gesteigerte Zahl an Ribosomen ist ein Zeichen für die gesteigerte Proteinbiosynthese (Fridén, Sjöström & Ekblom, 1983). Die Regulation der Genexpression wird hormonell gesteuert. Maßgeblich sind daran die Hormone Insulin, IGF (Insulin-like Growth-Faktor), Thyroxin, Wachstumshormon und Testosteron beteiligt (Steinacker et al., 2002). Insofern ist die metabolische Beanspruchung und die damit einhergehende energetische Auslastung bzw. Ermüdung sicher ein entscheidender Auslöser für Hypertrophieprozesse.

Eine weiterer energetischer Erklärungsansatz stellt die *Energiethorie* dar (Zatsiorsky, 1996). Hierbei geht man davon aus, dass die für die Proteinsynthese im Ruhezustand sicher gestellte Energie, bei hohem mechanischen Arbeitsaufwand - Training mit hohem Widerstand - nicht mehr im ausreichendem Maße zur Verfügung steht, da der Energiebedarf für die mechanische Arbeit prozentual überwiegt. Dies führt nach der Kraftbelastung zu einer de facto verringerten Muskelproteinmenge. Konsekutiv wird aber dann der Anabolismus in Form einer superkompensatorisch gesteigerten Proteinsynthese angekurbelt. In Ruhe befinden sich anabole und katabole Prozesse im Gleichgewicht. Eiweißabbau und -aufbau halten sich die Waage. Nach Goldspink (1994) werden innerhalb von nur sieben Tagen die Hälfte der kontraktilen Proteine erneuert. Unter Belastungsbedingungen ist der energieverbrauchende Prozess des Eiweißaufbaus gestört. Zusätzlich werden Proteine durch mechanischen Verschleiß zerstört bzw. abgebaut. Die Folge ist eine hohe Diskrepanz zwischen der Menge an abgebautem und neu synthetisiertem Protein. Diese Diskrepanz differiert in Abhängigkeit von der Belastungsgestaltung. Während maximalen Kontraktionen ist keine Energie für die Proteinsynthese vorhanden, jedoch dauert die Belastung nicht sehr lange. Insofern ist das Proteindefizit nach Belastungsende nicht erheblich. Ähnlich verhält es sich beim Training mit geringen Lasten, wobei aufgrund der geringen Intensität während der Muskelarbeit immer noch genügend Energie für die Eiweißsynthese zur Verfügung steht. Dieser Erklärungsansatz wirft jedoch grundsätzlich die Frage auf, wie der belastungsinduzierte Energiemangel zustande kommt, wo doch ATP permanent resynthetisiert wird (Hultmann & Sjöholm, 1986; Mader, 1990; Weicker, 1992).

Optimal erscheint als Konsequenz aus Intensität und Reizspannungsdauer eine Last, die einerseits einen starken Proteinabbau provoziert und andererseits einen großen Absolutwert der verrichteten mechanischen Arbeit ermöglicht. Eine Wiederholungszahl von 8-12 Wiederholungen mit einer Reizspannungsdauer von 30-45 (bis 60) Sekunden (Heim & Schmidtbleicher, 2003) sollte angestrebt werden. Inwiefern innerhalb dieser Wiederholungsspanne eine erschöpfende Ausbelastung erzielt werden soll, wird kontrovers diskutiert. Zum Auslösen der Muskelhypertrophie ist laut Zatsiorsky (1996) eine maximale Ausbelastung innerhalb der Serie nicht zwingend erforderlich. Buskies (1999) kam in einer 8-wöchigen Trainingsstudie auch ohne Ausbelastung mit der Vorgabe eines subjektiven Belastungsempfindens „schwer“ aufgrund anthropometrischer Messwerte (Körpergewicht, Körperfettanteil, Umfangsmessungen) zu dem Ergebnis, dass Hypertrophieeffekte erzielt wurden. Weitaus größere Effekte können indes beim Training mit Ausbelastung erwartet werden, da ein hoher Ermüdungsgrad im Zusammenhang mit Reaktionen des endokrinen Systems und einer gesteigerten Proteinsynthese steht (Fleck & Kraemer, 1997; Kraemer & Häkkinen, 2002; Kraemer et al., 1999; Stone, Plisk, Stone, Schilling, O'Bryant, Pierce 1998).

Aus physikalischer Sicht ist die Differenz der mechanischen Arbeit mit 12 erschöpfenden Wiederholungen oder 10 nicht erschöpfenden nur marginal (Zatsiorsky, 1996), was bedeuten könnte, dass es im Sinne der Energietheorie keinen Unterschied macht, bis zum Punkt des momentanen Muskelversagens zu trainieren oder die Serie etwas früher zu beenden. Für ein fitnessorientiertes Krafttraining ist eine solche Belastungsgestaltung sicher ausreichend, da hier keine maximalen Hypertrophieeffekte erwünscht sind. Die Trainingspraxis im Bodybuilding mit der Zielsetzung einer möglichst maximalen Hypertrophie bis hin zur Ausschöpfung der genetisch bedingten Adaptationsreserve (Hohmann, Lames & Letzelter, 2003; Martin et al., 1993) steuert gerade diese Ausbelastung an und geht sogar über den Punkt des Muskelversagens mit entsprechenden Intensitätstechniken hinaus (Bührle & Werner, 1985; Darden, 1998; Gießing, 2002; Müller, 2003b). Im Übrigen besitzen Muskelfasern unterschiedliche Anpassungsstrategien. In schnellen Muskelfasern lässt sich eine gesteigerte Syntheserate beobachten, während in langsamen Muskelfasern die Verzögerung des Eiweißabbaus im Vordergrund steht (Goldspink, 1994).

Unstrittig ist neben den energetischen Aspekten zur Auslösung von Muskelwachstum eine zu verabreichende hohe Muskelspannung. Tesch (1998) schreibt hierzu:

„[...] it is evident the amount of tension and the performance of eccentric muscle actions are essential in optimizing increases in muscle size and hence strength [...].“ (Tesch, 1998, 21)

Die *Theorie des Proteinkatabolismus* bzw. des *mechanischen Repairs* besagt, dass infolge überschwelliger Belastungsreize eine hohe Spannung auf die Muskelfaser einwirkt, die einerseits ausgehend von den Z-Scheiben zu einem Aufspießen von Myofibrillen mit kritischer Größe in Längsrichtung führt und andererseits zu Mikrotraumata, die zu einem Austritt von Sarkoplasmabestandteilen aus der Muskelfasermembran führen, wobei die dort noch innerhalb der Basalmembran angesiedelten Satellitenzellen (Stammzellen) aktiviert werden (Goldspink, 1992; MacDougall, 1992). Diese Satellitenzellen machen beim Erwachsenen etwa $4 \pm 2\%$ der Muskelfaserzellkerne aus. Ihre Aufgabe besteht darin, als Kernreservoir der zu hypertrophierenden Muskelzelle zu dienen, um die Kern-Plasma-Relation auch dann aufrechtzuerhalten (De Marées, 2002, 194). Als Voraussetzung für eine Hypertrophie verschmelzen somit die durch Sarkoplasmabestandteile aktivierten Satellitenzellen mit der benachbarten Muskelfaser. Im Weiteren spielen Satellitenzellen eine wichtige Rolle bei der Regeneration von verletzten Fasern. Beim Auftreten von sehr hohen Spannungen insbesondere durch exzentrische Belastungen sowie durch das Erreichen hoher Muskellängen (Jones, Newham & Torgan, 1989) kann die Struktur der Muskelfaser zerstört werden. Bei Bodybuildern konnte MacDougall (1992) z. B. atypische Muskelfasern mit abgknicktem Verlauf und zentral liegenden Kernen nachweisen. Satellitenzellen übernehmen nun den Reparaturmechanismus indem sie sich teilen und zur verletzten Stelle wandern. Sie bilden dann einen vielkernigen Muskelschlauch, der entweder mit der verletzten Faser verschmilzt oder eine nekrotische Faser vollends ersetzt. Die Faserzahl bleibt jedoch unverändert. Dieser Mechanismus kommt beim Ausheilen eines Muskelkaters zum Tragen und kann bis zu einer Woche andauern (Böning, 2000).

Auch Appell (1983) hält Mikrotraumata an den Muskelfasern für den auslösenden Reiz einer Faserhypertrophie, legt jedoch einen anderen Mechanismus zugrunde. Nach seiner Ansicht bilden aktivierte Satellitenzellen den erwähnten Muskelschlauch, dieser verschmilzt jedoch nicht mit der bereits vorhandenen Muskelfaser, sondern reift im Sinne einer Hyperplasie zu einer vollständigen Muskelfaser heran. Dieser Vorgang wird dann für möglich erachtet, wenn durch ein Verschmelzen des Muskelschlauches mit der Muskelfaser, Letztere eine kritische Größe erreichen würde, die Versorgungsprobleme nach sich ziehen könnte. Eine vollständige intakte Muskelfaser entsteht aber erst dann, wenn sie neural und metabolisch versorgt ist. Dieser Nachweis blieb bislang noch aus. Des Weiteren spricht gegen diese These eine Studie von McDougall (1994), der die Muskelfaserzahl von hoch trainierten Bodybuildern und Untrainierten verglich und keine signifikanten Unterschiede fand. Die Bodybuilder mit der höchsten Faserzahl hatten auch den größten Muskelquerschnitt. Dies

deutet auf eine hohe Relevanz der genetischen Disposition hinsichtlich überdurchschnittlichen Muskelwachstums hin.

Die Theorie des mechanischen Repairs kann als alleiniger Erklärungsansatz nicht herangezogen werden. Obwohl bei rein exzentrischem Training die höchsten tendomuskulären Spannungen auftreten, können nicht die gleichen Hypertrophie- und Kraftsteigerungen erzielt werden, wie bei konzentrisch-exzentrischem Training (Jones & Rutherford, 1987).

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass Hypertrophieeffekte nur dann zieladäquat angeregt werden können, wenn die Belastungsintensität und das Belastungsvolumen richtig kombiniert werden, da beim Ankurbeln der Proteinbiosynthese die Komponenten Spannung und Energie eine Rolle spielen.

Schnabel, Harre, Krug & Borde (2003) plädieren in diesem Zusammenhang für eine maximale Ausbelastung in den Serien mit submaximalen Widerständen zwischen 70 und 90% der Maximalkraft. Im Gegensatz zu dieser deduktiven Empfehlung definieren Güllich & Schmidtbleicher (1999) die adäquaten beanspruchungsorientierten Trainingsreize wie folgt:

„Man geht davon aus, dass das Muskelwachstum am wirksamsten stimuliert werden kann, wenn die Trainingsreize hohe muskuläre Spannungen, hohe intrazelluläre H^+ -Ionen-Konzentrationen (Übersäuerung) und eine möglichst weitgehende Ausschöpfung der energiereichen Phosphate in der Muskelzelle verbinden.“ (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, 229-230)

Bezüglich der Ansteuerung dieser physiologischen Prozesse dienen die „Methoden der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung“ (s. Tab. 3, S. 26).

Aus diesen grundlegenden Betrachtungen zur Ansteuerung von Muskelhypertrophie ergeben sich für die Frage einer testunabhängigen Bestimmung von Trainingslasten für Anfänger im fitness- und gesundheitsorientierten Krafttraining folgende Konsequenzen:

- (1) Mit der testunabhängig bestimmten Trainingslast muss ein Wiederholungsbereich angesteuert werden können, der zu anpassungsrelevanten Beanspruchungen führt.
- (2) Die zur Auslösung von Muskelhypertrophie notwendigen mechanischen und energetischen Prozesse erfordern daher eine induktive Beanspruchungsermittlung.
- (3) Auch die Anfangslasten sollten bereits eine adäquate Beanspruchung ermöglichen und damit möglichst den trainingswirksamen Lasten entsprechen.

2.3 Belastung und Beanspruchung

Zielstellung des sportlichen Trainings ist es, den Organismus an Trainingsanforderungen zu adaptieren. Nach Willimczik et al. (1991) ist die Grundaufgabe der auf das leistungssportliche Training gerichteten Trainingswissenschaft die Entwicklung von Methoden zur Maximierung der leistungsdeterminierenden Eigenschaften.

„Grundaufgabe der auf den Gesundheitssport (Prävention/Rehabilitation) gerichteten Trainingswissenschaft ist die Entwicklung von Methoden zur Optimierung der Eigenschaften des Menschen. Das Optimum wird durch die Funktionen bestimmt, die die einzelnen Eigenschaften für die Gesundheit des Menschen haben.“ (Willimczik et al., 1991, 12)

Wie bereits herausgestellt wurde, spielt im fitnessorientierten Krafttraining „die morphologisch-physiologische Eigenschaft“ Muskelmasse eine zentrale Rolle. Die physiologischen Prozesse und die daraus resultierende Trainingsmethode zur Entwicklung von Muskelmasse wurden beschrieben. Die Effekte eines Hypertrophietrainings werden aber nur dann optimal sein, wenn der Trainingsbelastung die individuellen Voraussetzungen des Trainierenden zugrunde gelegt werden. Dies erfordert eine differenzierte Sichtweise hinsichtlich der Belastung und der dadurch intendierten Beanspruchung zur Auslösung von Adaptationsprozessen.

Die Gesamtheit der Trainingseinwirkungen auf die Funktionssysteme des Organismus werden als Trainingsbelastung bezeichnet (Schnabel et al., 2003). Das Verständnis über das sehr komplexe Anpassungsgeschehen basiert auf verschiedenen Theoriemodellen, wobei die Belastungskonzepte „Superkompensation“ und „Ermüdungstheorie“ zunehmend in den Hintergrund rücken, da sie nicht die komplexe Interaktion von Trainingsanforderungen und Reaktionen des organismischen Systems erklären (Hohmann et al., 2003; Schlicht, 1992). Zum besseren Verständnis der Trainingsanpassung bedient man sich neuerdings Konzepten, die verstärkt die Beanspruchungsseite und damit die individuellen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten, kurz gesagt die Ressourcen eines Menschen (Schönpflug, 1987) thematisieren. Dazu gehört das von Martin et al. (1993) in Anlehnung an Mader (1990) und Werchoschanski (1988) vorgestellte Konzept, welches hinsichtlich der Endlichkeit der Anpassungsprozesse die Termini aktuelle Funktionskapazität (gegenwärtiges Leistungsniveau), maximale Funktionskapazität (genetisch bedingte Anpassungsgrenze) und Anpassungsreserve (Differenz zwischen aktueller und maximaler Funktionskapazität) diskutiert. In der Literatur wird dieses Konzept auch als „Modell der Anpassungs- und Funktionsreserve“ bezeichnet (Friedrich & Moeller, 1999, 54). Ein weite-

res Modell befindet sich noch in der theoretischen Konstruktion. Es handelt sich um die synergetische Betrachtungsweise des Trainings (Synergetik = Lehre vom Zusammenwirken). Hierbei müssen Trainingsbelastungen nicht über ein bestimmtes Maß hinaus exakt dosiert sein, sondern lediglich dazu geeignet sein, die entsprechenden Selbstorganisationsprozesse auszulösen (Hohmann et al., 2003).

Im Gegensatz zu den beiden letztgenannten Konzepten mündet das Belastungs-Beanspruchungskonzept (vgl. Rohmert, 1984; Schlicht, 1992; Willimczik et al., 1991) in konkreten Handlungsempfehlungen bezüglich der in dieser Arbeit thematisierten Fragestellung der Beanspruchungsermittlung. Insofern soll dieses Konzept näher erläutert werden.

Das Belastungs-Beanspruchungskonzept geht auf arbeitswissenschaftliche Ansätze zurück. Deren Zielsetzung ist die Vermeidung von Überforderungen, indem sie Arbeitsanforderungen an die Ressourcen (Fähigkeiten, Fertigkeiten, Dispositionen etc.) der Arbeitenden anpassen (Schönpflug, 1987). Training hingegen strebt die Adaptation des Organismus an Trainingsanforderungen an. In beiden Fällen ist die Beanspruchung, definiert als „die individuellen Auswirkungen der Arbeitsbelastung im Menschen in Abhängigkeit von seinen Eigenschaften und Fähigkeiten“ (Schlicht, 1992), die abhängige Variable (Willimczik et al., 1991). Die Folgerungen daraus sind jedoch geradezu diametral. Die Ergonomie versucht mit der Kenntnis der Beanspruchung die Arbeitsbelastung zu reduzieren bzw. zu ökonomisieren, wohingegen die Trainingswissenschaft auf die zielorientierte Beeinflussung der Eigenschaften fokussiert ist.

In Abhängigkeit von individuellen Voraussetzungen führen somit Belastungen zu unterschiedlichen Beanspruchungen. Es stellt sich nur die Frage der Beanspruchungsermittlung. Auch hier hatte die Arbeitswissenschaft eine Vorreiterfunktion, indem eine Differenzierung sowohl der Belastung als auch der Beanspruchung unternommen wurde (Rohmert, 1984). Im Sinne des phänomenorientierten Belastungs-Beanspruchungskonzeptes wurden entsprechend Teilbelastungen und Teilbeanspruchungen beschrieben. Diese sind aus Sicht der Trainingswissenschaft und speziell für den Bereich des Krafttrainings die Belastungsfaktoren Trainingsübung und Trainingsmittel sowie die Belastungsnormative, wie Belastungsintensität, Belastungsdauer, Belastungsumfang und Belastungsdichte auf der Belastungsseite und Muskulatur, Stoffwechsel und Nervensystem auf der Beanspruchungsseite. Die Ermittlung der anzusteuern den Teilbeanspruchungen kann nach Laurig (1980) deduktiv und induktiv erfolgen. Eine deduktive Beanspruchungsermittlung bedeutet übertragen auf das Krafttraining, dass in Relation zu einer ermittelten Maximalleistung (1RM) Trainingslasten definiert werden und implizit die adäquate Beanspruchung er-

zielt werden soll. Diese Vorgehensweise ist aber insbesondere im fitnessorientierten Krafttraining mit zahlreichen Problemen behaftet.

Hier setzt sich zunehmend die induktive Beanspruchungsermittlung durch, wobei die Beanspruchung durch die Messung von Beanspruchungsparametern der Teilsysteme operationalisiert wird. Im Ausdauerbereich kennt man in diesem Zusammenhang die trainingssteuernden Parameter Herzfrequenz, Katecholamine und Laktatverhalten (Coen, Urhausen, Herrmann, Weiler & Kindermann, 1996) sowie das subjektive Belastungsempfinden (Wanner, 1985).

Letzteres wird im integrierten Belastungs-Beanspruchungskonzept, einer Weiterentwicklung des oben beschriebenen Konzeptes, thematisiert. Zentral für das integrierte Konzept ist die zwischen Belastung und Beanspruchung angesiedelte Handlungsregulation, in der Form, dass der Trainierende seine Eigenschaften variabel einsetzt, um die gewünschten Effekte respektive Beanspruchungen zu erzielen (Willimczik et al., 1991). Im Konkreten bedeutet dies im Krafttraining eine Ausbelastung oder eine vorzeitige Beendigung der Serie (Buskies, 1999; Buskies, Boeckh-Behrens & Zieschang, 1996; Radlinger et al., 1998).

Neben dem subjektiven Belastungsempfinden als prozessorientierten Beanspruchungsparameter (Pollmann, 1993), gilt auch die Oberflächen-Elektromyografie als valides Verfahren zur Beanspruchungsermittlung zumindest bei eingelenkigen Bewegungen und unter isometrischen Bedingungen (Fröhlich, Felder & Emrich, 2001). Der Vorteil liegt in der kontinuierlichen Abbildung des Ermüdungsprozesses sowie der Messung direkt am „Zielorgan“ Muskulatur. Jedoch sind die Einsatzmöglichkeiten aufgrund der komplexen Apparatur und der dazu notwendigen speziellen Kenntnisse sehr beschränkt. Auch der produktorientierte Parameter Laktat wird als Beanspruchungsindikator betrachtet (Kraemer, Noble, Clark & Culver, 1987; Marschall & Sieberger, 2003; Pierce, Rozonek & Stone, 1993; Pollmann, 1993).

Optimale Beanspruchungen werden nach Pollmann (1993) auf der Grundlage von Trainingsprinzipien und -methoden erreicht. Carl, Starischka & Stork (1989) empfehlen bei trainingsmethodischen Fragestellungen

„[...] den Zusammenhang zwischen Trainingsbelastungen und umfassenden Trainingswirkungen in den Mittelpunkt systematischer Beobachtung und Analyse zu stellen. Eine Analyse der Trainingsbelastung darf dabei nicht auf die klassischen Belastungsgrößen Intensität und Umfang begrenzt werden, sondern muss zumindest auch die Art der Körperübung mitberücksichtigen. 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 be-

stimmten Übung; notwendig ist vielmehr ein 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 et al., 1989, 8-9)

Aus diesem Blickwinkel, aber auch mit der Gewissheit, dass solch eine umfassende Wirkungsanalyse insbesondere im fitnessorientierten Krafttraining nicht in Gänze zu realisieren ist, werden im Folgenden gängige hypertrophieorientierte Ansätze im fitnessorientierten Krafttraining, differenziert in deduktive und induktive Sichtweise, betrachtet.

Im nächsten Kapitel erfolgt erst ein Überblick über die empirische Befundlage bezüglich der deduktiven Beanspruchungsermittlung, um die Kritik bzw. die Problematik dieser Methode zu untermauern.

2.3.1 Empirische Befunde

Die zentralen Regelungs- und Steuerungsgrößen im Krafttraining sind die Belastungsintensität (im Verhältnis zur isometrischen oder konzentrischen Maximalkraft) und die Belastungsdauer respektive die Anzahl Wiederholungen innerhalb einer Serie (Ehlenz et al., 1998; Grosser, Starischka & Zimmermann, 2001). Mit diesen beiden Belastungsnormativa werden die in der Trainingswissenschaft und Trainingspraxis manifestierten Krafttrainingsmethoden grundlegend beschrieben bzw. differenziert (vgl. im Überblick Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Eine Literaturdurchsicht zu den Handlungsempfehlungen für ein hypertrophieorientiertes Anfängerkrafttraining zeigt zum einen ein differentes Bild hinsichtlich der Intensitätsvorgaben (vgl. Tab. 4). Zum anderen wird implizit davon ausgegangen, dass bei gegebener Intensität - auch über die empfohlene Serienzahl pro Muskelgruppe hinweg - in etwa die zugeordnete Wiederholungszahl realisiert werden kann (Bompa & Cornacchia, 1998b; Grosser et al., 2001; Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Harre, 1986; Hartmann & Tünnemann, 1993; Martin et al., 1993; Unger, 1999; Weineck, 2002; Zimmermann, 2000).

Tab. 4. Handlungsempfehlungen verschiedener Autoren für eine hypertrophieorientierte Trainingslast im Anfängerbereich (deduktive Beanspruchungsermittlung)

60-85%	6-20 WH	Güllich & Schmidtbleicher (1999)
40-70%	20 WH	Martin et al. (1993)
40-60%	8-12 WH	Weineck (2002)
	15-25 WH	Zimmermann (2000)
30-40%	12-15 WH	Unger (1999)
60-80%	5-10 WH	Harre (1986)
40-60%	8-15 WH	Bompa & Cornacchia (1998a)
45-65%	8-15 WH	Grosser et al. (2001)
	7-15 WH	Hartmann & Tünnemann (1993)

Mittlerweile gilt als gesichert, dass kein Kausalzusammenhang zwischen deduzierter Intensität und Wiederholungszahl besteht. Das Verhältnis von Belastungsintensität und Wiederholungszahl variiert in Abhängigkeit von Trainingszustand, Muskelgruppe, Übung, Maximalkraftniveau, Krafttrainingsspezifika, Serienzahl und Geschlecht (vgl. Debra, 2002). Auch der Umkehrschluss auf der Basis maximal möglicher Wiederholungszahlen zur Trainingsintensität, wie er häufig in Handlungsempfehlungen des therapeutischen Bereiches tradiert wird, ist nicht haltbar (Buchbauer, 2003; Buchbauer & Steininger, 2001; Horn & Steinmann, 1998; Steininger & Buchbauer, 1994). Ein funktioneller Zusammenhang ist jedoch nicht von der Hand zu weisen. Im Allgemeinen gilt, je höher die Intensität bzw. die Lastgröße, umso weniger Wiederholungen können maximal realisiert werden. Ein linearer Zusammenhang mit entsprechend hoher Varianzaufklärung ist lediglich im Bereich hoher Lasten (< 5RM bzw. > 95%), übungsspezifisch und bei homogenen Stichproben nachzuweisen (Arnold, Mayhew, LeSeur & McCormick, 1995; Brzycki, 1993).

Im fitnessorientierten Krafttraining sind die Voraussetzungen geradezu gegensätzlich: sehr heterogene Zielgruppe, geringere Trainingslast (> 5RM), große Übungsvariabilität.

Tendenziell ist davon auszugehen, dass Anfänger im Krafttraining ebenso wie Ausdauersportler in submaximalen Intensitätsbereichen in der Regel mehr Wiederholungen absolvieren können als Krafttrainierte (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999). Die Ursache liegt in der geringer ausgeprägten Maximalkraft und der damit in Verbindung stehenden reduzierten Fähigkeit der Ansteuerung der Muskulatur über das Nervensystem (Hollmann & Hettinger, 2000; Kraemer & Fry, 1995; Sale, 1994). Zu einem anderen Ergebnis kommt man jedoch in den Querschnittsuntersuchungen von Fröh-

lich (2003) und Hoeger et al. (1987, 1990), wenn man das Verhältnis Intensität zu Wiederholungszahl von Trainierten und Untrainierten miteinander vergleicht, sowie in der Längsschnittstudie von Braith et al. (1993). In dieser Trainingsstudie mit 47 Versuchspersonen, die über 18 Wochen hinweg, zwei- bis dreimal pro Woche jeweils einen Satz mit einer 7-10 RM-Last bis zur muskulären Erschöpfung an einer „Nautilus Knee Extension“- Maschine trainierten, konnte die 7-10RM-Last vom Pre- zum Posttest von durchschnittlich 68,4% bis zu einem Wert von 79,1% in Relation zum 1RM erhöht werden. Dies bedeutet de facto eine Erhöhung der Wiederholungszahlen bei gleicher Intensität. Obwohl es sich um Anfänger handelte, deren anfängliche Kraftsteigerungen primär auf neuronalen Effekten beruhen, könnte aufgrund der Interventionsdauer (4,5 Monate) mit Intensitäten im oberen Hypertrophiebereich (7-10RM) eine Steigerung der Muskelmasse erzielt worden sein, die zu diesem Ergebnis führte. Campos et al. (2002) konnten in diesem Zusammenhang zeigen, dass nach einem Hypertrophietraining (9-11RM) die maximale Wiederholungszahl bei 60% des 1RM um 10% zunahm, während diese nach einem intramuskulären Koordinationstraining (3-5RM) um 20% sank. Ein Hypertrophietraining führt demzufolge zu einer Erhöhung, ein Training der neuronalen Steuerung zu einer Verringerung der Wiederholungszahlen bei submaximalen Intensitäten. So konnten Kraemer et al. (1987) den Nachweis erbringen, dass das 10RM von Bodybuildern eine signifikant höhere Intensität in Relation zum 1RM hatte, als das 10RM von Kraftdreikämpfern.

Für die höheren Wiederholungszahlen der Ausdauersportler bei identischer deduzierter Intensität (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999) dürfte auch die Muskelfasercharakteristik eine Rolle spielen. Eine Dominanz langsamer Muskelfasern in Bezug auf die Gesamtfaserzahl bzw. den physiologischen Querschnitt sowie die geringer ausgeprägte Innervationsfähigkeit äußern sich im Vergleich zu Krafttrainierten in einer geringeren Maximalkraft, so dass die Lastgröße bei deduzierten Intensitäten relativ geringe Werte aufweist und entsprechend mit höheren maximalen Wiederholungszahlen realisiert werden kann. Dies äußert sich in einem wesentlich gestreckterem Kurvenverlauf der Last-Wiederholungskurve (Bayer & Ramlow, 1993).

Die überwiegend genetisch bedingte Muskelfaserverteilung bzw. -struktur (Enoka, 1994; Hollmann & Hettinger, 2000) ist ohnehin eine weitere, den Zusammenhang zwischen Intensität und Wiederholungszahl beeinflussende, Variable. Brzycki (2000) schlägt gar einen Mehrwiederholungstest mit 80% des 1RM vor, um Aussagen über die genetische Disposition hinsichtlich der individuellen Muskelfaserverteilung („Type I- / Type II fibers“) treffen zu können. Werden mehr als 10 Wiederholungen realisiert, lässt dies auf einen höheren Anteil langsamer Muskelfasern schließen, werden weniger als 10 realisiert, schließt er auf einen höheren Anteil weißer Muskelfasern. Ein-

schränkend verweist er jedoch auf weitere unabhängige Variablen, wie die neuronale Fähigkeit („neurological ability“) und die Art der Übung („upper body exercises“/“lower body exercises“), wobei eine bessere neuronale Fähigkeit sowie die Durchführung von Oberkörperübungen zu einer geringeren maximalen Wiederholungszahl führen sollen.

Zahlreiche Studien stützen indes die Vermutung, dass die jeweils höheren Wiederholungszahlen bei gleicher Intensität, was die Art der Trainingsübung bzw. die dadurch beanspruchte Muskulatur betrifft, eher eine Strukturierung in ein-, zwei- und mehrgelenkige Bewegungen erfordert als eine Differenzierung in Oberkörper- und Unterkörperübungen (vgl. Tab. 5). Die Bodybuilder sprechen in diesem Zusammenhang von Isolations- und Grundübungen (Gießing, 2002; Müller, 2003a). Im angloamerikanischen Sprachraum werden „core exercises“ (multi-joint exercises) und „assistance exercises“ (single-joint exercises) unterschieden (Baechle, Earle & Wathen, 2000, 398).

Zumindest für die Unterschiede von zweigelenkigen Übungen und der mehrgelenkigen Übung Beinpressen ist eine klare Tendenz in Richtung höhere maximale Wiederholungszahlen bei mehreren zu kontrollierenden Freiheitsgraden über alle Intensitätsbereiche hinweg zu erkennen, was auf „Kompensationsmechanismen der mehr beteiligten synergistischen Muskelgruppen“ zurückgeführt werden könnte (Marschall & Fröhlich, 1999, 313).

Wenn man das Trizeps-Ergebnis der Untersuchung von Buskies & Boeckh-Behrens (1999) unberücksichtigt lässt, kann man für die Unterschiede bei ein- und zweigelenkigen Übungen die gleiche Argumentation zu Grunde legen. Die im Vergleich zu anderen eingelenkigen Bewegungen sehr hohe realisierte Wiederholungszahl könnte an der Übungsspezifität liegen, die insbesondere beim Trizepsdrücken stehend am Kabelzug dazu führt, dass eine Isolation des Armstreckers aufgrund der Stabilisationszwänge nicht möglich ist und somit verstärkt „unterstützende Muskeln“ eingesetzt werden. Eine relativ große Ausgangswinkelstellung (z.B. 90°) würde hier ebenfalls höhere Wiederholungszahlen provozieren. Dies zeigte sich beispielsweise auch beim Beinpressen mit 45° und 90°. Leider machten die Autoren für die Übung Trizepsdrücken keine genauen Angaben hinsichtlich der Übungsspezifität (Maschine, Kabel oder freies Gewicht) respektive Bewegungsumfang.

Tab. 5. Literaturüberblick: Mittelwerte der maximal realisierten Wiederholungen bei hypertrophieorientierten Belastungsintensitäten und ein- u. zweigelenkigen Übungen sowie der mehrgelenkigen Übung Beinpressen

60%/männlich		EINGELENKIG			
Autor	Beinstrecken	Armbeugen	Armstrecken	Beinbeugen	
Hoeger et al., 1987	15,4 *	15,3 *		11,2 *	
Hoeger et al., 1990	18,3	21,3		15,4	
Buskies & Boeckh-Behrens, 1999			38,7		
GESAMTMITTELWERT *=untrainiert	23,4				
70%/männlich		EINGELENKIG			
Autor	Beinstrecken	Armbeugen	Armstrecken	Beinbeugen	
Buskies & Boeckh-Behrens, 1999			23,4		
GESAMTMITTELWERT	23,4				
80%/männlich		EINGELENKIG			
Autor	Beinstrecken	Armbeugen	Armstrecken	Beinbeugen	
Hoeger et al., 1987	9,3 *	7,6 *		6,3 *	
Hoeger et al., 1990	11,6	11,4		7,2	
Buskies & Boeckh-Behrens, 1999			17,6		
GESAMTMITTELWERT *=untrainiert	12				
60%/männlich		ZWEI-GELENKIG		MEHRGEL. ÜBUNG	
Autor	Bankdrücken	Latissimuszug	Beinpresse		
Hoeger et al., 1987	19,7 *	19,7 *	33,9 *		
Hoeger et al., 1990	22,6	23,5	45,5		
Buskies & Boeckh-Behrens, 1999	21,4	21,3	42,3		
Marschall & Fröhlich, 1999		23,7			
Fröhlich & Schmidtbleicher, 2003	21,3				
GESAMTMITTELWERT *=untrainiert	22,3		43,9		

70%/männlich	ZWEI- GELENKIG		MEHRGEL. ÜBUNG
Autor	Bankdrücken	Latissimus- zug	Beinpresse
Buskies & Boeckh-Behrens, 1999	14,7	14,7	28,3
Marschall & Fröhlich, 1999		15,1	
Marschall & Sieberger, 2003			29,3
Debra, 2002	14,2		36,2
GESAMTMITTELWERT	14,7		31,3
80%/männlich	ZWEI- GELENKIG		MEHRGEL. ÜBUNG
Autor	Bankdrücken	Latissimus- zug	Beinpresse
Hoeger et al., 1987	9,8 *	9,8 *	15,2 *
Hoeger et al., 1990	12,2	12,2	19,4
Buskies & Boeckh-Behrens, 1999	9,4	9,3	22,9
Marschall & Fröhlich, 1999		9,8	
GESAMTMITTELWERT *=-untrainiert	10,6		21,2

Die Wiederholungszahl für eine gegebene prozentuale Belastungsintensität wird nicht nur durch die Zahl der an einer Übung direkt beteiligten Gelenke beeinflusst, sondern auch von der Übungsspezifika, wobei grundsätzlich die Vermutung nahe liegt, dass bei Übungen mit freien Gewichten (Kurz- oder Langhanteln) infolge der größeren Freiheitsgrade mehr maximale Wiederholungszahlen bei gleicher Intensität realisiert werden können, als bei Seilzugübungen und zuletzt Maschinenübungen mit den geringsten Freiheitsgraden (vgl. Freese, 2001; Gottlob, 2003a).

Alle bislang diskutierten Faktoren beziehen sich auf die Wiederholungsmaxima eines Satzes bzw. des ersten Satzes. Tab. 6 zeigt Untersuchungen, die sich mit der Frage auseinandersetzen, wie sich die Wiederholungszahlen in Abhängigkeit von der Anzahl der Sätze im Hypertrophietraining bei konstanter Last verändern bzw. in welcher Höhe eine Lastanpassung über die Serien erfolgen muss, um die Reizspannungsdauer konstant zu halten.

Bei deduktiver Beanspruchungsermittlung über Prozentangaben des 1RM ergibt sich bei konstanter Last über 5-6 Serien hinweg in allen Studien eine hohe „Serienregres-

sion“ (Strack, 2001, 33). In der Studie von Fröhlich et al. (2002a) reduzierten sich die maximal möglichen Wiederholungen bei einer Intensität von 85% (des 1RM) vom 1. bis zum 6. Satz von durchschnittlich 6,3 auf 2,1 Wiederholungen. Dies hätte im Rahmen einer intensitätsorientierten Belastungssteuerung zur Folge, dass die Wiederholungszahlen über die Serien hinweg vom Hypertrophiebereich in den IK-Bereich (Intramuskuläre Koordination) absinken und die optimalen Beanspruchungen von Stoffwechselprozessen und spezifischen mechanischen Beanspruchungen zur Auslösung von Hypertrophieeffekten nicht mehr erreicht würden.

Im Vergleich dazu führte in der gleichen Studie ein wiederholungszahlorientiertes Belastungstreatment mit konstanter Wiederholungszahl zwar zu einer Lastreduktion von im Mittel 10 kg, jedoch können dadurch die anpassungsrelevanten Beanspruchungen sicher gestellt werden. Die Wiederholungszahlen (Reiz-Spannungsdauer) konnten weitgehend konstant gehalten werden und blieben immer in einem hypertrophieansteuerndem Bereich (zw. 6-20 WH; vgl. Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Hemmling, 1994).

Der Vorteil der induktiven Variante zeigte sich auch in der größeren physikalischen Arbeit. Inwiefern durch die unterschiedlichen Belastungen tatsächlich unterschiedliche Beanspruchungen der Teilsysteme resultieren, die sich dann in unterschiedlichen Anpassungen zeigen, muss bislang spekulativ bleiben. Für das Kraftausdauertraining konnten die Studien von Fröhlich (2003) sowie Marschall & Sieberger (2003) den Nachweis erbringen, dass die induktive Beanspruchungsermittlung („konstante Wiederholungszahl“) größere Kraftausdauererfolge bewirkt.

Tab. 6. Literaturüberblick: Serienregression bei deduktiver und induktiver Beanspruchungsermittlung im Hypertrophietraining

Deduktiv / Übung / Sätze	Serienregression Wdh. (Mittelw.)	Induktiv / Übung / Sätze	Serienregression Last (kg od. %)	Tr.zustand/ Geschl.	Autor/Jahr
85% / Bankdrücken Multipresse / 6 Serien / Pause 3min	6,3 – 2,1	8 Wdh. / Bankdrücken Multipresse / 6 Serien / Pause 3min	60 – 49,3	Trainiert/ männlich	Fröhlich et al., 2002a
70% / Bankdrücken Multipresse / 5 Serien / Pause 3min	14,2 – 5,7	12 Wdh. / Bankdrücken Multipresse / 5 Serien / Pause 3min	21%	Trainiert/ männlich	Mischo, 2003
70% / Beinpresse horizontal / 5 Serien / Pause 3 min	36,2 – 20,7	12 Wdh. / Beinpresse horizontal / 5 Serien / Pause 3min	5%	Trainiert/ männlich	Mischo, 2003

In der Studie von Mischo (2003) bestätigte sich die Beobachtung, dass die Wiederholungsmaxima einer mehrgelenkigen Übung (hier Beinpresse horizontal) bei einer deduzierten Intensität deutlich höher liegen als bei einer zweigelenkigen Übung (hier Bankdrücken Multipresse). Mit einer Intensität von 70% (des 1RM) reduzierte sich beim Bankdrücken die Wiederholungszahl über die Serien hinweg auch hier bis in den IK-Bereich hinein. An der Beinpresse verblieben die Wiederholungszahlen sogar gänzlich im Kraftausdauerbereich, obwohl die Intensität dem Hypertrophiebereich zugeordnet wird (vgl. Tab. 4).

Des Weiteren zeigte sich bei der Variante „konstante Wiederholungszahl“ an der Beinpresse (5%) im Vergleich zum Bankdrücken (21%) eine deutlich geringere Serienregression. In der Konsequenz hat dieses Ergebnis positive Auswirkungen für die Trainingspraxis. Wenn die individuelle Last für eine mehrgelenkige Bewegung im unteren oder mittleren Hypertrophiebereich aufgrund vorhandener Trainingserfahrung bzw. eines Mehrwiederholungstestes (vgl. Kap. 6.4.2) bekannt ist, kann diese Last über mehrere Sätze hinweg konstant gehalten werden, ohne dass der Hypertrophie-

bereich verlassen wird. Die Wiederholungszahl wird sich gemäß den empirischen Befunden nur unwesentlich verändern und innerhalb einer gewissen angesteuerten Spanne bleiben.

Das in der muskelaufbauorientierten Trainingspraxis üblicherweise praktizierte Verfahren der Ansteuerung von Wiederholungsspannen, im englischsprachigem Raum auch als „goal repetitions“ (Baechle et al., 2000) oder „repetition ranges“ (Brzycki, 2000) bezeichnet, geht ohne Umweg über die methodisch fragwürdige und orthopädisch bedenkliche Bestimmung der isometrischen oder konzentrischen Maximalkraft mit einer optimalen Beanspruchung des tendomuskulären Systems, der Stoffwechselforgänge und der neuromuskulären Steuerungsprozesse einher.

Mit Bezug auf das phänomenorientierte Belastungs-Beanspruchungskonzept werden folglich mit einer wiederholungszahlorientierten Belastungssteuerung die individuellen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten berücksichtigt, deren Varianz insbesondere im fitnessorientierten Krafttraining sehr hoch ist. Alle bislang dargestellten Befunde belegen eindrucksvoll, dass eine feste Zuordnung von Intensität und Wiederholungszahl nicht generalisierbar ist. Insofern stellt die deduktive Beanspruchungsermittlung kein geeignetes Verfahren dar, eine zieladäquate Last ansteuern zu können.

2.3.2 Deduktive Beanspruchungsermittlung

Die im Folgenden beschriebenen Methodenansätze zur Ermittlung einer zieladäquaten Anfangsbelastung im fitnessorientierten Krafttraining unterscheiden sich vor allem in den Vorgaben für die praktische Ermittlung des für die Trainingssteuerung zentralen Belastungsnormativs *Belastungsintensität*, welches daher näher definiert werden soll.

Nach Martin et al. (1993) wird die Belastungsintensität bestimmt durch den Anstrengungsgrad und die Art und Weise der Übungsausführung. Die Quantifizierung im Krafttraining erfolgt mittels Last in kg, in Prozent zur Bestmarke oder auch in Qualitäten wie maximal, submaximal, gering.

„Diese Ermittlung der Intensität des Krafttrainings entspricht der deduktiven Beanspruchungsermittlung in der Ergonomie.“ (Pollmann, 1993, 25)

Im Übersichtsartikel von Güllich & Schmidtbleicher (1999), in dem die Trainingsmethoden aufgrund ihrer Trainingswirkungen unterteilt werden, basiert die Intensitätsfestlegung auf der Ermittlung des Einer-Wiederholungs-Maximums (1RM) in Verbindung mit einer entsprechend zugeordneten Wiederholungszahlvorgabe. So wird zur

Ansteuerung von Hypertrophieeffekten eine Reizintensität von 60-85% mit 6-20 erschöpfenden Wiederholungen empfohlen, womit eine optimale Spannung und ein maximaler Energieumsatz sowie hohe intrazelluläre Wasserstoffionenkonzentrationen induziert werden sollen, die die adaptiven Prozesse auslösen. Ob jedoch mit dieser Art der Belastungsgestaltung wirklich die gewünschten Effekte auf der Beanspruchungsseite erzielt werden, erscheint fraglich. Denn bei der in Relation zum 1RM definierten Trainingsintensität wird ausschließlich aufgrund von (Maximal-) Leistungen auf die Beanspruchung geschlossen. Unter Berücksichtigung der im vorigen Kapitel dargestellten Befundlage sowie der Heterogenität und Variabilität im fitnessorientierten Krafttraining kann dieser stringente Schluss nicht gelingen. Tabelle 4 zeigt Handlungsempfehlungen weiterer Autoren, die allesamt ein deduktives Herangehen an eine hypertrophieorientierte Trainingslast im Anfängerbereich propagieren.

Die Intensitätsempfehlungen differieren trotz gleicher Zielsetzung zwischen 30 und 85%. Die Wiederholungszahlvorgaben reichen von 5 bis 25. Voraussetzung für die Lastermittlung ist in allen Fällen die Maximalkraft bzw. das Einer-Wiederholungs-Maximum, wobei Angaben zur Methodik der 1RM-Bestimmung fehlen. Dies hat für den Trainingsanfänger zur Folge, dass zum einen eine vernünftige Basis für die Ermittlung der Trainingslast fehlt und zum anderen die somit mittels Versuch-und-Irrtum ermittelte Last innerhalb des empfohlenen Wiederholungsspektrums bewegt wird, ohne die anpassungsrelevanten Ausbelastungen für die Auslösung von Hypertrophieeffekten zu beachten. Trainingssteuerung wird mit einer solchen Vorgehensweise ad absurdum geführt.

Eine potenzielle orthopädische und internistische Gefahrenquelle für den Trainingsanfänger oder leicht Fortgeschrittenen besteht also nicht nur während der 1RM-Ermittlung, sondern auch während der Satzdurchführung, bei dem Versuch mit dieser „Zufallslast“ empfohlene Wiederholungszahlen zu erreichen. Im anderen Fall bleiben die physiologischen Effekte unter den Erwartungen bzw. Möglichkeiten.

Die deduktive Beanspruchungsermittlung auf der Basis maximalkraftorientierter Belastungsbestimmung geht auf empirische Befunde von Zatsiorsky & Kulik (1965) mit einer leistungshomogenen Stichprobe von Hochleistungssportlern (16 Gewichtheber internationalen Niveaus) zurück. Die Ergebnisse mündeten in der sog. „Zatsiorsky-Kurve“ (s. Abb. 3), welche einen funktionalen Zusammenhang zwischen Lastgröße und Wiederholungszahl beschreibt.

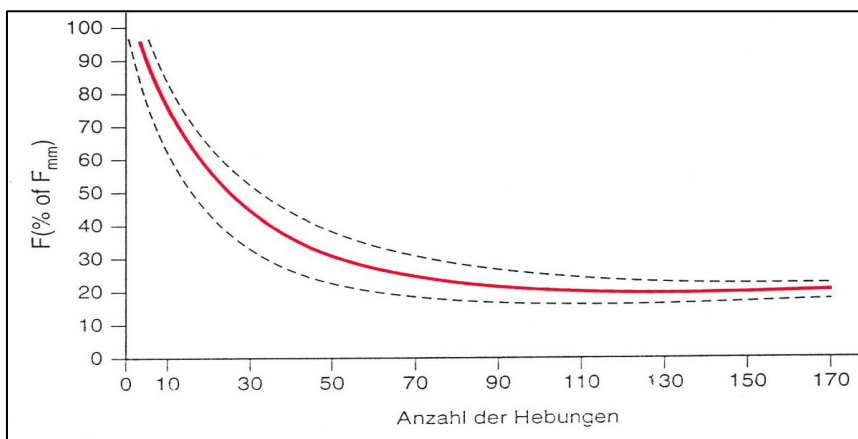


Abb. 3. Zusammenhang zwischen maximalen Wiederholungszahlen und relativem Anteil des Hantelgewichts am 1RM Bankdrücken bei 16 Gewichthebern. Gerundete Mittelwerte (rote Linie) mit Standardabweichung (gestrichelte Linie) (nach Zatsiorsky & Kulik 1965, in Zatsiorsky 1996)

Dieser Zusammenhang, der, wie im vorigen Kapitel belegt, einer großen Streuung unterliegt, wurde von vielen Autoren bis in die heutige Zeit unreflektiert übernommen und als Grundlage für fitnessorientierte, präventive und rehabilitative Handlungsempfehlungen zur Trainingssteuerung tradiert.

Obwohl Zatsiorsky bereits 1996 konstatierte, 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. „Dieses Verhältnis variiert bei verschiedenen Sportlern und Bewegungen.“ (Zatsiorsky, 1996, 108)

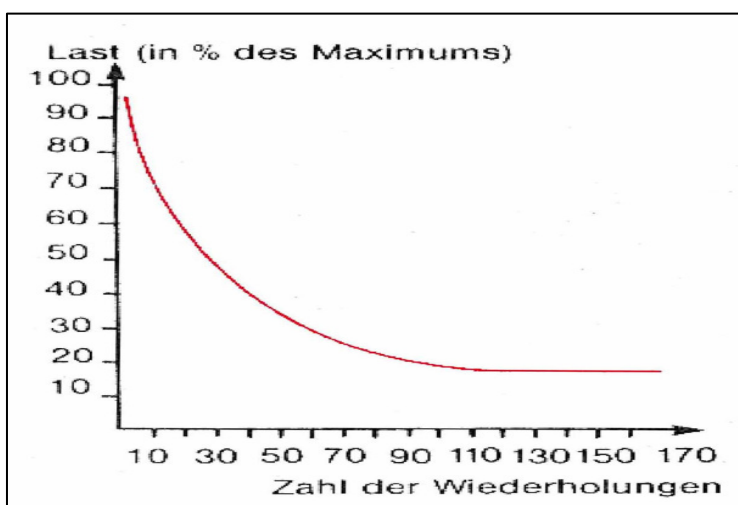


Abb. 4. Grafische Darstellung der Abhängigkeit zwischen Lastgröße und Wiederholungszahl (nach Weineck 2002, 243)

Im rehabilitativen Sektor wird, zur Vermeidung maximaler Lasten aufgrund geringerer Belastbarkeit der Rekonvaleszenten, unter Annahme einer festen Beziehung zwischen submaximaler Last und Wiederholungszahl zur Festlegung einer trainingszielorientierten Last, ein Mehrwiederholungstest mit einer Last x durchgeführt. Die erreichte Wiederholungszahl führt in einem ersten Schritt zu einer submaximalen Prozentangabe und in einem zweiten Schritt zur 1RM-Last, welche in der Folge als Grundlage weiterer Trainingsempfehlungen dient (s. Tab. 7; Horn & Steinmann, 1998; Kolster, 1994).

Auch hier wird die Trainingslast deduktiv ermittelt. Schmidtbleicher (1998) weist jedoch dezidiert auf die Schwächen einer solchen Vorgehensweise hin:

„Bei der Verwendung von submaximalen Lasten zur Intensitätsbestimmung ist jedoch zu beachten, dass diese Normzahlen in Abhängigkeit von der Bewegung und der getesteten Muskelgruppe beträchtlich variieren.“ (Schmidtbleicher, 1998, 24)

Tab. 7. Abschätzung der Belastungsintensität aus der maximal realisierbaren Wiederholungszahl mit einer beliebigen Last (nach Rühl 1992, in Kolster 1994, 636)

Belastungsintensität Anteile des 1RM (%)	Wiederholungszahl
100	1
95	2
90	3-4
85	5-6
80	7-8
75	9-10
70	11-13
65	14-16
60	17-20
55	21-24

Die Schnittstelle zu einer beanspruchungsorientierten Trainingssteuerung bildet im fitnessorientierten Krafttraining die deduktive Handlungsempfehlung von Grosser et al. (2001).

Tab. 8. Methode der leichten Kräfteinsätze mit mittlerer Wiederholungszahl – Anfängermethode (mod. nach Grosser et al., 2001, 65)

Arbeitsweise	konzentrisch
Intensität	mittel
Last	45-65%
Bewegungsgeschwindigkeit	zügig
Dauer einer Übung	50% des Wiederholungsmaximums; ca. 8-15 Wh
Serienpause	1-3 Min.; ohne volle Erholung
Umfang	hoch; 6-8 Sätze zu je 3-4 Übungen

Die Lastermittlung erfolgt hier zwar über die vom 1RM deduzierte Intensität (45-65%) in Verbindung mit der Vorgabe einer Wiederholungsspanne von ca. 8-15 Wiederholungen. Im Gegensatz zu anderen Autoren wird mit der Empfehlung „50% des Wiederholungsmaximums“ auszuschöpfen, explizit ein Beanspruchungsaspekt angesprochen. Bei einer Serienausbelastung von 50% sprechen Radlinger et al. (1998) von einer mittleren Ausbelastung, wobei die Hypertrophieeffekte eher gering ausfallen sollten, da aufgrund der geringen Intensität sowie des geringen Ausbelastungsgrades die mechanische und metabolische Beanspruchung ebenfalls gering sind.

Könnte man die unzweckmäßige und aus gesundheitlicher Sicht bedenkliche maximalskraftorientierte Belastungsbestimmung durch eine auf individuellen Voraussetzungen basierende - z.B. anthropometrische Parameter - Anfangslast ersetzen, stünde dem Anfänger eine vernünftige, brauchbare Handlungsempfehlung zur Verfügung.

Insbesondere im präventiven Bereich wäre eine solche Alternative sinnvoll. Dem Standardwerk von Zimmermann (2000) „Gesundheitsorientiertes Muskelkrafttraining“ fehlt gerade zum Thema Belastungsgestaltung die Evidenz. Die „Intensitätsermittlung“ erfolgt mittels „Maximalskraftherhebungen“ oder alternativ über „die Reizintensitäts-Häufigkeitskurve“. Dem Beanspruchungsaspekt wird mit der Vorgabe Rechnung getragen lediglich 3/4 bis 4/5 des individuellen Wiederholungsmaximums innerhalb einer Wiederholungsspanne von 15-25 anzusteuern, damit „[...] die kardiale und metabolische Belastung aus gesundheitlicher Sicht wesentlich günstiger gestaltet [...]“ wird (Zimmermann, 2000, 199).

Tab. 9. Belastungsstruktur des primärpräventiven Krafttrainings (mod. nach Zimmermann, 2000, 193)

Belastungs- und Organisationsmethode	Kreistraining
Widerstandsintensität	40-60% der individuellen dynamischen Maximalkraft
Wiederholungszahl je Körperübung	15-25 (3/4 bis 4/5 des individuellen Wiederholungsmaximums)
Übungsdauer je Körperübung	30-60 sec
Bewegungsausführung u. -tempo	gleichmäßig u. mittelschnell
Pause zwischen den Körperübungen	30 Sekunden u. weniger
Anzahl der Kreisdurchgänge	2-3

Der Übergang von einer normorientierten zu einer primär befindlichkeitsbezogenen Belastungssteuerung im Krafttraining vollzieht sich innerhalb der induktiven Beanspruchungsermittlung.

2.3.3 Induktive Beanspruchungsermittlung

Der induktive Weg der Beanspruchungsermittlung im fitnessorientierten Krafttraining fußt auf der trainingszielorientierten Reizdauer in Form von Wiederholungen (Fröhlich et al., 2002b; Strack, 2001) sowie der Reizintensität „als Grad der inneren Beanspruchung, Ermüdung, Ausbelastung“ (Radlinger et al., 1998, 57). Prozentangaben in Relation zur Maximalkraft spielen hierbei keine Rolle oder haben höchstens beschreibenden Charakter. Radlinger et al. (1998) konstatieren in diesem Zusammenhang:

„Unseres Erachtens erscheint es wichtig, den gewünschten Zielbereich (intra-muskuläre Koordination oder Muskelaufbau) anhand des Kriteriums ´Ausbelastung in einer methodenspezifischen Belastungsdauer´ beschreiben zu können. Bei wie viel Prozent sich dieser offensichtlich individuell verschiedene Bereich einordnet, ist nebensächlich und hat für die richtige Therapieintensität keine Bedeutung.“ (Radlinger et al., 1998, 45)

Die primär muskelaufbauorientierte Zielsetzung im fitnessorientierten Krafttraining erfordert unter Berücksichtigung gängiger Erklärungsansätze (Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Hemmling, 1994) die Wahl einer Last, die maximal 6 bis 20 langsam bis zügig durchgeführte Wiederholungen ermöglicht und den Muskel über eine Dauer

von 30-45 Sekunden beansprucht, wobei sich die Wiederholungszahl an der Belastungsdauer orientieren muss. In jüngeren Veröffentlichungen gehen Heim & Schmidtbleicher (2003) indes von einer Ausbelastung innerhalb von 60 Sekunden aus.

Angelsächsische Trainingspraktiker propagieren eine extrem langsame Bewegungsausführung von bis zu 15 Sekunden pro Wiederholung (Brzycki, 2000, 336; Darden, 1998, 48). Auch Kieser (2003) empfiehlt eine Wiederholungsdauer von 10 Sekunden:

„Die positive Bewegungsphase - wenn Sie das Gewicht anheben - soll mindestens vier Sekunden dauern. Die negative - wenn Sie das Gewicht senken - soll ebenfalls etwa vier Sekunden dauern. Zwischen diesen beiden Phasen verharren Sie für etwa zwei Sekunden in der Position der vollständigen Kontraktion der Muskeln.“ (Kieser, 2003, 55)

Eine bewusst langsame Bewegungsausführung soll durch eine weitgehende Vermeidung massenträgheitsbedingter Beschleunigung der Gewichtslast zu einer größeren neuromuskulären Aktivierung der Arbeitsmuskulatur und schlussfolgernd zu einer größeren Beanspruchung führen. Um diese Beschleunigungskräfte oder kinetische Energie (Gottlob, 2003a), mit deren Hilfe der Trainierende in der Lage ist ungünstige Kraft-Last-Verhältnisse zu überwinden, während der Bewegungsphase möglichst gering zu halten, sollten jegliche ruckhafte, explosive Bewegungen und jedes „Durchfedern“ am Umkehrpunkt vermieden werden. Gottlob (2003a) relativiert zum Thema Bewegungsgeschwindigkeit mit der Aussage:

„Achten Sie generell auf gleichmäßige Bewegungsgeschwindigkeiten. Es muss nicht extrem langsam sein, der Wert sollte dagegen auf Gleichmäßigkeit gelegt werden.“ (Gottlob, 2003a, 127)

Extrem langsame Bewegungsgeschwindigkeiten werden meist von Verfechtern des sog. Einsatztrainings propagiert (Bass & Bass, 1998; Gießing, 2000; Kieser, 1998; Philipp, 1999). Für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit ist der Diskurs, ob nach Festlegung einer zielgemäßen Anfangslast ein oder mehrere Sätze je Übung durchgeführt werden, von untergeordneter Bedeutung. Gottlob (2003a) resümiert hierzu:

„Jedoch ist ein Mehrsatztraining einem Einsatztraining in vielerlei Hinsicht deutlich überlegen. Es liegt auf der Hand, dass u. a. Trainingsvolumina, Vielfalt an Belastungsgeometrien und die Varianz der Belastungshöhen und –qualitäten beim Ein-Satz-Training einfach zu kurz kommen. Deshalb hat dieses Training bis heute weder im Leistungssport noch im Rehabereich oder im Breitensport Fuß fassen können.“ (Gottlob, 2003a, 153)

Tabelle 10 zeigt einen Überblick beanspruchungsorientierter Handlungsempfehlungen im fitnessorientierten Krafttraining.

Tab. 10. Wiederholungszahlen bzw. repetition maxima (RM) und Ausbelastungsgrad; Handlungsempfehlungen verschiedener Autoren für eine beanspruchungsorientierte Trainingslast im Anfängerbereich

3-12 RM	„weitgehend erschöpfend“	Gottlob, 2001
6-9 RM	„bis zur lokalen Erschöpfung“	Kieser, 2003
8-15 WH.	„mittel – schwer“	Boeckh-Behrens & Buskies, 2002
8-15 RM	„maximale Ausbelastung“	Froböse & Lagerstrom, 1991
10-12 RM		Kraemer & Häkkinen, 2002
10-12 WH	„50% der 10-12 RM-Last“	Barteck, 1998
10-15 WH	„13-14 RPE (etwas anstrengend)“	Trunz et al., 2002
10-25 WH	„spürbare muskuläre Anstrengung“	Buchbauer & Steininger, 2001
15 RM	„erschöpfend“	Wolff, 1990
15-20 RM		Gießing, 2002
20 RM	"10 Wdh. ausführen"	Bredenkamp & Hamm, 2001
15-30 RM	50% d. Wdh.Max. (8-15 Wdh.) / mittlere Ausbelastung	Radlinger et al., 1998

Als Rahmenparameter dieser Handlungsempfehlungen dienen die zu bestimmende Trainingslast, mit der eine definierte Wiederholungszahl oder Wiederholungsspanne angesteuert werden soll sowie der dann subjektiv wahrgenommene Ermüdungs- respektive Ausbelastungsgrad. Die Belastungsintensität wird auf dieser Ebene rein subjektiv bewertet. Radlinger et al. (1998, 57) teilen die subjektive Belastungsintensität in fünf Grade ein:

1. *gering*: Belastung kann mehr als doppelt so lange ausgeführt werden, bis die maximale Ermüdung eintritt.
2. *mittel*: Belastung kann in etwa doppelt so lange ausgeführt werden, bis die maximale Ermüdung eintritt.
3. *submaximal*: noch 2-3 weitere Wiederholungen können ausgeführt werden, bis die maximale Ermüdung eintritt.
4. *maximal*: keine oder maximal eine weitere Wiederholung kann ausgeführt werden.

5. *supramaximal*: eine Belastung, die über 100% der willkürlichen isometrischen Maximalkraft liegt; das subjektive Empfinden ist jedoch „maximal“.

Tabelle 11 zeigt die Zuordnung der einzelnen Handlungsempfehlungen zu den jeweiligen Ausbelastungsgraden.

Tab. 11. Zuordnung von Autor zu dem durch die ermittelte Anfangslast induzierten Ausbelastungsgrad

Ausbelastungsgrad	Autor
<i>Gering</i>	-
<i>Mittel</i>	Bredenkamp & Hamm, 2001 Radlinger et al., 1998 Buchbauer & Steininger, 2001 Trunz et al., 2002 Barteck, 1998 Boeckh-Behrens & Buskies, 2002
<i>Submaximal</i>	Boeckh-Behrens & Buskies, 2002 Gottlob, 2001
<i>Maximal</i>	Gottlob, 2001 Kieser, 2003 Gießing, 2002 Kraemer & Häkkinen, 2002 Wolff, 1990 Froböse & Lagerstrom, 1991

Trainingsempfehlungen mit RM-Angaben (s. Tab. 10) zielen per definitionem auf eine maximale Ermüdung ab (DeLorme, 1945). Werden 12RM empfohlen, muss die Last so hoch sein, dass die 12. Wiederholung die willkürlich letzte darstellt. Eine weitere Wiederholung bei gleich bleibend korrekter Bewegungsausführung mit vollständiger Bewegungsamplitude (ROM = Range of Motion) sollte nicht mehr möglich sein. Grundsätzlich bedeutet die RM-Angabe in Tabelle 10, dass in einer Testphase mittels Versuch-und-Irrtum die x-RM-Last ermittelt wird. Die Konsequenzen daraus sind jedoch unterschiedlich. Die Mehrheit der Autoren plädieren für eine Übereinstimmung der Test- und Trainingssituation insofern, als mit dem Testgewicht auch die identische Wiederholungszahl (x-RM = x-Wdh.) im Training angesteuert werden soll (Froböse & Lagerström, 1991; Gießing, 2002; Gottlob, 2003a; Kieser, 2003;

Kraemer & Häkkinen, 2002; Wolff, 1990). Bredenkamp & Hamm (2001) sowie Radlinger et al. (1998) schlagen indes ein Trainingsgewicht mit hohem RM (15-30RM) vor, welches aber nur im zielgerechten, muskelaufbauorientierten Wiederholungsbereich bei geringerer Ausbelastung bewegt werden soll (10 Wdh. bzw. 8-15 Wdh.). Die dabei zu erwartenden geringeren Hypertrophieeffekte werden in Kauf genommen. Der Vorteil liegt, einen hochreliablen RM-Test vorausgesetzt, in der gezielten Ansteuerbarkeit der gewünschten Ausbelastungssituation. Barteck (1998) setzt in diesem Zusammenhang auf eine prozentual abgestufte RM-Last als Anfangsgewicht (vgl. Kap. 2.3.3.2).

Andere Autoren wiederum favorisieren eine Belastungsbestimmung, die letztendlich zu der gleichen Trainingsbeanspruchung führt wie die beiden letzteren Varianten, aber bei der Ermittlung der Last eine andere Vorgehensweise wählt. Hierbei soll mit Hilfe eines Mehrwiederholungstests im reizwirksamen Wiederholungsbereich eine Last ermittelt werden, die primär befindlichkeitsbezogen zu dem angesteuerten Ermüdungsgrad führt, wobei auf eine maximale Ermüdung im Sinne eines maximalen Ausbelastungsgrades verzichtet werden soll (Barteck, 1998; Boeckh-Behrens & Buskies, 2000; Buchbauer & Steininger, 2001; Trunz et al., 2002).

Die eingangs formulierte Problematik bleibt bei allen unterschiedlichen Vorgehensweisen zur Bestimmung einer zieladäquaten Anfangslast bestehen. Voraussetzung ist immer ein zeitaufwendiges Testverfahren, welches aufgrund fehlender Standardisierung mittels „trial and error“ durchgeführt wird.

Allein Radlinger et al. (1998) unternehmen den Versuch eines praxisgerechten Weges zum Finden der richtigen Belastungsintensität für ein differenziertes Krafttraining. Sie formulieren zwei grundsätzliche Kriterien:

- Es muss mit der Dauer und dem Ende der Belastung eine (annähernde) Ausbelastung stattfinden.
- Die Belastungsdauer muss dem gewünschten Krafttrainingsziel auf neuro-muskulophysiologischer Ebene entsprechen (z.B. bei Muskelaufbau zwischen 6 und 25 Sekunden).

Das Finden der richtigen Trainingslast erfolgt dann in Absprache von Trainer/Therapeut und Athlet/Patient. Wird z. B. eine Gewichtslast gesucht, die eine Ausbelastung innerhalb von 10 Wiederholungen bewirkt, ist folgendermaßen vorzugehen:

„Der Therapeut und der Patient schätzen aufgrund ihrer Erfahrung oder Kenntnis ab, wie hoch das Zusatzgewicht liegen müsste und wählen z.B. 3 kg. Jetzt versucht der Patient [...] so oft wie möglich dynamisch zu bewegen.

Kann er das Gewicht deutlich mehr als 10mal nämlich z.B. 40mal bewegen, muss es entsprechend erhöht werden (z.B. auf 7,5kg). Hier empfiehlt es sich, den Patienten nach ca. 6-8 Wiederholungen zu fragen oder zu beobachten, ob das Gewicht gut, zu leicht oder zu schwer ist. Eventuell kann der Therapeut den Versuch frühzeitig abbrechen, und es müssen nicht unnötig viele Wiederholungen absolviert werden. Auf diesem Weg finden Therapeut und Patient durch eine Gewichtssteigerung das Gewicht, mit dem eine Ausbelastung innerhalb von 10 Wiederholungen gelingt. Ist der Patient nach dem ersten Versuch schon nach z.B. 6 Wiederholungen erschöpft, führt die langsame Reduktion des Gewichtes (z.B. auf 2,5kg) zum Erfolg.“ (Radlinger et al., 1998, 46)

Zusammenfassend zur Methodik der induktiven Beanspruchungsermittlung im fitnessorientierten Krafttraining soll an dieser Stelle Müller (2003a) zitiert werden, der im Rahmen einer empirischen Untersuchung „Zur Methodik des langfristig leistungsorientierten Muskelaufbautrainings“ zur folgenden Erkenntnis gelangt:

„ In der Praxis des gesundheits- und fitnessorientierten Krafttrainings sowie des leistungssportlichen Bodybuildings kommt [...] der Maximalkraftermittlung nur noch untergeordnete Bedeutung zu. Grundlage der Belastungsdosierung ist hier primär der als reizwirksam angesehene Wiederholungsbereich bzw. die entsprechende Anspannungsdauer der Muskulatur. Durch schrittweise Erhöhung oder Absenkung des Trainingswiderstandes wird der konkrete Widerstand ermittelt, der die angestrebte Wiederholungszahl (z.B. zehn bis zwölf) oder Anspannungsdauer (z.B. 48-100 Sekunden) bei vollständiger bzw. partieller muskulärer Ausbelastung zulässt.“ (Müller, 2003a, 27)

Im Folgenden sollen zwei einflussreiche Methodenansätze im fitnessorientierten Muskelaufbautraining näher beschrieben und diskutiert werden. Hierbei erfolgt eine Methoden-Differenzierung hinsichtlich des angesteuerten Ausbelastungsgrades sowie hinsichtlich der unterschiedlichen Ansätze zur Quantifizierung der submaximalen Last in Relation zum Mehrwiederholungsmaximum (xRM).

2.3.3.1 Befindlichkeitsorientiertes Krafttraining

Einen völlig anderen Weg gehen die trainingsmethodischen Ansätze, die die Belastungsintensität auf der Basis der subjektiven Befindlichkeit des Trainierenden einschätzen. Im Gegensatz zur deduktiven Beanspruchungsermittlung über einen Maximalkrafttest oder der induktiven Variante mit Wiederholungsmaxima, welche beide eine objektive Größe hinsichtlich der Intensitätsfestlegung beinhalten, wird in den Konzepten von Buskies et al. (1996) und Trunz et al. (2002) die zieladäquate Trainingslast subjektiv bewertet. Als Begründung wird zum einen auf die generelle Problematik der Intensitätssteuerung mittels Maximalkrafttests verwiesen (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999) und zum anderen auf die gesundheitlichen Risiken bei der Ermittlung von Ein- oder Mehrwiederholungsmaxima sowie beim Training mit Serienausbelastung innerhalb des gesundheitsorientierten Krafttrainings (Boeckh-Behrens & Buskies, 2000). Buskies et al. (1996) führen hierfür

„[...] den Begriff sanftes Krafttraining ein und verstehen darunter ein Krafttraining, bei dem die Serienbelastung nicht bis zur Muskeler schöpfung durchgeführt wird. Es erfolgt also keine muskuläre Ausbelastung, weil die maximal mögliche Wiederholungszahl in der Serie nicht realisiert wird.“ (Buskies et al., 1996, 170)

Die individuelle Einschätzung der Intensität aufgrund des subjektiven Belastungsempfindens wird mit einer 7-stufigen Skala (s. Tabelle 12) vorgenommen, welche eine Modifikation der 5-stufigen Wannerskala darstellt, die ursprünglich für den Ausdauerbereich konzipiert wurde (Wanner, 1985).

Tab. 12. Siebenstufige RPE-Skala (RPE = Rate of Perceived Exertion; mod. nach Boeckh-Behrens & Buskies, 2000, 75)

Stufe	Subjektive Belastung
1	sehr leicht
2	leicht
3	leicht bis mittel
4	mittel
5	mittel bis schwer
6	schwer
7	sehr schwer

In Abhängigkeit vom Trainingszustand (Anfänger oder Fortgeschrittener) soll z.B. für ein Muskelaufbautraining, mit einer generellen Wiederholungspanne von 8-15 Wiederholungen, etwa ab der 10.-12. Wiederholung die subjektive Belastung mit der Stufe 4, 5 oder 6 (s. Tab. 12 – grau unterlegt) eingeschätzt werden. Dann wird die Serie deutlich vor dem Erreichen der muskulären Ausbelastung beendet, obwohl noch weitere Wiederholungen möglich wären.

Nach mehreren Untersuchungen zum sanften Krafttraining ist Buskies (2001) der Meinung, dass das subjektive Belastungsempfinden sich hervorragend als Parameter zur Steuerung der Belastungsintensität eigne, während gleichzeitig die orthopädische, kardiovaskuläre und metabolische Beanspruchung deutlich verringert sei. Bezüglich der Trainingseffekte konstatiert der Autor, dass

„[...] unabhängig vom Geschlecht, Alter und Trainingszustand auf mittlerem Niveau große Steigerungen der Kraft und positive Effekte auf anthropometrische Messgrößen und die Stimmung erzielen lassen.“ (Buskies, 2001, 59)

Diese Effekte seien nicht viel geringer als beim Training bis zur muskulären Erschöpfung. Insofern dürfte ein sanftes Krafttraining vor allem bei Personen mit geringerer Belastungsverträglichkeit wie Untrainierte, Ältere und Risikogruppen, Kinder und Jugendliche, reine Gesundheitssportler, eine alternative Trainingsmethode darstellen (s. Tab. 13).

Tab. 13. Belastungsdosierung im gesundheitsorientierten Fitness-Krafttraining im Hypertrophiebereich (mod. nach Boeckh-Behrens & Buskies, 2000, 47)

Belastungsdosierung	Muskelaufbauorientierte Variante
Wiederholungen / Intensität	<ul style="list-style-type: none"> • Ca. 6-15 • Subjektives Belastungsempfinden „mittel“ bis „schwer“
Sätze / Umfang	<ul style="list-style-type: none"> • Anfänger: ca. 2-3 • Fortgeschrittene: ca. 3-5 und mehr
Pause	<ul style="list-style-type: none"> • Nach subjektivem Empfinden (ca. 1-5 Minuten)
Bewegungsausführung / Krafteinsatz	<ul style="list-style-type: none"> • Technisch korrekt • Kontinuierlich, ruhig • Regelmäßige Atmung
Organisationsform	<ul style="list-style-type: none"> • Stations- oder Zirkeltraining
Trainingshäufigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestens 1-2 x pro Woche (Untrainierte) • 2-4 x pro Woche (je nach Trainingszustand und -ziel)

Einen ähnlichen Ansatz zur Intensitätssteuerung für fitnessorientierte Einsteiger vertreten Trunz et al. (2002), jedoch mit dem Unterschied, dass als Parameter zur Einschätzung der individuellen Beanspruchung die RPE-Skala von Borg (1982) verwendet wird (s. Abb. 5). Nach Löllgen (2004) eignet sich die Borg-Skala auch für Trainings- und Übungsvorgaben beim Krafttraining in Fitness-Studios. Im Gegensatz zu vielen anderen Größen ändere sich die RPE-Skala im Alter nicht, d.h. das Anstrengungsempfinden bleibt vom Alter unbeeinflusst.

6	
7	sehr, sehr leicht
8	
9	sehr leicht
10	
11	recht leicht
12	
13	etwas anstrengend
14	
15	anstrengend
16	
17	sehr anstrengend
18	
19	sehr, sehr anstrengend
20	

Abb. 5. RPE-Skala (Rate of Perceived Exertion) nach Borg (1982, 378)

Der Fitness-Einsteiger soll demnach bei der 15. Wiederholung die Beanspruchung mit „etwas anstrengend“ (RPE 13-14) einstufen, der „aktive Fitness-Sportler“ hingegen nach der 12. Wiederholung mit „anstrengend“. Tabelle 14 zeigt die Handlungsempfehlung von Trunz et al. (2002) im Überblick.

Tab. 14. Belastungsdosierung im gesundheitsorientierten Fitness-Training nach Trunz et al. (2002)

Belastungsdosierung	Muskelaufbauorientiert
Wiederholungen / Intensität	<ul style="list-style-type: none"> • 10-15 Anfänger / 8-12 Fortgeschrittener • Subjektives Belastungsempfinden RPE 13 – 16 „etwas anstrengend“ bis „anstrengend“
Sätze / Umfang	<ul style="list-style-type: none"> • Anfänger: 1-2 / 6-8 Übungen • Fortgeschrittene: 2-4 / 8-12 Übungen
Pause	<ul style="list-style-type: none"> • Anfänger: 2 Minuten • Fortgeschrittener: 90 Sekunden
Bewegungsausführung / Krafteinsatz	<ul style="list-style-type: none"> • Langsames kontrolliertes Bewegungstempo (Anfänger) • Zügiges, kontrolliert-dynamisches Bewegungstempo (Fortgeschrittene)
Organisationsform	<ul style="list-style-type: none"> • Stations- oder Zirkeltraining
Trainingshäufigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestens 1-2 x pro Woche (Untrainierte) • 2-4 x pro Woche (je nach Trainingszustand und -ziel)

Im Gegensatz zum Konzept von Boeckh-Behrens & Buskies (2000) muss der Trainierende die Beanspruchung hier mit einer doppelt so hohen Anzahl an Bewertungsstufen einordnen, was die Reliabilität der Einschätzung sicherlich nicht verbessert. Ohnehin ist gerade dieser Punkt umstritten. Die Kritiker dieser Methode der Intensitätssteuerung weisen auf die Schwierigkeit der Operationalisierung des Konstruktes subjektives Belastungsempfinden hin (Fröhlich, 2003, 62). Die Studie von Day, McGuigan, Brice & Foster (2004) erbringt zumindest den signifikanten Nachweis, dass Trainierte mit einer zehnstufigen RPE-Skala dazu in der Lage sind, wenige Wiederholungen mit höherem Gewicht anstrengender zu empfinden als geringere Lasten mit höherer Wiederholungszahl. Darüber hinaus zeigte sich die Anwendung dieser RPE-Skala als valides Verfahren, um die Belastungsintensität der gesamten Train-

ningseinheit zu quantifizieren („session RPE method“, vgl. Day et al., 2004). Es wurde jedoch lediglich ein Satz pro Übung durchgeführt.

Letztendlich handelt es sich bei der Lastermittlung über das subjektive Belastungsempfinden um einen Mehrwiederholungstest, der den gleichen testtheoretischen Bedingungen unterliegt wie ein RM-Test. Aus Gründen der Reliabilität und Validität müsste vor Trainingsbeginn mit diesem sicherlich wertvollen Ansatz pro Übung ein RM-Test bei muskulärer Ausbelastung bzw. „maximalem subjektivem Belastungsempfinden“ zur Ermittlung von Normwerten durchgeführt werden, um die Trainingsbelastungen daran zu relativieren. Zu dieser Schlussfolgerung gelangten auch Glass & Stanton (2004). Die Autoren überprüften in einer Studie mit untrainierten Männern (N=13) und Frauen (N=17) die Wirksamkeit des Anstrengungsempfindens („perception of effort“) bei Anfängern zur Bestimmung einer Belastungsintensität, die dazu geeignet ist, Kraft und Hypertrophie zu induzieren. Die Relativierung der gewählten Trainingslast an dem nachträglich erfassten 1RM ergab, dass sowohl Männer und Frauen eine lediglich unterschwellige Last (40-60% des 1RM) wählten.

Insbesondere für Anfänger erscheint deshalb eine Normierung dieser Art sinnvoll. Bei den Probanden der umfangreichen Untersuchungsreihen von Buskies (1999) und Buskies et al. (1996) handelte es sich überwiegend um Sportstudenten, die Erfahrung im Umgang mit Belastungseinschätzungen hatten. Untrainierte könnten bei einer subjektiven Fehleinschätzung der Trainingslast unter ihren Möglichkeiten bleiben und die erhofften gesundheits- und fitnessorientierten Ziele nicht erreichen. Gottlob (2003b) stellte im Rahmen einer Studie, in der die Trainingsintensität (% 1RM) der Kunden mehrerer Fitness-Studios untersucht wurde, fest, dass 23% der Männer und 60% der Frauen mit Lasten trainierten, die unter 50% (1RM) lagen. Nach Güllich & Schmidtbleicher (1999) sind diese Reize unterschwellig und induzieren keine Hypertrophie. Auch Freese (2001) schreibt diesbezüglich:

„In der Therapie wird im Allgemeinen zu wenig intensiv trainiert. Damit bleibt die Reizsetzung häufig unterschwellig.“ (Freese, 2001, 47)

Zum sanften Krafttraining konstatiert Freese (2003):

„Wenn die Intensität dauerhaft zu niedrig ist (Stichwort: Sanftes Krafttraining), handelt es sich wohl eher um Beschäftigungstherapie.“

Eine Evaluation des sanften Krafttrainings steht bislang noch aus.

Nicht unerwähnt soll an dieser Stelle die Feststellung von Boeckh-Behrens & Buskies (2000) bleiben, dass hypertrophieorientierte Fitnesssportler mit adäquater orthopädi-

scher und internistischer Belastungsverträglichkeit jedoch aufgrund der zu erwartenden größeren Effekte durchaus eine Serienausbelastung ansteuern können.

Aussagen zur Methodik der Lastermittlung sind auch in diesen beiden Ansätzen rudimentär. Nach Trunz et al. (2002, 24) soll nach einer Dehnphase und „nach einigen Bewegungen ohne Gewichtslast“, zum Zwecke des Erlernens der Bewegung, ein Gewicht mittels Versuch und Irrtum gewählt werden, womit nach der letzten Wiederholung die anvisierte Beanspruchung erzielt wird. Wenn an drei aufeinander folgenden Trainingseinheiten die Intensität als deutlich geringer eingestuft wird, sollen die Gewichte erhöht werden.

Boeckh-Behrens & Buskies (2000, 32) empfehlen lediglich, die richtige Gewichtsbelastung „durch Ausprobieren“ zu ermitteln.

2.3.3.2 Individuelle-Leistungsbild-Methode

Das von Barteck (1998) sowie Kempf & Strack (2001) beschriebene Konzept zur Steuerung des Krafttrainings im Fitnessbereich basiert auf der Annahme, dass

„[...] der Körper nicht über das ganze Jahr und in allen Trainingseinheiten maximal (Serien bis zur muskulären Erschöpfung; d. Verf.) belastet werden kann.“ (Kempf & Strack, 2001, 41)

Zur Vermeidung von Überlastung bzw. Übertraining sowie zur kontinuierlichen, langfristigen Leistungssteigerung empfehlen sie die Anwendung der Individuellen-Leistungsbild-Methode (ILB-Methode), welche ein zentraler Bestandteil der Traineraus- und -fortbildung der BSA-Akademie¹ darstellt.

Grundprinzipien der ILB-Methode sind der systematische Wechsel der vier bis zwölf Wochen dauernden Trainingszyklen – Kraftausdauer, Hypertrophie, Maximalkraft – sowie die Steigerung der Belastungsintensität von Woche zu Woche innerhalb eines Trainingszyklus in Abhängigkeit von der erreichten Leistungsstufe.

Durch die Einteilung in unterschiedliche Leistungsstufen sollen alle Trainings- und Belastungskomponenten an die individuellen Voraussetzungen des Trainierenden angepasst werden (s. Tab. 15).

¹ Die BSA-Akademie ist die „europaweit größte private Bildungseinrichtung der Fitnessbranche“ (nach Kempf & Strack, 2001)

Tab. 15. Grobraster zur optimalen Krafttrainingsplanung nach der ILB-Methode (modifiziert nach Kempf & Strack, 2001, 40-41)

Leistungsstufe	Trainingszeit in Monaten	Trainingsystem	Trainingshäufig- keit / Woche	Übungen / Muskel- gruppe	Serien / Übung	Wiederholungen *	Inten- sität **
Beginner	0-6	Ganzkörper (GK)	2	1-2	1-2	Abhängig vom Trainingseffekt	50 - 70%
Geübter	6-12	GK oder 2er Split	2-3	2	2	Abhängig vom Trainingseffekt	60 - 80%
Fortgeschritte- ner	12-36	2er Split	3-4	2-3	2-3	Abhängig vom Trainingseffekt	70 - 90%
Trainierter- oder Leistungsstufe	36 und mehr	2er und 3er Split	4-6	2-4	3-4	Abhängig vom Trainingseffekt	80 - 100 %

(* = Wiederholungszahl Kraftausdauer = 15-30; Muskelquerschnittaufbau = 8-15; Maximalkraft = 5-8;

** = Intensitätsangaben bezogen auf das Testergebnis mit der entsprechenden Wiederholungszahl)

Das zentrale Grundprinzip der ILB-Methode ist jedoch die Intensitätssteuerung über eine prozentual abgestufte RM-Last. Dies macht es vor einem neuen Trainingszyklus mit Hypertrophieorientierung erforderlich, dass für alle ausgewählten Übungen ein Mehrwiederholungstest im Hypertrophiebereich (z.B. 12RM-Test) durchgeführt werden muss. Dieser gilt in der Folge als Bezugsbasis für die Berechnung der Trainingsgewichte. Anfängern wird gemäß Grobraster (vgl. Tab 15) in der ersten Woche eine Intensität von 50% des ILB-Testgewichtes (50% des Mehrwiederholungsmaximums oder 50% des xRM) empfohlen, welche dann wöchentlich (1 Woche = 1 Mikrozyklus) um jeweils 5% gesteigert wird. Tabelle 16 zeigt eine Beispielrechnung für einen Anfänger bei einem fünfwöchigen Hypertrophiezyklus.

Tab. 16. Beispielrechnung Trainingsgewichte Einsteiger

Getestete Übung	Beinpressen	
Trainingsziel	Hypertrophie mit 12 Wiederholungen	
Testergebnis	12 Wiederholungen mit 100 kg	
Trainingsgewichte bei zwei Sätzen und 12 Wiederholungen		
1. Woche	50kg	50% des ILB-Testgewichtes (50% der RM-Last)
2. Woche	55kg	55%
3. Woche	60kg	60%
4. Woche	65kg	65%
5. Woche	70kg	70%

Müller (2003a) mutmaßt, dass diese submaximalen Intensitäten in Relation zu Mehrwiederholungsmaxima auf das nach dem 2. Weltkrieg von DeLorme & Watkins (1951) entwickelte Konzept zurückgeht, welches nach Bestimmung des 10RM drei Trainingssätze mit folgender Intensität vorsah:

1. Satz mit 50% des 10RM
2. Satz mit 75% des 10RM
3. Satz mit 10RM

Im Verlauf eines Mesozyklus bleiben also bei schrittweiser Erhöhung der Trainingsintensität die Wiederholungszahl, die Serienzahl sowie die Übungen und die Zahl der Übungen je Muskelgruppe gleich. Dadurch soll zum einen Übertraining vermieden und zum anderen einer Überlastung insbesondere des bradytrophischen Gewebes vorgebeugt werden (Barteck, 1998).

Die Trainingswirksamkeit dieser Methode wurde von Eifler (2000) evaluiert. Er konnte bei Anfängern und Fortgeschrittenen für ein Hypertrophietraining mit 12 Wiederholungen pro Satz über die Dauer eines Mesozyklus (6 Wochen) höchst signifikante Kraftsteigerungen verzeichnen. Im Durchschnitt lag der Kraftzuwachs (12RM-Last) bei den Anfängern bei 19% für eine Bankdrückbewegung und 21% für eine Beinpressbewegung. Die Fortgeschrittenen steigerten ihre Kraft in beiden Übungen um durchschnittlich 14%. Nach Bredenkamp & Hamm (2001) führt Krafttraining beim Anfänger zu einer größeren Homöostasestörung, insofern sind die größeren Kraftgewinne plausibel. Zimmermann (2000) berichtet von Maximalkraftsteigerungen in Trainingsstudien mit einem „intensiven Krafttraining“ über 8-10 Wochen bei Untrainierten im Bankdrücken von knapp 20%. Davon ausgehend, dass die Anfänger in Eiflers

Studie alles andere als intensiv trainierten (Woche 1+2 = 50% ILB; Woche 3+4 = 60% ILB; Woche 5+6 = 70% ILB), waren die Kraftsteigerungen beachtlich.

Im Unterschied zum sanften Krafttraining wird die Trainingslast nach der ILB-Methode an einem objektiven Kriterium, dem Mehrwiederholungsmaximum (xRM), relativiert. Der Vorteil dieser beanspruchungsorientierten Belastungsgestaltung liegt in der detaillierten Trainingsplanung, die mit einer sukzessiven Belastungssteigerung einhergeht und außerdem einen Methodenwechsel ermöglicht, womit die ILB-Methode auch langfristig adaptiv ist. Zyklisierung bzw. Periodisierung sind nach Schnabel et al. (2003) unabdingbare Voraussetzungen für einen progressiven Leistungsfortschritt.

Im Studioalltag ist der immense Aufwand für die Tests und die Berechnung der Trainingsgewichte sicherlich nachteilig. Barteck (1998, 33) weist explizit darauf hin und bietet zugleich als Alternative die Intensitätssteuerung nach dem subjektiven Belastungsempfinden an, wobei der subjektive Ausbelastungsgrad von Woche zu Woche, analog der ILB-Methode, gesteigert werden soll. Auf Mehrwiederholungstests könne dann verzichtet werden, nicht aber auf die methodenimmanente Periodisierung der Trainingsziele. Mit dieser Empfehlung wird jedoch die *conditio sine qua non* der ILB-Methode in Frage gestellt. Nach dem Motto: „Warum kompliziert, wenn es auch einfacher funktioniert?“. Des Weiteren ist im Sinne der Testmethodik von Nachteil, dass die Testergebnisse *einer* Trainingseinheit als Basis für einen unter Umständen 3 Monate dauernden Zyklus dienen. Allein eine zu geringe Motivation am Testtag führt dazu, dass der Trainierende in der Folge weit unter seinen individuellen Fähigkeiten beansprucht wird. Die Testdurchführung wird auch in der ILB-Methode nicht genauer beschrieben.

Es kann festgehalten werden, dass in den oben beschriebenen trainingsmethodischen Konzepten zum fitnessorientierten Krafttraining im Rahmen induktiver Beanspruchungsermittlung der Untrainierte, aufgrund fehlender Vorgaben zur Anfangslast und Laststeigerung, das zieladäquate Trainingsgewicht nur dann ermitteln kann, wenn ihm ein erfahrener Trainer zur Seite steht, der die Anfangslast unter Berücksichtigung des Trainingszustandes und des Körperbaus der Person relativ gut einschätzt und in der Folge in ständiger Interaktion mit dem Trainierenden, meist über mehrere Trainingseinheiten hinweg, Laststeigerungen vornimmt, die letztendlich zum gewünschten Ausbelastungsgrad führen.

Grundlage dieser Trainingsprogramme ist demzufolge ein Mehrwiederholungstest, der aufgrund fehlender standardisierter Testprotokolle mittels Versuch-und-Irrtum durchgeführt wird und zudem viel Zeit erfordert (Anderson & Kearney, 1982; Brown &

Harrison, 1986; Gottlob, 2003a; Hoeger et al., 1990; Hortobagyi, Katch & LaChance, 1989; Kraemer & Fry, 1995; Kuramoto & Payne, 1995; Radlinger et al., 1998; Trunz et al., 2002). Bedingungen, die insbesondere im Fitness- und Gesundheitssport die Effizienz dieser testabhängigen induktiven Verfahren zur Belastungsbestimmung in Frage stellen. Umso deutlicher wird die praktische Relevanz der vorliegenden Arbeit.

Im Bezug zur Zielsetzung der Arbeit lassen sich an dieser Stelle resümierend folgende zentralen Aspekte formulieren:

- (1) Die dimensionsanalytische Betrachtung der Krautfähigkeiten zeigt, dass der Maximalkraft eine hervorragende Bedeutung auch für ein fitness- und gesundheitsorientiertes Krafttraining zukommt.
- (2) Muskelhypertrophie ist abhängig von einer adäquaten Beanspruchung energetischer und mechanischer Prozesse und erfordert deshalb eine induktive Beanspruchungsermittlung.
- (3) Vorliegende Verfahren sowohl zur deduktiven als auch zur induktiven Beanspruchungsermittlung rekurreren stets auf Testverfahren, die für ein fitness- und gesundheitsorientiertes Krafttraining unökonomisch und wenig praktikabel erscheinen.

3 Kritische Betrachtung kraftdiagnostischer Testverfahren

Kraftdiagnostische Testverfahren unterliegen aus Gründen der Validität und Reliabilität strengen testmethodischen Kriterien (vgl. im Überblick Bös, 2001; H. Letzelter, Letzelter & Steinmann, 1990; Lienert & Raatz, 1998; Radlinger et al., 1998; Rost, 1996; Wang, 1999). Die in der Literatur diskutierten Kritikpunkte und Vorbehalte hinsichtlich der Durchführung von Maximal- (MVC, 1RM) bzw. Submaximaltests (xRM = Wiederholungs-Maximum mit x Wiederholungen) beziehen sich neben methodischen (vgl. Tab. 17) aber auch auf gesundheitliche Aspekte (vgl. Tab. 18).

Tab. 17. Methodische Kritikpunkte in der Literatur hinsichtlich der Durchführung von Krafttests

Methodischer Kritikpunkt	Autor / Autorengruppe
Motivation	Boeckh-Behrens & Buskies, 2000 Martin, Carl & Lehnertz, 2001 Radlinger et al., 1998 Wang, 1999
Koordination	Boeckh-Behrens & Buskies, 2000 Brzycki, 1993 Chandler, Ware & Mayhew, 2001 Heinold, 1995 Kraemer & Fry, 1995 Reichel & Seibert, 1995 Weineck, 2002
Ermüdung	Baechle et al., 2000 Gießing, 2003 Morales & Sobonya, 1996 Wang, 1999 Willardson & Bressel, 2004
Biomechanik	Heinold, 1995
Positionierung	Heinold, 1995 Reichel & Seibert, 1995 Wang, 1999
Alter der Testperson	Ploutz-Snyder & Giarnis, 2001
Testzeit	Boeckh-Behrens & Buskies, 2000 Chandler et al., 2001 Gießing, 2003

	Gottlob, 2003a Kraemer & Häkkinen, 2002 Kuramoto & Payne, 1995 Rose & Ball, 1992 Willardson & Bressel, 2004
Testangst	Mayhew, Ware & Prinster, 1993
Messtechnik	Buskies & Boeckh-Behrens, 1999 Chandler et al., 2001 Zimmermann, 2000
Hilfestellung	Mayhew, Ware et al., 1993 Rose & Ball, 1992
Circadianrhythmik	Hollmann & Hettinger, 2000

Trotz hinreichender Standardisierung des Testverfahrens ist es unmöglich, alle Faktoren so zu kontrollieren, dass die Testbedingungen für alle Probanden bei allen Tests gleich sind. Insofern beinhaltet jeder Messwert einen Messfehler unbekannter Größe (Bortz & Döring, 2002; Letzelter et al., 1990). Zudem gibt es bislang keine testtheoretisch übergeordnete Konvention zur Durchführung sportmotorischer Tests bzw. biomechanischer Messverfahren, so dass im Allgemeinen auf „trial and error“-Verfahren zurückgegriffen wird.

Des Weiteren kritisieren viele Autoren im Zusammenhang mit Maximalkrafttests - und etwas abgeschwächt bei Mehrwiederholungstests mit Ausbelastung bei Risikogruppen - die latente gesundheitliche Gefährdung (Stemper, 2003; vgl. Tab. 18). Insbesondere im fitnessorientierten Krafttraining für Anfänger ist es angebracht, allein schon aus Gründen der internistischen und orthopädischen Belastung auf 1RM- und MVC-Tests zu verzichten, da diese infolge der Applikation im Rahmen von Eingangstests unmittelbar auf den untrainierten Organismus einwirken würden.

Tab. 18. Gesundheitliche Kritikpunkte und Risikogruppen hinsichtlich der Durchführung von Krafttests

Gesundheitlicher Kritikpunkt / Risikogruppe	Autor / Autorengruppe
Internistische u. orthopädische Belastungsspitzen	Boeckh-Behrens & Buskies, 2000 Brzycki, 1993
hohes Verletzungsrisiko für Muskulatur, Knochen u. Bindegewebe	Baechle et al., 2000 Brzycki, 1993 Gießing, 2003 Mayhew, Piper et al., 1993 Morales & Sobonya, 1996 Rose & Ball, 1992
Beschädigung der Wachstumsfugen bei Heranwachsenden	Mayhew, Piper et al., 1993
Heranwachsende, Ältere und Herzpatienten	Braith et al., 1993
Anfänger	Gottlob, 2003a Reichel & Seibert, 1995 Zittlau, 2001
Rehabilitanden	Gottlob, 2003a Schmidtbleicher, 1998

Zu den bislang angeführten Aspekten zur Belastungsbestimmung kann zusammenfassend konstatiert werden, dass Anfangsbelastungen für ein zielgerichtetes Krafttraining meist aus Testleistungen abgeleitet werden, die aus internistischen und orthopädischen Gründen problematisch sind (1RM) und/oder mittels Verfahren ermittelt werden, die nicht den gängigen Testgütekriterien entsprechen („trial and error“-Verfahren).

Unter diesen Gesichtspunkten und der Zielsetzung, möglichst ökonomisch eine Anfangslast bzw. eine trainingswirksame Last anzuordnen zu können, wenden einige Autoren testunabhängige Verfahren an. Diese Verfahren basieren auf der grundsätzlich naheliegenden Annahme einer engen Beziehung zwischen anthropometrischen Merkmalen und Kraftleistungen (De Marées, 2002; Hollmann & Hettinger, 2000; Tittel & Wutscherk, 1994).

Anhand des Ausprägungsgrades anthropometrischer Merkmale werden hierbei unter Verzicht kraftdiagnostischer Testverfahren Anfangslasten vorhergesagt, die als Be-

zugsgröße zur Festlegung einer trainingswirksamen Last dienen. Bisherige Verfahren beziehen sich jedoch nur auf die Vorhersage des 1RM, so dass die Anfangslast erst über einen Zwischenschritt ermittelt werden kann, der aus zweierlei Gründen problematisch ist:

1. Die Bestimmung des 1RM auf der Basis anthropometrischer Parameter gelingt nur unzureichend, da immer ein hoher Anteil unaufgeklärter Varianz verbleibt (vgl. Kap. 4).
2. Der Zusammenhang zwischen deduzierter Intensität und anpassungsrelevanten Beanspruchungen ist nicht bekannt (vgl. Kap. 2.3).

Insofern stellt das 1RM, wie im Folgenden dargelegt wird, auch bei testunabhängigen Verfahren eine problematische Bezugsgröße für die Belastungsdosierung im fitnessorientierten Krafttraining dar.

4 Belastungsbestimmung auf der Grundlage anthropometrischer Merkmale

Einen Überblick mehrerer empirischer Studien zur Vorhersage des 1RM mittels anthropometrischer Parameter zeigt Tabelle 19.

Tab. 19. Empirische Studien zur Vorhersage des 1RM mittels anthropometrischer Parameter

Autoren	Probanden	Übungen	Anthropometrische Prädiktoren	R / SEE
Bale et al., 1994	143 football players (85 High school players, 58 College players)	Bench press (BP), deadlift	Somatotype (ektomorph, mesomorph, endomorph), %fat, body mass (BM), FFM	<u>Bench Press:</u> High school: R = 0.66 (BM, endo, meso) SEE = 16 kg College: R = 0.80 (FFM, endo, meso, ekto) SEE = 14,5 kg
Cummings & Finn, 1998	57 untrained women	Free weight bench press	Upper arm circumference (UAC), height, body mass, arm length	R = 0.47 (UAC) SEE = 2,34 kg
Mayhew, Piper et al., 1993	58 college football players	Bench press, squat, deadlift	Upper arm and thigh cross-sectional area (CSA), leg length ratio, body mass, %fat, height, lean body mass (LBM), upper arm and thigh circumference, leg length, BMI	<u>Bench press:</u> R = 0.87 (arm CSA, BMI, %fat) SEE = 12,1 kg <u>Squat:</u> R = 0.74 (arm CSA, leg ratio, %fat) SEE = 23,9 kg
Kravitz, Akalan, Nowicki & Kinzey, 2003	18 elite male high-school powerlifters	Bench press, squat, deadlift	height, weight, chest circumference	Keine signifikanten strukturellen Prädiktoren
Hart et al., 1991	54 moderately trained men	Free weight bench press	Upper arm CSA, LBM, upper arm length, percent fat	R = 0.79 (alle außer %Fett, mit Alter) SEE = 13,8 kg
Ghena et al., 1991	80 male college athletes	Isokinetic knee extension and flexion (60°/120°/300°/450° pro sec)	Thigh CSA, LBM, BM, total leg length (TLL), lower leg length	120° R = 0.80 SEE = 19 Nm (extension: CSA, height, LBM) SEE = 11,3 Nm (flexion: CSA, TLL, body mass)

R = Multipler Korrelationskoeffizient; SEE = Standard error of estimate (Standardschätzfehler)

Die regressionsanalytisch gewonnen Daten zeigen, dass von mittleren bis guten Zusammenhängen ($R = 0.47$ bis $R = 0.87$) zwischen anthropometrischen Parametern und dem 1RM ausgegangen werden kann. Somit tragen anthropometrische Parameter zu 22 bis 76% zur Varianzaufklärung der 1RM-Werte bei. Dies bedeutet, dass auf

der Basis dieser Variablen bis zu drei Viertel der Ausprägung des 1RM vorhergesagt werden kann. Andererseits bedeutet dies aber auch, dass mindestens ein Viertel der Varianz nicht aufgeklärt wird. Der überwiegend sehr hohe Standardschätzfehler als Gütemaßstab der Regression verdeutlicht die große Streubreite bei der Abschätzung des 1RM, was im Rahmen der deduktiven Beanspruchungsermittlung dazu führt, dass eine gezielte Trainingssteuerung kaum möglich ist.

Hinsichtlich der grundsätzlichen Anwendbarkeit von Anthropometrie im Zusammenhang mit „Kraft-Studien“ halten Kroll et al. (1990) fest:

„Because of the accepted relationship between muscle cross-sectional area and strength, the use of anthropometric measures in strength studies seems logical.” (Kroll et al., 1990, 5)

Anthropometrische Parameter wie CSA (cross-sectional area = Muskelquerschnittsfläche), Körpergewicht und fettfreie Masse scheinen auf der Basis hoher Korrelationen mit der Maximalkraft generell den größten Beitrag zur Varianzaufklärung zu leisten. So konnten Hart et al. (1991) mit dem Prädiktor Oberarm-CSA 42,1% der Varianz des 1RM Bankdrücken mit freien Gewichten aufklären, LBM (lean body mass = engl. Bezeichnung für die fettfreie Masse) erklärte 36,6% der Varianz und die Oberarmlänge dagegen nur 14,4%. Auch in der Studie von Ghena et al. (1991) war zur Vorhersage der isokinetischen Maximalkraft bei einer Beinextension sowie -flexion mit vier unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Parameter Oberschenkel-CSA der dominante Prädiktor. Die Autoren konstatierten:

“[...] it is interesting to note that size components remained major factors determining torque production.” (Ghena et al., 1991, 191)

Körpergewicht und fettfreie Masse wurden in der Untersuchung von Bale et al. (1994) als dominante Faktoren zur Vorhersage der bekannten Varianz (s. Tab. 19) des 1RM im Bankdrücken und Kreuzheben identifiziert. Das Körpergewicht nahm bei beiden Übungen Einfluss auf 74% der bekannten Varianz, wenn es allein mit Konstitutionsvariablen in Betracht gezogen wurde. Wurde stattdessen die fettfreie Masse in die Regressionsanalyse mit einbezogen, lieferte dieser Parameter für das Bankdrücken 72% und für das Kreuzheben sogar 91% Aufklärung der bekannten Varianz. Mayhew, Piper et al. (1993) fanden heraus, dass Oberarm-CSA innerhalb der Regressionsgleichung zu 47,2% zur Vorhersage der Maximalkraft im Bankdrücken beitrug, wohingegen beim Squat das Verhältnis der Beinlänge zur Gesamtkörperlänge („leg length ratio“) als immerhin signifikanter Prädiktor lediglich 19,2% der Varianz erklärte.

Mit der heuristischen Zielsetzung Normwerte für die isometrisch gemessene Maximalkraft der Rückenstrecker gesunder Männer und Frauen (N = 456) unterschiedlichen Alters (18-42 Jahre) zu finden, konnten Mannion et al. (1999) mit den Prädiktoren Körpergewicht und fettfreie Masse lediglich eine Vorhersagegenauigkeit von 41-46% (R = 0.64 bis 0.68) erzielen. Dennoch halten die Autoren die resultierenden Regressionsgleichungen für geeignet, „[...] to estimate the degree of impairment in back muscle strength“ (Mannion et al., 1999, 655).

Vor dem Hintergrund eines über 50%igen Anteils unaufgeklärter Varianz und dem daraus resultierenden hohen Standardschätzfehler wäre jedoch eine zuverlässige Ableitung von Trainingslasten kaum möglich.

Die Prädiktoren Körpergewicht und fettfreie Masse waren auch in der Studie von Kroll et al. (1990), auf der Basis zu niedriger und teils nicht signifikanter Zusammenhänge zur MVC beim Armstrecken bzw. Armbeugen, nicht in der Lage, allein für eine ausreichende Varianzaufklärung zu sorgen. Übungsspezifische, strukturelle anthropometrische Parameter wie Gliedmaßenlängen, -umfänge und -volumina in Verbindung mit oder ohne Körpergewicht produzierten höhere multiple Korrelationskoeffizienten. Mit Arm- und Segmentlängen sowie verschiedenen Schulter- u. Armumfängen als Prädiktoren wurde ein multipler Korrelationskoeffizient von R = .79 / SEE = 3.2 kg (Flexion, Männer) bis R = .87 / SEE = 1.8 kg (Extension, Frauen) nachgewiesen. Miteinbeziehen der Variable Körpergewicht erhöhte nur bei Flexion / Männer den Korrelationskoeffizienten auf R = .90 / SEE = 2.5 kg. Generell zeichnete sich in dieser Untersuchung mit 40 untrainierten Männern und Frauen ab, dass Gliedmaßenumfänge bessere Prädiktoren waren als Gliedmaßenlängen. Darüber hinaus war die Vorhersage mit Gliedmaßenlängen und -umfängen insgesamt genauer als mit Segmentvolumina, die mittels eines Wasserverdrängungsverfahrens ermittelt wurden. Die Autoren resümierten:

„As far as the results of this study are concerned, simple measures of limb girths and lengths, with and without body weight, are as good or better than segmental limb volume measures as predictors of elbow strength in females and males.“ (Kroll et al., 1990, 10-11)

Die Ergebnisse dieser Studie deuten ebenso wie die Beobachtungen von Mayhew, Piper et al. (1993) darauf hin, dass bei eingelenkigen Übungen bzw. Übungen mit einer geringeren Anzahl beteiligter Gelenke die Vorhersagegenauigkeit eher von „strukturellen Dimensionen“ wie regionales CSA und Gliedmaßenumfang optimiert wird, als von globalen Variablen wie Körpergewicht und BMI. Während beim Bankdrücken der Parameter Oberarm-CSA - in der Berechnung als alleinige unabhängige

Variable - 62% aufgeklärte Varianz erzeugte, so waren es beim Squat und beim Kreuzheben mit dem Parameter Oberschenkel-CSA lediglich 38% respektive 34%. Dagegen konnte der Prädiktor leg length ratio beim Squat 19,2% Varianz zusätzlich aufklären. Dies deutet auf einen großen Einfluss biomechanischer Aspekte bei mehrgelenkigen Übungen hin.

Die Untersuchungen von Kravitz et al. (2003) und Hortobagyi, Katch, Katch, LaChance & Behnke (1990) mit jeweils sehr homogenen Stichproben konnten im Gegensatz zu den bislang zitierten Studien keine signifikanten Zusammenhänge zwischen anthropometrischen Parametern und 1RM bzw. „peak force“ identifizieren.

Die Befunde zur Vorhersage des 1RM sind insgesamt uneinheitlich. Anthropometrische Merkmale erscheinen jedoch vor dem Hintergrund empirischer Ergebnisse mit hohen Varianzaufklärungen (vgl. Mayhew, Piper et al., 1993; Kroll et al., 1990) grundsätzlich geeignet, Beziehungen zu Kraftleistungen als testunabhängige Prädiktoren darzustellen.

Trotz aller empirisch belegter Vorbehalte gegenüber dem Verhältnis zwischen Last und Wiederholungszahl (vgl. Kap. 2.3.1) und der damit in Verbindung stehenden Problematik der Transferierbarkeit der 1RM-Last in die Wiederholungsbereiche (vgl. Kap. 2.3.2) sowie testtheoretischen Kritikpunkten im Rahmen kraftdiagnostischer Testverfahren (vgl. Kap. 3) wird überwiegend im angelsächsischen Sprachraum, basierend auf Submaximaltests, nach validen Prognoseformeln geforscht, die es erlauben, für eine spezifische Übung und ein spezifisches Kollektiv mit hinreichender Genauigkeit das 1RM vorherzusagen (Abadie & Wentworth, 2000; Berger, 1961; Braith et al., 1993; Brzycki, 1993; Chandler et al., 2001; Cummings & Finn, 1998; Kravitz et al., 2003; Mayhew, Ball & Arnold, 1989; Mayhew et al., 1995; Mayhew, Ware et al., 1993).

Die auf einem linearen Gleichungsmodell basierenden Prognoseformeln stützen auf der Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen %1RM und submaximalen Wiederholungen im Bereich von drei bis zehn Wiederholungen (Arnold, Mayhew, LeSeur & McCormick, 1995; Brzycki, 1993) sowie der Verwendung von submaximalen Wiederholungen oder/und der xRM-Last als unabhängige Variablen (Prädiktoren) für die Abschätzung des 1RM. LeSuer, McCormick, Mayhew, Wasserstein & Arnold (1997) haben die bekanntesten Prognoseformeln in einer Studie mit 67 untrainierten College Studenten evaluiert. Auch im Rahmen dieser Studie wurde auf die Standardübungen Bankdrücken, Kniebeuge und Kreuzheben zurückgegriffen. Im Ergebnis waren lediglich zwei Formeln dazu in der Lage, für das Bankdrücken 1RM-Werte

vorherzusagen, die sich nicht signifikant von den tatsächlichen 1RM-Werten unterschieden. Bei der Kniebeuge war dies nur mit einer Formel möglich und beim Kreuzheben scheiterten alle Formeln.

Bereits 1961 konnte Berger (1961) hohe Korrelationen von $r > .95$ zwischen 1RM, 5RM und 10RM nachweisen. Diese Untersuchung mit 94 moderat trainierten Studenten bei der Übung Bankdrücken war die Grundlage für eine große Anzahl Folgestudien verschiedenster Autorenkollektive.

Während die Varianzaufklärung bei Untrainierten (Abadie & Wentworth, 2000; Braith et al., 1993; Cummings & Finn, 1998; Mayhew et al., 1989) zwischen 64% und 89% liegt bzw. die Korrelation zwischen aktuellem 1RM und vorhergesagtem 1RM bei $r = .83$ bis $r = .94$, werden für Trainierte bessere Vorhersagewerte erzielt. In den Studien von Kravitz et al. (2003) und Chandler et al. (2001) mit männlichen hochtrainierten High-school Powerliftern ($N = 18$) respektive College Ballsportlern ($N = 93$) werden mit den Prädiktoren *submaximale Wiederholungen* und der entsprechenden *Gewichtslast* bei den Übungen Bankdrücken, Latziehen, Kniebeuge und Kreuzheben jeweils 98% Varianz aufgeklärt.

In der Regel wird die Vorhersage indes durch die Miteinbeziehung von anthropometrischen Parametern - oder Variablen wie Alter und Geschlecht - in die Gleichung optimiert (Cummings & Finn, 1998; Kuramoto & Payne, 1995; Rose & Ball, 1992).

In einer neueren Studie von Kemmler et al. (2005) wurde die Effektivität der in den USA üblichen maximalkraftorientierten Intensitätssteuerung, wobei die Maximallast auf der Basis einer Prognoseformel (Formel von O'Conner; zitiert nach Kemmler et al., 2005) ermittelt wurde (Lastvorgabe), im Vergleich zur in Deutschland vorherrschenden Methode der befindlichkeitsbezogenen Belastungssteuerung im gesundheitssportlichen Krafttraining überprüft. Die Autoren untersuchten den Effekt eines jeweils 12-wöchigen Krafttrainings (2TE/Woche) mit Lastvorgabe versus eines Trainings mit subjektiver Intensitätswahl auf die dynamische Maximalkraft (1RM) bei 67 postmenopausalen Frauen mit Trainingserfahrung im Cross-over-Design. Die Belastungsintensität orientierte sich am Lastvorgabeprotokoll und variierte periodisiert zwischen 65 bis 92,5% des 1RM bei elf Übungen an Kraftgeräten und drei Übungen mit freiem Gewicht. Die per O'Conner Formel entsprechend zugeordneten Wiederholungszahlen wurden im subjektiven Intensitätsprotokoll übernommen und führten auch dort zur Ausbelastung. Es zeigt sich eine lediglich tendenzielle Überlegenheit des Lastvorgabeprotokolls im Hinblick auf die prozentuale Verbesserung der 1RM-Werte aller vier in dieser Veröffentlichung dargestellten Übungen. Obwohl beide Strategien geeignet erschienen, die Intensität zu steuern, berichten die Autoren über je-

weilige spezifische Defizite. Im Rahmen der subjektiven Belastungswahl waren die Teilnehmerinnen trotz Trainingserfahrung besonders im höheren Intensitätsbereich im ersten Trainingssatz oft nicht in der Lage, eine angemessen hohe Last zuzuordnen, da wenige Wiederholungen bei hoher Intensität wahrscheinlich als beanspruchender empfunden wurden. Bei der Methode mit Lastvorgabe wird vor allem der erhöhte messtechnische und rechnerische Aufwand kritisiert. Dieser Aufwand resultiert aus den xRM-Tests und der Berechnung der Last über die 1RM-Werte für die jeweilige Übung und der jeweiligen Trainingseinheit unter Berücksichtigung der Trainingsperiodisierung und des Leistungszuwachses. Implizit gehen die Autoren davon aus, dass mit xRM-Tests über zahlreiche in der Literatur vorhandene Berechnungsformeln bzw. Algorithmen das 1RM mit hinreichender Genauigkeit berechnet sowie, ausgehend von diesem Bezugswert, die Last in den Wiederholungsbereichen bestimmt werden könne. Dabei existiere eine große Anzahl von Algorithmen, welche sich spezifisch auf Geräte, Gerätegruppen, die Bewegungsgeschwindigkeit sowie unterschiedliche Kollektive (Alter, Geschlecht, Trainingszustand) beziehen.

Bezüglich der Zuverlässigkeit dieser Prognoseformeln wird auf die bereits zitierte Studie von LeSuer et al. (1997) verwiesen. Die Problematik der Transferierbarkeit der 1RM-Last in die Wiederholungsbereiche wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit eingehend erläutert. Dies zeigte sich in der Studie von Kemmler et al. (2005) u. a. darin, dass bei ca. 20% der Probanden die Lastvorgabe zu leicht oder zu schwer (subjektive Beurteilung; vgl. Kemmler et al., 2005, 167) und somit nicht adäquat war. Des Weiteren basiert die Lastermittlung auf sportmotorischen xRM-Tests, die, wie beschrieben, testtheoretischen Kriterien entsprechen müssen, sofern sie reliable und valide Ergebnisse produzieren sollen. Insofern ist zu bezweifeln, dass die Methode der Lastvorgabe, wie die Autoren resümierend feststellen, "eine sinnvolle und machbare Alternative zur subjektiven Intensitätswahl" (Kemmler et al., 2005, 170) darstellt.

Der Zusammenhang von 1RM und Wiederholungszahlen im submaximalen Bereich ist insgesamt gesehen zu gering, so dass das 1RM als Bezugsgröße im Rahmen testunabhängiger Verfahren zur Belastungsbestimmung ineffizient ist.

Einen völlig anderen Weg das 1RM vorherzusagen, wählen einige Autoren, indem sie Übungen mit dem eigenen Körpergewicht, die einen biomechanischen Bezug zur Kriteriumsübung haben, als Prädiktoren nutzen. So werden Liegestütze (Dean, Foster & Thompson, 1987; Hart, Ward, Mayhew & Ball, 1990; Mayhew, Ball, Arnold & Bowen, 1991) und Dips (Ball, Mayhew & Bowen, 1995) zur Abschätzung des 1RM-Bankdrücken und Klimmzüge (Chandler et al., 2001; Chandler, West, Larkin, Crady

& Mayhew, 1995) zur Abschätzung des 1RM-Latziehen in Betracht gezogen. Die Problematik der Standardisierung von Testübungen mit dem eigenen Körpergewicht (Radlinger et al., 1998) sowie eine aus koordinativer als auch metabolischer Sicht wohl doch zu geringe Spezifik zur Kriteriumsübung spiegelt sich in nur mittleren Varianzaufklärungen zwischen 50% und 67% wieder. Ball et al. (1995) erreichten eine Varianzaufklärung von 67% jedoch nur unter Hinzunahme der Variable Körpergewicht in das Regressionsmodell. Dennoch erlaubt ein Standardschätzfehler von immer noch 11,5 kg weder eine genaue noch eine praktikable Abschätzung des 1RM im Bankdrücken. Lediglich Dean et al. (1987) konnten mit dem Prädiktor *Anzahl Klimmzüge (PU) x Körpergewicht (kg) (PU*kg)* eine bessere Vorhersage (74%) erzielen, die aber unter Vorbehalt interpretiert werden muss, da laut Hart et al. (1990) in der Studie von Dean et al. (1987) sich auch weibliche Probanden befanden. Eine heterogene Stichprobe erhöhe die Korrelation zwischen Prädiktor und Kriterium.

Eine weitere Variante zur Vorhersage des 1RM basiert auf der Herleitung der Maximallast einer Übung mit freien Gewichten mittels der Maximallast der identischen maschinell geführten Übung und vice versa. Dieses Verfahren wäre beispielsweise dann von Vorteil, wenn im Rahmen der Periodisierung zwischen Übungsvarianten gewechselt wird oder beim Übergang vom Anfänger- zum Fortgeschrittenentraining vermehrt mit freien Gewichten trainiert werden soll. Simpson et al. (1997) untersuchten bei 124 Frauen und Männern unterschiedlichen Trainingszustandes die Genauigkeit der Vorhersagen des 1RM-Bankdrücken frei mit dem 1RM-Bankdrücken maschinell und vice versa sowie des 1RM-Kniebeugen frei mit dem 1RM-Beinpresse und vice versa. Aufgrund der größeren biomechanischen Identität der Bankdrück-Übungen konnte bei beiden Geschlechtern eine sehr gute Abschätzung der jeweiligen Varianten erfolgen (89-93%), wobei nur bei den Frauen das Körpergewicht als zusätzlicher signifikanter Prädiktor bei allen vier Übungen identifiziert wurde. Die Varianzaufklärung der Beinübungen lag geschlechterübergreifend im Bereich zwischen 44 und 63%. Bei den Frauen gelang die Vorhersage etwas besser, was die Autoren darauf zurückführen, dass

„[...] lean body mass and the relative distribution of muscle and subcutaneous fat in the various parts of the body can explain why body mass reached significance in female equations.“ (Simpson et al., 1997, 106)

Da der multiple Korrelationskoeffizient insbesondere bei der Berechnung des 1RM-Beinpresse infolge der Prädiktorvariablen Körpergewicht deutlich höher ausfiel (+12%), schlussfolgern die Autoren, dass die Miteinbeziehung der Variable Körpergewicht in Regressionsgleichungen für Übungen der unteren Extremität, im Gegen-

satz zu Oberkörperübungen, gerade bei Frauen die Genauigkeit der Vorhersage verbessere.

Die empirischen Befunde zur regressionsanalytischen Belastungsbestimmung zeigen, dass eine hinreichend genaue Vorhersage des 1RM basierend auf anthropometrischen Parametern ohne die Hinzunahme weiterer testabhängiger Prädiktoren nicht möglich ist. Auch wenn das 1RM mit hoher Genauigkeit vorhergesagt werden könnte, das zentrale methodische Problem der Transferierbarkeit der abgeschätzten Maximallast in die Wiederholungsbereiche bliebe bestehen (vgl. Kap. 2.3.1). Damit scheitert die deduktive Beanspruchungsermittlung an zwei zentralen Aspekten:

1. der Zusammenhang zwischen anthropometrischen Parametern und dem 1RM ist zu gering;
2. der Zusammenhang zwischen dem 1RM und deduzierten submaximalen Intensitäten ist zu gering.

Die bereits in der Einleitung beschriebenen Studien von Walsworth et al. (1998) sowie Willardson & Bressel (2004) verdeutlichen einen neuen Ansatz, indem sie versuchen, ohne Umwege über das 1RM, direkt eine trainingswirksame Last regressionsanalytisch zu bestimmen. Jedoch gelingt dieses Vorhaben nur unter Verwendung weiterer auf Tests basierender Prädiktoren, wie MVC (Walsworth et al., 1998) oder xRM einer bewegungsverwandten Übung (Willardson & Bressel, 2004).

Dagegen verfolgt der Ansatz in der vorliegenden Arbeit, *testunabhängige* Kriterien zu identifizieren, die es erlauben, Krafttrainingsanfänger entsprechend der Zielsetzung ihres Krafttrainings zu belasten.

Aus trainingsmethodischer Sicht handelt es sich hierbei um die Entwicklung eines testunabhängigen Verfahrens der induktiven Beanspruchungsermittlung, wobei einerseits die testmethodischen Vorbehalte (trial and error, hoher Zeitansatz) nicht greifen und andererseits die individuellen Voraussetzungen des Anfängers (anthropometrische Parameter) berücksichtigt werden.

Zum Zusammenhang zwischen anthropometrischen Parametern und Kraftleistungen lassen sich folgende empirische Ergebnisse subsumieren:

- Hinreichende Vorhersagen von Mehrwiederholungsmaxima konnten bislang nur unter Hinzunahme weiterer testbasierter Prädiktoren (MVC, bewegungsverwandte Übung) nachgewiesen werden.

- Nur wenige Studien beschäftigen sich mit der Zielsetzung, eine spezifische Trainingslast (z.B. 10RM) direkt zu bestimmen (Walsworth et al., 1998; Willardson & Bressel, 2004).
- Die Vorhersagen der konzentrischen Maximalkraft zur Quantifizierung von Anfangsbelastungen sind insgesamt unzureichend.
- Die Varianzaufklärungen der konzentrischen Maximalkraft bewegen sich zwischen 17% und 75%, wobei unterschiedliche Probandenpools und unterschiedliche Prädiktorsätze bei identischen Trainingsübungen zu völlig unterschiedlichen Vorhersagen führen.
- Prädiktoren, wie Gliedmaßenumfänge und CSA, mit deren Kenntnis die regionale, übungsspezifische Muskulatur abgeschätzt werden kann, tragen in hohem Maße zur Varianzaufklärung bei (Hart et al., 1991; Kroll et al., 1990; Mayhew, Piper et al., 1993).
- Die aktuelle Befundlage erlaubt keine klare Zuordnung von spezifischen Prädiktoren für ein-, zwei- oder mehrgelenkige Übungen.

5 Fragestellungen und Zielstellungen

Der in der vorliegenden Arbeit verfolgte Ansatz orientiert sich an der bereits von Walsworth et al. (1998) formulierten Zielsetzung:

„Determining the appropriate starting resistance has traditionally been a trial-and-error procedure. Therefore, developing an expedient method of estimating the correct starting resistance may lead to a more accurate exercise prescription.” (Walsworth et al., 1998, 97)

Es wird der Versuch unternommen, die aufgezeigten Probleme bisheriger Ansätze in folgenden Punkten zu überwinden:

- (1) Entwicklung eines testunabhängigen Verfahrens zur Bestimmung einer trainingsrelevanten Last für das Krafttraining.
- (2) Verzicht auf das 1RM als Bezugsgröße für die Bestimmung von Trainingslasten.
- (3) Ermittlung möglichst einfach handhabbarer Prädiktoren zur Bestimmung einer Trainingslast für das hypertrophieorientierte Krafttraining mit Anfängern.

Die Anthropometrie erscheint im Hinblick auf die bestehenden Zusammenhänge zwischen morphologisch-biomechanischen Einflussgrößen und der Kraftfähigkeit geeignet, im Rahmen eines regressionsanalytischen Ansatzes als unabhängige Variable eine gut begründete Vermutung über den Ausprägungsgrad dynamischer Kraftmaxima zuzulassen (vgl. De Marées, 2002; Edman, 1994; Ghena et al., 1991; Gollhofer et al., 2003; Gottlob, 2003a; Hart et al., 1991; Hay, 1994; Heinold, 1995; Heyward et al., 1986; Hollmann & Hettinger, 2000; Huijing, 1994; Kroll et al., 1990; Mannion et al., 1999; Mayhew, Piper et al., 1993; Newham, 1988; Tittel & Wutscherk, 1994; Wiemann, Klee & Startmann, 1998; Wilson, Murphy & Pryor, 1994; Zatsiorsky, 1996).

Fast alle bisher vorliegenden Ansätze (vgl. Tab. 19) verwenden das geschätzte 1RM als Grundlage zur Bestimmung der Trainingslast für ein Hypertrophietraining. Nimmt man als relevante Trainingslast für diesen Bereich ein 12RM an, dann liegen auch hier empirische Daten vor, die das 12RM im Bereich von 70 - 75% des 1RM ansiedeln (z.B. Debra, 2002). Führt man auf dieser Datengrundlage eine Berechnung der Korrelationen von anthropometrischen Merkmalen (hier Quetelet-Index), 1RM und 12RM durch, dann lassen sich die jeweiligen Vorhersagegenauigkeiten bestimmen.

Für N=81 und die Kraftübung Bankdrücken ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Zusammenhänge:

Tab. 20: Zusammenhang zwischen Quetelet-Index, 1RM und 12RM beim Bankdrücken

		Quet	Bank1RM	Bank12RM
Quet	Korrelation nach Pearson	1	,628(**)	,526(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000
	N	81	81	81
Bank1RM	Korrelation nach Pearson	,628(**)	1	,745(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000		,000
	N	81	81	81
Bank12RM	Korrelation nach Pearson	,526(**)	,745(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	
	N	81	81	81

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Die Varianzaufklärung bei der Vorhersage des 1RM aus dem Quetelet-Index kann damit auf ca. 40% eingeschätzt werden. Wird aus dem 1RM das 12RM vorhergesagt, kann mit einer Varianzaufklärung von ca. 55% gerechnet werden. Es ergibt sich daraus eine Gesamtvarianzaufklärung für das 12RM aus dem 1RM * Quetelet-Index ($0,4 * 0,55$) von ca. 22%. Eine direkte Vorhersage des 12RM aus dem Quetelet-Index führt zu ca. 28% aufgeklärter Varianz. Damit lässt sich zunächst zeigen, dass eine direkte Vorhersage des 12RM auf der Grundlage eines anthropometrischen Merkmals eine bessere Schätzung ermöglicht, als dies auf dem Umweg über das 1RM möglich wäre. Gelingt es mit dem in dieser Arbeit verfolgten Ansatz, diese Werte zu übertreffen und bessere Prädiktoren zu identifizieren, würde dies zu einer effizienteren Bestimmung von trainingsrelevanten Lasten führen.

Untersuchungsteilziel 1 (Querschnittsuntersuchungen – Exploration):

Insofern ist es angebracht, eine Untersuchung mit explorativem Charakter durchzuführen, mit dem Ziel der Identifizierung von anthropometrischen Parametern, die allein oder in Kombination miteinander in der Lage sind, Ein- und Mehrwiederholungsmaxima von Krafttrainingsanfängern an handelsüblichen Trainingsgeräten mit hinreichender Zuverlässigkeit vorherzusagen. Dabei soll sich die Vorhersage der Mehrwiederholungsmaxima an einer Belastung orientieren, die zu physiologischen und

mechanischen Beanspruchungen führt, die eine Muskelhypertrophie induzieren (12RM).

Aus zahlreichen Studien (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999; Fröhlich & Schmidtbleicher, 2003; Hoeger et al., 1987; Hoeger et al., 1990; Marschall & Fröhlich, 1999) ist bekannt, dass die Intensität der Trainingslast u. a. von der Anzahl der Gelenke und der Größe der an einer Kraftübung beteiligten Muskulatur abhängt (vgl. Tab. 5, Kap. 2.1.3.1). Aus diesem Grund soll die Gesamtuntersuchung, untergliedert in mehrere Teilstudien, exemplarisch an einer Beinpresse (mehrgelenkig; *LEG PRESS VERTICAL*), dem Bankdrücken und Latissimuszug (zweigelenkig; *CHEST PRESS, LAT PULL*) sowie dem Trizeps-Curl (eingelenkig - obere Extremität; *TRICEPS EXTENSION*) und dem Beinstrecken (eingelenkig - untere Extremität; *LEG EXTENSION*) durchgeführt werden.

Aufgrund der empirischen Befunde zu den Zusammenhängen zwischen anthropometrischen Merkmalen und 1RM ist zu erwarten, dass bei den mehrgelenkigen Kraftübungen eher globale anthropometrische Parameter (Körpergewicht und Indices) die dominierende Rolle bei der Vorhersage der Kraftleistungen spielen. Im Gegensatz dazu ist davon auszugehen, dass „strukturelle Dimensionen“ (Mayhew, Piper et al., 1993; fettfreie Masse u. Umfänge, Gliedmaßenlängen, Segmentlängen) bei zweigelenkigen und insbesondere bei eingelenkigen Übungen die beste Prognose ermöglichen:

- Schätzungen der regionalen, übungsspezifischen Muskulatur auf der Basis von Extremitätenumfängen und CSA stellen beim Bankdrücken (Hart et al., 1991) als auch beim Beinstrecken u. -beugen (Ghena et al., 1991) den größten Anteil der bekannten Varianz.
- Umfangsmaße in Verbindung mit Segmentlängen führten in der Studie von Kroll et al. (1990) beim Armstrecken u. -beugen zu einer Varianzaufklärung von 62% - 75% der MVC.
- Der Oberarmumfang wurde auch in der Studie von Cummings & Finn (1998) als dominanter Prädiktor beim freien Bankdrücken präsentiert.
- Bei komplexen, mehrgelenkigen Bewegungen, wie der Kniebeuge, konnten Umfangsmaße keinen wesentlichen Beitrag zur Varianzaufklärung leisten (Hortobagyi et al., 1990), während in der Untersuchung von Bale et al. (1994) allein die Variable Körpergewicht 74% der Kriteriumsvarianz erklärte.
- Mayhew et al. (1993) kamen zum Ergebnis, dass bei mehrgelenkigen Übungen zuverlässige Vorhersagen nur unter Miteinbezug von einem Index (BMI) oder Körpersegmentlängen („leg length ratio“) möglich waren.

- Kraftfähigkeiten bei mehrgelenkigen Übungen scheinen aufgrund größerer koordinativer Anforderungen besser erklärbar, wenn der Ausprägungsgrad von Parametern bekannt ist, die biomechanische Aspekte (wie z.B. Hebelverhältnisse) beinhalten.
- Bei Übungen mit einer großen Anzahl beteiligter Gelenke scheint die absolute Körpermasse (Körpergewicht) entscheidender zu sein als Schätzungen der übungsspezifischen Muskelmasse auf der Basis von fettfreier Masse und Umfängen.
- Bei geringeren koordinativen Anforderungen (ein- u. zweigelenkige Übungen) sollten beim Vorliegen struktureller Informationen, wie z.B. der lokalen Muskelmasse, die besten Vorhersagen gelingen.
- Der Parameter fettfreie Masse scheint in Kombination mit Umfangsmessungen geeignet, Kraftunterschiede bei Untrainierten zu erklären (Heyward et al., 1986).

Untersuchungsteilziel 2 (Querschnittsuntersuchung – Evaluation):

Bei multiplen regressionsanalytischen Ansätzen wird das statistische Verfahren der Kreuzvalidierung angewendet, um eine stichprobenspezifische Überschätzung der gewonnenen Regressionsgleichungen aufzudecken (Köller & Gehrke, 1999). Voraussetzung für dieses Verfahren sind ausreichend große Stichproben. Da die Stichproben der einzelnen Querschnittsuntersuchungen relativ klein sind, wird neben der Kreuzvalidierung zusätzlich ein empirischer Weg beschritten, die Ergebnisse der explorativen Studie zu validieren (= „empirische Kreuzvalidierung“).

Die Untersuchungsergebnisse werden deshalb innerhalb einer weiteren Querschnittsuntersuchung evaluiert, um der Frage nachzugehen, ob die gefundenen Prädiktoren empirisch abgesichert werden können.

Untersuchungsteilziel 3 (Längsschnittuntersuchung – Exploration):

Abschließend soll die Frage erörtert werden, ob die empirisch ermittelte Anfangsbelastung und die daraus resultierende Trainingslast bei Krafttrainingsanfängern in Verbindung mit subjektiver Belastungseinschätzung im Hinblick auf die Veränderung motorischer und anthropometrischer Parameter innerhalb einer Trainingsphase zuverlässig und adaptationswirksam ist.

6 Methodik

Die Gesamtuntersuchung gliedert sich in vier Querschnittsuntersuchungen und eine Längsschnittuntersuchung. Die Trainingsstudie hat infolge der geringen Stichprobengröße lediglich deskriptiven Charakter und soll demzufolge erst im Rahmen der Ergebnisdarstellung (s. Kap. 7.5) vorgestellt werden.

6.1 Personenstichprobe

An den Querschnittsuntersuchungen nahmen insgesamt 132 Probanden teil. 69 Probanden rekrutierten sich aus Grundwehrdienstleistenden, Berufs- und Zeitsoldaten der Hessenkaserne in Stadtallendorf (Oberhessen). 63 Probanden, davon 30 Frauen, rekrutierten sich in der Mehrzahl aus Studierenden des Sportwissenschaftlichen Institutes der Universität des Saarlandes in Saarbrücken.

Voraussetzung zur Teilnahme an den Untersuchungen waren keine oder nur geringe, mindestens zwei Jahre zurückliegende Erfahrungen im gerätegestützten Krafttraining bzw. Krafttraining mit freien Gewichten.

Ausschlusskriterium war somit ein über mehrere Monate, regelmäßig durchgeführtes Krafttraining, aber auch ein sportartspezifisches Krafttraining, welches die Zielsetzung verfolgt, dass einzelne, in den entsprechenden Teilstudien überprüfte, Muskelpartien hypertrophieren oder das vorhandene Muskelpotenzial besser ausgenutzt wird (intramuskuläre Koordination). Darüberhinaus wurden diejenigen Probanden von der weiteren Teilnahme an den Tests ausgeschlossen, bei denen latente orthopädische Beschwerden während der Testphase manifest wurden, infolge der Testapplikation erstmalig Beschwerden auftraten oder sonstige Verletzungen die muskel- und neurophysiologisch möglichen Kraftleistungen beeinflussen könnten.

Die Probanden durften jedoch während der zweiwöchigen Testphase in üblicher Weise ihrer freizeitsportlichen Betätigung, ihrem Dienstsport sowie ihren sportpraktischen Studienfächern nachgehen.

Die Teilnahme an den Studien erfolgte auch bei den Soldaten, die im Rahmen der Allgemeinen Sportausbildung, also während des Dienstes teilnehmen konnten, auf freiwilliger Basis und ohne finanzielle Vergütung.

Größtenteils handelte es sich innerhalb der Bundeswehrstichproben um Grundwehrdienstleistende im Alter zwischen 18 bis 25 Jahren. Die Untersuchungen wurden während oder kurz nach der Allgemeinen Grundausbildung (dreimonatige militärische Ausbildung zu Beginn des Grundwehrdienstes) durchgeführt.

Obwohl entsprechende Weisungen, Befehle und Dienstvorschriften explizit die regelmäßige, soldatische Sportausbildung mit quantitativer Gleichgewichtung von Ausdauer-, Kraftausdauer- und Koordinationstraining fordern, wird Sport im Allgemeinen zu unregelmäßig, zu wenig zielorientiert und dominant ausdauerorientiert durchgeführt, so dass auch bei den Zeit- und Berufssoldaten *nicht* von einer überdurchschnittlich hohen körperlichen Leistungsfähigkeit, insbesondere im Bereich der Kraftfähigkeit auszugehen ist.

6.2 Testvariablen

Im Zusammenhang mit dem verwendeten statistischen Auswertungsverfahren der multiplen Regressionsanalyse (vgl. Kap. 6.6) wird die abhängige Variable als Kriteriumsvariable und die unabhängige Variable als Prädiktorvariable (Köller & Gehrke, 1999) bezeichnet. Die Kriteriumsvariablen entsprechen den erfassten Kraftleistungen mit Ausnahme der isometrischen Maximalkraft. Der Ausprägungsgrad der unabhängigen Variablen soll auf der Basis signifikant hoher Zusammenhänge zwischen Kriteriums- und Prädiktorvariablen eine möglichst genaue Abschätzung der abhängigen Variablen ermöglichen.

Die Dateneingabe und Datenauswertung erfolgte mit der Statistiksoftware SPSS.

6.2.1 Kriteriumsvariablen

Als Kriteriumsvariable wurde an allen Trainingsmaschinen das **12RM** oder Zwölf-Wiederholungs-Maximum erfasst. Damit wurde eine Last angesteuert, die unter größtmöglichem volitivem Einsatz gerade noch die zwölfte, aber nicht mehr die dreizehnte Wiederholung zuließ. Diese Last entspricht einer typischen Belastungsintensität für ein hypertrophieorientiertes Krafttraining im Fitness-Studio.

Als weitere Kriteriumsvariable wurde an allen Trainingsmaschinen, mit Ausnahme der LEG PRESS HORIZONTAL, das **1RM** erhoben. Das 1RM oder Ein-Wiederholungs-Maximum entspricht der Last, die bei größtmöglicher Motivation gerade noch einmal konzentrisch bewegt werden kann.

Das 1RM dient in der vorliegenden Arbeit als Kontrollgröße zur Quantifizierung der aufgeklärten Varianz im Rahmen der testunabhängigen deduktiven Belastungsbestimmung im Vergleich zur testunabhängigen induktiven Variante über das 12RM.

6.2.2 Prädiktorvariablen

Die Auswahl der Prädiktorvariablen basierte

1. auf den bestehenden Zusammenhängen zwischen physiologischen Voraussetzungen und Krafterleistungen (meist 1RM):
 - Bei zunehmender Körperhöhe steigt die Körpermasse in der dritten und die Muskelkraft in der zweiten Potenz (Tittel & Wutscherk, 1994).
 - Nach (Hollmann & Hettinger, 2000) ist bei Personen mit normaler Körperzusammensetzung die maximale Muskelkraft aller Muskelgruppen umso größer, je größer das Körpergewicht ist.
 - Lineare Beziehung zwischen Körperlänge und Körpermasse bzw. Maximalkraft für eine untrainierte Population (Tittel & Wutscherk, 1994).
 - Anthropometrische Indizes, als Maß der Körperfülle (Schnabel & Harre et al., 2003), berücksichtigen sowohl die Körperlänge als auch die Körpermasse.
 - Zusammenhang zwischen fettfreier Masse und Muskelkraft höher als zwischen Körpergewicht und Muskelkraft (Hollmann & Hettinger, 2000);
 - Indizes mit fettfreier Masse sollten demzufolge Kraftfähigkeiten besser abbilden als Indizes mit Körpergewicht.
 - Mittlere bis hohe Korrelationen zwischen LBM („lean body mass“) sowie Oberarmumfang und 1RM beim Bankdrücken (Mayhew, Piper et al., 1993).
 - Hohe mittlere Korrelation zwischen Körpergewicht und Bankdrücken (Hart et al., 1991).
 - Hohe mittlere Korrelation zwischen Körpergewicht und einer eingelenkigen Übung, dem Armbeugen (Kroll et al., 1990).
 - Nicht signifikanter Zusammenhang zwischen Armlänge und 1RM Bankdrücken bei Cummings & Finn (1998).
 - Das „Bein-Längen-Verhältnis“ („leg length ratio“) als signifikanter Prädiktor des 1RM an der Kniebeuge (Mayhew, Piper et al., 1993).
 - BMI als signifikanter Prädiktor beim Bankdrücken (Mayhew, Piper et al., 1993).
 - Die Beinlänge als signifikanter Prädiktor bei einer isokinetischen Beinflexion (Ghena et al., 1991).
 - Geringe Zusammenhänge zwischen Alter und Ein- oder Mehrwiederholungsmaxima verschiedener Übungen (Hart et al., 1991; Mayhew, Piper et al., 1993; Walsworth et al., 1998).

2. der Berücksichtigung und Relevanz in empirischen Untersuchungen hinsichtlich der Vorhersage von Kraftleistungen (1RM, MVC) mit anthropometrischen Parametern:
 - Umfangsmaße in Verbindung mit Segmentlängen konnten beim Bankdrücken als auch beim Armstrecken und -beugen als dominante Prädiktoren nachgewiesen werden (Cummings & Finn, 1998; Kroll et al., 1990).
 - Die Variablen Körpergewicht und fettfreie Masse konnten in der Untersuchung von Bale et al. (1994) beim Bankdrücken und Kreuzheben sowie in der Untersuchung von Mannion et al. (1999) für die Übung Rückenstrecken den größten Varianzanteil erklären.
 - Bei Mayhew et al. (1993) ermöglichte beim Bankdrücken, Squat u. Kreuzheben die Miteinbeziehung der Variablen BMI und Körpersegmentlängen in die Regressionsgleichungen die beste Vorhersage.

3. der Praktikabilität und Pragmatik der Anwendbarkeit im Rahmen von Eingangsuntersuchungen in Fitness-Studios:
 - Nach Voigt & Böning (1998) werden hierbei u. a. der Körperfettanteil erfasst und die submaximale Ausdauerleistungsfähigkeit (PWC-Test) getestet.
 - Die Erfassung von Körpergröße, Körpergewicht, Extremitätenlängen und -umfängen ist gleichermaßen mit geringem organisatorischem, finanziellem und personellem Aufwand möglich.

Die Selektion der einzelnen Prädiktoren in Abhängigkeit von den Übungen (vgl. Tab. 21) erfolgte aufgrund hoher Multikollinearität a priori durch eine theoriegeleitete Auswahl (Leonhart, 2004). Die auf diese Weise herausgefilterten Prädiktoren wurden dann in die schrittweise Regression eingebracht.

Die Prädiktorvariablen im Überblick:

(die anthropometrischen Messverfahren werden in Kapitel 6.5.4 beschrieben)

Allgemeine Prädiktoren:

- Das **Alter** (Jahre); zu Beginn der Untersuchung:
 - ✓ Prädiktor in allen Teilstudien, außer LEG PRESS HORIZONTAL;
- Das **Geschlecht** (männlich – weiblich):

- ✓ Differenzierungsvariable bei den Übungen TRICEPS EXTENSION (s. Kap. 6.3.1.1) und LEG EXTENSION (s. Kap. 6.3.1.2);

Eindimensionale Körpermaße:

- Das **Körpergewicht** (kg; auf eine Kommastelle genau bestimmt):
 - ✓ Prädiktor bei der mehrgelenkigen Übungen LEG PRESS VERTICAL (s. Kap. 6.3.3.1);
 - ✓ Absolute Körpermasse;
 - ✓ Berechnungsfaktor für alle Indizes;
- Die **Körperhöhe** (cm; auf eine Kommastelle genau bestimmt):
 - ✓ Prädiktor bei den zweigelenkigen Übungen (s. Kap. 6.3.2) und bei der mehrgelenkigen Übung LEG PRESS VERTICAL (s. Kap. 6.3.3.1);
 - ✓ Indikator für den Einfluss von individuellen Hebelverhältnissen;
 - ✓ Berechnungsfaktor für alle Indizes, außer der fettfreien Masse;
- Der **Halbspann** (cm; auf eine Kommastelle genau bestimmt):
 - ✓ Prädiktor bei der eingelenkigen Übung TRICEPS EXTENSION (s. Kap. 6.3.1.1) und bei den zweigelenkigen Übungen CHEST PRESS und LAT PULL (s. Kap. 6.3.2);
 - ✓ Halbe Spannweite (Bassey, 1986);
 - ✓ Indikator für den Einfluss von individuellen Hebelverhältnissen, da der Halbspann die Armlänge beinhaltet;
 - ✓ Alternativmaß zur Körperhöhe: besserer Indikator für Hebelverhältnisse bei Personen mit Haltungsfehlern und bei abnehmender Körpergröße im Tagesverlauf;
- Der **Körperfettanteil** (Prozent; auf eine Kommastelle genau bestimmt):
 - ✓ Prädiktor bei den ein- und zweigelenkigen Übungen (s. Kap. 6.3.1 und 6.3.2);
 - ✓ Körperfettmasse;
 - ✓ Berechnungsfaktor der „fettfreien Masse“ und aller Indizes mit fettfreier Masse;
 - ✓ Liefert als Indikator der Zusammensetzung des Körpergewichtes strukturelle Informationen zur Interpretation von Übungen mit wenigen Freiheitsgraden;
- Der **Oberarmumfang** (cm; auf eine Kommastelle genau bestimmt):
 - ✓ Prädiktor bei der eingelenkigen Übung TRICEPS EXTENSION (s. Kap. 6.3.1.1);

- ✓ Zusammen mit dem Parameter „fettfreie Masse“ sind Rückschlüsse auf die regionale Muskelmasse als wesentlicher Einflussfaktor der Kriteriumsleistung bei isolierten Bewegungen möglich;
- Der **Oberschenkelumfang** (cm):
 - ✓ Prädiktor bei den Übungen LEG EXTENSION (s. Kap. 6.3.1.2) und LEG PRESS HORIZONTAL (s. Kap. 6.3.3.2);
 - ✓ Zusammen mit dem Parameter „fettfreie Masse“ sind Rückschlüsse auf den regionalen Muskelquerschnitt möglich;
- Der **durchschnittliche Oberschenkelumfang** (cm; auf eine Kommastelle genau bestimmt):
 - ✓ Prädiktor bei der Übung LEG EXTENSION (s. Kap. 6.3.1.2);
 - ✓ Berechnungsformel: $[(\text{Umfang links} + \text{Umfang rechts}) / 2]$
 - ✓ Zusammen mit dem Parameter „fettfreie Masse“ sind Rückschlüsse auf die regionale Muskelmasse als wesentlicher Einflussfaktor der Kriteriumsleistung bei isolierten Bewegungen möglich;
- Die **Oberschenkellänge** (cm):
 - ✓ Prädiktor bei der Übung LEG PRESS HORIZONTAL (s. Kap. 6.3.3.2);
 - ✓ Segmentlänge als übungsspezifischer, biomechanischer Einflussfaktor der Kriteriumsleistung bei komplexen, mehrgelenkigen Bewegungen;
 - ✓ Zusammen mit den Parametern „fettfreie Masse“ und „Oberschenkelumfang“ kann eine relativ genaue Abschätzung des regionalen Muskelquerschnittes im interindividuellen Vergleich erfolgen;
- Die **Unterschenkellänge** (cm):
 - ✓ Prädiktor bei den Übungen LEG EXTENSION (s. Kap. 6.3.1.2) und LEG PRESS HORIZONTAL (s. Kap. 6.3.3.2);
 - ✓ Segmentlänge als Indikator der individuellen Hebelverhältnisse;

Indizes (s. S. 131):

- Der **Broca-Index** (auf zwei Kommastellen genau bestimmt);
 - ✓ Prädiktor bei den zweigelenkigen Übungen (s. Kap. 6.3.2) und bei der mehrgelenkigen Übung LEG PRESS VERTICAL (s. Kap. 6.3.3.1);
 - ✓ die Berechnungsformel lautet: $[(\text{Körpergewicht} / (\text{Körperhöhe} - 100)) * 100]$;
 - ✓ Maßzahl zur groben Einschätzung des Normalgewichtes einer Person;
- Der **Quetelet-Index** (kg/m; auf zwei Kommastellen genau bestimmt);
 - ✓ Prädiktor bei den zweigelenkigen Übungen (s. Kap. 6.3.2) und bei der mehrgelenkigen Übung LEG PRESS VERTICAL (s. Kap. 6.3.3.1);

- ✓ die Berechnungsformel lautet: $[(\text{Körpergewicht} / \text{Körperhöhe}) * 100]$;
- ✓ Maßzahl für die Bewertung des Körpergewichtes eines Menschen im Verhältnis zu seiner Größe;
- ✓ Relativiert die Körpermasse an der Körperhöhe: Ein größerer Wert bedeutet im interindividuellen Vergleich bei gegebener Körpergröße eine größere absolute Masse und bei gleichen Extremitätenlängen eine größere regionale Masse im Bereich der Agonisten;
- ✓ Berücksichtigung von Hebelverhältnissen, da Einfluss der Körperhöhe;
- Der **Body-Mass-Index** (kg/m^2 ; auf zwei Kommastellen genau bestimmt);
 - ✓ Prädiktor bei den zwei- und mehrgelenkigen Übungen (s. Kap. 6.3.2 und 6.3.3);
 - ✓ die Berechnungsformel lautet: $[(\text{Körpergewicht} / \text{Körperhöhe}^2) * 10.000]$;
 - ✓ Maßzahl für die Bewertung des Körpergewichtes eines Menschen im Verhältnis zum Quadrat seiner Größe;
 - ✓ Quantifiziert das körperhöhenbezogene Lastverhältnis (Martin et al., 1999): stärkere Berücksichtigung von Hebelverhältnissen aufgrund des Einflusses der Körperhöhe in der zweiten Potenz;
- Der **Rohrer-Index** (kg/m^3 ; auf zwei Kommastellen genau bestimmt);
 - ✓ Prädiktor bei den zweigelenkigen Übungen (s. Kap. 6.3.2) und bei der mehrgelenkigen Übung LEG PRESS VERTICAL (s. Kap. 6.3.3.1);
 - ✓ die Berechnungsformel lautet: $[(\text{Körpergewicht} / \text{Körperhöhe}^3) * 1.000.000]$;
 - ✓ Maßzahl für die Bewertung des Körpergewichtes eines Menschen im Verhältnis zur dritten Potenz seiner Größe;
 - ✓ Quantifiziert das körperhöhenbezogene Lastverhältnis: sehr starke Berücksichtigung von Hebelverhältnissen aufgrund des Einflusses der Körperhöhe in der dritten Potenz;

Indizes mit fettfreier Masse (s. S. 132):

Alle Proportionsindizes mit fettfreier Masse (BMI, Broca-, Quetelet-, Rohrer-Index) stellen Mischprädiktoren dar, da sie einerseits globale Informationen über die Körperfülle beinhalten und sich andererseits über die aktive Körpersubstanz (fettfreie Masse) sowie, in unterschiedlichem Maße, über die individuellen Hebelverhältnisse (Körperhöhe) strukturelle Informationen ableiten lassen. Insofern kann eine Zuordnung bzw. Differenzierung hinsichtlich globaler und struktureller Prädiktoren, wie sie in Kap. 5 auf der Basis empirischer Untersuchungen im Zusammenhang mit dem 1RM getroffen wurde, im Weiteren nicht erfolgen.

- Die **fettfreie Masse** (kg; auf zwei Kommastellen genau bestimmt);
 - ✓ Prädiktor bei den ein- und zweigelenkigen Übungen (s. Kap. 6.3.1 und 6.3.2);
 - ✓ die Berechnungsformel lautet: $[\text{Körpergewicht} - ((\text{Körpergewicht} * \text{Körperfettanteil}) / 100)]$;
 - ✓ Liefert als Indikator der Körperzusammensetzung (Muskelmasse) und des globalen Trainingszustandes einer Person Informationen über die quantitativen muskulären Voraussetzungen für Kraftleistungen;
 - ✓ Zusammen mit Extremitätenumfängen lassen sich Kraftunterschiede bei Untrainierten interpretieren (Heyward et al., 1986);
 - ✓ Berechnungsfaktor für alle Indizes mit fettfreier Masse;
- Der **Broca-Index mit fettfreier Masse** (auf zwei Kommastellen genau bestimmt);
 - ✓ Prädiktor bei den ein- und zweigelenkigen Übungen (s. Kap. 6.3.1 und 6.3.2) und bei der mehrgelenkigen Übung LEG PRESS VERTICAL (s. Kap. 6.3.3.1);
 - ✓ die Berechnungsformel lautet: $[(\text{fettfreie Masse} / (\text{Körperhöhe} - 100)) * 100]$;
 - ✓ Relativiert die fettfreie Masse an der - um die Zahl 100 reduzierte - Körpergröße;
 - ✓ Berücksichtigt gleichgewichtet die Körperzusammensetzung und Hebelverhältnisse, so dass Einflüsse sowohl auf Übungen mit wenigen als auch mit mehreren Freiheitsgraden möglich sind;
- Der **Quetelet-Index mit fettfreier Masse** (kg/m; auf zwei Kommastellen genau bestimmt);
 - ✓ Prädiktor bei bei den ein- und zweigelenkigen Übungen (s. Kap. 6.3.1 und 6.3.2) und bei der mehrgelenkigen Übung LEG PRESS VERTICAL (s. Kap. 6.3.3.1);
 - ✓ die Berechnungsformel lautet: $[(\text{fettfreie Masse} / \text{Körperhöhe}) * 100]$;
 - ✓ Relativiert die fettfreie Masse an der Körpergröße: Ein größerer Wert bedeutet im interindividuellen Vergleich bei gegebener Körpergröße eine größere absolute fettfreie Masse und bei gleichen Extremitätenlängen eine größere „aktive Körpersubstanz“ (Muskelmasse) im Bereich der Agonisten (Hartmann & Tünnemann, 1993);
 - ✓ Berücksichtigt gleichgewichtet die Körperzusammensetzung und Hebelverhältnisse, so dass Einflüsse sowohl auf Übungen mit wenigen als auch mit mehreren Freiheitsgraden möglich sind;

- Der **Body-Mass-Index mit fettfreier Masse** (kg/m^2 ; auf zwei Kommastellen genau bestimmt);
 - ✓ Prädiktor bei den zweigelenkigen Übungen (s. Kap. 6.3.2) und bei der mehrgelenkigen Übung LEG PRESS VERTICAL (s. Kap. 6.3.3.1);
 - ✓ die Berechnungsformel lautet: $[(\text{fettfreie Masse} / \text{Körperhöhe}^2) * 10.000]$;
 - ✓ Berücksichtigt neben der Körperzusammensetzung verstärkt biomechanische Aspekte (Körperhöhe in zweiter Potenz), so dass Einflüsse auf eingelenkige Übungen unwahrscheinlich sind;
- Der **Rohrer-Index mit fettfreier Masse** (kg/m^3 ; auf zwei Kommastellen genau bestimmt);
 - ✓ Prädiktor bei den zweigelenkigen Übungen (s. Kap. 6.3.2) und bei der mehrgelenkigen Übung LEG PRESS VERTICAL (s. Kap. 6.3.3.1);
 - ✓ die Berechnungsformel lautet: $[(\text{fettfreie Masse} / \text{Körperhöhe}^3) * 1.000.000]$;
 - ✓ Berücksichtigt neben der Körperzusammensetzung in hohem Maße biomechanische Aspekte (Körperhöhe in dritter Potenz), so dass Einflüsse auf eingelenkige Übungen höchst unwahrscheinlich sind;

Testbasierte Prädiktoren:

- Die **isometrische Maximalkraft** (MVC);
 - ✓ Die MVC wurde als methodisches Hilfsmittel zur effizienteren Erfassung der 1RM bei den zweigelenkigen Übungen (s. Kap. 6.3.2), der mehrgelenkigen Übung LEG PRESS VERTICAL (s. Kap. 6.3.3.1) und der eingelenkigen Übung TRICEPS EXTENSION (s. Kap. 6.3.1.1) eingesetzt;
 - ✓ Die regressionsanalytischen Ergebnisse hinsichtlich der MVC als Prädiktor (vgl. Kap. 6.4.4) haben nur deskriptiven Charakter und sind für die Intention dieser Arbeit im Sinne der Identifizierung (kraft-)testunabhängiger Prädiktoren ohne Bedeutung;
 - ✓ Die MVC blieb deshalb als Bestandteil der jeweiligen Prädiktorsätze (vgl. Tab. 21) unberücksichtigt;
- Der **submaximale Ergometerstufentest** (PWC 170; Watt/kg);
 - ✓ Prädiktor bei der mehrgelenkigen Übung LEG PRESS VERTICAL (s. Kap. 6.3.3.1);
 - ✓ Indikator der aeroben Leistungsfähigkeit. Daraus sollte sich ein hoher negativer Zusammenhang zu Kraftleistungen ergeben.

Tab. 21. Überblick der Prädiktorselektion in Abhängigkeit von der Übung

Prädiktoren	eingelenkige Übungen		zweigenkige Übungen		mehrgelenkige Übungen	
	TRICEPS EXTENSION	LEG EXTENSION	CHEST PRESS	LAT PULL	LEG PRESS VERTICAL	LEG PRESS HORIZONTAL
allgemeine Prädiktoren						
Alter	x		x		x	
Geschlecht	x					
eindimensionale Körpermaße						
Körpergewicht					x	
Körperhöhe			x		x	
Halbspann	x		x			
Körperfettanteil	x		x			
Oberarmumfang	x					
Oberschenkelumfang						x
durchschn. Oberschenkelumfang						
Oberschenkellänge						x
Unterschenkellänge						x
Indizes						
Broca-Index			x		x	
Guetelet-Index			x		x	
Body-Mass-Index			x		x	x
Rohrer-Index			x		x	
Indizes mit fettfreier Masse						
Fettfreie Masse	x		x			
Broca-Index mit fettfreier Masse	x		x		x	
Guetelet-Index mit fettfreier Masse	x		x		x	
Body-Mass-Index mit fettfreier Masse			x		x	
Rohrer-Index mit fettfreier Masse			x		x	
testbasierte Prädiktoren						
isometrische Maximalkraft	x					x
submaximaler Ausdauerwert						x

6.3 Testgeräte

Bis auf die LEG PRESS HORIZONTAL (Fa. Astrosport; Fitness-Studio „UNI-FIT“ in der Universität des Saarlandes) entstammen alle die in der vorliegenden Arbeit genutzten Trainingsgeräte der Produktlinie POWER LINE 3000 der Fa. ERGO-FIT®. Bei allen Geräten werden die aus Gewichtsplatten bestehenden Steckgewichte über einen Flachriemen bewegt. Da die Gewichtsabstufung für experimentelle Zwecke zu grob war (5kg – 10kg), wurden die serienmäßigen Absteckstifte durch etwas längere Gewindestangen ausgetauscht, so dass durch Anhängen von leichteren Gewichtsscheiben (2,5 kg, 0,5 kg) die Testlasten bis auf 500 Gramm genau ermittelt werden konnten.

Die Trainingsgeräte geben den Bewegungsablauf konstruktionsbedingt weitgehend vor. Die Übungen sind dadurch koordinativ wenig anspruchsvoll, leicht zu erlernen, führen zu einem geringeren Verletzungs- und Überlastungsrisiko (Kraemer & Fry, 1995; Trunz et al., 2002) und sind somit insbesondere für das Anfängertraining geeignet.

6.3.1 Eingelenkige Übungen

Bei den eingelenkigen Übungen wurden achsengeführte Trainingsgeräte genutzt. Diese Geräte erlauben eine achsengerechte Positionierung der Trainierenden, verfügen über eine Längenanpassung der Hebelarme und einen Winkelbegrenzer. Darüberhinaus besitzen viele achsengeführte Geräte einen sogenannten Exzenter, der mit der Drehachse des Trainingsgerätes verbunden ist und über diese die Trainingslast auf den vom Trainierenden zu bewegenden Hebelarm bzw. Kraftarm überträgt. Durch die Veränderung des Lastarmes wird ein variabler Widerstand erreicht, der zu einer Anpassung an die Kraftverlaufskurve und somit zu einer optimalen muskulären Beanspruchung führen soll (vgl. Gottlob, 2003a). Aufgrund der geringen koordinativen Ansprüche (Trunz-Carlisi, 2003) sind eingelenkige Übungen für die Kraftdiagnostik mit Trainingsanfängern geradezu prädestiniert, denn

„[...] je besser es gelingt, bei einem Konditionstest technische (koordinative) Anforderungen auszuschalten, desto genauer werden die konditionellen Fähigkeiten erfasst.“ (Grosser & Neumaier, 1988)

6.3.1.1 TRICEPS EXTENSION

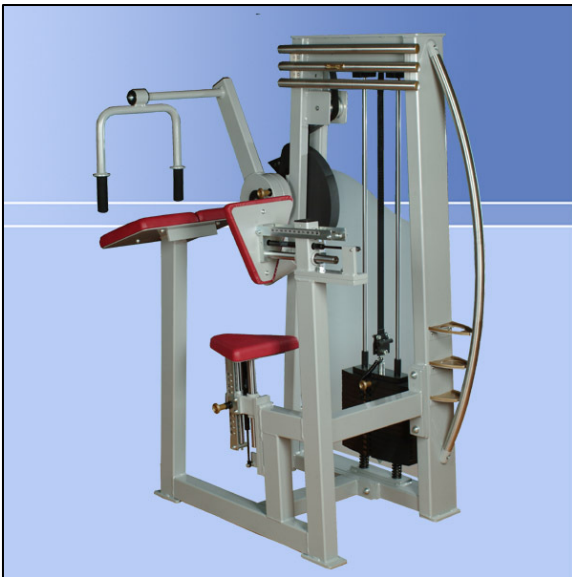


Abb. 6. Die TRICEPS EXTENSION 3000

Die *TRICEPS EXTENSION* (vgl. Abb. 6) ermöglicht eine isolierte, bilaterale Armextensionsbewegung im Sitzen. Das Gerät verfügt eine geneigte und gepolsterte Auflagefläche für die Oberarme, eine höhenverstellbare Sitzfläche und eine in der Horizontalen verstellbare Rückenlehne. Die Kraft des Trainierenden wird über einen U-förmigen Pendelgriff auf den Hebelarm (Kraftarm) und dann auf die Drehachse übertragen. Die Bewegungsamplitude kann über eine stufenweise Einstellmöglichkeit des Hebelarmes (23 mögliche Positionen) reguliert werden. Die Last (maximal 15 Gewichtsplatten zu je 5kg) wird über einen Flachriemen bewegt und auf einen Exzenter übertragen.

Der hauptsächlich beanspruchte Muskel ist der *M. triceps brachii*. Die Nebenfunktionen des *M. triceps brachii* wie die Retroversion und Adduktion im Schultergelenk (Wieben & Falkenberg, 2001) wurden durch das Auflegen der Oberarme nicht dynamisch miteinbezogen. Eine biomechanisch vergleichbare Übung wie z. B. „Trizepsdrücken liegend mit SZ-Hantel“ (Boeckh-Behrens & Buskies, 2000) hat sich als die beste Komplexübung für alle drei Trizepsköpfe erwiesen.

Die Sitzposition der Probanden war auf eine achsengerechte *Positionierung* ausgerichtet. Die Einstellung der Rückenlehne erfolgte so, dass nach dem Auflegen der Oberarme auf das Armpolster die Drehachse der Ellenbogengelenke auf gleicher Höhe mit der Drehachse des Gerätes lag. Bei der Einstellung der Sitzhöhe wurde

darauf geachtet, dass die von Ellenbogen und Schultergelenk gebildete Gerade parallel zur Auflage verlief, damit die Oberarme an jedem Punkt der Bewegung vollständig auf dem Polster auflagen. Die Probanden sollten eine aufrechte Haltung einnehmen, den Kopf in Verlängerung der Wirbelsäule halten und die Füße schulterbreit auf den Boden stellen. Beim Greifen der Haltegriffe wurden die Hände in Mittelposition bzw. Neutralstellung gehalten. Dabei waren die Handgelenke in Verlängerung der Unterarme aktiv zu stabilisieren. Ebenso wie der Schultergürtel, um ein Anheben der Schultern zu vermeiden, und die Rumpfmuskulatur. Die Oberarme wurden parallel aufgelegt.

In der *Ausgangsposition* wurde bei gegriffenem Pendelgriff die gewählte Anzahl Gewichtsplatten inklusive leichterer Zusatzgewichte (Feinabstufung) so weit ausgehoben, dass die Unterarme des Probanden senkrecht zur Decke zeigten. Der Ellenbogenwinkel lag an diesem oberen Wendepunkt bei ca. 70°. In der konzentrischen Bewegungsphase erfolgte nun gegen den Widerstand der Maschine die Streckung im Ellenbogengelenk. Dabei wurden die Haltegriffe in einem konstruktionsbedingten, halbkreisförmigen Bogen nach vorne unten gedrückt, bis die Unterarme einen leichten Kontakt mit dem Auflagepolster hatten. In dieser *Endposition* bzw. am unteren Wendepunkt waren die Arme fast durchgestreckt. Besondere Aufmerksamkeit wurde auf die Beibehaltung der Positionierung gelegt. Die Ellenbogen durften nicht nach außen abgleiten, so dass die parallele Stellung der Oberarme aufgelöst wurde. Die Oberarme mussten im Bewegungsverlauf stets im Kontakt mit dem Polster stehen und der Schultergürtel durfte nicht angehoben werden. Nach Erreichen des unteren Wendepunktes wurden die Griffe durch passive Beugung der Arme wieder kontrolliert zurückgeführt. Dabei sollte eingatmet werden. Die Ausatmung erfolgte in der Streckphase. Insgesamt sollte die Bewegung in einem gleichmäßigen, kontrolliert-langsam-dynamischen Tempo, ruckfrei und ohne Bewegungspause durchgeführt werden. Die Vorgabe für die Dauer eines kompletten Bewegungszyklus lag bei drei Sekunden. Die Kontrolle erfolgte mit Hilfe eines audiovisuellen Metronoms, welches alle 1,5 Sekunden (40 bpm) ein Geräusch bzw. ein Blinklicht erzeugte. Die Einnahme von Ausgangs- bzw. Endposition sollte jeweils mit dem Metronomtakt einhergehen. Diese Vorgaben waren bei allen Übungen gleich.

Gelegentlich traten *Fehlerbilder* auf, die eine verstärkte Korrektur durch den Untersucher erforderlich machten und beim Auftreten innerhalb der Testphase zum Abbruch des Testsatzes führten:

-
- Das Abheben des Ellenbogens oder des Oberarmes im oberen Bereich rührte von einer zu niedrigen oder zu hohen Sitzposition des Probanden und konnte durch die entsprechende Veränderung der Sitzeinstellung korrigiert werden.
 - Das Abheben des gesamten Oberarmes deutete auf eine falsche Bewegungsvorstellung oder auf starke muskuläre Ermüdung hin. Im ersten Fall wurde dem Probanden verdeutlicht, dass das Wegdrücken des Haltegriffes lediglich durch eine isolierte Streckbewegung in den Ellenbogen zu erfolgen hat. Im zweiten Fall, beim Auftreten dieses Fehlerbildes in der Testphase, war wohl die Last zu hoch und der Testsatz wurde abgebrochen.
 - Ein aktives Hochziehen der Schultern am oberen Wendepunkt war darauf zurückzuführen, dass infolge einer hohen Auslastung versucht wurde, die muskuläre Beanspruchung auf andere Muskelgruppen (z.B. M. pectoralis major) zu verlagern. Diese aktive Ausweichbewegung wurde insofern offensichtlich, als an diesem Punkt der Bewegung einerseits die Widerstandskurve ihren höchsten Punkt erreichte und andererseits die horizontale Gegenreaktion des Kraftflusses zwangsläufig ein starkes Anpressen des oberen Rückens an das Rückenpolster nach sich zog, was einem Anheben der Schulter eigentlich entgegenstände. Ein passives Ausweichen der Schultern nach oben wurde am unteren Wendepunkt festgestellt, da hier die Kraftentwicklung nach vorne unten erfolgte, was zu einer Hebelwirkung führte. Als Konsequenz wurde der Korrekturhinweis zu einer aktiven Scapulasenkung gegeben oder gegebenenfalls die Sitzhöhe nach unten korrigiert.
 - Ein Überschreiten des oberen Wendepunktes signalisierte ein falsches Bewegungsbild des Probanden. Das Auftreten dieses Fehlerbildes hätte ein geringeres 12RM zur Folge. Aus diesem Grund gab der Untersucher den Probanden mit dem Finger am Unterarm stets eine taktile Rückmeldung, wenn die Ausgangsposition erreicht wurde.
 - Ein Nicht-Erreichen der Endposition konnte als Zeichen einer zu hohen Last und damit als Abbruchkriterium interpretiert werden. Die Kraftverlaufskurve der Probanden sorgte an beiden Endpunkten für Belastungsspitzen, jedoch lag in beiden Fällen keine Zwangslage vor. Bei einer großen Überschreitung der Ausgangsposition würde ein Aufsetzen des Gewichtsblokes eine Gelenküberlastung oder -überdehnung verhindern und in der Endposition wirkte der Widerstand einem Gelenkendanschlag sogar entgegen.

6.3.1.2 LEG EXTENSION



Abb. 7. Die LEG EXTENSION 3000

Mit der LEG EXTENSION (vgl. Abb. 7) kann eine uni- oder bilaterale Beinextensionsbewegung bei isolierter Beanspruchung des vierköpfigen M. quadriceps femoris durchgeführt werden. Nur die letzten Grade der Kniestreckung werden durch die Aktivität des M. tensor fascia latae unterstützt (Wieben & Falkenberg, 2001). Nach Tesch (1999) arbeitet der M. vastus lateralis bei dieser Übung mit etwas geringerer Aktivität als der M. rectus femoris, der M. vastus medialis und der M. vastus intermedius. Die Muskelaktivierung insgesamt ist im Vergleich zu dem horizontalen Beinpressen um 25% reduziert (Boeckh-Behrens & Buskies, 2000). Daneben muss die hohe Belastung der vorderen Kniegelenkstrukturen insbesondere bei Personen mit entsprechender Vorschädigung des Kniegelenks beachtet werden.

Das Trainingsgerät verfügt über eine leicht nach hinten geneigte und gepolsterte Sitzfläche mit einem Haltegriff auf beiden Seiten zum Festhalten, eine horizontal verstellbare Rückenlehne sowie ein Beinhebel mit variierbarem Rundpolster. Die Kraft des Trainierenden wird über den Hebelarm auf die Drehachse übertragen. Der Hebelarm ist hinsichtlich seiner Ausgangsstellung stufenweise (23 Stufen) regulierbar, um z.B. eine stärkere Vordehnung zu erreichen oder die Bewegungsamplitude einzuschränken. Der Lastwiderstand wirkt nicht exzentrisch. Der Gewichtsblock besteht aus 20 Platten zu je 5kg.

Bei der *Positionierung* der Probanden wurde berücksichtigt, dass die Drehachsen der Kniegelenke sich in horizontaler Höhe der Drehachse des Trainingsgerätes befanden.

den. Andernfalls könnten an den Kniegelenkflächen gefährliche Scherbelastungen auftreten. Als erste Orientierung mussten die Probanden in sitzender Position bei herabhängenden Unterschenkeln die Kniekehlen ganz an die Sitzpolsterung heranziehen. Die Rückenlehne wurde dann entsprechend eingestellt, damit das Gesäß diese leicht kontaktierte. Auch das Rundpolster am Hebelarm wurde in Abhängigkeit der Unterschenkellänge auf Höhe des oberen Sprunggelenkes justiert. Das Gesäß und der gesamte Rücken sollten während der Bewegungsausführung an der Rückenlehne fest anliegen. Der Kopf sollte aufrecht gehalten werden. Die Hände umfassten die seitlichen Haltegriffe und zogen daran im Verhältnis zum Lastwiderstand, damit das Gesäß auf der Sitzfläche blieb und das Becken stabilisiert werden konnte. Oberschenkel und Knie sollten hüftbreit positioniert werden.

Der stufenweise regulierbare Kraftarm wurde so eingestellt, dass in der *Ausgangsposition* im Kniegelenk ein 90°-Winkel möglich war. Dabei war das aufgelegte Gewicht bereits etwas angehoben. Der Hüftwinkel ergab sich konstruktionsbedingt aus dem Winkel zwischen Sitzfläche und Rückenlehne und lag bei ca. 100°. Gegen den Widerstand des Gerätes wurden nun in einer halbkreisförmigen Bewegung nach vorne oben die Beine im Kniegelenk bis auf die Schlussrotation gestreckt (Tittel, 1994). Ergo wurde die Beinstreckbewegung bei einem Kniewinkel von ca. 170° - gleichbedeutend mit der Faststreckung - beendet. Diese Position wurde als *Endposition* bzw. als oberen Wendepunkt definiert. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die gedachten Geraden zwischen linken und rechten Hüft-, Knie- und Sprunggelenken parallel verliefen und die Oberschenkel im Hüftgelenk weder innen- noch außenrotiert waren, um Scherkräfte im Kniegelenk zu vermeiden (Boeckh-Behrens & Buskies, 2000). Im oberen Sprunggelenk durfte aus Stabilisationsgründen eine Dorsalflexion (Faller, 1984; Fußspitzen angezogen) durchgeführt werden. Aus der Endposition heraus wurde der Hebelarm wieder kontrolliert in die Ausgangsposition zurückgeführt, ohne dass der Gewichtsblock aufsetzte. Beim Heben der Gewichtsscheiben wurde aus- und beim Senken der Gewichtsscheiben eingeatmet. Am oberen Wendepunkt wirkte die Gewichtslast einer Zwangslage entgegen und am unteren Wendepunkt wäre die Möglichkeit einer Zwangslage durch ein vorzeitiges Aufsetzen der Gewichtsplatten verhindert worden.

Diese *Fehlerbilder* konnten beobachtet werden:

- Eine zu schnelle Bewegungsausführung innerhalb der konzentrischen Phase der Bewegung war ursächlich darin begründet, dass zur Überwindung des ungünstigen Last-Kraft-Verhältnisses bei einem Kniewinkel von 140-150°

Schwungmomente herangezogen wurden. Dadurch wurde die Streckbewegung beschleunigt durchgeführt. Um mit dem Metronomgeräusch am unteren Wendepunkt wieder konform zu gehen, wurde entweder eine kleine, unzulässige Bewegungspause in der Endposition eingelegt oder die exzentrische Phase wurde relativ länger gestaltet. Der Untersucher wies in diesem Fall auf die dezidierte Übereinstimmung der Bewegungsausführung und -geschwindigkeit mit dem Metronomtakt hin.

- Bei grenzwertiger Belastung wurde das Gesäß von der Sitzfläche abgehoben und die Hüftgelenke wurden gestreckt, so dass der Proband den oberen Wendepunkt erreichen konnte, ohne das zu bewältigende Gewicht weit genug angehoben zu haben. Der Proband sollte daraufhin den vertikalen Zug an den Haltegriffen verstärken.
- Ein Vorbringen des Oberkörpers beim Anheben der Last entsprach nicht der definierten Positionierung und wurde ebenfalls als Abbruchkriterium geahndet.

6.3.2 Zweigelenkige Übungen

Im Gegensatz zu den achsengeführten, eingelenkigen Bewegungen erfordern zweigelenkige Übungen aufgrund größerer Freiheitsgrade eine intensivere Bewegungskontrolle von Proband und Untersucher gleichermaßen. Die Übungen CHEST PRESS und LAT PULL beanspruchen über die Gelenkführung von Schulter- und Ellbogengelenk primär eine große Muskelgruppe des Rumpfes, einen Teil der Schultergelenkmuskulatur sowie einen Oberarmmuskel.

6.3.2.1 CHEST PRESS

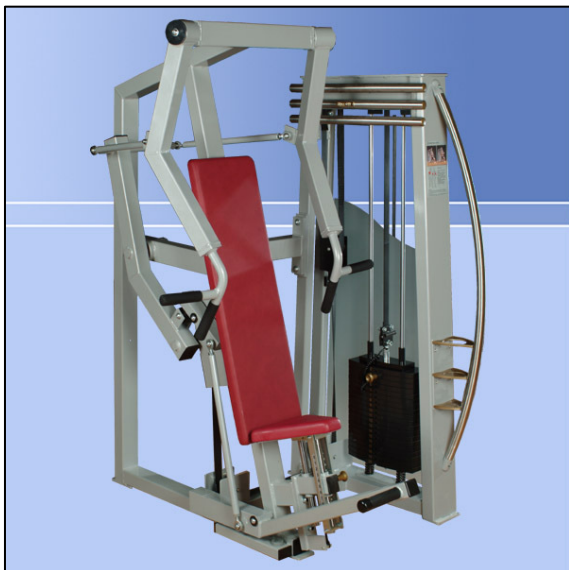


Abb. 8. Die CHEST PRESS 3000

Die *CHEST PRESS* (vgl. Abb. 8) ermöglicht eine horizontale, bilaterale Armextensions- und Schulteradduktionsbewegung in der Transversal-Ebene (Gerhardt & Rippstein, 1992) des Probanden in sitzender Position. Konstruktionsbedingt nähern sich dabei die Griffe einander an, so dass im Vergleich zu anderen Brustdrückmaschinen, deren Griffe im Bewegungsverlauf parallel bleiben, eine größere Adduktion im Schultergelenk erreicht wird. Das Gerät besitzt eine Sitzhöhenverstellung, eine mechanische Einstiegshilfe, die mit dem Fuß bedient wird und somit die Griffstangen etwas nach vorne bringt sowie eine horizontale und eine vertikale Griffmöglichkeit. Der Gewichtblock besteht aus 20 Gewichtsscheiben zu je 5kg.

Hauptsächlich beanspruchte Muskeln sind der *M. pectoralis major*, der *M. pectoralis minor*, der vordere Kopf des *M. deltoideus* und der *M. triceps brachii* (Delavier, 2000).

Die *Positionierung* der Probanden erfolgte so, dass der Arm-Rumpf-Winkel einem 90°-Winkel entsprach. Kontrolliert wurde dies mit Hilfe eines manuellen Winkelmessers (Goniometer). Die Schulterebene lag dadurch etwas oberhalb der Griffebene. Die horizontalen Griffstangen wurden proniert und mittig festgehalten. Die Ellenbogen bewegten sich infolge der Innenrotation im Schultergelenk seitlich angehoben ständig auf einer Linie mit Hand- und Schultergelenk. Es wurde darauf geachtet, dass die Probanden eine aufrechte Sitzposition einnahmen, Po, Rücken und Schultergürtel, aber nicht der Kopf, an die Rückenlehne angepresst wurden, die Füße

schulterbreit auf dem Boden standen, die Handgelenke gerade blieben und die Rumpfmuskulatur angespannt wurde. Der Kopf wurde bei aufgerichteter Wirbelsäule fixiert und durfte keinesfalls z.B. als Schwungmasse mitbewegt werden.

In der *Ausgangsposition* zu Beginn der konzentrischen Bewegungsphase wurde die gewählte Gewichtslast so weit angehoben, dass die Oberarme mit der Schulterachse eine Linie bildeten. Die Ellenbogen befanden sich dabei auf Höhe des Hand- und Schultergelenkes. Der Ellenbogenwinkel differierte in Abhängigkeit von der Armlänge und lag im Mittel bei ca. 70°. Innerhalb der dynamischen Schulteradduktions- und Armextensionsbewegung wurden die Arme gegen den Widerstand der Maschine nach vorne gestreckt bis das Ellenbogengelenk fast ganz durchgestreckt war. Eine komplette Streckung oder gar Überstreckung sollte vermieden werden, um eine kontinuierliche Muskelspannung zu gewährleisten (Boeckh-Behrens & Buskies, 2000) und eine zu hohe Belastung des Ellenbogengelenkes zu vermeiden. Die annähernde Ellenbogenstreckung stellte gleichzeitig die *Endposition* bzw. den unteren Wendepunkt dar, der die exzentrische Bewegungsphase einleitete. Dabei wurden die Haltegriffe durch Beugung im Ellbogengelenk kontrolliert zurückgeführt, bis die Ausgangsposition wieder erreicht war. Beim Vordrücken sollte ausgeatmet und beim Rückführen eingeatmet werden. Pressatmung wurde nicht toleriert.

Folgende Fehlerbilder traten bei Bewegungsausführung und Positionierung auf:

- *Positionsveränderungen* in Form von Hohlkreuzbildung, fehlender Kontakt zwischen Schulterblätter und Rückenpolster bzw. zwischen Po und Rückenpolster, Anpressen des Kopfes an die Rückenlehne, Nach-Vorne-Werfen des Kopfes, Anheben des Schultergürtels, Abheben eines Fußes vom Boden, Absinken der Ellenbogen und Verwringung des Oberkörpers in Verbindung mit einseitigem Drücken stellten Trick- bzw. Ausweichbewegungen dar, die infolge falscher Bewegungsvorstellung selten auftraten, aber im Zusammenhang mit dem Erreichen eines hohen Ausbelastungsgrades häufiger vorkamen.
- *Diskontinuitäten* der Bewegungsabfolgen durch reaktive Momente am oberen Wendepunkt (exzentrisch-konzentrischer Umkehrpunkt) deuteten darauf hin, dass der Proband versuchte, das ungünstigste Last-Kraft-Verhältnis bei ca. 100-110° durch Schwungmomente zu überwinden. In diesem Fall sollte auf ein deutliches Einnehmen der Ausgangsposition analog des Metronomtaktes hingewiesen werden.
- Einer *Überschreitung der vorgegebenen Bewegungsamplitude* z.B. des Ellenbogens am oberen Wendepunkt über die Schulterachse hinaus, was infolge

der größeren Vordehnung ein größeres Kraftmoment für die konzentrische Phase aber auch eine stärkere Beanspruchung des Kapsel-, Sehnen- und Bandapparates der Schulter (Müller, 2003a) zur Folge hätte, wurde durch den Untersucher mit einer taktilen Information an den Ellenbogen des Probanden begegnet. Nach (Gottlob, 2003a) entstünde an diesem Bewegungsumkehrpunkt eine sogenannte *Zwangslage*, da sich der dynamisch agierende Oberarm bei Muskelversagen in Richtung eines Gelenkendanschlages bewegen und zu einer Überdehnung lokaler Strukturen führen würde. Ein Aufsetzen der Gewichtsplatten auf den Gewichtsblock würde aber Schlimmeres verhindern.

- Eine *unvollständige Streckung* im Ellenbogengelenk war ein Zeichen für eine falsche Bewegungsvorstellung oder eine zu hohe Last.

6.3.2.2 LAT PULL

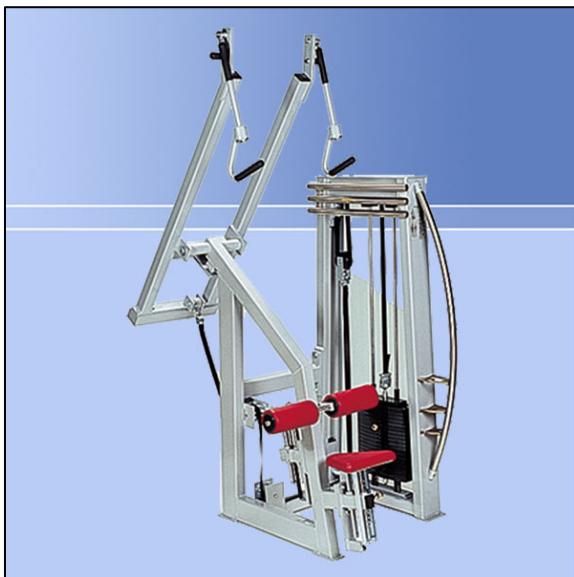


Abb. 9. Die LAT PULL 3000

Die *LAT PULL* (vgl. Abb. 9) ermöglicht eine vertikale, bilaterale Schulteradduktions- und Schulterextensionsbewegung in der Frontal-Ebene des Probanden in sitzender Position. Das Gerät besitzt zwei Pendelgriffe, ein leicht nach vorne geneigter, höhenverstellbarer Sitz mit Oberschenkelfixierung sowie ein Gewichtsblock mit 20 Gewichtsscheiben zu je 5kg. Im Gegensatz zu Geräten mit fixierten Griffen, bieten die Pendelgriffe die Möglichkeit einer individuellen, konstitutionsabhängigen Bewegungscharakteristik. Dadurch werden bei korrekter Bewegungsausführung die exten-

dierenden und adduzierenden Rückenmuskeln vermehrt miteinbezogen. Die zusätzlichen Freiheitsgrade erhöhen indes die koordinativen Anforderungen.

Hauptsächlich beanspruchte Muskeln sind der M. latissimus dorsi, der mittlere und untere Anteil des M. trapezius, der hintere Kopf des M. deltoideus, der M. teres major, der M. rhomboideus, der M. biceps brachii und der M. brachioradialis.

Die Probanden wurden so *positioniert*, dass sich in aufrechter Sitzposition die Hüftgelenke etwas oberhalb der Kniegelenke befanden und die Oberschenkel durch die Polsterung fixiert waren. Dadurch sollte eine physiologische Rückenhaltung und eine stabile Übungsposition erreicht werden. Kopf, Wirbelsäule und Becken sollten eine Gerade und diese Gerade mit dem leicht nach vorne geneigtem Sitz einen rechten Winkel bilden. Diese *Grundhaltung* wurde durch den seitlich stehenden Untersucher während der Bewegungsausführung ständig per Augenschein überprüft. Durch Anspannung der Rumpfmuskulatur sollte die Einhaltung dieser Grundhaltung erleichtern werden. Die Füße standen dabei schulterbreit fest auf dem Boden.

Die Haltegriffe wurden proniert umfasst. Hände und Ellbogen sollten permanent in der Frontal-Ebene, also seitlich am Körper geführt werden.

In der *Ausgangsposition* wurden die Arme in Hochhalte fast gestreckt und die Schulterblätter fast maximal eleviert. Nach Gottlob (2003a) kommt es bei maximaler Armstreckung durch den vertikalen Zug des Widerstandes zu einer Zwangslage für die Scapula, jedoch nicht für die Schultergelenke (Glenoidal-, A/C- S/C-Gelenk) und für das Ellenbogengelenk, da hier keine Endanschlagsposition erreicht wird. Nach Boeckh-Behrens & Buskies (2000) kommt es beim „Lat-Ziehen mit Vordehnung“ (komplette Armstreckung) zu einem Spannungsabfall und zu einer geringeren EMG-Aktivität im M. latissimus dorsi als beim „Lat-Ziehen ohne Vordehnung“ (Arme noch leicht angewinkelt). Gegen den Lastwiderstand wurden nun die Arme aus der erhobenen Stellung herabgezogen, wobei die Ellbogen die Bewegung führten, so dass die Hände die gleiche Bewegungsbahn einschlugen wie die Ellbogen. Dadurch bedingt entfernten sich die Hände von Ausgangs- bis Endposition zunehmend voneinander. Im ersten Teil der konzentrischen Phase sollte eine Schulterextension in Verbindung mit einer Scapulasenkung erfolgen und erst in einem zweiten Schritt die Schulteradduktion durch Heranziehen der Oberarme, bis sich die Haltegriffe in der *Endposition* auf Nackenhöhe befanden. Hierbei waren die Hände etwa senkrecht über den Ellbogen. Der Ellenbogenwinkel betrug am unteren Wendepunkt durchschnittlich 60°. Danach wurden die Haltegriffe in der exzentrischen Phase durch eine kontrollierte Armextensions- und Scapulaelevationsbewegung in die Ausgangspositi-

on zurückgeführt, wobei die Einatmung erfolgte. Ausgeatmet wurde in der konzentrischen Bewegungsphase. Bezüglich Bewegungsdynamik und -rhythmus galten für alle Übungen die bei der Übung CHEST PRESS beschriebenen Vorgaben.

Das Auftreten von *Fehlerbildern* erwuchs in erster Linie aus der Tatsache, dass beim LAT PULL der Oberkörper nicht fixiert werden konnte und die Pendelgriffe einen größeren Bewegungsspielraum ermöglichten. Darüberhinaus fehlte bei dieser Übung die visuelle Selbstkontrolle. Die Probanden waren vollends auf die Korrektur des Untersuchers und im Verlaufe der Gewöhnungsphase (vgl. Kap. 6.5.3) auf den Zugesinn an kinästhetischen Informationen angewiesen.

- Das *Verlassen der* oben beschriebenen *Grundhaltung* durch ein Rückführen des Oberkörpers in die Hyperlordose konnte als Versuch identifiziert werden, die Armbeugung aus der Faststreckung heraus zu erleichtern. Insbesondere bei Anfängern fungieren oftmals nicht die Rückenmuskeln, sondern die Armbeuger als Agonisten. Dies hat zur Folge, dass diese Muskeln auch zuerst ermüden. Daraus resultierend ergab sich ein zweites Fehlerbild.
- Das *Anheben der Schultern* in Verbindung mit einem *Verlassen der Haltegriffe aus der Frontal-Ebene* nach vorne ist eine Ausweichbewegung, die bei einem hohen Ausbelastungsgrad, aber auch als Folge einer falschen Bewegungsvorstellung auftrat. Der Proband versuchte die muskuläre Beanspruchung auf die Armstreck- und die Brustmuskulatur zu verlagern, um die augenscheinlich zu hohe Last weiterhin bewältigen zu können.
- Eine *Überschreitung des unteren Wendepunktes* kam infolge einer zu hohen Bewegungsgeschwindigkeit bei geringer Last innerhalb Gewöhnungs- und Aufwärmphase vor. Die Korrektur des Untersuchers erfolgte beim Erreichen der Endposition durch Antippen an die Ellbogen der Probanden. Bei zu hoher Last in der Testphase wurde die Endposition dagegen nicht erreicht, da hier aufgrund starker Verkürzung der Agonisten das kleinste Kraftmoment vorhanden war. Folglich musste die Last reduziert werden.
- Ein *Nicht-Erreichen der Ausgangsposition* in Bezug auf die Ellenbogenwinkelstellung konnte als Versuch gewertet werden, für die sich anschließende konzentrische Phase ein günstigeres Last-Kraft-Verhältnis aufrecht zu erhalten. Die *vollständige Armstreckung* signalisierte einen Entlastungsversuch, der an der deutlichen Bewegungspause zu erkennen war. Auch hier lag somit für den Testsatz ein deutliches Abbruchkriterium (vgl. Kap. 6.5.2) vor.

Beim *Abheben des Gesäßes* vom Sitzpolster wurde die Oberschenkelfixierung nach unten korrigiert.

6.3.3 Mehrgelenkige Übungen

Mehrgelenkige Übungen trainieren den Körper in funktionellen Muskelschlingen (Freese, 2001; Tittel, 1994) und erhöhen aufgrund zusätzlich verfügbarer Freiheitsgrade (Narcessian, 1998) die koordinativen Anforderungen. Im Gegensatz zu den ein Gelenkigen Übungen an der TRICEPS EXTENSION und an der LEG EXTENSION, die in offener Kette isolierte Muskelgruppen trainieren, handelt es sich bei den im Folgenden beschriebenen Beinpressen um Trainingsgeräte, die ein Training in geschlossener Kette ermöglichen (Freese, 2001). Die an den Bewegungen beteiligten Gelenkstrukturen werden hierbei axial belastet, so dass die Übungen für Anfänger geeignet sind (Freese, 2001). Die muskuläre Beanspruchung zeigt sich insgesamt in der Streckerschlinge der unteren Extremität (Tittel, 1994). Hauptsächlich werden der M. quadriceps femoris, die M. ischiocrurale, der M. gluteus maximus und der M. triceps surae beansprucht (Delavier, 2000). Dadurch werden oberes Sprunggelenk, Kniegelenk und Hüftgelenk bewegt.

Ein Vergleich der beiden Übungen LEG PRESS VERTICAL und LEG PRESS HORIZONTAL zeigt deutliche Unterschiede hinsichtlich der muskulären Beanspruchung bei gleicher Intensität. Die durchschnittliche EMG-Aktivität des M. quadriceps femoris und des M. gluteus maximus verhält sich in der Untersuchungsreihe von Boeckh-Behrens & Buskies (2000) bei beiden Übungen diametral. Aufgrund des kleineren Hüftgelenkwinkels ist die Aktivität des M. quadriceps femoris bei der LEG PRESS VERTICAL geringer und die Aktivität des M. gluteus maximus höher als bei der LEG PRESS HORIZONTAL. Die Belastung des unteren Rückens ist beim horizontalen Beinpressen infolge eines hohen Kompressionsdruckes größer, so dass Rückenbeschwerden im lumbo-sakralen Bereich ein Ausschlusskriterium bei der Auswahl der Probanden war.

6.3.3.1 LEG PRESS VERTICAL



Abb. 10. Die LEG PRESS VERTICAL 3000

Die LEG PRESS VERTICAL (vgl. Abb. 10) ermöglicht eine horizontale, bilaterale Plantarflexions-, Kniegelenks- und Hüftgelenkextensionsbewegung in sitzender Position. Das Gerät besteht aus einem Schlitten mit je einer Polsterfläche für Gesäß, Rücken und Kopf, einer senkrechten Fußauflage bzw. Druckplatte und einem Gewichtsblock mit 30 Platten zu je 5kg. Der Schlitten, der über einen Flachriemen mit dem Gewichtsblock verbunden ist, gleitet über drei parallele Trägerrohre. Der Abstand des Schlittens zur Fußauflage kann stufenweise (6 Stufen) reguliert werden. Links und rechts, etwas unterhalb der Sitzebene, befinden sich die Haltegriffe. Der Winkel zwischen Sitzfläche und Rückenlehne ist ebenfalls verstellbar (11 Positionen), wodurch sich die Möglichkeit ergibt, mit unterschiedlichen Hüftgelenkwinkeln zu trainieren. Im Rahmen der Untersuchung wurde stets die steilste Position (Position 0) gewählt, so dass der Hüftwinkel der Testpersonen in der Ausgangsstellung bei 80-85° lag. Da sich die Last des Gewichtsblockes als zu leicht herausstellte, wurde eine Gewichtsscheibenthalterung (vgl. Abb. 11) entwickelt und zusammengeschweißt, die es ermöglichte, als Aufsatz auf der ersten Gewichtsplatte auf beiden Seiten des Blockes Hantelscheiben (2,5kg, 5kg, 10kg, 25kg) als Zusatzgewichte anzuhängen. Die Gewichtslast wurde immer so berechnet und justiert, dass es zu keiner Verkantung des Gewichtsblockes kam, die zu einer erhöhten Reibung an den Führungsstangen geführt hätte. Die Halterung hatte ein Gewicht von 1,4 kg und wurde der Last zugeordnet.



Abb. 11. Halterung für Zusatzgewichte

Die Probanden wurden so *positioniert*, dass in der *Ausgangsposition* der Kniewinkel bei Anspannung gegen einen unüberwindlichen Widerstand 90° betrug. Dazu wurde der Abstand des Schlittens von der Fußauflage in Abhängigkeit von der Größe der Versuchsperson grobjustiert, die Füße parallel und hüftbreit an die Fußauflage gestellt und dann mit Hilfe einer Wasserwaage eine horizontale Ausrichtung der Schuhspitzen mit der Oberkante der Kniescheibe unternommen, so dass das Knie genau über dem Vorderfuß stand („Knie-Fuß-Einstellung“; Boeckh-Behrens & Buskies, 2000). Wenn der Goniometer bei der Messung des Kniewinkels bei größtmöglicher Anspannung gegen den gesamten Gewichtsblock (evtl. inclusive Zusatzgewicht) einen kleineren Winkel als 90° zeigte, erfolgte die Feinjustierung, wobei die Zugstange der Gewichtsplatten gegebenenfalls um 1 bis 2 Löcher herausgezogen und dann durch den Absteckstift wieder fixiert wurde. War der Kniewinkel größer als 90° , wurde der Abstand des Schlittens zur Druckplatte um 1 Position näher gerückt, unter Anspannung nachgemessen und gegebenenfalls wieder mit der Zugstange feinjustiert, bis eine erneute Messung dem Kniewinkel gemäß Vorgabe entsprach. Vereinzelt war es erforderlich, die Fußstellung etwas nach oben oder unten zu korrigieren. Abschließend wurden die Abstände der Füße zu den seitlichen Kanten und der oberen Kante der Fußauflage ermittelt und protokolliert. Auch die Position des Schlittens und der Zugstange wurden protokolliert.

Bereits bei der Messung des Kniewinkels wurde darauf geachtet, dass die Probanden durch Fassen und Ziehen an den Haltegriffen sowie durch Anspannung der Rumpfmuskulatur eine sehr stabile Sitzposition erreichten, wobei das Gesäß fest zwischen die beiden Polsterungen von Sitzfläche und Rückenlehne gezogen wurde und der Rücken an die Rückenlehne gepresst wurde, um ein Vorrutschen oder ein Abheben des Gesäßes zu vermeiden. Der Kopf wurde nicht an die Kopflehne herangedrückt, da die Probanden so eher in der Lage waren, die Sitzposition zu stabilisie-

ren. So wurde der Kopf senkrecht gehalten. Dadurch war es möglich, während der Bewegungsausführung das Heben und Senken des Gewichtsblockes zu beobachten. Gegen den Widerstand des Gerätes erfolgte die Kniestreckung. Hüft-, Knie- und obere Sprunggelenke sollten parallele Linien bilden und die ganze Fußsohle sollte belastet werden. Die Streckphase wurde beendet, als die Kniegelenke fast vollständig durchgestreckt waren (ca. 170°). Wie bereits bei der LEG EXTENSION wurde auf die Schlussrotation verzichtet. Damit war der obere Wendepunkt bzw. die *Endposition* erreicht. Danach wurde der Schlitten ohne Bewegungspause wieder kontrolliert zurückgeführt, bis der Gewichtsblock die restlichen Steckgewichte leicht berührte. Unter Beibehaltung der Muskelspannung erfolgte sofort wieder die Gegenbewegung. Aufgrund des großen Spiels in der Seilzugvorrichtung wäre ein „echtes Absetzen“ offensichtlich geworden. Die visuelle Kontrolle erleichterte den Probanden das „Aufsetzen“ der Gewichtsplatten ohne ein „Absetzen“ zu realisieren. Im Verlauf der Untersuchung gelang dies den meisten Probanden ohne Beobachtung des Gewichtsblockes. Ohnehin lag der „sticking point“ bzw. „der Punkt des momentanen Muskelversagens“ (Müller, 2003a), mit entsprechend etwas geringerer Bewegungsgeschwindigkeit, im Bereich des unteren Wendepunktes, was einer kontrollierten Vorgehensweise beim Wechsel zwischen exzentrischer und konzentrischer Bewegungsphase sehr zuträglich war. Ausgeatmet wurde beim Wegdrücken und eingeatmet bei der Rückführbewegung.

Fehlerbilder traten aufgrund der guten Fixierung meist im Zusammenhang mit hoher Auslastung oder beim Bewegen relativ hoher Lasten auf.

- *Reaktive Momente* am unteren Wendepunkt begünstigten ein hartes Aufsetzen des Gewichtsblockes auf den restlichen Scheiben. Durch ein leichtes Abfedern könnten die ungünstigen Hebelverhältnisse bei 90° Kniewinkelstellung einfacher überwunden werden. Die Folge wäre eine geringe Validität des ermittelten 12RM.
- Den gleichen Effekt hätte eine *Bewegungspause am oberen Wendepunkt*. Der Untersucher sollte in beiden Fällen, die übrigens in der Testphase zum Abbruch des Testsatzes führten, den Probanden auf die zwingende Notwendigkeit einer kontinuierlichen und kontrollierten Bewegungsabfolge hinweisen und das Testgewicht reduzieren. Dadurch werden hohe Belastungen des passiven Bewegungsapparates und, wie im zweiten Fall, eine ineffiziente Akzentuierung von Gelenkwinkelbereichen mit geringerer Muskelspannung vermieden.
- Ein *Abheben des Gesäßes* sowie ein *Verlassen der Hüft-Knie-Sprunggelenkachse* durch ein Nach-innen-Schieben der Knie in der konzentri-

schen Phase stellten typische Ausweichbewegungen dar und waren ein Zeichen fortschreitender Ermüdung der stabilisierenden Muskulatur. Beim mehrmaligen Auftreten in der Testphase sollte der Testtermin abgebrochen und ein neuer Termin vereinbart werden.

- Ein *Abheben der Fersen* von der Druckplatte deutete auf eine Verkürzung der Wadenmuskulatur der Testperson hin, wenn das Fehlerbild bereits während der Gewöhnungsphase auftrat. Im Bereich großer Auslastung während der Testphase verloren die Fersen den Kontakt zur Auflage, da vorher das Gesäß von der Unterlage gelöst wurde. Die Probanden wurden angehalten, durch kräftiges Ziehen an den Haltegriffen das Gesäß auf den Spalt zwischen Sitzfläche und Rückenlehne zu drücken.

6.3.3.2 LEG PRESS HORIZONTAL

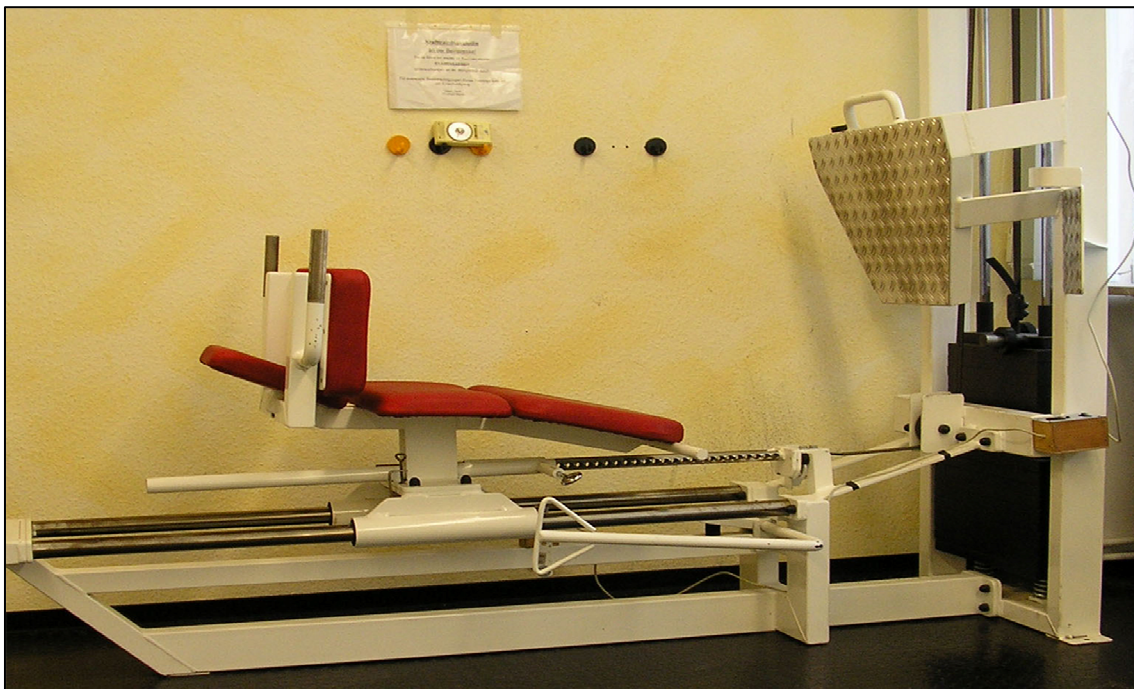


Abb. 12. Die LEG PRESS HORIZONTAL

Da die Gemeinsamkeiten der beiden Beinpress-Varianten - LEG PRESS HORIZONTAL und LEG PRESS VERTICAL - offensichtlich sind, soll im Folgenden nur auf spezifische Unterschiede hinsichtlich Gerätekonstruktion, Positionierung, Bewegungsbeschreibung und Fehlerbilder eingegangen werden.

Der auf zwei parallelen Trägerrohren gleitende Schlitten der LEG PRESS HORIZONTAL (vgl. Abb. 12) besteht aus einer zweigeteilten Rückenaufgabe, deren vorderes Polsterteil, zur Auflage von Gesäß und unteren Rücken, nicht horizontal ausgerichtet, sondern etwas nach unten geneigt ist. Im oberen Bereich des Schlittens befinden sich das leicht angehobene Kopfpolster und die senkrechten Schulterpolster mit den Haltegriffen. Die Fußauflage ist leicht zum Trainierenden geneigt.

Durch den Einbau eines *Visuellen-Feedback-Systems (VFS)*, welches an anderer Stelle ausführlich beschrieben ist (Müller, 2005), sollte der im Rahmen der Studie an der LEG PRESS VERTICAL aufgetretenen Problematik begegnet werden, wonach die fehlerhafte Ausführung des unteren Wendepunktes (Ausgangsposition) sich als häufigstes Abbruchkriterium darstellte. Der Vorteil des VFS bestand darin, dass das korrekte Erreichen des unteren Wendepunktes, ohne Über- oder Unterschreiten, mit einer Ampelschaltung im Blickfeld des Probanden verbunden war. Des Weiteren war das System mit einem Zählwerk ausgestattet, welches nur die korrekten Wiederholungen zählte, wodurch der Testleiter sich auf Positionierungsaspekte konzentrieren konnte. Voraussetzung für die Anwendung des VFS war, dass bei der Positionierung der Testperson in Bezug auf die Kniewinkelvorgabe (90°) die Zugstange des Gewichtsblockes einen Lochabstand weit herausgezogen wurde und während der Testsätze wieder die ursprüngliche Position innehatte. Folglich berührte der Gewichtsblock am unteren Wendepunkt die restlichen Scheiben nicht.

Die *Positionierung* der Beine erfolgte so, dass der Unterschenkel horizontal ausgerichtet war bzw. parallel zur Bewegungsebene. Dies war die Basis für die Einstellung des Kniegelenkwinkels. Die Oberschenkel befanden sich somit in vertikaler Position. Die Testperson lag in Rückenlage auf dem beweglichen Schlitten. Die Schultern wurden während der Bewegungsausführung gegen die Schulterpolster gedrückt. Der Kopf wurde zwischen diesen abgelegt.

Während der *Bewegungsausführung* war bei dieser Übung infolge des hohen Kompressionsdruckes besonderes Augenmerk auf die Rumpf- und Beckenstabilisation zu legen. Folglich sollten die Probanden die Bauch- und Gesäßmuskulatur anspannen.

Häufigste *Fehlerbilder* waren das Abheben der Fersen und des Beckens. Letzteres wurde dadurch begünstigt, dass konstruktionsbedingt die Beckenachse tiefer gelagert war als die Schulterachse.

6.4 Testprotokolle sportmotorischer Krafttests

6.4.1 1RM-Tests

Bös (2001) zitiert in der aktuellen Version seines Handbuches „Motorische Tests“ als Nachweis der Reliabilität und Validität von 1RM-Tests die Studien von Jackson, Watkins & Patton (1980) und Hortobagyi et al. (1989). Die Untersuchung von Jackson et al. (1980) an krafttrainingserfahrenen Studenten zeigte an zwölf „Universal Gym“-Trainingsmaschinen hohe Retest-Reliabilitätskoeffizienten zwischen .82 und .99. Der Test wurde in Anlehnung an Berger (1962a) durchgeführt. Dabei wird nach einer nicht näher beschriebenen Aufwärmphase die Last so lange um 10 Pfund erhöht, bis die Versuchsperson sichtbar Probleme mit der Lastbewältigung aufweist. Ab diesem Zeitpunkt wird die Last nunmehr um 5 Pfund erhöht, bis ein Versuch misslingt. Die Pausendauer wird mit 2 Minuten angegeben. Angaben zur Anfangslast fehlen. Die Autorengruppe von Hortobagyi et al. (1989) konnte für das Bankdrücken mit freiem Gewicht eine Retest-Reliabilität von .92 nachweisen. In dieser Studie wurde außerdem der 1RM-Test validiert. Die Interkorrelationen zwischen dem 1RM freies Bankdrücken, der isokinetischen Maximalkraft sowie der hydraulisch ermittelten Maximalkraft bei zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten ergaben hohe Korrelationen von durchschnittlich $r = .82$. Acht bis zwölf Versuche waren nötig, bis das 1RM, ausgehend von drei Wiederholungen mit 70% des geschätzten 1RM, über zwei Wiederholungen mit 80% des geschätzten 1RM und schließlich mit je einer Wiederholung ab 90% des 1RM, feststand. Die interserielle Pause dauerte im Schnitt drei Minuten. Die Grundlage für die Schätzung der 1RM wurde nicht erörtert.

Auf der Kenntnis der maximalen Last zurückliegender 1RM-Tests basieren die Testprozeduren mehrerer Autoren (Berger & Henderson, 1966; Morales & Sobonya, 1996; Simpson et al., 1997; Staron et al., 1989). Berger & Henderson (1966) empfehlen nach Instruktion über die richtige Bewegungstechnik die Probanden nach ihrer Einschätzung zur 1RM-Last zu fragen. Zwei Drittel dieser geschätzten Last stellt die Anfangslast dar. Im Weiteren wird verfahren wie von Berger bereits 1962 veröffentlicht (s. oben). Exemplarisch für die Vorgehensweise in Verbindung mit früheren Testergebnissen sollen Morales & Sobonya (1996, 188) zitiert werden:

- 1 leichter Aufwärmatz mit 60% des früheren 1RM und 10 Wiederholungen;
- 1 moderater Aufwärmatz mit 70% des früheren 1RM und 8 Wiederholungen;
- 1 moderater Aufwärmatz mit 80% des früheren 1RM und 4 Wiederholungen;

- 1 moderater Aufwärmsetz mit 85% des früheren 1RM und 2 Wiederholungen;
- im Weiteren: Testsätze mit relativer Leichtigkeit = 10-15 Pfund mehr auflegen; Testsätze mit großer Anstrengung = nur 5 Pfund mehr auflegen bis ein Versuch misslingt;
- in 1-5 Versuchen sollte das 1RM ermittelt werden.

Im Allgemeinen wird hier empfohlen, bei sukzessiver Laststeigerung und gleichzeitig abnehmenden Wiederholungszahlen sich dem 1RM schrittweise anzunähern, um durch zuletzt kleinere absolute Laststeigerungen (Murphy, Wilson, Pryor & Newton, 1995) mittels Versuch und Irrtum das „wahre“ 1RM möglichst genau zu treffen. Nachteilig sind im beschriebenen Fall die hohe Anzahl an Testwiederholungen, die die Zielmuskulatur zu stark ermüden und das Testergebnis verfälschen könnten (Kraemer & Fry, 1995).

Liegen keine Erfahrungswerte vor, wie z.B. im fitnessorientierten Anfängertraining, wird auch die Anfangslast nach „trial and error“ festgelegt. Hier steht und fällt die gesamte Testprozedur mit der Erfahrung des Trainers bzw. der messenden Person. Hoeger et al. (1987, 1990) sowie Kuramoto & Payne (1995) tendieren dazu, zur Einschränkung von Ermüdungseffekten, nur jeweils eine Testwiederholung durchzuführen. Anderson & Kearney (1982) als auch Fröhlich, Klein, Emrich & Schmidtbleicher (2001) favorisieren dagegen die Durchführung von zwei Wiederholungen je Testsatz. Das 1RM stellt dann die Last dar, die von der Testperson in der zweiten Wiederholung nicht über den „sticking-point“ hinaus bewegt werden kann. Diese Last sollte jedoch geringer sein als die Last, die gerade eben einmal über den mechanisch ungünstigsten Punkt hinaus bewältigt wird.

Kraemer & Fry (1995) sind der Überzeugung, dass eine wesentliche Komponente der Kraftdiagnostik die Gewöhnung an die Testgeräte und die Beherrschung des Bewegungsablaufes sei:

„It is important [...] to familiarize individuals with each type of strength-testing protocol.” (Kraemer & Fry, 1995, 118)

Das gelte insbesondere bei Tests mit freien Gewichten und im Anfängerbereich. Aus Gründen der Reliabilität fordern die Autoren eine Gewöhnungsphase von mindestens vier Terminen. Im Rahmen einer Querschnittsuntersuchung bedeutet dies eine Vermeidung koordinativer Defizite bei der Testdurchführung. Implizit und explizit kann demzufolge vom Testergebnis auf die Krafftähigkeit geschlossen werden und nicht auf die Fähigkeit, eine Testübung möglichst koordiniert durchführen zu können. In ei-

nem Längsschnitt verhindert eine ausreichende Gewöhnungsphase falsche Interpretationen von Kraftsteigerungen infolge inter- und intramuskulärer Koordinationsverbesserungen (Hollmann & Hettinger, 2000; Sale, 1994).

Auch Murphy et al. (1995, 207) empfehlen eine „familiarization session with each test item“. Während der Gewöhnungstermine sollte nach Kraemer & Fry (1995) bereits eine Annäherung an das 1RM erfolgen, so dass zum eigentlichen Testtermin die Anfangslasten für die beiden Aufwärmätze mit 40-60% (5-10 Wdh.) und 60-80% (3-5 Wdh.) daran relativiert werden können. Die Testphase beinhaltet nur noch jeweils einen Bewegungszyklus bzw. eine Wiederholung pro Testversuch mit mindestens drei Minuten interserieller Pause und nur noch „konservativen“ Laststeigerungen bis zum Fehlversuch. Drei bis fünf Versuche bei einer interseriellen Pausendauer von drei bis fünf Minuten sollten zum Erfolg führen.

Bislang können vier zentrale Kriterien methodischer Art für Testprotokolle identifiziert werden:

- Gewöhnungsphase
- Sukzessive Laststeigerungen in Verbindung mit abnehmenden Wiederholungszahlen nach der Versuch-und-Irrtum-Methode
- Erfahrungskomponente der messenden Person
- Begrenzung der Testsätze

In Bezug zur Fragestellung der vorliegenden Arbeit kann an dieser Stelle folgender Aspekt herausgestellt werden:

Wenn sich ein Test ohne Gewöhnungsphase verbietet, erscheint es umso wichtiger, schon in dieser Gewöhnungsphase mit möglichst zieladäquaten Lasten zu operieren. Dies ist ein weiteres Argument für die testunabhängige Bestimmung von Anfangslasten über anthropometrische Parameter.

Ein weiterer wichtiger testtheoretischer Aspekt, der bei Kraemer & Fry (1995) aber auch von anderen Autoren wie Eifler (2000), Debra (2002), Radlinger et al. (1998), Wanjek (2001) sowie Zimmer (1999) explizit thematisiert wird, ist die Berücksichtigung subjektiver Aussagen der Testperson hinsichtlich des Ausbelastungsempfindens nach jedem Testsatz und der damit zusammenhängenden Schätzung absoluter oder prozentualer Laststeigerungen des folgenden Testsatzes.

Diese Vorgehensweise wird erstmalig von Zimmer (1999) im Rahmen der Ermittlung des 12RM evaluiert und führt zusammen mit den erwähnten Kriterien und einer hohen Standardisierung zu einer ausgezeichneten Retest-Reliabilität.

Im Konkreten werden die Versuchspersonen in den Untersuchungen zur Ermittlung des 1RM von Mike (2002) und Wanjek (2001) nach jedem Testsatz zu ihrer Einschätzung bezüglich der mit der soeben bewältigten Last theoretisch noch möglichen Wiederholungen befragt. Die Antwortmöglichkeiten und die Konsequenzen für die Laststeigerung zeigt Tabelle 22. Empirische Befunde zahlreicher Studien zur Methodik kraftdiagnostischer Testverfahren am Sportwissenschaftlichen Institut der Universität des Saarlandes mündeten in diesen Vorgaben.

Tab. 22. Prozentuale Laststeigerung in Bezug auf die Probandenschätzung der zusätzlich möglichen Wiederholungen (aus Debra, 2002, 53)

Einschätzung	Laststeigerung
bis 5 Wdh.	5% der zuletzt bewältigten Last
zwischen 5 und 10 Wdh.	10% der zuletzt bewältigten Last
mehr als 10 Wdh.	15% der zuletzt bewältigten Last

Die in der Form vorgenommenen Laststeigerungen werden so lange durchgeführt, bis die Versuchsperson die aufliegende Last bei korrekter Technik nicht mehr über einen kompletten Bewegungszyklus bewegen kann oder der Testleiter infolge des Auftretens von mindestens einem Abbruchkriterium (vgl. Kap. 6.5.2) den Testsatz beendet. Die maximal mögliche Anzahl Testserien je Testtag liegt bei vier, um Ermüdungseinflüsse zu begrenzen.

Der Nachteil dieses Testverfahrens liegt darin begründet, dass in Annäherung an das 1RM die aufliegende Last größer wird und infolge dessen auch die geringste prozentuale Laststeigerung (5%) mit jedem Testsatz die absolute Lasterhöhung maximiert, wohingegen eine immer kleiner werdende Lasterhöhung notwendig wäre. Hier kommt nun wiederum die Erfahrung des Testanwenders ins Spiel, der bei einem Fehlversuch im Abgleich mit der Versuchsperson die Last wieder reduziert (z.B. um 2,5%; Baechle et al., 2000), um das 1RM immer enger einzugrenzen. Wanjek (2001) führte an der Beinpresse sogar Lastveränderungen im Bereich von 0,5 bis 1% durch. Hinsichtlich fein dosierter Laststeigerungen sowie -reduzierungen spielen auch gerätetechnische Aspekte eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Oftmals sind feine Lastabstufungen nicht möglich (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999) und der gesamte Gewichtsblock ist im Einzelfall nicht ausreichend schwer.

Als ein weiterer Nachteil wird gerade beim Anfänger die fehlende Erfahrung mit trainingswirksamen Belastungseinschätzungen im Krafttraining diskutiert (Glass & Stan-

ton, 2004). Mit einer ausreichenden Gewöhnungsphase sollte man in der Lage sein, dieser Problematik zu begegnen.

In der vorliegenden Untersuchungsreihe wurde in Anlehnung an Wanjek (2001) und Zimmer (1999) sowie Fröhlich & Marschall (2001) nach einer allgemeinen Aufwärmphase ein spezielles Aufwärmen an den Testgeräten mit einer körperrgewichtabhängigen, übungsspezifischen Anfangslast durchgeführt. Die ersten drei Testtermine entsprachen der oben beschriebenen Vorgehensweise. Im vierten Termin wurde jedoch nach der Aufwärmphase erst die isometrische Maximalkraft piezoelektrisch ermittelt. Aufgrund der bekannten Beziehung zwischen isometrischer und konzentrischer Maximalkraft (Schmidtbleicher, 1987) konnte die Anzahl der Versuche zur Ermittlung des 1RM, ausgehend von 85% MVC, minimiert werden.

In den Referenzstudien zur Erfassung des 1RM wurden Retest-Reliabilitäten mit dieser Testmethodik zwischen $r = .92$ und $r = .98$ nachgewiesen.

Es ist aus inhaltlicher Sicht davon auszugehen, dass die Validität des Tests hoch einzustufen ist, da zum einen die Trainings- bzw. Gewöhnungssituation mit der Testsituation identisch war und zum anderen die geführten Bewegungen an den Trainingsmaschinen, obwohl es sich um Personen ohne Krafttrainingserfahrung handelte, infolge der nur wenigen Freiheitsgrade leicht zu koordinieren waren und relativ schnell sicher beherrscht wurden.

6.4.2 xRM-Tests

Die Durchführungshinweise von Kraemer & Fry (1995, 122) stützen sich wie beim 1RM-Test auf Schätzungen der xRM-Last. Folgendes Prozedere empfehlen sie zur Ermittlung des 6RM:

1. Satz: 5-10 Wdh. mit 50% des geschätzten 6RM – eine Minute Pause
2. Satz: 6 Wdh. mit 70% des geschätzten 6RM – zwei Minuten Pause
3. Satz: 6 Wdh. mit 90% des geschätzten 6RM – zwei Minuten Pause
4. Satz: 6 Wdh. mit 100-105% des geschätzten 6RM – zwei Minuten Pause
5. Satz: Je nach Erfolg von Satz 4: Laststeigerung bzw. Lastreduktion um 2,5 – 5%

Vier bis maximal fünf Testsätze sollten zum Erfolg führen. Weitere Sätze würden zu sehr von der fortschreitenden Ermüdung beeinflusst, so dass ein weiterer Testtermin vereinbart werden müsste.

Eine realistische Einschätzung der xRM-Last eines Anfängers kann jedoch nur gelingen, wenn im Rahmen der Gewöhnungsphase eine annähernde Ausbelastung mit der angesteuerten Wiederholungszahl getätigt wurde. Über diese Vorgehensweise

lassen die Autoren den Leser jedoch im Unklaren. Für Fortgeschrittene, die über Ergebnisse zurückliegender Tests verfügen oder mit der im xRM-Test anvisierten Wiederholungszahl und dem Testgerät ihr Training gestalten, dürfte das beschriebene Vorgehen praktikabler sein. Dann wäre jedoch die Notwendigkeit des dritten Testsatzes mit 90% des geschätzten xRM vor dem Hintergrund der geringen Differenz zur voraussichtlichen Ziellast und des damit einhergehenden großen Ermüdungsfaktors grundsätzlich zu überdenken.

Analog zur Methodik des 1RM-Tests wurde in der vorliegenden Arbeit das bereits erwähnte Verfahren von Zimmer (1999) verwendet, welches auf folgenden grundlegenden Kriterien fußt:

- Übungsspezifische Anfangslast abhängig vom Körpergewicht und Geschlecht.
- Gewöhnungsphase mit sukzessiver Erhöhung der aufliegenden Last bei konstanter Wiederholungszahl.
- Eigentlicher Testtermin mit sukzessiver Erhöhung bzw. Reduzierung der aufliegenden Last bis zum Erreichen des xRM.
- Lastveränderungen aufgrund der Einschätzung der Probanden zu den theoretisch noch möglichen Wiederholungen gemäß Tab. 22.
- An jedem Testtag maximal 4 Testsätze je Übung bei mindestens dreiminütiger interserieller Pause.

Auch wenn die Annäherung an das xRM letzten Endes auf Versuch und Irrtum basiert, werden mit der körperrgewicht- und geschlechtsbezogenen Anfangslast zwei unabhängige Variablen in die Lastermittlung integriert, die nachweislich die Kraftfähigkeiten determinieren (vgl. Hart et al., 1991; Hollmann & Hettinger, 2000). Im Übrigen wird das Körpergewicht als manifester Indikator der Maximalkraft in regressionsanalytischen Ansätzen dazu genutzt, Trainingslasten zu deduzieren (vgl. Kap. 4).

Die Anfangslast in Prozent der Körpermasse richtete sich nach Erfahrungswerten vorausgegangener Studien und diente in der vorliegenden Studie als Gewichtslast für das spezielle Aufwärmen sowie als Einstiegslast für das Testverfahren. Diesen Ansatz zu optimieren, ist Gegenstand dieser Arbeit.

Im Allgemeinen bleibt auch bei Mehrwiederholungstests trotz dieser standardisierten und begründeten Vorgehensweise die Problematik der mit jedem Testsatz zunehmenden absoluten Lasterhöhung, die Anfälligkeit von Störgrößen aller Art (z.B. Motivation, Tagesform, Randbedingungen, Vorbelastungen, Testangst, Ernährungszustand), defizitäre Kenntnis über übungsspezifische Anfangslasten sowie zielgruppenspezifische Nachteile im Zusammenhang mit Ausbelastung (s. Kap. 3) bestehen.

6.4.3 MVC-Tests

Testprotokolle zur Erfassung der „maximal voluntary isometric contraction (MVC)“ beziehen sich meist auf die eigentliche Messung. Angaben zur Gewöhnungs- bzw. Aufwärmphase fehlen oder sind rudimentär.

Radlinger et al. (1998) weisen zwar darauf hin, dass der Patient grundsätzlich über den gesamten standardisierten Testablauf zu informieren ist und ihn beherrschen muss, eine Spezifizierung der Testvorbereitung hinsichtlich der Gewöhnung an die Testapparatur sowie detaillierte Angaben zu spezifischen Aufwärmprozeduren fehlen jedoch. Bezeichnend ist auch die Beschreibung der Testprozedur von Murphy et al. (1995):

„Prior to data collection each subject warmed up by performing a 5-min bike ride, by stretching, and by completing several submaximal trials of the test item.“ (Murphy et al., 1995, 207)

Aus physiologischer Sicht ist die Notwendigkeit einer adäquaten, testspezifischen Aufwärmphase in Vorbereitung zur Entfaltung maximaler Kräfte unstrittig. Aus testmethodischer Sicht ist, auch bei der Erfassung der isometrischen Maximalkraft, nicht nur in der Aufwärmphase zur eigentlichen Messung, sondern auch im Rahmen von Gewöhnungsterminen (Kraemer & Fry, 1995) die Identität von Test- und Trainingsbewegung eine wesentliche Voraussetzung, um koordinative Einflüsse auszuschließen (Schmidtbleicher, 1987) und infolgedessen reliable und valide Ergebnisse z.B. zur Quantifizierung einer Baseline (Fröhlich & Marschall, 2001; Kraemer & Fry, 1995) zu erhalten. Nur unter diesen Voraussetzungen darf die MVC als Ausgangswert für einen prae-post Vergleich zur Überprüfung von Treatmenteffekten oder für die Ableitung spezifischer Trainingsbelastungen verwendet werden.

Nicht zuletzt dient die MVC auf der Basis der Grundlagentheorie (Güllich & Schmidtbleicher, 1999) beim Auftreten eines engen Zusammenhanges zur konzentrischen Maximalkraft als Nachweis für die Validität des Kriteriums 1RM. Andererseits weisen niedrige Korrelationen auf starke koordinative Einflüsse bei der dynamischen Kraftleistung hin (Müller, 1987).

Eine mögliche Vorgehensweise zur Vorbereitung von MVC-Tests beschreiben Fröhlich & Marschall (2001) im Rahmen einer Untersuchung mit 36 männlichen Sportstudenten, deren isometrische und konzentrische Maximalkraft an drei verschiedenen Kraftgeräten (Latissimus-Zug, Beinpresse liegend, Bauchpresse) diagnostiziert wurde. Nach einer allgemeinen aeroben Aufwärmphase über 4-5 Minuten hinweg (4 min Fahrrad mit 1,5 bis 2 Watt/kg Körpergewicht für „Beintest“ und „Bauchtest“; 5 min Ruderergometer bei 25 bpm für „Lattest“) sowie einem statischen Dehn-

programm für die jeweils beanspruchten Muskelgruppen wurde eine spezielle Erwärmung am jeweiligen Testgerät durchgeführt. Diese bestand aus einem Aufwärm-satz mit ca. 20-30 Wiederholungen mit submaximaler Gewichtsbelastung sowie drei isometrischen Kontraktionen mit geschätzten 50%, 70% und 90% der MVC (nur „Bauch“).

Darüber hinaus enthält die einschlägige Literatur nur unzureichende Angaben zur Durchführung von isometrischen Krafttests (Fröhlich & Marschall, 2001), obwohl die Enge des Zusammenhangs zwischen MVC und 1RM nachweislich von der Gelenkwinkelposition (Murphy et al., 1995; Wang, 1999) und von der Dauer und Geschwindigkeit der Kraftentfaltung (Bemben, Clasey & Massey, 1990) bzw. von der Steilheit der Kraftentwicklung (Kroemer & Marras, 1980) abhängt. Letztere differiert wiederum in Abhängigkeit von der getesteten Muskelgruppe (Morris, Clarke & Dainis, 1983).

In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Bestimmung der MVC in Anlehnung an Fröhlich & Marschall (2001) und Radlinger et al. (1998).

Aufgrund der bekannten Beziehung zwischen MVC-Werten und konzentrischen Maximalkraftwerten (vgl. Müller, 1987; Schmidtbleicher, 1987) wurde ausgehend von 85% der MVC als Ausgangslast für die erste Testserie das 1RM ermittelt. Mit dieser Vorgehensweise waren durchschnittlich nur drei Versuche notwendig.

Die erreichten Korrelationskoeffizienten von $r > .93$ zwischen MVC und 1RM bestätigen zumindest für die Erfassung der Maximalkraft des Armstreckers und der Beinstreckschlinge tradierte Zusammenhänge zwischen isometrischer und konzentrischer Maximalkraft. Dies spricht insgesamt für die Reliabilität und Validität des angewendeten Testverfahrens. Die für die Brustdrück- ($r = .73$) und Latzugbewegung ($r = .75$) geringeren Korrelationen stehen wahrscheinlich im Zusammenhang mit der Festlegung der Gelenkwinkelstellung, die sich gerätetechnisch bedingt nicht „an der Gelenkwinkelstellung mit dem ungünstigsten Last-Kraft-Verhältnis“ orientieren konnte (Fröhlich & Marschall, 2001, 123).

Die strikte Einhaltung der definierten Gelenkwinkelposition während des isometrischen Messverfahrens stellt neben der Motivation des Probanden wohl die einflussreichste Störgröße dar, die es zu standardisieren gilt. Radlinger et al. (1998) definieren insofern als Abbruchkriterium, wenn der Proband die isometrisch einzuhaltende Position mit dem zulässigen Bewegungssektor von $\pm 5^\circ$ zum zweiten Mal verlässt. Für eingelenkige Bewegungen könnte dies ein Toleranzbereich darstellen. Wang (1999) stellte indes fest, dass insbesondere bei mehrgelenkigen Kontraktionen wie z.B. bei einer komplexen Beinstreckung der realisierbare Maximalkraftwert in hohem Maße vom Kniewinkel abhängt.

„Wenn der Proband bei der Positionierung bei 90 Grad um einen Grad zu hoch eingemessen wird, ergibt sich beim Messwert ein Fehler von rd. 2,8 Prozent, bei 5 Grad bereits ein Fehler von 14 Prozent.“ (Wang, 1999, 70)

Im Laufe der Untersuchungsreihen und dem Vorliegen und Interpretation erster positiver Ergebnisse im Sinne der Zielsetzung der Arbeit wurde in weiteren Teilstudien auf die Diagnostik der MVC verzichtet. Die Ermittlung des 1RM wurde nun auf der Basis der im Kapitel 6.4.1 erläuterten Vorgehensweise durchgeführt.

Insofern werden im Folgenden die regressionsanalytisch gewonnenen Ergebnisse bezüglich der MVC als Parameter zur Vorhersage einer hypertrophieorientierten Trainingslast (12RM) sowie der konzentrischen Maximalkraft (1RM) vorab dargestellt.

6.4.4 Ergebnisse: MVC als Prädiktor des 1RM und 12RM

Im Rahmen der Regressionsanalysen zur Vorhersage der Wiederholungsmaxima bei den Übungen CHEST PRESS, LAT PULL, LEG PRESS VERTICAL und TRICEPS EXTENSION wurde auf die Berechnungsvariante der Einschlusmethode (vgl. Kap. 6.6 zur Statistik) zurückgegriffen, da immer nur *eine* unabhängige Variable, die isometrische Maximalkraft, berücksichtigt werden sollte:

- Zur Vorhersage des 12RM CHEST PRESS wurde mit der isometrischen Maximalkraft als Prädiktor bei einer Stichprobe von $N = 39$ ein Determinationskoeffizient von $R^2 = .45$ und ein Standardschätzfehler von rund 4,3 kg ($SEE = 4,34$) berechnet. Die Berechnung zur Vorhersage des 1RM CHEST PRESS ergab eine Varianzaufklärung von ca. 30% bei einem Standardfehler des Schätzers von rund 6,2 kg ($R^2 = .30$; $SEE = 6,25$; $N = 40$).
- Zur Vorhersage des 12RM LAT PULL wurde mit der isometrischen Maximalkraft als Prädiktor bei einer Stichprobe von $N = 43$ ein Determinationskoeffizient von $R^2 = .40$ und ein Standardschätzfehler von rund 4 kg ($SEE = 3,97$) berechnet. Die Berechnung zur Vorhersage des 1RM LAT PULL ergab eine Varianzaufklärung von ca. 47% bei einem Standardfehler des Schätzers von rund 6 kg ($R^2 = .47$; $SEE = 6,03$; $N = 42$).
- Zur Vorhersage des 12RM LEG PRESS VERTICAL wurde mit der isometrischen Maximalkraft als Prädiktor bei einer Stichprobe von $N = 36$ ein Determinationskoeffizient von $R^2 = .58$ und ein Standardschätzfehler von rund 12,4 kg ($SEE = 12,37$) berechnet. Die Berechnung zur Vorhersage des 1RM LEG

PRESS VERTICAL ergab eine Varianzaufklärung von 89% bei einem Standardfehler des Schätzers von rund 8,5 kg ($R^2 = .89$; SEE = 8,54; N = 39).

- Zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION wurde mit der isometrischen Maximalkraft als Prädiktor bei einer Stichprobe von N = 14 ein Determinationskoeffizient von $R^2 = .87$ und ein Standardschätzfehler von rund 1,5 kg (SEE = 1,52) berechnet. Die Berechnung zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION ergab eine Varianzaufklärung von 87% bei einem Standardfehler des Schätzers von rund 2,5 kg ($R^2 = .87$; SEE = 2,47; N = 14).

Im Ergebnis kann mit der MVC als Prädiktor zumindest bei den Übungen LEG PRESS VERTICAL (1RM) und TRICEPS EXTENSION (12RM u. 1RM) eine relativ zuverlässige Aussage über die tatsächlichen Wiederholungsmaxima getroffen werden.

Die zahlreichen Bedingungsfaktoren zur reliablen Durchführung von Krafttests unterstreichen die Notwendigkeit, sich um alternative, testunabhängige Konzepte der Bestimmung von Anfangslasten zu bemühen.

Die Belastungsbestimmung über anthropometrische Merkmale hat nicht nur den Vorteil einer zieladäquateren Belastung bereits während der Gewöhnungsphase, auch die Begrenzung von Testsätzen, als weitere methodische Kernforderung krafttestabhängiger Verfahren, sollte dadurch verbessert werden können, insbesondere wenn es darum geht, trainingswirksame Lasten im Anfängerbereich zu ermitteln.

Die oben dargestellten regressionsanalytischen Ergebnisse zeigen trotz eines testbasierten Prädiktors (MVC) insgesamt nur unzureichende Vorhersagen des 12RM. Im Hinblick auf die durch anthropometrische Parameter erzielten Varianzaufklärungen des 1RM (vgl. Kap. 4) sollten testunabhängig ohne Umweg über die MVC bessere Vorhersagen von Anfangslasten möglich sein.

6.5 Untersuchungsablauf

6.5.1 Standardisierung des Testverfahrens

Die Güte eines sportmotorischen Krafttests ist davon abhängig, wie es dem Untersucher gelingt, die Untersuchungsbedingungen für alle Probanden konstant zu halten, um den Einfluss von Störgrößen auf die Testleistung weitestgehend zu minimieren. Insofern wurden in der vorliegenden Untersuchung sowohl die Testvorbereitung als auch die Testdurchführung und die Testinterpretation standardisiert und a priori festgelegt.

Im Rahmen der *Testvorbereitung* wurde darauf geachtet, dass die räumlichen Bedingungen der einzelnen Teilstudien sich nicht änderten und einer de facto Laborsituation entsprachen. Die Studien am Sportwissenschaftlichen Institut erfolgten in einem geräumigen Kellerflur ohne Publikumsverkehr bzw. im „Uni-Fit“-Fitnessstudio auf dem Uni-Campus außerhalb der regulären Öffnungszeiten. Für die Untersuchungen innerhalb der Bundeswehr stand eine Räumlichkeit zur Verfügung, die eigens dafür hergerichtet wurde und permanent und ausschließlich für die Dauer der Testreihen genutzt werden konnte. Die materialspezifischen Bedingungen waren ebenfalls konstant, da die Testgeräte für die Probanden der jeweiligen Teilstudie dieselben blieben. Die apparativen Voraussetzungen (genormte Steck- u. Zusatzgewichte zur Dosierbarkeit des Widerstandes, Einstellmöglichkeiten zur individuellen Positionierung) zum Zwecke der Standardisierung waren gegeben. Unter dem Aspekt der Circadianrhythmik wurden die Testtermine je Versuchsperson immer zur gleichen Tageszeit durchgeführt. Davon wurde nur in Ausnahmefällen abgewichen. Auch die Testintervalle wurden konstant gehalten. Zwischen dem ersten und zweiten (Gewöhnungsphase) sowie zwischen dem dritten und vierten Termin (Testphase) lagen zwei Tage Pause, zwischen dem zweiten und dritten Termin, bedingt durch das Wochenende, drei Tage, so dass sich die individuelle Untersuchungsdauer auf zwei Wochen beschränkte.

Die psychologische Vorbereitung der Testpersonen bestand in einer textbasierten Information des Testablaufes in Form eines Informationsblattes (vgl. Anhang, Kap. 10.3) mit dem Hinweis, dass die registrierten Kraftwerte in hohem Maße von der individuellen Einstellung und der Motivation abhängig sind und demzufolge bei allen Testterminen eine große Einsatzbereitschaft erforderlich sei. Um die Motivation dokumentierbar und sie als weiteren Interpretationsparameter nutzbar zu machen, wurden die Probanden gebeten, an jedem Untersuchungstermin einen Fragebogen zur Beurteilung der Tagesform auszufüllen (vgl. Anhang, Kap. 10.5).

Der *Testablauf* war immer identisch. Er gliederte sich in eine allgemeine Aufwärmphase mit aerober Beanspruchung an handelsüblichen Herz-Kreislauf-Geräten (Fahrradergometer, Cross-Walker) - in jeder Teilstudie wurde immer das gleiche Gerät genutzt - und Dehnübungen für die hauptbeanspruchte Muskulatur, eine spezielle Aufwärmphase mit zwei leichten Sätzen an den Testgeräten sowie in die abschließende Testphase mit maximal vier Testsätzen. Die interserielle Pause war in der Aufwärmphase auf zwei Minuten und in der Testphase auf drei Minuten festgelegt. Die aufgelegte Last in der speziellen Aufwärmphase richtete sich übungsspezifisch nach Körpergewicht und Geschlecht der Testperson (vgl. Anhang, Kap. 10.6). Dem Unter-

sucher dienten an der Wand befestigte Informationsblätter als Richtschnur und Kontrollinstrument für die standardisierte Durchführung der Untersuchung (vgl. Anhang, Kap. 10.3).

Die *Testinstruktion* basierte auf einem gesprochenem Basaltext und gleichzeitiger Demonstration der Übung. Diese Informationen beinhalteten die Positionierung des Probanden und die Ausgangs- und Endstellung der Testbewegung, den Bewegungsablauf unter Angabe von Trick- und Ausweichbewegungen (vgl. Kap. 6.3) sowie die spezifischen Abbruchkriterien. Die Abbruchkriterien (vgl. Kap. 6.5.2) waren darüber hinaus stichwortartig auf einem Wandzettel notiert, der sich im Blickfeld des Probanden befand. Die individuelle Einstellung der Testgeräte wurde im Testprotokoll dokumentiert und für jeden Einzelnen bei allen Tests konstant gehalten.

Der *Bewegungsablauf* wurde insofern standardisiert, als zur Rhythmusvorgabe ein Metronom genutzt wurde, welches mit einer Schlagfrequenz von vierzig pro Minute für eine konstante (Teil-) Wiederholungs- und Seriadauer sorgte und infolge dessen unabhängig von individuellen Hebelverhältnissen mit entsprechend unterschiedlicher Bewegungsamplitude eine identische Spannungsdauer induzierte, was aus Gründen der Validität im Hinblick auf das Untersuchungsziel wichtiger erschien als ein interindividuell konstantes Bewegungstempo. Das Metronom erzeugte alle 1,5 Sekunden ein Geräusch in Verbindung mit einem Blinklicht. Der Proband sollte darauf das Erreichen der Ausgangsposition (ASTE) bzw. der Endposition (ESTE) abstimmen. Ein konzentrisch-exzentrischer Bewegungszyklus dauerte drei Sekunden.

6.5.2 Abbruchkriterien

Abbruchkriterien stellen einen Kriterienkatalog dar, der verschiedene Punkte beinhaltet, bei deren Auftreten innerhalb eines Testsatzes (12RM, 1RM) oder einer Testprozedur (MVC) ein deutliches Zeichen vorliegt, dass der Proband nicht mehr in der Lage ist, die Bewegung über die vorgegebene Wiederholungszahl korrekt auszuführen oder die Testprozedur unter Berücksichtigung der Vorgaben erfolgreich zu realisieren. Der Test wird dann sofort abgebrochen oder a posteriori für ungültig erklärt.

Aufbauend auf Radlinger et al. (1998, 37) lassen sich folgende Abbruchkriterien formulieren:

- Auftreten von Trickbewegungen
- Auftreten von Ausweichbewegungen

- Arrhythmie der Bewegung bzw. Nichterfüllen der Vorgaben bezüglich der Bewegungsgeschwindigkeit
- Nichteinhaltung der vorgeschriebenen Bewegungsamplitude
- Unregelmäßigkeit in der Atmung und/oder Auftreten von Pressatmung
- Auftreten von Schmerzen oder Beschwerden beim Probanden
- Übungsabbruch durch den Probanden selbst (z.B. Erschöpfung, mangelnde Motivation, Schmerzen etc.)

Mit *Trickbewegungen* wich der Proband von der korrekten Bewegungsausführung ab und verschaffte sich für die Bewältigung der Last bewusst oder unbewusst einen Vorteil. Bei der CHEST PRESS führte ein Absinken der Ellbogen zu einer Verlagerung der Muskelbeanspruchung auf untere Anteile der Brustmuskulatur sowie auf die Armstrecker, deren Ermüdung eventuell noch nicht so weit fortgeschritten war. Beim LAT PULL wurde in diesem Zusammenhang ein Hochziehen der Schultern und ein Nach-vorne-Ziehen der Ellbogen beobachtet, so dass Brustmuskel und Armstrecker miteinbezogen wurden. Des Weiteren wurde hier der Oberkörper zu Beginn der konzentrischen Phase etwas nach hinten geworfen, um durch Impulsübertragung die Armbeuger zu entlasten. Dieses Phänomen zeigte sich auch an der CHEST PRESS und der TRICEPS EXTENSION durch ein schwunghaftes Nach-vorne-Werfen des Kopfes. An der TRICEPS EXTENSION wurde gegen Ende der Streckbewegung ein Auseinandergleiten der Ellbogen durch Innenrotation der Oberarme im Schultergelenk beobachtet, wodurch aus dem Armstrecken ein „Brustdrücken“ wurde. An der LEG PRESS VERTICAL und der LEG PRESS HORIZONTAL konnten Trickbewegungen am Abheben des Gesäßes manifestiert werden, wodurch ein günstigerer Kniewinkel erreicht wurde.

Ausweichbewegungen traten immer dann auf, wenn der Proband nicht mehr in der Lage war, die vorgegebene Positionierung während der Testdurchführung aufrecht zu erhalten. Ursache dafür war eine zu hohe Last im Bezug auf die fortschreitende Ermüdung der stabilisierenden Muskulatur. Dies führte an der CHEST PRESS und an der LEG EXTENSION zu einer Hyperlordose, an der LEG PRESS VERTICAL zum Satzende hin zu einem Nachlassen des vertikalen Armzuges und somit zu einem Abheben des Gesäßes und an der TRICEPS EXTENSION zu einem Ausweichen des Schultergürtels nach oben.

Arrhythmie der Bewegung bedeutete, dass der Bewegungszyklus nicht gemäß Zeitvorgabe (3 Sekunden) entsprechend des Metronomtaktes, also zu schnell oder zu langsam durchgeführt wurde. Eine zu schnelle Ausführung würde dazu führen, dass

die ermittelte 12RM-Last zu hoch wäre. Konnte der Proband den Bewegungsrhythmus nicht korrigieren, wurde der Testsatz abgebrochen. Eine zu langsame Ausführung, die auf Hinweis des Untersuchers nicht unmittelbar gemäß Taktvorgabe beschleunigt werden konnte, deutete auf muskuläre Ermüdung hin. Auch hier war der Testabbruch die logische Konsequenz. Arrhythmie zeigte sich aber auch in unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten der konzentrischen im Vergleich zur exzentrischen Phase darin, dass beim Überwinden der Last übermäßig mit Schwung gearbeitet wurde.

Die Nichteinhaltung der vorgeschriebenen Bewegungsamplitude war das offensichtlichste Abbruchkriterium. Bei den Übungen CHEST PRESS, LAT PULL, TRICEPS EXTENSION und LEG EXTENSION wurde die Endposition nicht erreicht und bei den Übungen LEG PRESS VERTICAL, LEG PRESS HORIZONTAL und TRICEPS EXTENSION konnte die Ausgangsposition nicht mehr überwunden werden. In beiden Fällen war der „sticking-point“, also der Punkt, bei dem die Kraftverlaufskurve die Widerstandskurve unterschritt, der Auslöser für den Bewegungsabbruch.

Unregelmäßigkeiten in der Atmung und vor allem *Pressatmung* stellen Abbruchkriterien dar, da sie mit gesundheitlichen Risiken einhergehen. Generell sollte in der konzentrischen Phase der Bewegung ausgeatmet werden, da hier die Anstrengung am größten ist und die Agonisten feste Ansatzpunkte benötigen (Gottlob, 2003a). Die Einatmung sollte in der exzentrischen Phase erfolgen.

Unter Pressatmung versteht man die Ausatmung gegen die verschlossene Stimmritze (de Marées, 2002, 200), wodurch kardiovaskuläre Risiken wie z.B. hoher Blutdruckanstieg mit verbunden sind. Außerdem kommt es zu einer negativen Belastung der Beckenbodenmuskulatur, die infolge einer Dauerbelastung erschlaffen und zu Inkontinenz führen kann (Buskies, 2001; de Marées, 2002; Zimmermann, 2000). Man konnte Pressatmung an der fehlenden Atmung, einem hochroten Kopf und/oder an einem Halsvenenstau erkennen. In erster Linie trat Pressatmung im Zusammenhang mit der Überwindung des „Totpunktes“ bei der Ermittlung des 1RM sowie bei den letzten Wiederholungen des 12RM-Tests auf. Hierbei tolerierte der Untersucher eine kurze, unwillkürliche Pressatmung, um die Last über den kritischen Gelenkwinkelbereich hinweg zu bewegen, wenn sich danach wieder eine korrekte Atmung bzw. Ausatmung anschloss. Während des MVC-Tests bestand die Vorgabe in einer permanenten Ausatmung. Eine damit einhergehende Geräusentwicklung (Stöhnen etc.) war vielen eine große Hilfe, Pressatmung zu vermeiden. Erstaunlicherweise konnten die Probanden dies sehr gut umsetzen, obwohl es sich um Anfänger handelte.

Beim *Auftreten von Schmerzen oder Beschwerden* bei der Bewegungsausführung brach der Proband den Testsatz von sich aus ab. Hierbei war es von großer Bedeutung, zwischen dem Muskelschmerz zu unterscheiden, der sich zwangsläufig bei großer Auslastung im Hypertrophiebereich infolge hoher Laktatkonzentrationen einstellte und dem Schmerz, der in den Gelenkregionen oder an den Sehnenansätzen auftrat. Letzteres war ein objektives Abbruchkriterium und konnte durch latente Gelenkbeschwerden, Entzündungen, falsche Geräteeinstellungen oder falsche Bewegungsausführung ausgelöst worden sein. Schmerzen am passiven Bewegungsapparat traten mehrfach bei den Übungen LEG PRESS VERTICAL und LEG PRESS HORIZONTAL auf. Starkes Muskelbrennen stellte ein subjektives Abbruchkriterium dar, abhängig vom individuellen Schmerzempfinden des Probanden. Im Rahmen der Instruktion wurden die Probanden auf diesen Aspekt vorbereitet und hingewiesen. Darüberhinaus spielten auch Motivation und Erschöpfung eine Rolle, wenn der Proband die Übung vorzeitig beendete.

6.5.3 Gewöhnungs- und Testphase

In drei der vier Querschnittsuntersuchungen beinhaltete die Gewöhnungsphase zwei Termine. Lediglich in der Evaluationsstudie an der LEG PRESS HORIZONTAL wurde aus Gründen der Zielsetzung dieser Studie im Hinblick auf Praxistauglichkeit, gemäß der allgemein üblichen Vorgehensweise in einem kommerziellen Fitness-Studio, nur *ein* Gewöhnungstermin durchgeführt, bevor dann im nächsten Termin die Anfangslasten für die entsprechenden Übungen festgelegt würden.

Innerhalb der Gewöhnungsphase wurde darauf abgezielt, die Probanden mit den Testgeräten und mit dem Testprozedere vertraut zu machen sowie die inter- und intramuskuläre Koordination zu schulen. Aus pragmatischen Gründen (Testdauer) mussten zwei Gewöhnungstermine genügen. Außerdem kann aufgrund der relativ einfach strukturierten Übungen davon ausgegangen werden, dass insbesondere im Bereich der intermuskulären Koordination darüber hinaus keine wesentliche Verbesserung zu erwarten ist und somit bereits erste Trainingseffekte generiert würden, wenn weitere Termine der Gewöhnung dienen. Jeder Proband absolvierte in den ersten beiden Terminen insgesamt mindestens 10 Serien pro Testgerät mit jeweils 12 Wiederholungen.

Am *ersten Termin* wurden die Probanden über den Gegenstand der Untersuchung und den Untersuchungsverlauf instruiert. Dazu diente ein Informationsblatt am

„Schwarzen Brett“ des Testraumes, an dem auch die „Check-up-Liste über den standardisierten Untersuchungsablauf“ sowie ein Infoblatt über das „Standardisierte Aufwärmprogramm“, als Kontrolllisten für den Untersucher, befestigt waren. Im Anschluss daran wurden mit dem *Fragebogen zur Erfassung personenspezifischer Variablen* Daten erhoben, die u. a. die Eignung für die Teilnahme an der Untersuchung betrafen. Der *Fragebogen zur Erfassung der aktuellen psychischen und physischen Befindlichkeit*, der in jedem Testtermin direkt vor Testbeginn ausgefüllt wurde, sollte Angaben zur sportlichen Aktivität der letzten 48 Stunden sowie zur individuellen Einschätzung der physischen und psychischen Tagesverfassung festhalten. Alle Bogen sind im Anhang (Kap. 10) wiedergegeben.

Vor dem Test erfolgte die Ermittlung der anthropometrischen Parameter (vgl. Kap. 6.5.4). Das allgemeine Aufwärmprogramm sah eine fünfminütige Fahrradergometer- bzw. Cross-Trainer-Belastung mit 1 (Frauen) bis 1,5 Watt (Männer) pro Kilogramm Körpergewicht mit 60 bis 80 rpm vor. Zusätzlich wurden auf dem Ergometer 1kg schwere Kurzhanteln bei rechtwinkelig gebeugten Ellenbogen beidseitig gehalten, um den Aufwärmeffekt auch etwas auf die Oberkörpermuskulatur zu verlagern. Im ersten Termin des ersten Querschnittes (CHEST PRESS – LEG PRESS VERTICAL – LAT PULL) bestand der erste Teil des allgemeinen Aufwärmens in einem submaximalen Ausdauerstest (PWC 170). Der PWC 170 floss als weitere unabhängige Variable in die regressionsanalytischen Berechnungsmodelle mit ein, um den Einfluss der aeroben Leistungsfähigkeit auf Kraftleistungen quantifizieren zu können. Das Testprotokoll befindet sich im Anhang (Kap. 10.6). Im zweiten Teil des allgemeinen Aufwärmens wurde generell die hauptbeanspruchte Muskulatur jeweils zweimal für 20 Sekunden bei submaximaler Dehnintensität passiv-statisch gedehnt.

Danach erfolgte die Erläuterung und Demonstration des standardisierten Bewegungsablaufes an den Testgeräten sowie die Festlegung der genauen Positionierung des Probanden. Letzteres wurde protokolliert.

Daran schloss sich die spezielle Aufwärmphase an. Hierbei wurde in Abhängigkeit der Größe der an der Übung beteiligten Muskelgruppe, eine körperrgewicht- und geschlechtsspezifische Anfangslast in 2 Serien mit je 12 Wiederholungen bewegt. Die Pause zwischen den Serien betrug 2 Minuten. Beim Testen mit mehreren Geräten wurden Supersätze durchgeführt, wobei nach der einen Übung in der Pause ohne Verzug die nächste durchgeführt wurde. Die Bewegungsfrequenz wurde bereits hier durch das Metronom (40 bpm) vorgegeben. Lediglich im vierten Termin differierte die Belastungsvorgabe des speziellen Aufwärmens.

Die sich anschließende Testphase umfasste 3 bis maximal 4 Testsätze zu 12 Wiederholungen und 3-minütiger interserieller Pause. Die Laststeigerungen richteten sich nach den im Kapitel 6.4 beschriebenen Kriterien.

Insgesamt lag die Testdauer des ersten Gewöhnungstermins bei etwa 60 Minuten.

Nach 2 Tagen Pause wurde der *zweite Gewöhnungstermin* durchgeführt.

Dem obligatorischen Ausfüllen des Fragebogens zur Beurteilung der Tagesform folgte das allgemeine und spezifische Aufwärmprogramm und im Anschluss daran die 3 bis 4 Testsätze, wobei sich die Einstiegslast des ersten Testsatzes aus der Last des letzten Testsatzes des ersten Termins unter Berücksichtigung der Einschätzung der Probanden errechnete. Der zweite Termin dauerte etwa 45 Minuten. Danach erfolgte eine Pause von 3 Tagen.

In der Evaluationsstudie an der LEG PRESS HORIZONTAL wurde die Last im zweiten Termin auf der Basis einer im ersten Querschnitt an der LEG PRESS VERTICAL ermittelten Regressionsgleichung festgelegt.

Die ersten beiden Serien dienten dem speziellen Aufwärmen. Die Last wurde am berechneten 12RM relativiert (vgl. Tabelle 23). Bei den weiblichen Probanden entsprach die Ziellast 75% der für die Männer errechneten Werte. Nach Hollmann & Hettinger (2000, 175) beträgt die absolute Kraft der Frau durchschnittlich 70% der des Mannes, wobei für die Beinstrecker ein Wert von ca. 78% angegeben wird (Hollmann & Hettinger, 2000, 179).

Tab. 23. Intensitäten der Serien 1-3 in Relation zum berechneten 12RM für Männer und Frauen

Geschlecht	Intensität [% 12RM ber.]		
	1. Serie	2. Serie	3. Serie
Männer	50	75	100
Frauen	45	60	75

Die dritte Serie war der erste Testsatz, da hier die mit Hilfe des individuellen BMI berechnete 12RM-Last aufgelegt wurde. Wenn diese Last zu schwer oder zu leicht war, sollte in maximal zwei weiteren Versuchen das tatsächliche 12RM ermittelt werden.

Hierbei wurde je nach Übungserfolg entweder die Last nach bekanntem Schema erhöht oder in gleicher Weise reduziert. Die Zielsetzung war so definiert, dass auf der Basis der berechneten Last als Anfangslast in maximal 3 Testserien das tatsächliche 12RM als zieladäquate Trainingslast pragmatisch ermittelt werden sollte.

Diese Teilstudie sah lediglich zwei Termine vor.

Die Testphase aller anderen Querschnitte begann mit dem *dritten Termin*. Dieser diente der Ermittlung des 12RM. Auch hier wurde zuerst die psycho-physische Tagesform protokolliert. Zur Reliabilitätsverbesserung durch Mehrfachmessung wurden die Parameter Körpergewicht und Körperfettanteil ein weiteres Mal am dritten Termin - eine Woche später als der erste Termin, am gleichen Wochentag und zur gleichen Tageszeit - erfasst und ein Mittelwert gebildet. Nach allgemeinem und speziellem Aufwärmen in gewohnter Weise wurde im ersten Testsatz die Last des letzten Testsatzes des zweiten Termins zuzüglich der Laststeigerung aufgrund der Einschätzung der Probanden aufgelegt. In maximal drei weiteren Serien mit 3minütiger interserieller Pause wurde unter besonderer Berücksichtigung der definierten Abbruchkriterien (vgl. Kap. 6.5.2) das 12RM ermittelt. Zwischen dem dritten und dem vierten Termin wurden mindestens 2 Tage Pause eingelegt.

Am *vierten und letzten Termin* wurde das 1RM ermittelt. Die Abfrage der Tagesform und die allgemeine Aufwärmphase erfolgten wie üblich. Das spezielle Aufwärmprogramm musste in Anbetracht der bevorstehenden maximalen Widerstände etwas modifiziert werden. Statt 12 Wiederholungen wurden nun lediglich 6 Wiederholungen, jedoch mit dem im dritten Termin ermittelten 12RM durchgeführt. Wie im Kapitel 6.4.3 bereits erwähnt, wurde im Verlauf der Gesamtuntersuchung die Methodik der Ermittlung des 1RM abgewandelt. Im ersten Querschnitt sowie in der ersten Teilstudie des zweiten Querschnitts (TRICEPS EXTENSION) erfolgten nach dem speziellen Aufwärmen 2 Messungen der isometrischen Maximalkraft in der Ausgangswinkelstellung der konzentrischen Tests mit einer Pause von 2 Minuten zwischen den Testserien. Der höchste Wert war die Basis für den ersten Testsatz (85% MVC) zur Erfassung des 1RM. Auch hier waren maximal 4 Serien vorgesehen. Die Abbruchkriterien wurden strikt eingehalten.

Im weiteren Verlauf der Gesamtuntersuchung wurde auf die Messung der MVC verzichtet und das 1RM gemäß der im Kapitel 6.4.1 beschriebenen Vorgehensweise bestimmt. Der vierte Termin dauerte etwa 45 Minuten.

6.5.4 Erhebung anthropometrischer Parameter

Das *Körpergewicht* wurde auf 0,1 kg genau mit einer digitalen Körperfettanalysewaage (Tanita[®] Typ UM-018) ermittelt, wobei der Proband nur mit der Unterhose bekleidet, das Gewicht auf beiden Beiden gleichmäßig verteilt auf der Waage stand. Im gleichen Messvorgang wurde auch der Körperfettanteil gemessen.

Die *Körperhöhenmessung* erfolgte mit dem Waagensystem SECA 710 der Fa. SECA (Hamburg). Mit diesem Gerätetyp wird in der Bundeswehr im Rahmen der medizinischen Eingangs- und Tauglichkeitsuntersuchung Körperhöhe und Körpergewicht von Rekruten erfasst.

Der Proband stand mit dem Rücken zum Gerät, barfuß auf dem Boden, so dass sich die Fersen berührten (vgl. Abb. 13). Er wurde aufgefordert, sich bewusst gerade und aufgerichtet zu stellen und ruhig weiter zu atmen. Dann schob der Testleiter den horizontal ausgerichteten Schiebeleger von höherer Position herunter, bis er fest auf dem Kopf auflag. Die Körperhöhe wurde auf der Skala auf 0,1 cm genau abgelesen.



Abb. 13. Körperhöhenmessung

Als Alternativmaß zur Körperhöhe wurde der *Halbspann* gemessen, da die Körperhöhe im Tagesverlauf abnimmt und die Körperhöhenmessung der Probanden interindividuell zu unterschiedlichen Tageszeiten erfolgte. Der Halbspann könnte bei Probanden mit Haltungsfehlern, z.B. bei einer starken Brustkyphose, aufgrund eines en-

geren Zusammenhanges mit den Extremitätenlängen die individuellen Hebelverhältnisse besser widerspiegeln als die Körperhöhe.

Außerdem sollte mit dem Halbspann ein Parameter erfasst werden, der die Armlänge beinhaltet und insofern einen begründeten Einfluss auf die Bankdrück- bzw. Latzugleistung hat.

Der Halbspann (Basse, 1986) stellt die Distanz zwischen der Mitte der Sternalgrube und der Fingerwurzel zwischen Ring- und Mittelfinger bei seitlich in Frontalebene ausgestreckten Armen dar (vgl. Abb. 14). Die Messung erfolgte am rechten Arm und wurde mit einer Genauigkeit von 0,1 cm abgelesen.

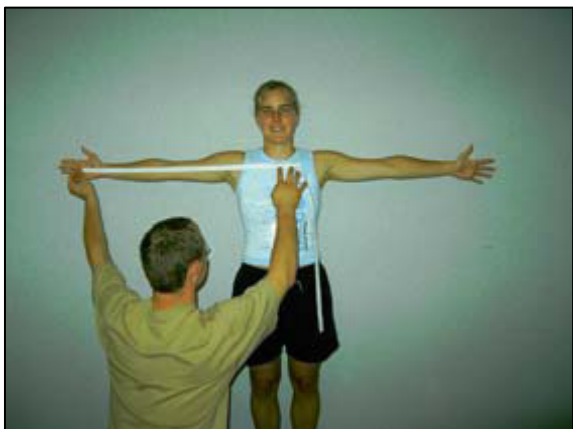


Abb. 14. Messung des Halbspanns rechts

Aus den Messwerten für das Körpergewicht und Körperhöhe wurden die einfachen Proportionsindizes Body-Mass-Index (BMI), Broca-Index, Quetelet-Index und Rohrer-Index berechnet (s. S. 89 ff). Diese Indizes quantifizieren das Körperhöhen-/Körpermasse-Verhältnis einer Person, wobei der Broca-Index eine absolute Differenz zwischen einem der Körperhöhe entsprechenden Normalgewicht und der tatsächlichen Körpermasse berechnet und die anderen Indizes das körperhöhenbezogene Lastverhältnis, relativ betrachtet, kennzeichnen (Martin et al., 1999). Während der Rohrer-Index relativ alterskonstant ist, setzen Einschätzungen und Bewertungen basierend auf BMI, Broca-Index und Quetelet-Index immer die Einbeziehung des chronologischen Alters voraus. Der Rohrer-Index scheint darüber hinaus am ehesten geeignet, die anhand empirischer Analysen nachweisbaren Zusammenhänge zwischen Alter, Größe, Gewicht und Proportionen quantitativ abzubilden (Martin et al., 1999). Die Indizes werden auch als Maße für die „Körperfülle“ verwendet (Schnabel et al., 2003, 186).

Der *Körperfettanteil* wurde mit oben erwähnter Körperfettanalysewaage mit dem Verfahren der Bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) auf 0,1 % genau ermittelt. Die Impedanzanalyse erlaubt die Körperfettmassenbestimmung auf der Basis des elektrischen Körperwiderstandes. Muskelgewebe besitzt aufgrund eines höheren Gehalts an Flüssigkeit und Elektrolyten eine größere elektrische Leitfähigkeit als Fettgewebe. Diese im Studiobetrieb einfach und schnell praktizierbare Methode besitzt nach Viol (1991) eine hohe Durchführungs-, Erfassungs- und Auswertungsobjektivität. Herm (2003) beziffert die Messgenauigkeit auf 2,7%. Cable, Niemann, Austin, Hogen & Uter (2001) bescheinigen der Bioimpedanz eine hohe Validität. Der Vorhersagefehler der Bioimpedanz sei mit anthropometrischen Methoden wie der Kalipermetrie (Hautfalten-Methode) vergleichbar (3,5 % zu 3,3 %). Dennoch ist der Einfluss des Flüssigkeitshaushaltes auf das Messergebnis nicht von der Hand zu weisen (Herm, 2003).

Mit den Werten der Körpermasse und des prozentualen Körperfettanteils wurde a posteriori die *fettfreie Masse* errechnet. Die BIA-Methode ermöglicht nach Cable et al. (2001) eine zuverlässige Vorhersage der fettfreien Masse insbesondere bei heterogenen männlichen Personen. Der Körperfettanteil und die fettfreie Masse, im Angelsächsischen als *lean body mass* bezeichnet, erlauben eine genaue Beurteilung der Körperzusammensetzung und des globalen Trainingszustandes einer Person. Diesem Aspekt wurde durch die Berechnung der Proportionsindizes auf der Basis der fettfreien Masse anstelle der Körpermasse Rechnung getragen.

Je nach Quelle und Altersgruppe liegen die Empfehlungen für einen gesunden Körperfettanteil bei 8-25% für Männer und bei 20-36% für Frauen. Der Parameter fettfreie Masse scheint in Kombination mit Umfangsmessungen geeignet, Kraftunterschiede bei Untrainierten zu erklären (Heyward et al., 1986).

Der *Oberarmumfang* wurde mit einem Kunststoffmaßband gemessen (Ablesegenauigkeit = 0,1 cm). Hierzu wurde der Proband aufgefordert, den rechten Arm bei 135° Flexion im Ellenbogengelenk maximal anzuspannen. Der Oberarm war dabei im Schultergelenk 90° abduziert und außenrotiert und die Hand in supinierter Stellung 90° flektiert. Gemessen wurde der Umfang an der dicksten Stelle (Marfell-Jones, 2002).

Die Längen von Ober- und Unterschenkel des rechten Beines wurden mittels Maßband bestimmt. Für die *Oberschenkellänge* (Ablesegenauigkeit in der Studie LEG EXTENSION = 0,1 cm; Ablesegenauigkeit in der Studie LEG PRESS HORIZONTAL = 1 cm) war der Abstand zwischen Trochanter major und dem äußeren seitlichen Kniegelenkspalt maßgebend (vgl. Abb. 15). Die *Unterschenkellänge* wurde zwischen

dem äußeren Kniegelenkspalt und der Mitte des Malleolus lateralis gemessen (vgl. Abb. 16; Ablesegenauigkeit in der Studie LEG EXTENSION = 0,1 cm; Ablesegenauigkeit in der Studie LEG PRESS HORIZONTAL = 1 cm).

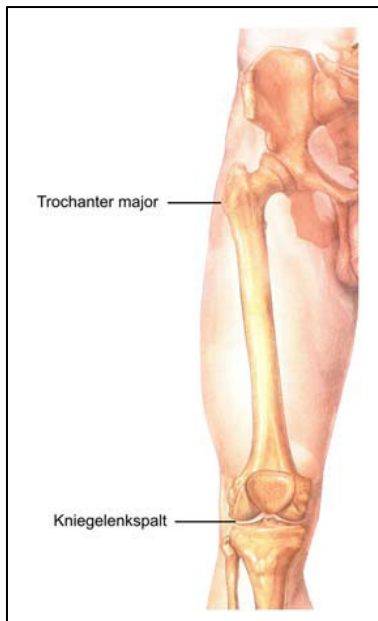


Abb. 15. Oberschenkellänge als Abstand zwischen Trochanter major und Kniegelenkspalt (modifiziert nach Olson, 1998)

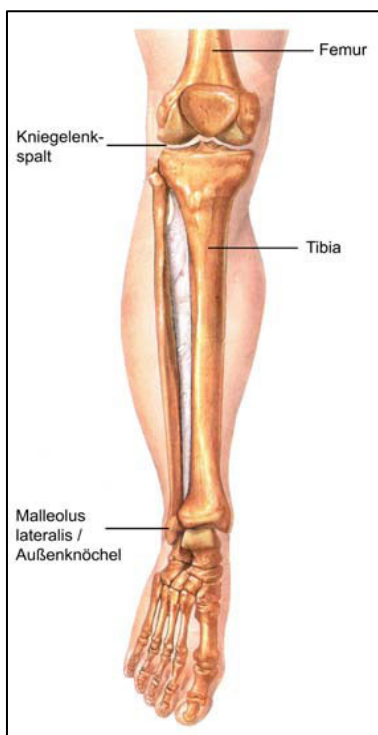


Abb. 16. Unterschenkellänge als Abstand zwischen Kniegelenkspalt und Außenknöchel (modifiziert nach Olson, 1998)

In der Studie LEG PRESS HORIZONTAL erfolgte die Messung des rechten *Oberschenkelumfangs* ebenfalls mit einem Maßband unter maximal isometrischer Anspannung gegen eine Überlast, in der Mitte des Abstandes zwischen Trochanter major und dem äußeren Kniegelenkspalt mit einer Ablesegenauigkeit von 1 cm (Marfell-Jones, 2002).

In der Studie LEG EXTENSION wurde erst an beiden Oberschenkeln die Länge ermittelt (vgl. Abb. 27) und im Anschluss daran, bei 44% der Oberschenkellänge von proximal ausgehend (Hochmuth, 1981), die Umfänge mit einer Ablesegenauigkeit von 0,1 cm per Maßband bestimmt. Dabei stand der Proband mit beiden Beiden, das Körpergewicht gleichmäßig verteilt, auf dem Boden. Von beiden Umfangswerten wurde dann der Mittelwert gebildet.

6.6 Statistik

Zur Datenverarbeitung und statistischen Auswertung wurde die Statistiksoftware SPSS 12.0 herangezogen. Die Analyse der Beziehungen zwischen Prädiktorvariablen und Kriteriumsvariablen erfolgte mit Hilfe der Multiplen Regressionsanalyse (Bortz, 1999; Bortz & Döring, 2002; Diehl & Kohr, 1994; Köller & Gehrke, 1999; Leonhart, 2004; Tabachnick & Fidell, 2001; Willimczik, 1999). Diese mündete im Ergebnis in eine Regressionsgleichung zur Vorhersage von Kriteriumswerten sowie im Multiplen Korrelationskoeffizienten (R), der ein Maß für die Güte des Zusammenhangs (Köller & Gehrke, 1999) bzw. für die Genauigkeit der Vorhersage (Willimczik, 1999) darstellt. Der Determinationskoeffizient (R^2) quantifiziert den Anteil der aufklärten Varianz des Kriteriums, wobei der minderungskorrigierte R^2 -Wert (R^{2*}) bei großer Prädiktoranzahl und kleiner Stichprobe ein präziserer Schätzer für den quadrierten multiplen Korrelationskoeffizienten auf Populationsebene ist als R^2 (Köller & Gehrke, 1999, 383).

In die Berechnungen gelangten nur diejenigen Variablen, die die Voraussetzungen hinsichtlich Intervallskalierung, Normalverteilung und Linearität erfüllten.

Alle Daten waren metrisch skaliert. Normalverteilung wurde anhand des Kolmogorov-Smirnov-Tests (s. Anhang, Kap. 10.1) überprüft. Die Linearitätsprüfung erfolgte durch Betrachtung der entsprechenden Streudiagramme, die gleichzeitig zur optischen Überprüfung der bivariaten Normalverteilungen dienten (Bortz, 1999, 183ff). Zur Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den Variablen wurde die Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson berechnet.

Im Rahmen der regressionsanalytischen Berechnungen wurden nach einer übungsspezifischen a priori Auswahl der Prädiktoren (Leonhart, 2004) in einem weiteren Schritt die unabhängigen Variablen mit dem Verfahren der schrittweisen Regression eingebracht. Diese Technik stellt im Sinne der Hypothesenerkundung ein geeignetes Verfahren dar (Bortz, 1999), diejenigen Variablen zu identifizieren, die einen - weiteren - signifikanten Beitrag zur Varianzaufklärung der abhängigen Variablen leisten. Wenn die schrittweise Regression lediglich *einen* signifikanten Prädiktor isolierte, wurde in einem dritten Schritt mit der Einschlussmethode eine weitere Berechnung mit diesem Prädiktor vorgenommen (Bühl & Zöfel, 2002).

Für den F-Test zur Absicherung des multiplen Korrelationskoeffizienten gegen null sowie für den t-Test zur Signifikanzprüfung der jeweiligen Regressionsgewichte (B) wurde das Signifikanzniveau auf $p \leq 0,05$ festgelegt.

Nach Diehl & Kohr (1994) gehen in die Bestimmung der Beta-Gewichte Zufallsfehler der Stichprobe ein, die umso bedeutsamer sind, je größer die Zahl der Prädiktoren und je kleiner der Stichprobenumfang ist. Dadurch wird der tatsächliche, in der Population bestehende, Zusammenhang zwischen den Prädiktoren und dem Kriterium überschätzt. Gegen die Gefahr der Überschätzung der multiplen Regression empfehlen Köller & Gehrke (1999) das statistische Verfahren der sog. Kreuzvalidierung. Hierbei wird die Gesamtstichprobe per Zufall in zwei annähernd gleich große Teilstichproben zerlegt („split-half“) und für jede Teilstichprobe (A + B) eine Regressionsanalyse durchgeführt. Danach wird die Regressionsgleichung A zur Vorhersage der Kriteriumsvariablen in B verwendet und umgekehrt. Die Korrelation der auf diese Weise vorhergesagten Kriteriumsvariablen mit den tatsächlichen Kriteriumswerten in der Originalstichprobe informiert über die Konsistenz der Merkmalsvorhersage über verschiedene Stichproben hinweg. Diese Korrelation r' wird nach Diehl & Kohr (1994, 336) in den meisten Fällen kleiner sein als der in der Originalstichprobe bestimmte Koeffizient R. Beide Koeffizienten sollten jedoch nicht stark voneinander abweichen. Köller & Gehrke (1999, 393) schlagen zur Überprüfung, ob sich die beiden Koeffizienten signifikant voneinander unterscheiden, einen F-Test vor, der jedoch nur dann durchgeführt werden kann, wenn mehrere Prädiktoren isoliert wurden, was im Allgemeinen nicht der Fall war. Zur Prüfung der Differenz zwischen beiden Koeffizienten wurde deshalb die FISHERsche z-Transformation durchgeführt (Clauß & Ebner, 1989, 278ff).

Im Gegensatz zur „split-half-Methode“ bot sich im Rahmen der Trizeps-Studie die Möglichkeit, mit zwei „echten“ unabhängigen Stichproben (Universität vs. Bundeswehr) eine Kreuzvalidierung zu rechnen.

Da die Stichprobenumfänge der einzelnen Querschnitte relativ klein waren ($N \leq 58$), wurde neben einer statistischen Kreuzvalidierung zusätzlich eine „empirische Kreuzvalidierung“ im Sinne eines Näherungsverfahrens durchgeführt, wobei gemäß Untersuchungsteilziel 2 (vgl. Kap. 5) die in der LEG PRESS VERTICAL Studie gewonnene Regressionsgleichung in einem weiteren Querschnitt (LEG PRESS HORIZONTAL) bei einer anderen Stichprobe überprüft wurde. Auf Basis der empirisch ermittelten Regressionsgleichung an der LEG PRESS VERTICAL wurden die Anfangslasten an der LEG PRESS HORIZONTAL bestimmt. Die Zuverlässigkeit dieser Bezugsgröße zur Ansteuerung einer trainingswirksamen Last (12RM) war Gegenstand dieser sog. empirischen Kreuzvalidierung.

Zusammenhänge zwischen geschätzten und gemessenen Werten wurden mit Hilfe des Intraclass Correlation Coefficienten (ICC) dargestellt (Bühl & Zöfel, 2005). Mit dem t-Test bei einer Stichprobe wurde die mittlere absolute Abweichung der berechneten und experimentell ermittelten Kraftwerte auf Signifikanz überprüft. Auch hier sollte die Irrtumswahrscheinlichkeit bei maximal 5% liegen.

7 Ergebnisse

In die Datenauswertung gelangten nicht alle Versuchspersonen der Gesamtstichprobe (vgl. Kap. 6.1) und von einzelnen Versuchspersonen konnte lediglich das jeweilige 12RM, aber nicht das 1RM bzw. die MVC ermittelt werden. Gründe hierfür waren zum einen das Auftreten latenter orthopädischer Beschwerden, die während des Testzeitraumes manifest wurden (z.B. 4 Vpn an der LEG PRESS VERTICAL) und bei den Soldaten dienstliche Zwänge, die einer vollständigen Teilnahme an der Testreihe im Wege standen. Zum anderen wurden aufgrund des explorativen Charakters der vorliegenden Arbeit, die Daten derjenigen Versuchspersonen aus den Stichproben entfernt, die bei der Betrachtung der Grafiken zur Linearitätsprüfung einen Extremwert darstellten (Bortz, 1999) und bei mehr als einem Drittel, der in die Berechnung aufgenommenen Variablen außerhalb des 95%igen Konfidenzintervalles lagen.

Die in die Berechnung einbezogenen Variablen sind hinreichend normalverteilt und halten einer optischen Überprüfung der Linearität stand.

Tabelle 24 zeigt im Überblick die Ergebnisse der Regressionsanalysen.

Tab. 24. Die Ergebnisse der signifikanten Regressionsanalysen mit Angabe der Prädiktoren, minderrungskorrigierten Determinationskoeffizienten (R^{2*}) und Standardschätzfehler (SEE) im Überblick

Abhängige Variablen	Prädiktoren	R^{2*}	SEE (kg)
12RM TRICEPS EXTENSION gesamt 1RM TRICEPS EXTENSION gesamt	fettfreie Masse fettfreie Masse	.81 .74	2,6 4,6
12RM TRICEPS EXTENSION Uni 1RM TRICEPS EXTENSION Uni	Quetelet-Index mit fettfreier Masse Quetelet-Index mit fettfreier Masse	.84 .77	2,5 4,3
12RM TRICEPS EXTENSION Bw 1RM TRICEPS EXTENSION Bw	fettfreie Masse fettfreie Masse	.72 .47	2,2 4,7
12RM TRICEPS EXTENSION männlich 1RM TRICEPS EXTENSION männlich	fettfreie Masse fettfreie Masse	.56 .34	2,7 4,3
12RM TRICEPS EXTENSION weiblich 1RM TRICEPS EXTENSION weiblich	Quetelet-Index mit fettfreier Masse Quetelet-Index mit fettfreier Masse	.21 .14	2,1 3,1
12RM LEG EXTENSION 1RM LEG EXTENSION	Quetelet-Index mit fettfreier Masse Quetelet-Index mit fettfreier Masse	.64 .66	9,5 5,4
12RM CHEST PRESS 1RM CHEST PRESS	Quetelet-Index mit fettfreier Masse Rohrer-Index mit fettfreier Masse	.32 .19	4,9 6,4
12RM LAT PULL 1RM LAT PULL	Quetelet-Index Body-Mass-Index	.59 .54	3,2 5,6
12RM LEG PRESS VERTICAL 1RM LEG PRESS VERTICAL	Body-Mass-Index Body-Mass-Index	.46 .49	14,3 17,9
12RM LEG PRESS HORIZONTAL	Unterschenkellänge, Body-Mass-Index	.73	13,7

7.1 Eingelenkige Übungen

7.1.1 TRICEPS EXTENSION

An der TRICEPS-EXTENSION Studie nahmen insgesamt 58 Versuchspersonen teil. Davon waren 21 Frauen und 37 Männer. Die Probanden waren durchschnittlich $23,5 \pm 4$ Jahre alt und $72,8 \pm 12,4$ kg schwer.

Für das **12RM TRICEPS EXTENSION** (N = 55) wurde als einzige signifikante Prädiktorvariable die **fettfreie Masse** mit einer minderungskorrigierten Varianzaufklärung von 81% und einem Standardschätzfehler von rund 2,6 kg ($R^{2*} = .81$; SEE = 2,59) isoliert.

Tab. 25. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION

Modell	Beta	T	Signifikanz
Konstante	-5,07	-2,59	sign.
fettfreie Masse	0,51	15,09	sign.

Aufgrund der nicht standardisierten Beta-Koeffizienten in Tabelle 25 kann gemäß der linearen Funktionsgleichung $y = a + bx$ folgende Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION aufgestellt werden:

$$\mathbf{12RM = (0,51 * fettfreie Masse) - 5,07 \text{ kg}}$$

Diese Gleichung ist in Abbildung 17 grafisch dargestellt.

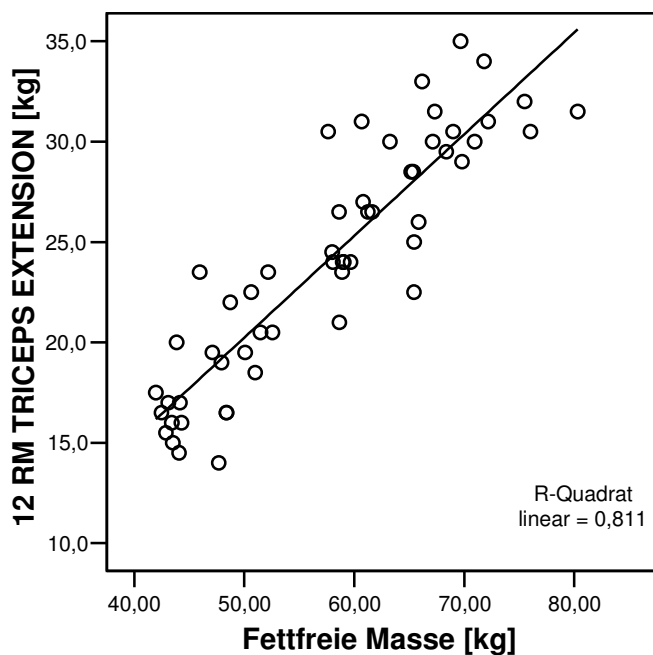


Abb. 17. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION

Die schrittweise Regressionsanalyse führte beim **1RM TRICEPS EXTENSION** (N = 55) zu einem Modell mit drei Prädiktorvariablen. Die Variablen **fettfreie Masse**, **Körperfettanteil** und **Oberarmumfang** liefern einen korrigierten Determinationskoeffizienten von $R^{2*} = .80$ und einen Standardschätzfehler von 4,12 kg.

Tab. 26. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION

Modell	Beta	T	Signifikanz
1 Konstante	-9,12	-2,59	sign.
fettfreie Masse	0,75	12,47	sign.
2 Konstante	-18,39	-2,6	sign.
fettfreie Masse	0,36	3,00	sign.
Körperfettanteil	-0,43	-3,82	sign.
Oberarmumfang	1,27	3,15	sign.

Anhand der Beta-Werte in Tabelle 26 ergibt sich folgende Formel zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION:

$$1RM = [(0,36 * \text{fettfreie Masse}) - (0,43 * \text{Körperfettanteil}) + (1,27 * \text{Oberarmumfang})] - 18,39 \text{ kg}$$

Die Prädiktorvariable **fettfreie Masse** trägt jedoch allein zu einer Varianzaufklärung von rund 74% bei, bei einem etwas schlechterem Standardfehler des Schätzers von ca. 4,6 kg ($R^{2*} = .74$; SEE = 4,63). Nach Leonhart (2004) sollte jeder zusätzliche Prädiktor den Anteil der erklärten Kriteriumsvarianz bedeutsam erhöhen. Da die Hinzunahme der Variablen Körperfettanteil und Oberarmumfang vor dem Hintergrund einer nicht unproblematischen Erfassung von Extremitätenumfängen (vgl. Kap. 8.4) lediglich 5% Varianz zusätzlich aufklären, kann man diese Variablen als redundant bezeichnen.

Die entsprechende Formel zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION mit nur einer Prädiktorvariablen lautet:

$$1RM = (0,75 * \text{fettfreie Masse}) - 9,12 \text{ kg}$$

Zusammenfassend für die Gesamtstichprobe der TRICEPS EXTENSION Studie kann konstatiert werden, dass bei der Vorhersage des **12RM TRICEPS EXTENSION** aufgrund der identifizierten Prädiktorvariable fettfreie Masse mit 68%iger Wahrscheinlichkeit die tatsächlichen Werte innerhalb des Intervalls $y' \pm 2,6 \text{ kg}$ (y' = vorhergesagte Kriteriumsleistung) liegen.

7.1.1.1 TRICEPS EXTENSION – Stichprobe Universität vs. Bundeswehr

Um mögliche Gruppenunterschiede hinsichtlich der Vorhersagegüte quantifizieren zu können, wurde jeweils für die Stichprobe am Sportwissenschaftlichem Institut und für die Stichprobe der Bundeswehr eine Regression berechnet.

Die Probanden der Uni-Stichprobe (N = 36; weiblich N = 21; männlich N = 15) waren durchschnittlich $25,1 \pm 3,8$ Jahre alt und $69,7 \pm 11,9$ kg schwer. Die Probanden der Bw-Stichprobe (N = 22) waren dagegen alle männlich, im Schnitt $21 \pm 3,1$ Jahre alt und $77,8 \pm 11,9$ kg schwer.

Die Berechnung ergab ein Modell, welches zur Vorhersage des **12RM TRICEPS EXTENSION** für die Uni-Stichprobe (N = 33) die Variable **Quetelet-Index mit fettfreier Masse** als besten Prädiktor und für die Bw-Stichprobe (N = 21) die Variable **fettfreie Masse** präsentierte. Der korrigierte Determinationskoeffizient im Uni-Modell liegt bei $R^{2*} = .84$ (SEE = 2,47) und im Bw-Modell bei $R^{2*} = .72$ (SEE = 2,19).

Die Tabelle 27 zeigt die im Modell berechneten Koeffizienten.

Tab. 27. Koeffizienten der Modelle zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION Uni / Bw

Probandenspezifik	Modell	Beta	T	Signifikanz
Uni	Konstante	-16,35	-5,51	sign.
	Quetelet-Index mit fettfreier Masse	1,26	13,18	sign.
Bw	Konstante	-4,78	-1,12	n. sign.
	fettfreie Masse	0,49	7,3	sign.

Für die Uni-Stichprobe kann basierend auf den in Tabelle 27 berechneten Beta-Koeffizienten folgende Vorhersageformel mit entsprechender grafischer Betrachtung (siehe Abb. 18) formuliert werden:

$$12\text{RM Uni} = (1,26 * \text{Quetelet-Index mit fettfreier Masse}) - 16,35 \text{ kg}$$

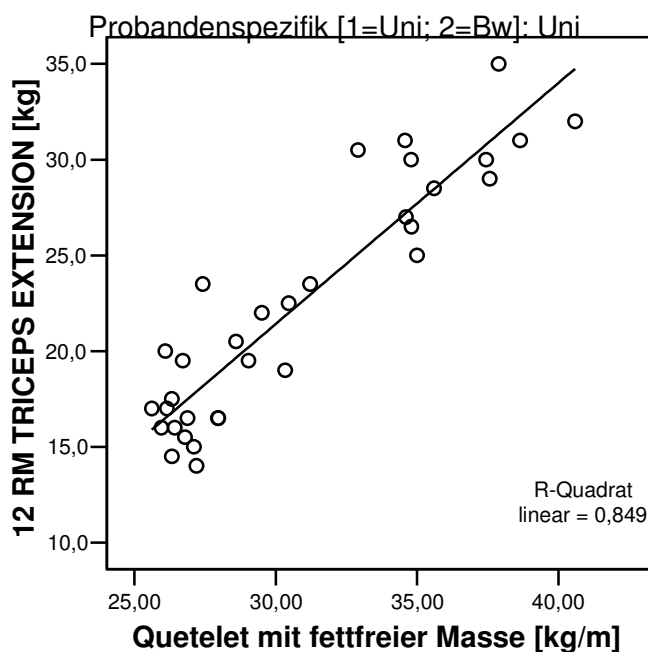


Abb. 18. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION Uni

Für die Bw-Stichprobe kann folgende Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION hergeleitet werden:

$$12\text{RM Bw} = 0,49 * \text{fettfreie Masse}$$

Zu der hier in der Bw-Stichprobe sowie im weiteren Verlauf der Ergebnisdarstellung auftretenden Problematik nicht signifikanter Konstanten wird im Kapitel Methodenkritik (vgl. Kap. 8.4) Stellung bezogen. Die Beta-Werte nicht signifikanter Konstanten werden in die Regressionsgleichungen nicht miteinbezogen.

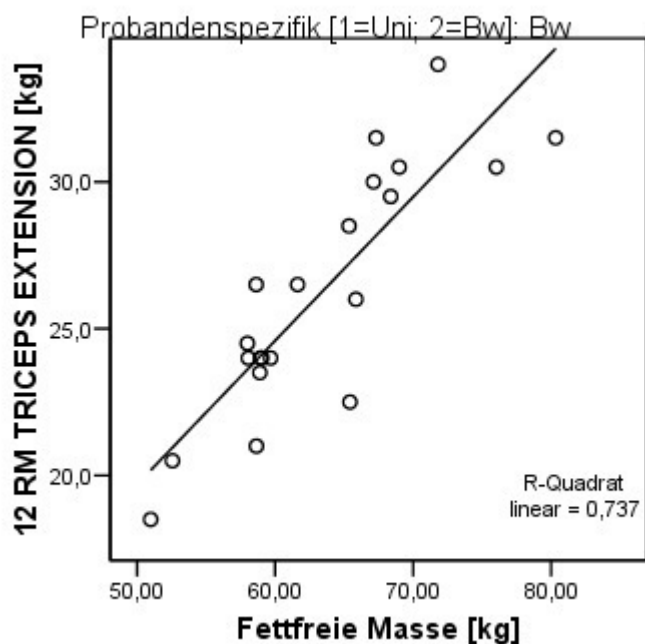


Abb. 19. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION Bw

Bei schrittweiser Regressionsanalyse der 1RM-Werte wurden Modelle berechnet, die hinsichtlich der isolierten Prädiktorvariablen den Modellen zur Vorhersage der 12RM-Werte entsprachen. Auch zur Vorhersage des **1RM TRICEPS EXTENSION** ging bei der Uni-Stichprobe (N = 34) als einziger Prädiktor der **Quetelet-Index mit fettfreier Masse** ein, mit einem korrigierten Determinationskoeffizienten von $R^{2*} = .77$ und einem Standardschätzfehler von rund 4,3 kg. Mit dem Prädiktor **fettfreie Masse** ergab sich in der Bw-Stichprobe (N = 20) ein korrigierter Determinationskoeffizient von $R^{2*} = .47$ bei einem Standardfehler des Schätzers von 4,7 kg.

Tab. 28. Koeffizienten der Modelle zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION Uni / Bw

Probandenspezifik	Modell	Beta	T	Signifikanz
Uni	Konstante	-22,20	-4,38	sign.
	Quetelet-Index mit fettfreier Masse	1,72	10,60	sign.
Bw	Konstante	-0,77	-0,08	n. sign.
	fettfreie Masse	0,62	4,21	sign.

Für die Uni-Stichprobe kann auf der Basis der Beta-Koeffizienten in Tabelle 28 folgende Formel zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION gebildet werden:

$$\mathbf{1RM\ Uni = (1,72 * Quetelet-Index\ mit\ fettfreier\ Masse) - 22,2\ kg}$$

Für die Bw-Stichprobe resultiert aus den Beta-Koeffizienten der Tabelle 28 folgende Regressionsgleichung zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION:

$$\mathbf{1RM\ Bw = 0,62 * fettfreie\ Masse}$$

7.1.1.2 Kreuzvalidierung

Mit der Kreuzvalidierung wurde die Stabilität der Merkmalsvorhersagen der unabhängigen Stichproben Universität und Bundeswehr überprüft. Dabei wurden mit der empirisch ermittelten Regressionsgleichung der Uni-Stichprobe (vgl. Kap. 7.1.1.1) die 12RM-Werte der Bw-Stichprobe berechnet (\hat{y}_{Bw}) und mit der Regressionsgleichung der Bw-Stichprobe die 12RM-Werte der Uni-Stichprobe (\hat{y}_{Uni}).

Die vorhergesagten Kriterienwerte wurden anschließend mit den tatsächlichen Kriterienwerten (y) korreliert:

1. Die Korrelation $\hat{y}_{Bw} y$ ergab $r' = .82$ ($N = 21$; $p < 0,01$);
2. Die Korrelation $\hat{y}_{Uni} y$ ergab $r' = .91$ ($N = 33$; $p < 0,01$).

Zur Prüfung der Frage, ob die Differenz zwischen diesen Korrelationskoeffizienten r' und den stichprobenspezifischen multiplen Korrelationskoeffizienten R zufallsbedingt ist oder signifikant, wurde die Fishersche z-Transformation herangezogen (vgl. Clauß & Ebner, 1989, 278ff).

Die Nullhypothese ($\alpha = 5\%$) lautete in beiden Fällen:

H_0 : Beide Stichproben entstammen Grundgesamtheiten mit gleichem Korrelationskoeffizienten

1. Prüfung der Differenz zwischen $r_{\hat{y}_{Bw} y}$ und R (12RM TRICEPS EXTENSION Uni / Prädiktor Quetelet mit fettfreier Masse):

$$r_{\hat{y}_{Bw} y} = .82 \quad z\text{-Wert (Tafel 10)} = 1,57$$

$$R = .92 \quad z\text{-Wert (Tafel 10)} = 1,15$$

$$\mathbf{d (z_1 - z_2) = 0,42}$$

Der Stichprobenfehler s_d der Differenz ($d = 0,42$) ergibt einen Wert von $s_d = 0,298$ (Clauß & Ebner, 1989, 279).

$$t\text{-Wert (Tafel 3; } \alpha = 5\%; f = 50) = 2,02$$

$$\mathbf{t * s_d = 0,60}$$

Da $\mathbf{d} < \mathbf{t * s_d}$ wird die H_0 angenommen. Beide Stichproben entstammen Grundgesamtheiten mit gleichem Korrelationskoeffizienten.

2. Prüfung der Differenz zwischen $r_{y'Uni y}$ und R (12RM TRICEPS EXTENSION Bw / Prädiktor fettfreie Masse):

$$r_{y'Uni y} = .91 \quad z\text{-Wert (Tafel 10)} = 1,25$$

$$R = .85 \quad z\text{-Wert (Tafel 10)} = 1,51$$

$$\mathbf{d (z_1 - z_2) = 0,26}$$

Der Stichprobenfehler s_d der Differenz ($d = 0,26$) ergibt einen Wert von $s_d = 0,298$ (Clauß & Ebner, 1989, 279).

$$t\text{-Wert (Tafel 3; } \alpha = 5\%; f = 50) = 2,02$$

$$\mathbf{t * s_d = 0,60}$$

Da $\mathbf{d} < \mathbf{t * s_d}$ wird die H_0 angenommen. Beide Stichproben entstammen Grundgesamtheiten mit gleichem Korrelationskoeffizienten.

Die Kreuzvalidierung zeigt, dass die Regressionsgleichungen zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION sowohl in der Uni-Stichprobe als auch in der Bw-Stichprobe über die jeweiligen Stichprobenbesonderheiten hinaus stabil sind. Die Differenz der überprüften Korrelationskoeffizienten ergab in beiden Fällen keinen signifikanten Unterschied. Die in der Uni-Stichprobe ermittelte Regressionsgleichung ist demzufolge auf die Bw-Stichprobe relativ gut übertragbar und umgekehrt, so dass das Ausmaß der Überschätzung der multiplen Regression aufgrund von Stichprobenfehlern gering zu sein scheint.

Im Ergebnis können trotz der überwiegend weiblichen Uni-Stichprobe stabile Merkmalsausprägungen nachgewiesen werden. Aus diesem Grund wird auf die Durchführung der Kreuzvalidierung mit den geschlechtsspezifischen Stichproben verzichtet.

7.1.1.3 TRICEPS EXTENSION – männlich vs. weiblich

Die männlichen Versuchspersonen (N = 37) waren im Schnitt $23,27 \pm 4,1$ Jahre alt und $77,8 \pm 10,6$ kg schwer. Die weiblichen Versuchspersonen (N = 21) waren durchschnittlich $24 \pm 3,9$ Jahre alt und $64 \pm 10,5$ kg schwer.

Die schrittweise multiple Regression des **12RM** identifizierte bei den Männern die **fettfreie Masse** und bei den Frauen den **Quetelet-Index mit fettfreier Masse** als jeweils einzige Prädiktorvariable mit einem minderungskorrigierten Determinationskoeffizienten von $R^{2*} = .56$ (SEE = 2,70) respektive $R^{2*} = .21$ (SEE = 2,14). Bei den Frauen erfüllten lediglich die Variablen fettfreie Masse und Quetelet-Index mit fettfreier Masse die Voraussetzung der Linearität (vgl. Kap. 6.6).

Tab. 29. Koeffizienten der Modelle zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION männlich / weiblich

Geschlecht	Modell	Beta	T	Signifikanz
männlich	Konstante	-1,00	-0,23	n. sign.
	fettfreie Masse	0,45	6,62	sign.
weiblich	Konstante	-1,90	-0,24	n. sign.
	Quetelet-Index mit fettfreier Masse	0,71	2,46	sign.

Auf der Basis der Beta-Koeffizienten (Tab. 29) können folgende Regressionsgleichungen aufgestellt und grafisch dargestellt werden (Abb. 20 u. 21):

$$\mathbf{12RM\ männlich = 0,45 * fettfreie\ Masse}$$

$$\mathbf{12RM\ weiblich = 0,71 * Quetelet-Index\ mit\ fettfreier\ Masse}$$

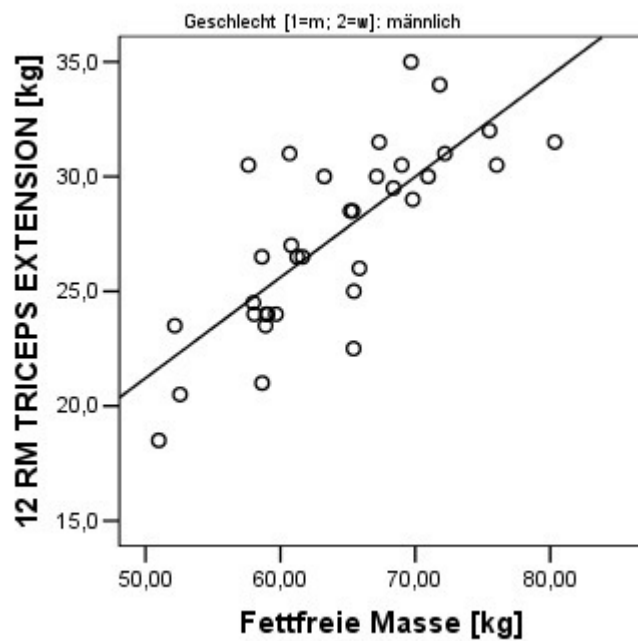


Abb. 20. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION männlich

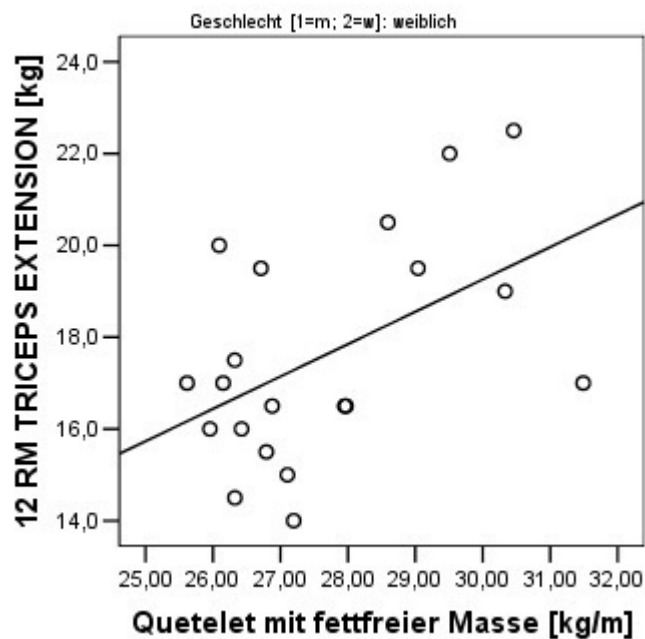


Abb. 21. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION weiblich

Zur Vorhersage des geschlechtsspezifischen **1RM TRICEPS EXTENSION** wurde bei schrittweiser Regression lediglich ein Modell für die männliche Stichprobe berechnet.

Hierbei ging als einziger Prädiktor die Variable **fettfreie Masse** mit einem Determinationskoeffizienten von $R^{2*} = .34$ bei einem Standardschätzfehler von 4,3 kg ein, so dass rund 34% gemeinsame Varianz aufgeklärt werden kann.

Tab. 30. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION männlich

Geschlecht	Modell	Beta	T	Signifikanz
männlich	Konstante	9,03	1,24	n. sign.
	fettfreie Masse	0,48	4,20	sign.

Anhand des Modells in Tabelle 30 lässt sich zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION männlich folgende Formel aufstellen:

$$\mathbf{1RM\ männlich = 0,48 * fettfreie\ Masse}$$

Zur Vorhersage des 1RM der weiblichen Stichprobe wurde mit den linearen Variablen jeweils eine Berechnung mit der Einschlussmethode durchgeführt, wobei als bester Prädiktor der **Quetelet-Index mit fettfreier Masse** hervorging. Der korrigierte Determinationskoeffizient lag bei lediglich $R^{2*} = .14$ (SEE = 3,09).

Tab. 31. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION weiblich

Geschlecht	Modell	Beta	T	Signifikanz
weiblich	Konstante	0,66	0,06	n. sign.
	Quetelet-Index mit fettfreier Masse	0,84	2,03	sign.

Mit den Beta-Koeffizienten in Tab. 31 lässt sich für die weibliche Stichprobe folgende Regressionsgleichung formulieren:

$$\mathbf{1RM\ weiblich = 0,84 * Quetelet-Index\ mit\ fettfreier\ Masse}$$

7.1.2 LEG EXTENSION

Die Probanden der LEG EXTENSION Studie waren durchschnittlich $24,8 \pm 3,8$ Jahre alt und $69 \pm 11,3$ kg schwer. Davon waren 13 männlichen und 17 weiblichen Geschlechts.

Bei schrittweiser Regressionsanalyse der Prädiktoren zur Vorhersage des **12RM LEG EXTENSION** (N = 30) wurde ein Modell berechnet, bei dem der **Quetelet-Index mit fettfreier Masse** als einzige Prädiktorvariable einging. Für das 12RM ergab sich ein Determinationskoeffizient von $R^{2*} = .64$ bei einem Standardfehler des Schätzers von 9,5 kg.

Tab. 32. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 12RM LEG EXTENSION

Modell	Beta	T	Signifikanz
Konstante	-30,43	-2,57	sign.
Quetelet-Index mit fettfreier Masse	2,73	7,23	sign.

Anhand der Beta-Koeffizienten in Tabelle 32 ergibt sich auf der Basis der Stichprobe folgende Formel zur Vorhersage des 12RM LEG EXTENSION:

$$12RM = (2,73 * \text{Quetelet-Index mit fettfreier Masse}) - 30,43 \text{ kg}$$

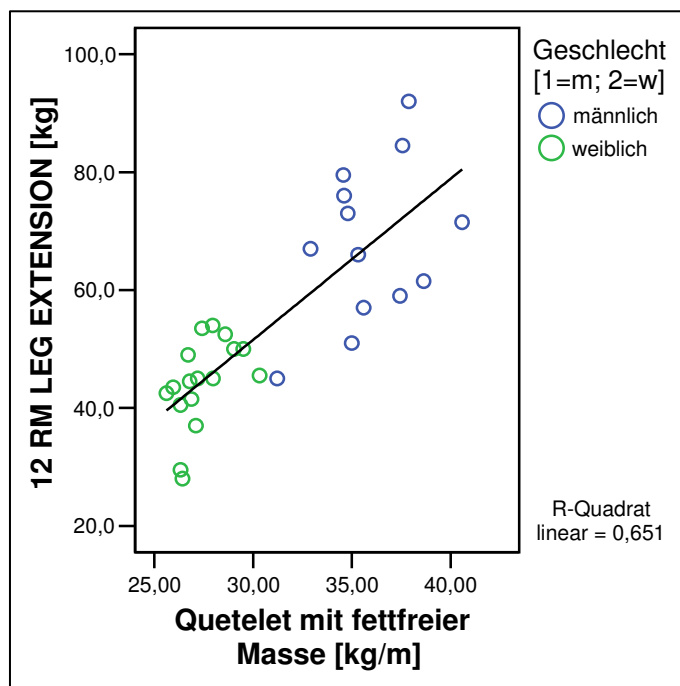


Abb. 22. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM LEG EXTENSION

Deutlich zu erkennen ist in Abbildung 22 die größere Streuung der oberen Punktwolke, gebildet durch die Wertepaare der männlichen Stichprobe, im Vergleich zur

Punktewolke der weiblichen Stichprobe, die sich enger um die Regressionsgerade schmiegt. Dies deutet darauf hin, dass das Kriterium bei den Frauen genauer vorhergesagt werden kann. Aufgrund der zu kleinen Stichproben wurde auf eine geschlechtsdifferenzierende regressionsanalytische Betrachtung verzichtet.

Insofern erfolgt die Vorhersage des **1RM LEG EXTENSION** mit $N = 17$ nur unter Vorbehalt. Aufgrund der zu geringen Gewichtsbestückung der verwendeten Maschine (vgl. Kap. 6.3.1.2) war die Bestimmung des 1RM nicht bei allen Versuchspersonen möglich.

Da verständlicherweise überwiegend bei den Frauen ($N = 14$) eine Datenaufnahme möglich war und deren Wertepaare beim 12RM eine optisch geringere Streuung aufwiesen (siehe Abb. 22), sollten die Daten zur Vorhersage des 1RM trotz der kleinen Stichprobe regressionsanalytisch untersucht werden.

Die schrittweise Regression isolierte die Variable **Quetelet-Index mit fettfreier Masse** als einzigen Prädiktor mit einer Varianzaufklärung von 66% ($R^{2*} = .66$; $SEE = 5,42$).

Tab. 33. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM LEG EXTENSION

Modell	Beta	T	Signifikanz
Konstante	-0,42	-0,03	n. sign.
Quetelet-Index mit fettfreier Masse	2,57	5,65	sign.

Somit lässt sich folgende Vorhersageformel ermitteln:

$$1RM = 2,57 * \text{Quetelet-Index mit fettfreier Masse}$$

Zusammenfassend für die Gesamtstichprobe der LEG EXTENSION Studie kann konstatiert werden, dass bei der Vorhersage des **12RM LEG EXTENSION** aufgrund der identifizierten Prädiktorvariable mit 68%iger Wahrscheinlichkeit die tatsächlichen 12RM-Werte innerhalb des Intervalls $y' \pm 9,5$ kg liegen.

7.2 Zweigelenkige Übungen

7.2.1 CHEST PRESS

Die Probanden der Studie an der CHEST PRESS waren alle männlich, durchschnittlich $24 \pm 5,3$ Jahre alt und $79,1 \pm 12,5$ kg schwer.

Die schrittweise Regression isolierte für das **12RM** (N = 47) den **Quetelet-Index mit fettfreier Masse** als einzige Prädiktorvariable mit einem korrigierten Determinationskoeffizienten von $R^{2*} = .32$ und einem Standardschätzfehler von 4,9 kg.

Nach Minderungskorrektur wird somit 32% der Kriteriumsvarianz durch den Einfluss des Prädiktors Quetelet-Index mit fettfreier Masse aufgeklärt.

Tab. 34. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 12RM CHEST PRESS

Modell	Beta	T	Signifikanz
Konstante	-4,09	-0,44	n. sign.
Quetelet-Index mit fettfreier Masse	1,25	4,80	sign.

Mit den Beta-Koeffizienten (vgl. Tab. 34) kann folgende Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM CHEST PRESS aufgestellt werden:

$$12RM = 1,25 * \text{Quetelet-Index mit fettfreier Masse}$$

Abbildung 23 zeigt die grafische Darstellung der Regressionsgleichung.

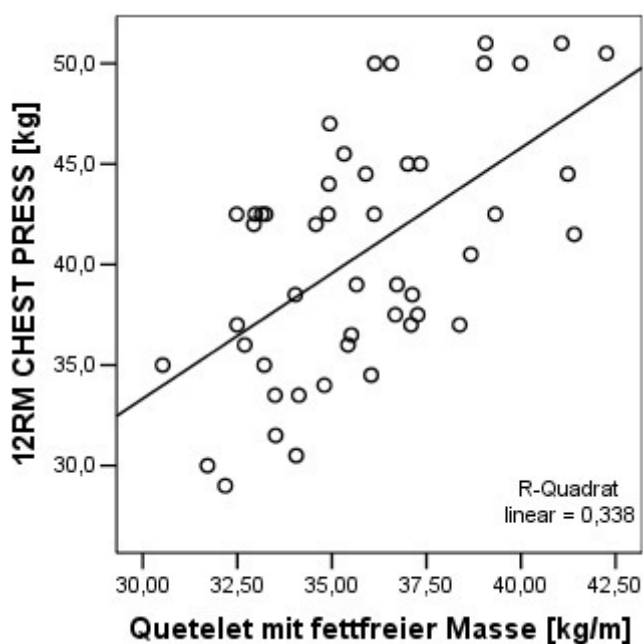


Abb. 23. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM CHEST PRESS

Bei schrittweiser Analyse für die Vorhersage des **1RM CHEST PRESS** (N = 45) ging die Variable **Rohrer-Index mit fettfreier Masse** mit einer Varianzaufklärung nach Minderungskorrektur von 19% und einem Standardschätzfehler von 6,4 kg als bester Prädiktor hervor.

Tab. 35. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM CHEST PRESS

Modell	Beta	T	Signifikanz
Konstante	20,53	1,54	n. sign.
Rohrer-Index mit fettfreier Masse	3,92	3,35	sign.

Aus den Daten der Tabelle 35 ergibt sich auf der Basis der Stichprobe folgende Formel:

$$1RM = 3,92 * \text{Rohrer-Index mit fettfreier Masse}$$

In Bezug auf die Vorhersagewahrscheinlichkeit des **12RM CHEST PRESS** bedeuten die Ergebnisse aus Sicht der Praxisrelevanz, dass 68% der wahren Merkmalsausprägung innerhalb des Intervalls $\hat{y} \pm 4,9$ kg liegen.

Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% liegt das wahre Wiederholungsmaximum im Bereich von $y' \pm 9,8$ kg.

7.2.2 LAT PULL

Die Probanden der LAT PULL-Studie waren alle männlich, im Schnitt $24,4 \pm 5,5$ Jahre alt und hatten ein durchschnittliches Gewicht von $79,9 \pm 12,5$ kg.

Die Berechnung ergab ein Modell, aus dem für das **12RM LAT PULL** (N = 44) als einziger Prädiktor der **Quetelet-Index** hervorging. Der minderungskorrigierte Determinationskoeffizient liegt bei $R^{2*} = .59$ und der Standardschätzfehler bei 3,3 kg.

Tab. 36. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 12RM LAT PULL

Modell	Beta	T	Signifikanz
Konstante	13,60	3,99	sign.
Quetelet-Index	0,60	7,91	sign.

Anhand der berechneten Beta-Koeffizienten ergibt sich folgende Regressionsgleichung:

$$12RM = (0,60 * \text{Quetelet-Index}) + 13,6 \text{ kg}$$

Abbildung 24 zeigt das Korrelationsdiagramm mit der Regressionsgeraden für die Vorhersage des 12RM LAT PULL auf der Basis des Quetelet-Index.

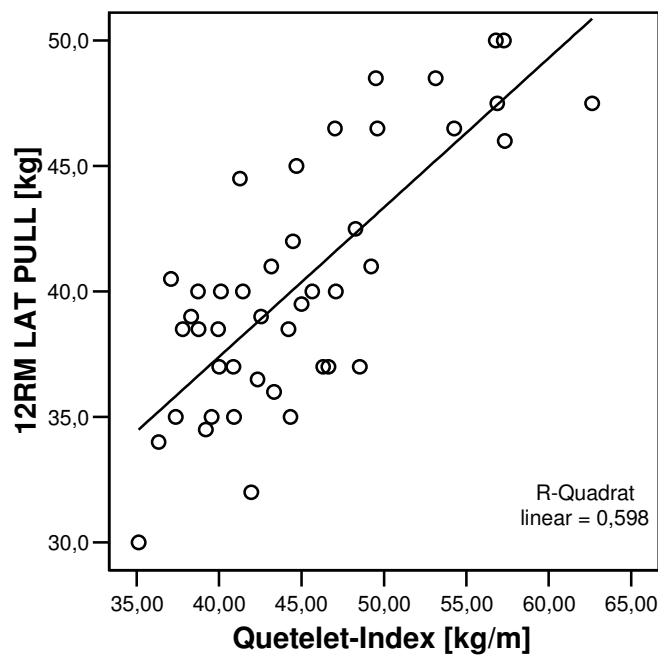


Abb. 24. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12 RM LAT PULL

Die schrittweise Regressionsanalyse des **1RM LAT PULL** (N = 42) identifizierte als einzigen Prädiktor den **Body-Mass-Index**.

Dieser Prädiktor führt allein zu einer Varianzaufklärung von 54% bei einem Standardschätzfehler von 5,6 kg ($R^{2*} = .54$, SEE = 5,57).

Tab. 37. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM LAT PULL

Modell	Beta	T	Signifikanz
Konstante	21,65	3,43	sign.
Body-Mass-Index	1,71	6,94	sign.

Anhand der Beta-Werte in Tabelle 37 ergibt sich für die Stichprobe folgende Formel zur Vorhersage des 1RM LAT PULL:

$$1RM = (1,71 * \text{Body-Mass-Index}) + 21,65 \text{ kg}$$

Im Bezug auf die Güte der Schätzung kann konstatiert werden, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% die wahren Merkmalsausprägungen des **12RM LAT PULL** in dieser Stichprobe innerhalb des Intervalls $\hat{y} \pm 3,2$ kg liegen.

7.3 Mehrgelenkige Übungen

7.3.1 LEG PRESS VERTICAL

Die Versuchspersonen der LEG PRESS VERTICAL Studie waren alle männlich, im Schnitt $24,04 \pm 3,3$ Jahre alt und hatten ein durchschnittliches Körpergewicht von $79,2 \pm 12,5$ kg.

Die schrittweise Regression isolierte für das **12RM LEG PRESS VERTICAL** (N = 43) als alleinigen Prädiktor die Variable **Body-Mass-Index** mit einem korrigierten Determinationskoeffizienten von $R^{2*} = .46$ bei einem Standardschätzfehler von 14,3 kg.

Tab. 38. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 12RM LEG PRESS VERTICAL

Modell	Beta	T	Signifikanz
Konstante	50,83	3,03	sign.
Body-Mass-Index	4,09	6,05	sign.

Anhand der Beta-Koeffizienten in Tabelle 38 ergibt sich auf der Basis der Stichprobe folgende Formel für die Vorhersage des 12RM:

$$12RM = (4,09 * \text{Body-Mass-Index}) + 50,83 \text{ kg}$$

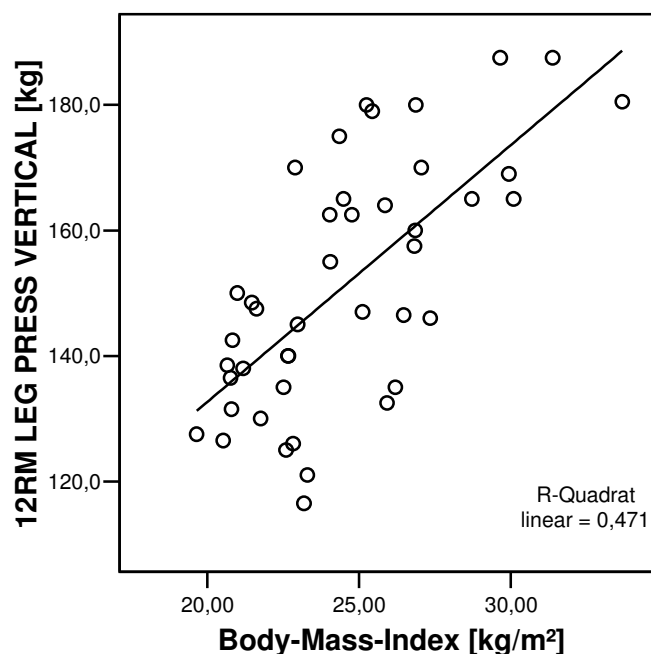


Abb. 25. Grafische Darstellung der Regressionsgleichung zur Vorhersage des 12RM LEG PRESS VERTICAL

Zur Vorhersage des **1RM LEG PRESS VERTICAL** konnte eine größere Anzahl Versuchspersonen berücksichtigt werden (N = 46).

Die Berechnung ergab ein Modell, welches ebenfalls die Variable **Body-Mass-Index** als einzigen Prädiktor präsentierte. Die minderungskorrigierte Varianzaufklärung ist im Vergleich zum 12RM (46%) in diesem Modell mit 50% etwas höher. Der Standardfehler des Schätzers liegt hier bei 17,9 kg. Die Tabelle 39 zeigt die berechneten Koeffizienten.

Tab. 39. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 1RM LEG PRESS VERTICAL

Modell	Beta	T	Signifikanz
Konstante	51,25	2,72	sign.
Body-Mass-Index	5,02	6,71	sign.

Mit den Beta-Werten für Konstante und Prädiktor lässt sich für das 1RM folgende Vorhersageformel zusammenfassen:

$$1RM = (5,02 * \text{Body-Mass-Index}) + 51,25 \text{ kg}$$

Der Standardschätzfehler für das **12RM LEG PRESS VERTICAL** besagt auf der Basis der Stichprobe, dass bei der Vorhersage aufgrund des Prädiktors Body-Mass-Index mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% davon ausgegangen werden kann, dass das tatsächliche Wiederholungsmaximum innerhalb des Intervalls $y' \pm 14,3 \text{ kg}$ liegt.

7.3.2 LEG PRESS HORIZONTAL

Mit der Studie an der horizontalen Beinpresse wurden zwei wesentliche Ziele verfolgt. Zum einen sollte die empirisch ermittelte Regressionsgleichung an der LEG PRESS VERTICAL im Sinne einer systematischen Replikation an einer biomechanisch verwandten Übung, mit einer anderen Stichprobe sowie unter Berücksichtigung beider Geschlechter evaluiert werden. Im Konkreten sollte die Frage beantwortet werden, ob auf der Basis des in der vertikalen Beinpress-Studie identifizierten Prädiktors (Body-Mass-Index) es möglich ist, bei Krafttrainingsanfängern innerhalb weniger Sätze an der horizontalen Beinpresse von einer Anfangsbelastung zu einer zieladäquaten Trainingslast (12RM) zu kommen. Die Ergebnisse hierzu sind in Kapitel 7.5 dargestellt.

Eine weitere Zielstellung der LEG PRESS HORIZONTAL Studie war es, die angewandte Regressionsgleichung mit der Variable Body-Mass-Index als alleinigem Prädiktor (nach ersten Berechnungen: $R^2 = .44$; $SEE = 16,95$ kg) durch Hinzunahme übungsspezifischer Prädiktoren, wie Ober- und Unterschenkellänge sowie Oberschenkelumfang zu optimieren und damit die Vorhersage zu verbessern.

Die 18 männlichen und 9 weiblichen Probanden waren durchschnittlich $30,6 \pm 4,8$ Jahre alt und $70 \pm 13,6$ kg schwer.

Die schrittweise Regression extrahierte zwei signifikante Prädiktoren zur Vorhersage des **12RM LEG PRESS HORIZONTAL** ($N = 26$). Die Variablen **Body-Mass-Index** und **Unterschenkellänge** erklären insgesamt 75% der Varianz des Kriteriums bei einem Standardschätzfehler von 13,7 kg ($R^2 = .75$; $SEE = 13,71$). Nach Minderungskorrektur verbleibt ein aufgeklärter Varianzanteil von 73% ($R^{2*} = .73$).

Tab. 40. Koeffizienten des Modells zur Vorhersage des 12RM LEG PRESS HORIZONTAL

Modell	Beta	T	Signifikanz
Konstante	-198,13	-4,47	sign.
Unterschenkellänge	5,55	4,89	sign.
Body-Mass-Index	4,65	4,86	sign.

Mit den Beta-Gewichten in Tabelle 40 kann auf der Basis der Gesamtstichprobe folgende Vorhersageformel aufgestellt werden:

$$12RM = (5,55 * \text{Unterschenkellänge}) + (4,65 * \text{Body-Mass-Index}) - 198,13 \text{ kg}$$

Im Ergebnis konnte durch die zusätzlich in die Gleichung aufgenommene Variable Unterschenkellänge die Vorhersagewahrscheinlichkeit (unkorrigiert) im Vergleich zur Basisformel um 31% von 44% auf rund 75% erhöht werden. Das Streuungsmaß für die Abweichung zwischen den geschätzten und den gemessenen Werten verringerte sich demzufolge um ca. 2,7 kg. Somit scheint der übungsspezifische anthropometrische Parameter Unterschenkellänge die Vorhersage von hypertrophieorientierten Lasten bei der mehrgelenkigen Übung Beinpressen zu verbessern.

Dieses Ergebnis ist jedoch vor dem Hintergrund der Heterogenität der Gesamtstichprobe, die sich aus Probanden beider Geschlechter zusammensetzte, unter Vorbehalt zu interpretieren. Heterogene Untergruppen innerhalb einer Stichprobe können

zu Scheinkorrelationen führen, so dass die Genauigkeit der Vorhersage eines Kriteriums überschätzt wird (Bortz, 1999).

Aufgrund der kleinen Teilstichproben wurde auf eine geschlechtsdifferenzierende Regressionsanalyse verzichtet.

7.4 Vergleich zwischen deduktiver und induktiver Belastungsbestimmung auf der Grundlage anthropometrischer Merkmale

Als Nachweis der effizienteren Bestimmung von trainingsrelevanten Lasten mit dem in dieser Arbeit verfolgten Ansatz wurden im Vergleich zu bestehenden testunabhängigen deduktiven Verfahren a priori Kriterien formuliert, die nun als Bewertungsmaßstab dienen sollen. Mit den Daten von Debra (2002) wurde exemplarisch aufgezeigt, dass mit dem anthropometrischen Prädiktor Quetelet-Index eine Vorhersage des 12RM Bankdrücken über das 1RM weniger effektiv ist als eine direkte Vorhersage des 12RM (+6%; vgl. Kap. 5). Die vorliegende Untersuchung kann diese Beobachtung nicht nur bestätigen, sondern weitaus deutlicher herausstellen.

Tabelle 41 zeigt die übungsspezifischen Korrelationen der jeweils besten (12RM-) Prädiktoren und der erfassten Kriteriumsleistungen. Die Stichprobengrößen entsprechen den in der Ergebnisdarstellung der multiplen Regression angegebenen N.

Tab. 41. Zusammenhang zwischen den besten Prädiktoren, 1RM und 12RM beim Armstrecken, Bein- strecken, Bankdrücken, Latziehen und Beinpressen

Übung	Prädiktor	Prädiktor/1RM	Prädiktor/12RM	1RM/12RM
TRICEPS EXTENSION	fettfreie Masse	.86	.90	.95
LEG EXTENSION	Quetelet mit fettfreier Masse	.83	.81	.66
CHEST PRESS	Quetelet mit fettfreier Masse	.32	.58	.72
LAT PULL	Quetelet	.72	.77	.73
LEG PRESS VERTICAL	BMI	.71	.69	.86

Die Korrelationen sind alle auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Für alle Übungen kann nachgewiesen werden, dass die direkte Vorhersage des 12RM auf der Grundlage eines anthropometrischen Merkmals effektiver ist als der Umweg über das 1RM. Für das Trizepsdrücken kann bei der Vorhersage des 1RM aus der fettfreien Masse mit einer Varianzaufklärung von ca. 74% gerechnet werden. Wird aus dem 1RM das 12RM vorhergesagt, kann die Varianzaufklärung auf ca. 90% eingeschätzt werden. Daraus ergibt sich dann eine Gesamtvarianzaufklärung für das 12RM aus dem 1RM * fettfreie Masse ($0,74 * 0,9$) von ca. 67%. Wird das 12RM direkt aus der fettfreien Masse vorhergesagt, führt dies zu ca. 81% aufgeklärter Varianz. Eine direkte Vorhersage des 12RM auf Basis der fettfreien Masse ermöglicht demzufolge eine um 14% bessere Schätzung als auf dem Umweg über das 1RM. Für das Beinpressen und das Brustdrücken ist die direkte Schätzung des 12RM um 11% bzw. um 24% besser. Beim Latziehen und Beinstrecken werden mit +32% respektive +35% deutlich bessere Vorhersagen erzielt.

7.5 Evaluative Querschnittsuntersuchung (Empirische Kreuzvalidierung)

Bei allen Probanden der LEG PRESS HORIZONTAL Studie wurde ausgehend von der Regressionsgleichung, die aus ersten Berechnungen der LEG PRESS VERTICAL Studie mit ausschließlich männlichen Versuchspersonen resultierte, das 12RM berechnet ($12RM_{ber}$) und auf der Grundlage dessen das **12RM LEG PRESS HORIZONTAL** empirisch ermittelt ($12RM_{exp}$). Die genaue Vorgehensweise wird in Kapitel 6.5.3 geschildert.

Die Ergebnisse der explorativen Datenanalyse der männlichen Versuchspersonen zeigt Tabelle 42. Die grafische Darstellung erfolgt mit einem Box-Plot Diagramm in Abbildung 27.

Tab. 42. Explorative Datenanalyse des $12RM_{ber}$ und des $12RM_{exp}$ der männlichen Probanden ($N=18$)

Verteilung	Mittelwert	s	Max.	Min.	Interquart.
$12RM_{ber}$	149,84	11,43	169,77	127,21	15,46
$12RM_{exp}$	147,95	16,70	172,5	106,77	20,12

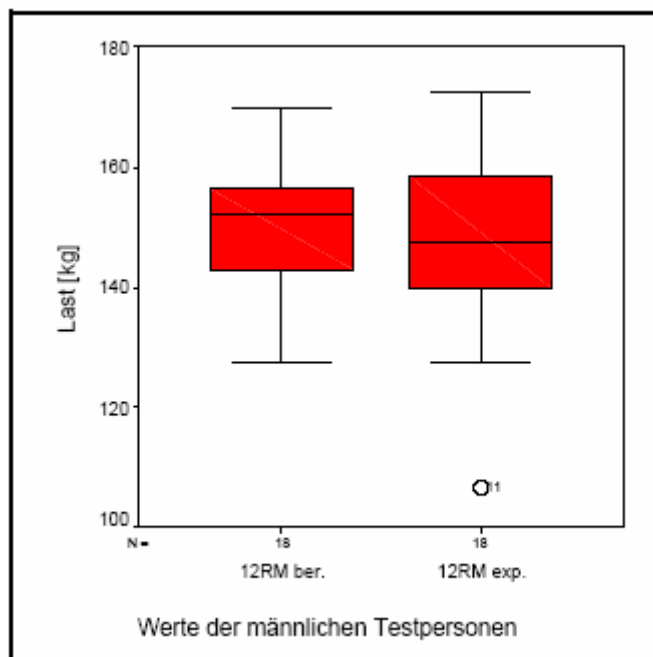


Abb. 27. Box-Plot-Diagramm des $12RM_{ber}$ und $12RM_{exp}$ der männlichen Probanden ($N = 18$) mit Interquartilen (rot)

Der Zusammenhang zwischen berechnetem und experimentellem 12RM ist mit $r = .56$ ($p < 0,05$) etwas höher als der Intraclass Correlation Coefficient mit $ICC = .54$ ($p < 0,05$). Der ICC kennzeichnet den Zusammenhang des mittleren Niveaus der beiden Variablen. Beide Koeffizienten liegen lediglich im mittleren Bereich.

Die tatsächlichen Abweichungen (+/-) des $12RM_{ber}$ vom $12RM_{exp}$ der einzelnen Probanden sind in Abbildung 28 grafisch dargestellt.

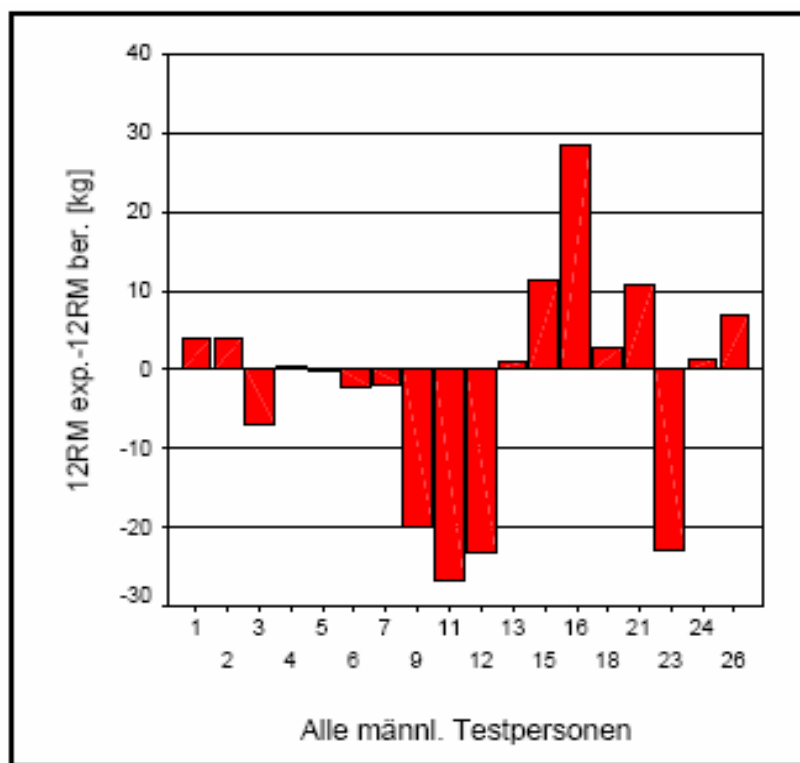


Abb. 28. Tatsächliche Abweichungen des $12RM_{ber}$ vom $12RM_{exp}$ der männlichen Probanden ($N = 18$)

In 10 Fällen wurde das $12RM$ durch die vorhergesagte Last unterschätzt (vgl. Abb. 28). Die Lasten lagen hierbei im Mittel um rund 7 kg bzw. 4,8 % über dem berechneten Wert. Bei den restlichen 8 Probanden wurde das $12RM$ mit durchschnittlich rund 13 kg bzw. 8,6 % überschätzt (vgl. Tab. 43).

Tab. 43. Höhe der absoluten und relativen Abweichung im Fall einer Über- bzw. Unterschätzung

Fall	n	Mittelwert		s		Maximum		Minimum	
		[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]
Unterschätzt $12RM_{exp} \geq 12RM_{ber}$	10	7,03	4,77	8,52	5,91	28,65	19,92	0,29	0,23
Überschätzt $12RM_{exp} < 12RM_{ber}$	8	13,04	8,62	11,23	7,58	26,67	19,99	0,23	0,14

Der *t*-Test bei einer Stichprobe ergab einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$) der mittleren absoluten Abweichung des $12RM_{exp}$ vom $12RM_{ber}$ vom Mittelwert 0 einer hypothetischen Verteilung mit gleicher Varianz (vgl. Tab. 44). Das heißt, es besteht

ein signifikanter Unterschied zwischen der berechneten und der experimentell ermittelten Last des 12RM. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die zielgerechte Anfangslast für ein hypertrophieorientiertes Krafttraining von männlichen Trainingsanfängern an der LEG PRESS HORIZONTAL nur unzureichend mit der Regressionsgleichung aus der LEG PRESS VERTICAL Studie vorhergesagt werden kann. Dieses aus statistischer Sicht negative Ergebnis muss jedoch aus inhaltlicher Sicht differenzierter betrachtet werden. Die mittlere Differenz zwischen vorhergesagter und tatsächlicher Last entspricht mit ca. 10 kg *einer* Gewichtsplatte eines handelsüblichen Trainingsgerätes.

Tab. 44. Ergebnis des t-Tests bei einer Stichprobe

	Testwert = 0					
	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
12RMexp.-12RMber.	4,120	17	,001	9,69889	4,7317	14,6661

Insofern war es auch möglich, bei 22 Versuchspersonen, ausgehend von der berechneten Anfangslast, innerhalb der drei Testserien des zweiten Termins das jeweilige 12RM zu ermitteln. Bei 2 Versuchspersonen (1 Mann / 1 Frau) musste zur abschließenden Beurteilung des 12RM die beiden Aufwärmserien mit berücksichtigt werden und bei 3 Personen (2 Frauen / 1 Mann) basierte das 12RM auf den Testdaten des ersten Termins.

Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass auch eine nur annähernd genaue Lastvorgabe, berechnet auf der Grundlage des Ausprägungsgrades eines anthropometrischen Parameters, geeignet scheint, ökonomisch eine hypertrophieorientierte Trainingslast bei Anfängern anzusteuern. Zumindest gelingt hier der empirische Nachweis der Zuverlässigkeit eines testunabhängigen induktiven Verfahrens zur Belastungsbestimmung.

Diese effiziente Ansteuerung des 12RM gelang auch bei den Frauen, deren 12RM im Mittel nicht bei den im Vorfeld vermuteten 75% des von den Männern erreichten Wertes lag, sondern 7% niedriger bei 68% (vgl. Tab. 45).

Tab. 45. Deskriptive Daten des $12RM_{exp}$ bei Männern und Frauen

12RM	n	Mittelw.	s	Spannw.	Min.	Max.
M	18	147,95	16,70	65,73	106,77	172,50
F	9	100,50	15,37	54,25	80,75	135,00

7.6 Explorative Längsschnittstudie

7.6.1 Methodik der explorativen Längsschnittstudie

Die Probanden der explorativen Längsschnittstudie rekrutierten sich nicht aus dem Probandenpool der Querschnitte, sondern wurden eigens für diese Studie akquiriert. Die 10 teilnehmenden Probanden setzten sich aus männlichen Grundwehrdienstleistenden, Berufs- und Zeitsoldaten ohne Krafttrainingserfahrung zusammen. Die Teilnahme erfolgte nach Genehmigung des jeweiligen Vorgesetzten im Rahmen des Dienstsportes. Aufgrund der stringenten, militärischen Termin- und Verwendungsplanung konnten die Treatmentgruppe mit 6 Probanden und die Kontrollgruppe mit 4 Probanden nicht parallelisiert werden (Bortz & Döring, 2002). Für die Zuordnung in die beiden Gruppen waren somit dienstliche Obliegenheiten verantwortlich. Im Verlauf der insgesamt achtwöchigen Untersuchung (s. Untersuchungsdesign in Abb. 29) reduzierte sich die Treatmentgruppe durch äußere Umstände (Erkrankungen, Unfall) auf lediglich 3 Personen. Dies stand jedoch in keinem Zusammenhang mit dem Training.

Alle 10 Probanden bestritten analog der in Kapitel 6.5.3 erläuterten Vorgehensweise die zweiwöchige Gewöhnungs- und Testphase mit abschließender Ermittlung des 12RM und 1RM an der CHEST PRESS und der LEG PRESS VERTICAL. Die Gewöhnungsphase (2 Termine) sollte hinreichend lang sein, um koordinative Einflüsse auf die im Längsschnitt dokumentierten Kraftleistungen möglichst gering zu halten (Kraemer & Fry, 1995). Die Ermittlung des 12RM in der Testphase (2 Termine) basierte gemäß dem evaluativen Querschnitt auf den nach ersten regressionsanalytischen Berechnungen entwickelten Vorhersageformeln:

CHEST PRESS: $y = 0,96 * \text{Body-Mass-Index} + 17,12 \text{ kg}$

LEG PRESS VERTICAL: $y = 4,02 * \text{Body-Mass-Index} + 53,09 \text{ kg}$

Die berechnete Last (Anfangslast) war die Grundlage für das Näherungsverfahren zur endgültigen Ermittlung der hypertrophieorientierten Trainingslast (12RM), mit der

die Treatmentgruppe in die Trainingsphase einstieg. Die Probanden der Treatmentgruppe trainierten zweimal pro Woche über fünf Wochen hinweg, also insgesamt zehn Trainingseinheiten. Es wurden jeweils 3 erschöpfende Serien im Supersatz mit dreiminütiger interserieller Pause absolviert. Vor dem eigentlichen Training wurde eine standardisierte allgemeine (5 Minuten Cross-Walker mit 80rpm u. 1,5 Watt/kg) und spezielle Aufwärmphase (1 * 12 Wdh. mit 20% bzw. 100% des Körpergewichtes an CHEST PRESS bzw. LEG PRESS) durchgeführt. Die Vorgabe hinsichtlich der Intensitätssteuerung war, die Wiederholungszahlen über die Serien hinweg möglichst konstant bei zwölf zu halten. Dadurch musste die Last über die Serien neu angepasst werden (vgl. Fröhlich, 2003). Die Trainingstage und die Uhrzeit waren über die zehn Trainingseinheiten überwiegend identisch. Zwischen den Trainingseinheiten lagen zwei bis drei Tage Pause.

Die Belastungskonfiguration entsprach insgesamt den tradierten Empfehlungen eines hypertrophiebetonten Krafttrainings für fitnessorientierte Anfänger bei induktiver Beanspruchungsermittlung mit Ausbelastung (vgl. Kap. 2.3.3).

Da bei Anfängern bereits nach vier bis sechs Wochen Training eine Steigerung der Muskelmasse möglich ist (Moritani, 1994), und die Gewöhnungsphase und das Training sich zusammen über sieben Wochen erstreckten, wurden neben dem 12RM und dem 1RM als weitere abhängige Variablen die anthropometrischen Parameter Körpergewicht, fettfreie Masse, Oberschenkel- und Brustumfang erhoben, so dass im Nachhinein zumindest tendenziell eine Aussage über mögliche Muskelmassegewinne oder Veränderungen der Körperzusammensetzung gemacht werden kann. In einer achtwöchigen Trainingsstudie von Wirth (2004) mit hypertrophieorientierten Anfängern konnten mit fünf erschöpfenden Serien mit acht bis zwölf Wiederholungen einer Bizeps-Curl Übung hochsignifikante Muskelmasse- und Kraftsteigerungen erzielt werden, obwohl die Anfänger bereits über eine sechs- bis neunmonatige Krafttrainingserfahrung verfügten. Dabei waren die Zuwächse bei zweimaligem Training fast so hoch wie die Zuwächse bei dreimaligem Training pro Woche, aber deutlich höher als bei nur einer Trainingseinheit pro Woche. Der Autor resümierte in Bezug auf die Belastungshäufigkeit bei Anfängern, dass

„[...] eine Trainingshäufigkeit größer als einmal pro Woche auch schon für Krafttrainingsanfänger zu empfehlen ist, wenn es um den Aufbau von Muskelmasse geht.“ (Wirth, 2004, 129)

Das Untersuchungsdesign der vorliegenden Längsschnittstudie ist der Abb. 29 zu entnehmen. Beim Eingangs-, Ausgangs- und Überdauerungstest wurden jeweils 12RM, 1RM und die anthropometrischen Parameter erfasst. Mit den im Eingangs-

und Ausgangstest erzielten Kraffleistungen ist es möglich, Steigerungen der Maximalkraft sowie der Trainingslasten dokumentieren zu können und in Verbindung mit möglichen Veränderungen anthropometrischer Parameter die Adaptationswirksamkeit der testunabhängig induktiv ermittelten Trainingslast zu überprüfen. Die einwöchige Detrainingsphase mit abschließenden Tests zielte darauf ab, über mögliche weitere Kraftanstiege oder -verluste die Trainingsbelastung bewerten zu können und darüber hinaus hypertrophieauslösenden Prozessen etwas mehr Zeit einzuräumen (vgl. Schlumberger & Schmidtbleicher, 1998).

Die Kontrollgruppe absolvierte nur die Gewöhnungsphase mit abschließendem Eingangstest und erschien noch einmal zum Retest, als die Treatmentgruppe den Überdauerungstest durchführte. Während des gesamten Untersuchungszeitraumes durfte die Kontrollgruppe kein Krafttraining betreiben.

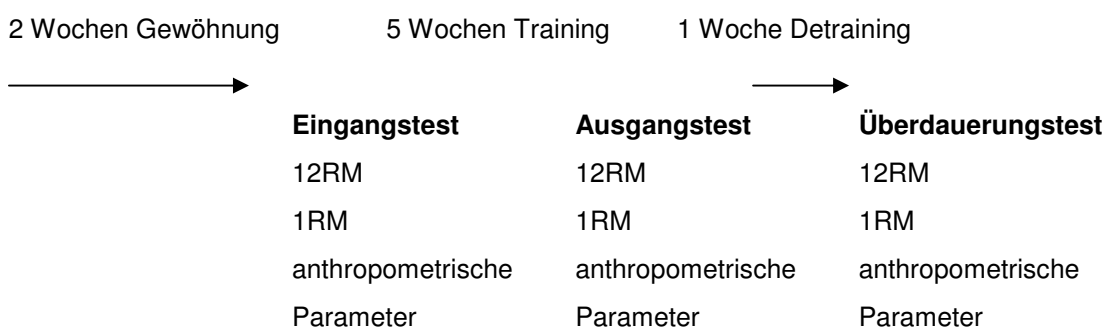


Abb. 29. Untersuchungsdesign der explorativen Längsschnittstudie für die Treatmentgruppe

7.6.2 Ergebnisse der explorativen Längsschnittstudie

Die drei Probanden der Treatmentgruppe waren durchschnittlich $29,7 \pm 10,6$ Jahre alt und $83,2 \pm 20,6$ kg schwer. Die vier Probanden der Kontrollgruppe waren im Schnitt $21 \pm 2,6$ Jahre alt und $75,7 \pm 9,9$ kg schwer.

Ausgehend von der individuell berechneten Last konnten die Probanden an der CHEST PRESS in durchschnittlich $2,3 (\pm 0,5)$ Serien und an der LEG PRESS VERTICAL in durchschnittlich $2,8 (\pm 0,6)$ Serien das jeweilige 12RM erreichen.

Tabelle 46 zeigt die berechneten und die experimentellen 12RM-Werte für beide Übungen. Die schnellere Ansteuerung des 12RM CHEST PRESS auf der Basis der vorhergesagten Werte wird im Rahmen der einzelfallanalytischen Betrachtung offen-

sichtlich. Mit den berechneten Werten konnte in allen Fällen eine gute Vorhersage der tatsächlichen 12RM-Werte erzielt werden.

Tab. 46. Berechnete und experimentelle 12RM-Werte der einzelnen Versuchspersonen an beiden Trainingsgeräten

	Kontrollgruppe (kg)			
	Vpn 4	Vpn 5	Vpn 6	Vpn 7
12RM CHEST PRESS ber.	36	38,5	41,1	39,7
12RM CHEST PRESS exp.	36,5	38	41	37,5
12RM LEG PRESS VERTICAL ber.	132,2	142,7	153,4	147,8
12RM LEG PRESS VERTICAL exp.	115	135,5	134	116,5
	Treatmentgruppe (kg)			gesamt
	Vpn 1	Vpn 2	Vpn 3	Ø (N = 7)
12RM CHEST PRESS ber.	44,7	38	39	39,6 ± 2,7
12RM CHEST PRESS exp.	45	38,5	41	39,6 ± 2,9
12RM LEG PRESS VERTICAL ber.	168,7	140,4	144,8	147,1 ± 11,5
12RM LEG PRESS VERTICAL exp.	196,5	143,5	161,5	143,2 ± 28,4

Im Gegensatz dazu gelang trotz der im Vergleich zur CHEST PRESS rund 20% besseren Vorhersagewahrscheinlichkeit in der Eichstichprobe, die Vorhersage des 12RM LEG PRESS VERTICAL auf der Basis der Regressionsgleichung des explorativen Querschnittes weniger gut. Dies zeigt sich einerseits in der Mittelwertdifferenz. Noch deutlicher wird es, wenn man die einzelnen Werte der Probanden betrachtet. Lediglich bei zwei Probanden war die Differenz zwischen berechnetem und experimentellem 12RM kleiner als 10 kg. Dennoch war es möglich, in wenigstens zwei und maximal vier Sätzen die individuelle Ziellast zu erreichen.

Die Ergebnisse des Eingangs-, Ausgangs- und Überdauerungstests beider Gruppen sind in Tabelle 47 dargestellt.

Tab. 47. Wiederholungsmaxima im Eingangstest, Ausgangstest und Überdauerungstest an beiden Trainingsgeräten in beiden Gruppen im Längsschnitt

CHEST PRESS (kg)			
	12RM ET	12RM AT	12RM ÜT
Treatmentgruppe	41,5 ± 3,3	49,7 ± 2,6	51,3 ± 2,3
Kontrollgruppe	38,3 ± 1,9	-	38,8 ± 2,9
LEG PRESS VERTICAL (kg)			
	12RM ET	12RM AT	12RM ÜT
Treatmentgruppe	167,2 ± 27	192,3 ± 21,8	197,3 ± 19,4
Kontrollgruppe	125,3 ± 11	-	127,8 ± 13,7
	1RM ET	1RM AT	1RM ÜT
Treatmentgruppe	64 ± 3,6	70 ± 4,3	71 ± 4,4
Kontrollgruppe	60,6 ± 8,3	-	61,4 ± 8,2
	12RM ET	12RM AT	12RM ÜT
Treatmentgruppe	192,8 ± 37,3	221 ± 19	224 ± 18,9
Kontrollgruppe	159,6 ± 19,9	-	161,5 ± 21,6

Das 12RM CHEST PRESS der Treatmentgruppe steigt vom Eingangstest zum Ausgangstest um 19,8 % und vom Eingangstest zum Überdauerungstest um 23,6 %. Bei der Kontrollgruppe kann vom Eingangstest zum Überdauerungstest eine marginale Steigerung von 1,3 % festgestellt werden (vgl. Abb. 30).

Die Steigerungsrate des 12RM LEG PRESS VERTICAL bei der Treatmentgruppe liegt vom Eingangs- zum Ausgangstest bei 15 % und vom Eingangs- zum Überdauerungstest bei 18 %, wohingegen der Mittelwert der Kontrollgruppe sich nur unwesentlich verändert (+2 %) (vgl. Abb. 31).

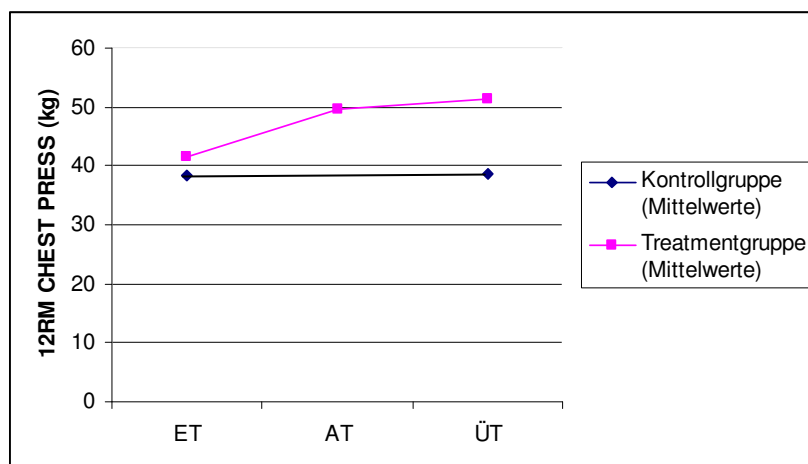


Abb. 30. Durchschnittliches 12RM CHEST PRESS der beiden Gruppen im Eingangstest (ET), Ausgangstest (AT) und Überdauerungstest (ÜT)

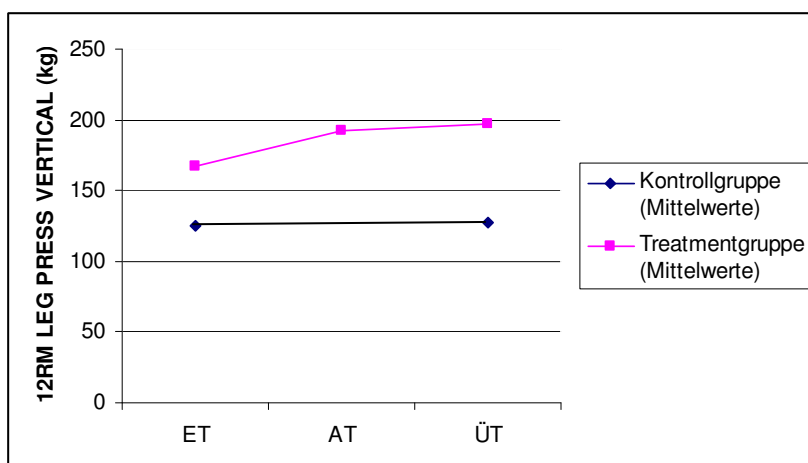


Abb. 31. Durchschnittliches 12RM LEG PRESS VERTICAL der beiden Gruppen im Eingangstest (ET), Ausgangstest (AT) und Überdauerungstest (ÜT)

Die Steigerungen der Ein-Wiederholungs-Maxima fallen nicht ganz so hoch aus. Das 1RM CHEST PRESS der Treatmentgruppe steigt vom Eingangstest zum Ausgangstest um 9,4 % und vom Eingangstest zum Überdauerungstest um insgesamt 10,9 % (vgl. Abb. 32). Bei der Kontrollgruppe bleiben wie erwartet deutliche Veränderungen aus (+1,2 %).

Die Steigerung des 1RM LEG PRESS VERTICAL bei der Treatmentgruppe liegt vom Eingangstest bis zum Ausgangstest bei 14,6 % und vom Eingangstest bis zum Überdauerungstest bei rund 16,2 % (vgl. Abb. 33). Die Kontrollgruppe stagniert weitgehend (+1,2 %).

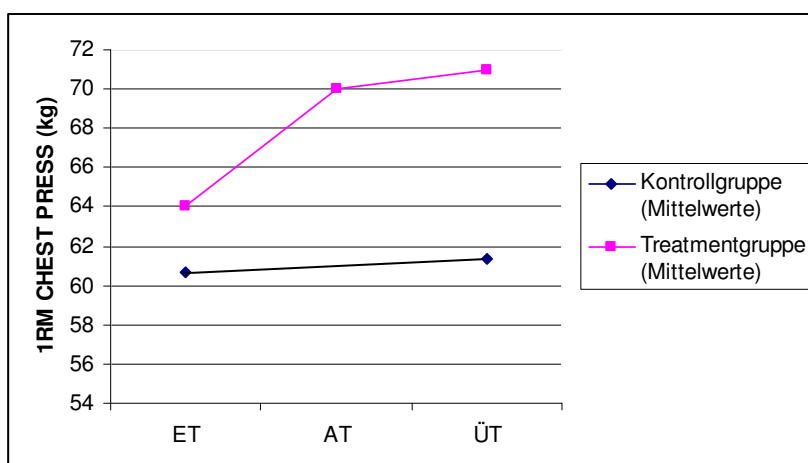


Abb. 32. Durchschnittliches 1RM CHEST PRESS der beiden Gruppen im Eingangstest (ET), Ausgangstest (AT) und Überdauerungstest (ÜT)

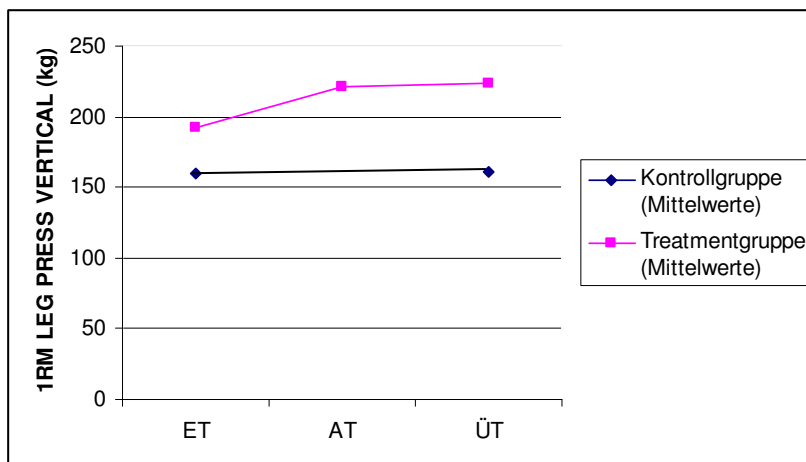


Abb. 33. Durchschnittliches 1RM LEG PRESS VERTICAL der beiden Gruppen im Eingangstest (ET), Ausgangstest (AT) und Überdauerungstest (ÜT)

Während die Steigerungsraten der einzelnen Probanden der Treatmentgruppe an der CHEST PRESS sowohl für das 12RM (+18,9 %; +27,3 %; +25,6 %) als auch für das 1RM (+14,6 %; +10 %; +8,2 %) weitgehend ähnlich verlaufen, gibt es an der LEG PRESS VERTICAL beträchtliche interindividuelle Unterschiede.

So steigert Proband 2 das 12RM vom Eingangstest zum Überdauerungstest um erstaunliche 33,4 %, wohingegen die beiden anderen sich nur um 11,5% respektive 12,4 % steigern (vgl. Abb. 34). Hinsichtlich des 1RM LEG PRESS VERTICAL können die Probanden 2 und 3 jeweils 25,5 %ige bzw. 24 %ige konzentrische Maximalkraftgewinne realisieren. Proband 1 erreicht jedoch lediglich eine Steigerung von 3,9 % (vgl. Abb. 35).

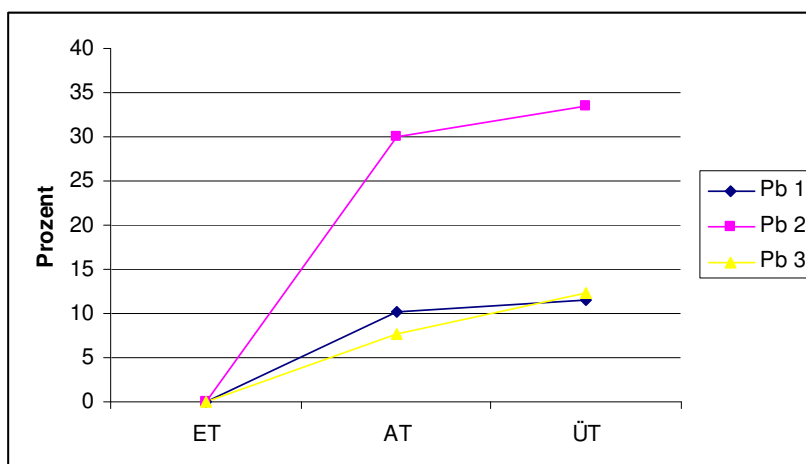


Abb. 34. Prozentuale Veränderung des 12RM LEG PRESS VERTICAL vom Eingangstest über den Ausgangstest zum Überdauerungstest bei den einzelnen Probanden der Treatmentgruppe

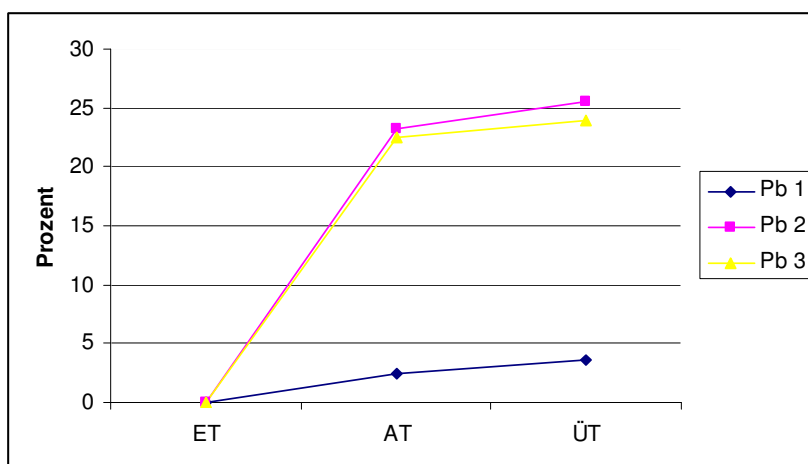


Abb. 35. Prozentuale Veränderung des 1RM LEG PRESS VERTICAL vom Eingangstest über den Ausgangstest zum Überdauerungstest bei den einzelnen Probanden der Treatmentgruppe

Die anthropometrischen Veränderungen der Treatmentgruppe vom Eingangs- zum Überdauerungstest fallen für das Körpergewicht mit einer Steigerung von 3,3 % am deutlichsten aus. Zum Teil ist dafür die durchschnittliche Erhöhung des prozentualen Körperfettanteils (Impedanz-Analyse) von 1,4 % verantwortlich. Die Steigerung der fettfreien Masse im Schnitt um 1,7 % in Verbindung mit den Umfangssteigerungen (Oberschenkelumfang 1,2 %; Brustumfang 1,7 %) geben Anlass zur Vermutung, dass trotz der geringen Interventionsdauer bereits erste Hypertrophieeffekte generiert wurden.

Das Körpergewicht nimmt in der Kontrollgruppe vom Eingangstest bis zum Überdauerungstest um durchschnittlich 2,4 % zu. Gleichzeitig steigt der prozentuale Körperfettanteil um 1,9 %. Die fettfreie Masse und der Brustumfang zeigen hingegen kaum eine Veränderung (fettfreie Masse +0,1 %; Brustumfang +0,2 %). Der Oberschenkelumfang erhöht sich im Schnitt um 3,1 %. Bei der Interpretation dieses Ergebnisses muss berücksichtigt werden, dass Vpn 92 bei einer Steigerung seines prozentualen Körperfettanteils um 2,1 % und seines Körpergewichtes von 3,8 kg, einen 3,4 cm größeren Oberschenkelumfang aufwies.

Die Treatmentgruppe konnte an der CHEST PRESS über alle Trainingseinheiten und Serien hinweg, eine durchschnittliche Wiederholungszahl von $11,68 \pm 1,2$ Wiederholungen erzielen. Die etwas schwierigere Gestaltung der anvisierten 12 Wiederholungen pro Serie zeigt sich bei der LEG PRESS VERTICAL in der durchschnittlich realisierten Wiederholungszahl von $12,96 \pm 1,7$ Wiederholungen.

Die durchschnittliche Serienregression (Kempf & Strack, 2001) der Treatmentgruppe über alle zehn Trainingseinheiten und insgesamt neunzig effektiven Trainingssätzen hinweg führt zu dem praxisrelevantem Ergebnis, dass sich die Trainingslast an der CHEST PRESS von Satz zu Satz etwa um 10% in Bezug auf die 12RM-Last der ersten Serie reduziert. Der zweite Satz entspricht im Schnitt 90,7 % und der dritte Satz im Schnitt 83,3 % der Last des ersten Satzes.

Wie mehrere Studien bereits nachweisen konnten, ist die Serienregression bei der mehrgelenkigen Übung Beinpressen weitaus geringer (vgl. Fröhlich et al., 2002a; Mischio 2003). So zeigt sich auch in der vorliegenden Studie an der LEG PRESS VERTICAL nur eine unwesentliche Reduzierung der Trainingslast über die Serien hinweg. Im zweiten Satz können im Schnitt 99,3 % und im dritten Satz im Schnitt noch immer 98,4 % der 12RM-Last des ersten Satzes aufgelegt und ziemlich genau zwölfmal bei muskulärer Ausbelastung bewegt werden.

8 Diskussion und Ausblick

Kapitel 8.1 bezieht sich auf das **Untersuchungsteilziel 1**. In Kapitel 8.2 werden die Ergebnisse der evaluativen Querschnittsuntersuchung gemäß **Untersuchungsteilziel 2** diskutiert. In Kapitel 8.3 erfolgt eine Ergebnisanalyse der explorativen Längsschnittuntersuchung (**Untersuchungsteilziel 3**). In Kapitel 8.4 wird eine kritische Betrachtung der angewandten Methoden vorgenommen. Abschließend werden in Kapitel 8.5 die Ergebnisse zusammengefasst und Kapitel 8.6 gibt einen Ausblick hinsichtlich der praktischen Relevanz der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit.

8.1 Diskussion der Teilstudien

Die regressionsanalytischen Ergebnisse der Untersuchungen (vgl. Tab. 66) zeigen, dass die gefundenen Varianzaufklärungen sich tendenziell in einem mittleren Bereich ansiedeln ($.46 \leq R^{2*} \leq .72$). Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer empirischer Studien zum Zusammenhang zwischen anthropometrischen Parametern und Kraftfähigkeiten (vgl. Kap. 4).

Die Gesamtstichprobe und die Uni-Stichprobe der TRICEPS EXTENSION Studie sowie die Stichprobe der LEG PRESS HORIZONTAL Studie zeigen dagegen einen deutlich höheren Einfluss der anthropometrischen Prädiktoren auf die Ausprägung der Wiederholungsmaxima ($.73 \leq R^{2*} \leq .84$).

Eine nur geringe Vorhersagegenauigkeit wurde sowohl für die CHEST PRESS Stichprobe als auch für die weibliche TRICEPS EXTENSION Stichprobe ermittelt ($.14 \leq R^{2*} \leq .32$).

In den meisten Fällen waren die Prognosen der 12RM etwas genauer als die Prognosen der 1RM.

Die Vorhersagen waren aus statistischer Sicht grundsätzlich dadurch limitiert, dass nur selten Prädiktoren gefunden werden konnten, die untereinander gering korrelierten, dafür aber enge Zusammenhänge mit den Kriterien aufwiesen. Dies wäre eine wichtige Voraussetzung dafür gewesen, dass die Prädiktoren jeweils spezifische Merkmale enthielten, die einen isolierten Beitrag zur Aufklärung der Wiederholungsmaxima hätten leisten können. Dagegen fanden sich meist hohe Interkorrelationen (Multikollinearität; Leonhart, 2004), die im Zuge der schrittweisen Regression dazu führten, dass die Variable mit der höchsten Validität (Korrelation mit der Kriteriumsvariablen) zuerst in das Regressionsmodell aufgenommen wurde und alle weiteren schrittweise aufgenommenen Variablen das Vorhersagepotenzial nicht erhöhen

konnten und somit redundant waren (Bortz, 1999). Insofern konnte in der Mehrzahl der Regressionsanalysen lediglich *ein* signifikanter Prädiktor isoliert werden.

8.1.1 Eingelenkige Übungen

Die fettfreie Masse hatte bei den eingelenkigen Übungen TRICEPS EXTENSION und LEG EXTENSION insgesamt den größten Einfluss auf die Kriteriumsvariablen. Sowohl für die Gesamtstichprobe als auch für die beiden Teilstichproben TRICEPS EXTENSION Bw und TRICEPS EXTENSION männlich prägte die Variable fettfreie Masse die Vorhersage.

In den Teilstichproben TRICEPS EXTENSION Uni und TRICEPS EXTENSION weiblich sowie der LEG EXTENSION Studie dominierte der Quetelet-Index mit fettfreier Masse.

Insgesamt betrachtet waren bei den eingelenkigen Übungen im Schnitt die besten Vorhersagen möglich. Allein mit der Variable fettfreie Masse war es in der Gesamtstichprobe TRICEPS EXTENSION möglich, 81% Varianz des 12RM ($R^{2*} = .81$; SEE = 2,6) und 74% Varianz des 1RM ($R^{2*} = .74$; SEE = 4,6) zu erklären. Zusammen mit den Prädiktoren Oberarmumfang und Körperfettanteil konnten für das 1RM zusätzlich 6% aufgeklärt werden ($R^2 = .80$; SEE = 4,1).

Die besten Vorhersagen der LEG EXTENSION Studie basierten ebenfalls auf dem Prädiktor fettfreie Masse, lagen jedoch mit $R^{2*} = .64$ (SEE = 9,5) für das 12RM (Prädiktor = Quetelet-Index mit fettfreier Masse) und mit $R^{2*} = .66$ (SEE = 5,4) für das 1RM (Prädiktor = Quetelet-Index mit fettfreier Masse) rund 15% niedriger als beim Trizepsdrücken.

In der sehr heterogenen TRICEPS EXTENSION Stichprobe, die aus kraftuntrainierten männlichen und weiblichen Sportstudenten sowie kraftuntrainierten männlichen Soldaten im Alter zwischen 17 und 35 Jahren bestand, konnte der Einfluss anthropometrischer Parameter auf eine zielgerechte Anfangslast mit der fettfreien Masse am besten abgebildet werden. Da die fettfreie Masse ein Indikator der aktiven Gesamtmuskelmasse darstellt, ist ihr Einfluss auf eine isolierte, muskuläre Beanspruchung bzw. auf eine Isolationsübung nachvollziehbar. Während für die Uni-Stichprobe und die weibliche Stichprobe mit dem Quetelet-Index mit fettfreier Masse der Faktor Extremitätenlänge das individuelle Muskelvolumen des Oberarmstreckers relativiert, scheint für die Gesamtstichprobe die absolute fettfreie Masse, die mit dem Körpergewicht höher korreliert ($r = .86$) als in der Uni-Stichprobe ($r = .83$), entschei-

dender zu sein. Darauf deutet auch die in der Gesamtstichprobe höhere Varianzaufklärung des 12RM durch die Variable Körpergewicht ($R^2 = .45$) im Vergleich zur Uni-Stichprobe ($R^2 = .38$).

Die Dominanz der Variable Quetelet-Index mit fettfreier Masse bei den Vorhersagen des 12RM ($R^{2*} = .84$; SEE = 2,5) und 1RM ($R^{2*} = .77$; SEE = 4,3) in der Uni-Stichprobe ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass aufgrund der homogenen Stichprobe mit belastungs- und bewegungserfahrenen Sportlern, weniger die absolute fettfreie Masse und koordinative Aspekte die Kraftleistungen limitierten, sondern vielmehr der Muskelquerschnitt des Agonisten, der bei einer größeren Testperson bei gleicher fettfreier Körpermasse verglichen mit einer kleineren Person tendenziell geringer sein sollte. Infolge der besseren Gesamtkonstitution waren die Sportstudenten wohl eher in der Lage, ihre Ausgangsposition beim Trizepsdrücken, vor dem Hintergrund der problembehafteten Positionierung (vgl. Kap. 8.4), zu stabilisieren und dadurch die Übung weitestgehend zu isolieren, so dass primär die muskuläre Ermüdung des Armstreckers zum Testabbruch führte und nicht Trick- oder Ausweichbewegungen. Dies könnte zudem eine Erklärung für die mit rund 85% etwas höhere Varianzaufklärung des 12RM TRICEPS EXTENSION Uni im Vergleich zur Gesamtstichprobe (81%) sein.

Mit der gleichen Argumentation kann die Vorhersage des 12RM LEG EXTENSION basierend auf dem Quetelet-Index mit fettfreier Masse geführt werden, da diese Stichprobe mit der Uni-Stichprobe der TRICEPS EXTENSION Studie identisch war. Jedoch war in diesem Fall der Einfluss des besten Prädiktors auf das Kriterium nicht so groß (64%). Auch für die Abschätzung des 1RM LEG EXTENSION wurde innerhalb dieser relativ kleinen, überwiegend weiblichen Stichprobe (14 von 17 Vpn) eine geringere Genauigkeit ermittelt (66%).

Einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang für die um ca. 20% geringere Vorhersagegüte verglichen mit der Trizeps-Studie (Uni) zu ergründen, gestaltet sich schwierig. Angesichts der stabilen Ausgangsposition und der einfach strukturierten Extensionsbewegung treten nicht abbildbare koordinative Defizite in den Hintergrund. Die Überprüfung der dokumentierten Motivation der Testpersonen zu den Testterminen bringt ebenfalls keinen Erkenntnisgewinn, so dass daraus resultierende Messfehler eher gering sein sollten. Die „wahren“ Wiederholungsmaxima sollten somit nahe an den Testwerten liegen. Insofern scheinen, wie bereits an der CHEST PRESS, die erhobenen anthropometrischen Parameter das 12RM und 1RM nicht besser abbilden zu können. Entgegen der Erwartung tragen die Variablen durchschnittlicher Oberschenkelumfang und Unterschenkellänge nicht zu einer Erhöhung der Vorhersagewahr-

scheinlichkeiten bei ($R^2_{12RM} = .20$ mit Unterschenkellänge; $R^2_{12RM} = .18$ mit durchschnittlicher Oberschenkelumfang). Möglicherweise spiegelt der niedrige Wert des Parameters durchschnittlicher Oberschenkelumfang zum Teil die erwähnten Schwierigkeiten bei der Erfassung wieder (s. Kap. 8.4). Dennoch kann mit einem Standard-schätzfehler in Höhe von rund einer Gewichtsplatte ($\pm 9,5$ kg) für kraftuntrainierte, sportliche Personen zwischen 20 und 40 Jahren eine recht zuverlässige Aussage über die wahre Merkmalsausprägung des 12RM LEG EXTENSION getroffen werden, wenn der Körperfettanteil, das Körpergewicht und die Körpergröße zuvor ermittelt wurden.

Es fällt auf, dass bei der weiblichen TRICEPS EXTENSION Stichprobe und bei den Stichproben mit hohem Frauenanteil (TRICEPS EXTENSION Uni, LEG EXTENSION) die Variable Quetelet-Index mit fettfreier Masse dominiert. Der hohe Frauenanteil führt zu einer größeren Streuung der Körperhöhe, wodurch die Kraftfähigkeiten der Stichproben besser prognostiziert werden können, wenn man die fettfreie Masse an der Körperhöhe respektive an der Segmentlänge relativiert. Im Allgemeinen dürften Hebelverhältnisse die Kraftleistungen von Frauen eher beeinflussen, da aufgrund des höheren Körperfettgehaltes, bei vorausgesetzt gleicher Körperhöhe, gleichen Extremitätenlängen sowie identischem Körpergewicht und gleicher Verteilung der Muskelmasse, verglichen mit einem ebenfalls untrainierten Mann, sich geringere lokale Muskelquerschnitte ergeben. Insofern scheint bei den Frauen die Variable Quetelet-Index mit fettfreier Masse eine bessere Vorhersage eingelenkiger Kraftleistungen zu ermöglichen.

Darauf deuten auch die geschlechterspezifischen Ergebnisse an der TRICEPS EXTENSION hin. In der männlichen Stichprobe wurde für beide Wiederholungsmaxima als bester signifikanter Prädiktor die Variable fettfreie Masse ermittelt ($R^{2*}_{12RM} = .56$; $R^{2*}_{1RM} = .34$), wohingegen bei der weiblichen Stichprobe der Quetelet-Index mit fettfreier Masse dominierte ($R^{2*}_{12RM} = .21$; $R^{2*}_{1RM} = .14$). Die Varianzaufklärungen sind deutlich geringer als in der Gesamtstichprobe, was auf die Homogenität der Teilstichproben zurückgeführt werden könnte (Bortz, 1999).

Wie bereits in der Studie von Kroll et al. (1990) nachgewiesen, tragen Gliedmaßenumfänge und Segmentlängen in hohem Maße dazu bei, Kraftleistungen beim Armstrecken und -beugen abzuschätzen. Dabei stellten sich Umfangsmaße als die besseren Prognosevariablen heraus.

Zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION der Gesamtstichprobe sowie des 12RM TRICEPS EXTENSION der Bundeswehrstichprobe bestätigten sich die Beo-

bachtungen von Kroll et al. (1990) insofern, als der Oberarmumfang überall als gewichtiger Prädiktor fungierte. Innerhalb der drei Prädiktoren zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION gesamt, indiziert die Höhe des standardisierten Beta-Gewichtes der Variable Oberarmumfang (.40) die im Vergleich zum Beta-Gewicht der Variablen fettfreie Masse (.42) fast gleichwertige Bedeutung für die Vorhersage der Kriteriumsvariable. Der dritte Prädiktor Körperfettanteil ist einerseits mit einem Beta-Gewicht von -.31 erheblich weniger an der Vorhersage des 1RM beteiligt und besitzt andererseits ein negatives Vorzeichen, d.h. je größer die Ausprägung des Körperfettanteils einer Testperson, desto kleiner ist der vorhergesagte Wert des 1RM.

Für das 12RM der Bw-Stichprobe liefert allein der Prädiktor Oberarmumfang eine fast 60%ige ($R^{2*} = .57$) Varianzaufklärung. Der geringe Standardschätzfehler von $\pm 2,7$ kg ermöglicht eine vernünftige Prognose.

Der dominierende Einfluss des Muskelquerschnittes auf die Maximalkraft ist hinlänglich beschrieben (Güllich & Schmidtbleicher, 1999) und gilt als gesichert. In regressionsanalytischen Ansätzen zeigte sich als bester anthropometrischer Indikator des Muskelquerschnittes die kombinierte Erfassung von fettfreier Masse und Umfängen (Heyward et al., 1986). Der zur Vorhersage des 1RM TRICEPS EXTENSION in der Gesamtstichprobe isolierte Prädiktorsatz kann die Beobachtung von Heyward et al. (1986) bestätigen. Anscheinend ist für das Auftreten dieser grundlegenden Beziehungen zwischen anthropometrischen Prädiktoren und Wiederholungsmaxima von Untrainierten eine hinreichend heterogene Stichprobe relevant, die folglich einen zuverlässigen Ausschnitt der Grundgesamtheit darstellt.

Unter pragmatischen Gesichtspunkten sollte man jedoch am Beispiel des 1RM TRICEPS EXTENSION der Gesamtstichprobe die Vorhersage mit der Regressionsgleichung auf der Basis der fettfreien Masse nutzen, da diese eine nur um 6% geringere Varianzaufklärung ermöglicht als der Prädiktorsatz aus fettfreier Masse, Oberarmumfang und Körperfettanteil. Der Standardschätzfehler erhöht sich dadurch um lediglich 0,5 kg (+12,2%).

Im Zusammenhang mit der Vorhersage des 12RM TRICEPS EXTENSION Bw kann im Vergleich zur Variable Oberarmumfang mit der fettfreien Masse eine deutlich bessere Prognose (+15%) erzielt werden, wodurch sich der Standardschätzfehler von 2,7 kg auf 2,2 kg reduziert (-18,5%).

Die Ergebnisse der Teilstichproben Uni und Bw hinsichtlich der unterschiedlichen Prädiktordominanz könnten neben den erwähnten geschlechtsspezifischen Einflüssen in unterschiedlichen Bewegungs- und Belastungserfahrungen begründet sein. Ähnlich wie die Beta-Gewichte gleicher Variablen stichprobenspezifisch variieren

(Bortz, 1999), kann sich auch die Relevanz von Prädiktoren in Abhängigkeit der Stichprobe verändern. Somit wäre es zu erklären, dass bei der Uni-Stichprobe, wenn man diese als Stichprobe sportlicher Kraftuntrainierter klassifiziert, ein anderer Prädiktor die beste Prognose ermöglicht (Quetelet-Index mit fettfreier Masse) als bei der Bw-Stichprobe (fettfreie Masse), die man als männlichen Ausschnitt der Grundgesamtheit Kraftuntrainierter bezeichnen könnte. Das Ergebnis der Kreuzvalidierung deutet jedoch an dieser Stelle darauf hin, dass beide Prädiktoren geeignet erscheinen, über die Stichprobenbesonderheiten hinaus für stabile Merkmalsausprägungen zu sorgen. Damit entstammen letztlich beide Regressionsgleichungen (Uni/Bw) zur Vorhersage des 12RM der gleichen Grundgesamtheit.

Die Gesamtbetrachtung der TICEPS EXTENSION Ergebnisse gibt Anlass zur Vermutung, dass bei der Vorhersage einer hypertrophieorientierten Last (12RM) an handelsüblichen, eingelenkigen Trainingsgeräten die fettfreie Masse einer Testperson die zentrale Rolle spielt.

8.1.2 Zweigelenkige Übungen

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen der zweigelenkigen Übungen CHEST PRESS und LAT PULL basieren auf der gleichen Stichprobe, so dass zumindest Stichprobenunterschiede für die sehr unterschiedliche Vorhersagegüte nicht verantwortlich sind.

An der CHEST PRESS wird das Mehrwiederholungsmaximum am besten mit dem Prädiktor Quetelet-Index mit fettfreier Masse abgeschätzt, wobei dessen Einfluss auf die Ausprägung des 12RM nur etwas mehr als halb so hoch ist ($R^{2*} = .32$), wie im Falle des 12RM LAT PULL mit dem Prädiktor Quetelet-Index ($R^{2*} = .59$).

Der Quetelet-Index relativiert die Körpermasse an der Körperhöhe. Ein höherer Quetelet-Wert bedeutet bei gegebener Körperhöhe eine größere Körpermasse, wodurch beim Vergleich zweier Probanden mit identischer Körperhöhe bei vorausgesetzt gleichen Extremitätenlängen, derjenige über eine größere Masse im Bereich der oberen Extremitäten und des Oberkörpers verfügt, der den höheren Quetelet-Index besitzt. Da der Zusammenhang zwischen Körpergewicht und der fettfreien Masse mit $r = .92$ ($p < 0,05$) sehr eng war, lässt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit die größere Masse im Bereich der Agonisten auf eine größere Muskelquerschnittsfläche zurückführen, so dass auf der Basis des wichtigsten morphologischen Einflussfaktors größere Kraftleistungen erzielt werden können. Diesen Sachverhalt spiegeln auch die jeweili-

gen Regressionsgleichungen wieder, wobei mit zunehmendem Quetelet-Index höhere RM-Werte vorausgesagt werden.

Mit einem Standardschätzfehler von ca. 3,2 kg kann im Fall des 12RM LAT PULL eine relativ zuverlässige Aussage über die tatsächliche 12RM-Last getroffen werden. In der Studiopraxis könnte ein Trainer nach der Ermittlung der Körperhöhe und des Körpergewichtes eines Kunden und der Bestimmung des Quetelet-Index mit großer Wahrscheinlichkeit (68%) davon ausgehen, dass die hypertrophieorientierte Anfangslast für das Latziehen im Bereich von $\pm 3,2$ kg des vorausgesagten Wertes liegt. Diese Vorhersage gilt jedoch im engeren Sinne nur für untrainierte, männliche Kunden zwischen 18 und 39 Jahre sowie in Bezug auf das Trainingsgerät der Fa. ERGO-FIT.

Die Vorhersage des 12RM CHEST PRESS gestaltet sich schwieriger, wenngleich der Quetelet-Index mit fettfreier Masse ein besserer Indikator des Muskelquerschnittes sein sollte, da er die fettfreie Masse an der Körperhöhe relativiert. Der Ausprägungsgrad des Quetelet-Index mit fettfreier Masse leistet innerhalb der verwendeten Prädiktorvariablen den größten, wenn auch insgesamt nur einen geringen Beitrag zur Aufklärung der Varianz des 12RM. Andere, im Rahmen dieser Teilstudie nicht erfasste Parameter scheinen einen größeren Einfluss auf das Kriterium auszuüben.

Beispielsweise konnte in der LEG PRESS HORIZONTAL Studie nachgewiesen werden, dass ein übungsspezifischer Parameter (Unterschenkellänge) die Varianzaufklärung verbessert. Auch in den Studien von Cummings & Finn (1998) mit untrainierten Frauen und Hart et al. (1991) mit moderat trainierten Männern wurden zur Vorhersage des 1RM Bankdrücken mit freien Gewichten übungsspezifische Variablen, wie Oberarmlänge (upper arm length), Armlänge (arm length), Oberarmumfang (upper arm circumference), Brustumfang (chest circumference) und Oberarmquerschnittsfläche (upper arm cross-sectional area) erhoben. Jedoch konnte nur die Variable Oberarmquerschnittsfläche, welche mittels der Formel von Gurney und Jelliffe (1973, zitiert nach Hart et al. 1991) abgeschätzt wurde, einen wesentlichen Beitrag (42,1%) zur Varianzaufklärung leisten. Die Variable Oberarmlänge konnte noch ca. 14% Varianz zusätzlich aufklären (Hart et al. 1991). Da die Korrelationen zwischen den übungsspezifischen, strukturellen Prädiktoren und dem 1RM, bei Ausschluss der Variablen Körpergewicht und fettfreie Masse mittels Partialkorrelation, sich stark verringerten, resümierten die Autoren, dass

„Body mass [...] appeared to be the major factor influencing bench press performance.“ (Hart et al., 1991, 89)

Darüber hinaus stellten sie fest, dass

"[...] individuals with shorter, more muscular arms at a given body mass performed better in the bench press lift." (Hart et al., 1991, 89)

Diese Erkenntnis konnte in der CHEST PRESS Studie zumindest für die erste Teilaussage auf der Basis sehr geringer, nicht signifikanter Korrelationen zwischen Halbspann und sowohl 12RM ($r = .09$) als auch 1RM ($r = -.03$) nicht bestätigt werden. Es liegt die Vermutung nahe, dass gerätespezifische, mechanische Aspekte sowie ebenfalls nicht abbildbare koordinative Aspekte die Kraftleistungen an der CHEST PRESS wesentlich beeinflussen, so dass die erhobenen Prädiktoren nicht in der Lage sind, einen großen Anteil der Varianz zu erklären. Dafür spricht auch die mit 19% sehr geringe Varianzaufklärung des 1RM mit dem Rohrer-Index mit fettfreier Masse als Prädiktor ($R^{2*} = .19$; SEE = 6,4 kg). Der Rohrer-Index mit fettfreier Masse relativiert ähnlich wie der Quetelet-Index mit fettfreier Masse die fettfreie Masse an der Körperhöhe, jedoch wird mit dem Rohrer-Index (Körpergewicht / Körperhöhe³) die Körperhöhe aufgrund der dritten Potenz weitaus stärker gewichtet. Dies bedeutet, dass das 1RM CHEST PRESS stärker von biomechanischen Aspekten bzw. Hebelverhältnissen beeinflusst wird als das 12RM.

Generell zeichnet sich bei der Erfassung der konzentrischen Maximalkraft im Vergleich zu Mehrwiederholungsmaxima zweigelenkiger Übungen eine größere Bedeutung von Hebelverhältnissen ab. Während für das 12RM LAT PULL der Quetelet-Index als dominanter Prädiktor isoliert wurde, war es für das 1RM der Body-Mass-Index mit einer Varianzaufklärung von 54% ($R^{2*} = .54$; SEE = 5,6 kg). Zur Ermittlung des Body-Mass-Index geht die Körperhöhe mit der zweiten Potenz ein.

Beim Vergleich der zweigelenkigen Übungen zeichnet sich ab, dass bei der Vorhersage an der CHEST PRESS strukturelle Informationen auf Basis der fettfreien Masse notwendig sind, wohingegen an der LAT PULL einfache Indizes genügen. Aufgrund der geringeren Fixierungsmöglichkeiten an der LAT PULL (vgl. Kap. 6.3.2.2) könnten einerseits Messfehler zu diesem Ergebnis führen, andererseits könnte es auf einen größeren Anteil biomechanischer Aspekte bei der Bewegungsausführung hindeuten, die durch Indizes besser abgebildet werden können.

Für zweigelenkige Übungen kann konstatiert werden, dass anthropometrische Indizes und Indizes mit fettfreier Masse, mit deren Hilfe man Informationen über Hebelverhältnisse sowie über strukturelle Aspekte erhält, die Kraftleistungen am besten abbilden können. Dabei scheinen Indizes mit fettfreier Masse immer dann die besse-

ren Prädiktoren zu sein, wenn die Anzahl der Freiheitsgrade infolge einer guten Körperfixierung reduziert sind.

8.1.3 Mehrgelenkige Übungen

Die regressionsanalytischen Ergebnisse der mehrgelenkigen Übungen sind in zweierlei Hinsicht interessant. Erstens stellte sich wie vermutet heraus, dass Indizes die beste Vorhersage sowohl für das 1RM als auch für das 12RM ermöglichen. Die Variable Body-Mass-Index lieferte als bester Prädiktor an der vertikalen Beinpresse (LEG PRESS VERTICAL) für das 1RM rund 50% Varianzaufklärung ($R^{2*} = .49$; SEE = 17,9) und für das 12RM mit 46% ($R^{2*} = .46$; SEE = 14,3) nur geringfügig weniger. Zweitens konnte im Rahmen der Evaluationsstudie an der LEG PRESS HORIZONTAL (Kap. 7.3.2) unter anderem der Nachweis erbracht werden, dass die Vorhersagegenauigkeit des 12RM durch Miteinbeziehung übungsspezifischer Prädiktorvariablen deutlich verbessert werden kann.

Auch wenn man die abschließend berechnete Varianzaufklärung in der LEG PRESS VERTICAL Studie von 47% (unkorrigiert) auf der Basis des Body-Mass-Index zugrunde legt, erhöht sich die Vorhersagewahrscheinlichkeit in der LEG PRESS HORIZONTAL Studie unter Einbezug des Prädiktors Unterschenkelänge um rund 28%. Der Einfluss des Body-Mass-Index auf das 12RM ist beim horizontalen Beinpressen ($R^2 = .49$) mit dem vertikalen Beinpressen vergleichbar. Somit scheint der Body-Mass-Index bei mehrgelenkigen Übungen für die unteren Extremitäten Kraftleistungen generell zu determinieren. Nach Simpson et al. (1997) verbessert für Übungen der unteren Extremität die Miteinbeziehung der Variable Körpergewicht - als Bestandteil des Body-Mass-Index - die Vorhersage. Analog der Interpretation bei den zweigelenkigen Übungen gewichtet der Prädiktor Body-Mass-Index die Körperhöhe in der zweiten Potenz, was auf die hohe Relevanz biomechanischer Aspekte bei der Ausführung von Bewegungen über mehrere Gelenke hindeutet.

Diese Vermutung manifestiert sich in dem hohen zusätzlichen Vorhersagepotenzial der Variable Unterschenkelänge. Allein mit dem Prädiktor Unterschenkelänge kann 50% der Varianz des 12RM erklärt werden ($R^2 = .50$). Im Rahmen der multiplen Regression ist die Bedeutung der Variable Unterschenkelänge für die Vorhersage des 12RM mit der Variablen Body-Mass-Index fast identisch. Die Beta-Gewichte liegen fast gleichauf (Unterschenkelänge = .54; Body-Mass-Index = .53). Die anderen übungsspezifischen Prädiktoren Oberschenkelänge und Oberschenkelumfang leisteten keinen zusätzlichen Beitrag zur Varianzaufklärung. Auch auf der Basis der erhobenen Daten a posteriori zusätzlich gebildete Variablen, wie die Gesamtbeinlänge

($R^2 = .45$) und der Quotient aus Körperhöhe und Gesamtbeinlänge ($R^2 = .02$), waren weder bessere Prädiktoren als die Unterschenkel­länge, noch konnten sie einen zusätzlichen Beitrag zur Varianzaufklärung leisten. In der Studie von Mayhew, Piper et al. (1993) konnte dagegen ein deutlicher Effekt einer relativ kurzen Beinlänge im Verhältnis zur Körperhöhe („stocky body type“) auf das 1RM bei der freien Kniebeuge festgestellt werden. Jedoch handelte es sich hierbei um trainierte Personen, die eine koordinativ schwierige Übung durchführten. Insofern verbietet sich ein Interpretationstransfer.

Im Gegensatz zu eingelenkigen Übungen, bei denen Extremitätenumfänge als strukturelle Indikatoren Kraftleistungen beeinflussen, gibt es angesichts der recht hohen Determinationskoeffizienten ($.30 < R^2 < .50$) von Extremitätenlängen (Unterschenkel­länge, Oberschenkel­länge, Gesamtbeinlänge) an der LEG PRESS HORIZONTAL, eine begründete Vermutung für den großen Einfluss biomechanischer Aspekte bei mehrgelenkigen Übungen der unteren Extremität.

Andererseits besteht die Möglichkeit, dass die Unterschenkel­länge lediglich ein weiterer Indikator der Körperhöhe darstellt. Insbesondere deshalb, da der lineare Zusammenhang zwischen Unterschenkel­länge und dem 12RM LEG PRESS HORIZONTAL positiv ist. Der Zusammenhang zwischen Körperhöhe und Unterschenkel­länge ist mit $r = .88$ ($p < 0,05$) sehr eng. Die Körperhöhe korreliert wiederum hoch mit dem Körpergewicht, vor allem bei Untrainierten. Dies bedeutet, dass je größer und schwerer eine Person ist, umso höher ist die potenzielle Kraftfähigkeit an der Bein­presse. Nichts anderes besagt der an den Beinpressen dominante Prädiktor Body-Mass-Index. Allerdings enthält die Variable Unterschenkel­länge eine Information, die im Body-Mass-Index nicht enthalten ist. Ansonsten wäre die Vorhersage aufgrund beider Prädiktorvariablen nicht deutlich besser als die Vorhersage aufgrund einer Prädiktorvariablen. Dies deutet wiederum auf den Einfluss von Hebelverhältnissen hin.

Vermutlich ist der Wirkungsgrad der Streckerkette - M. rectus femoris, M. quadrizeps, M. ischiocrurale, M. gastrocnemius - höher, wenn diese über einen langen (Unterschenkel-) Hebel den Kraftfluss (Gottlob, 2003) über die Füße auf die Abdruckplatte der Bein­presse übertragen. Dadurch würde, beim Vergleich zweier Personen mit identischem Body-Mass-Index, diejenige eine höhere Kraftleistung erzielen, die einen längeren Unterschenkel besitzt. Auf der Basis der ermittelten Regressionsgleichung (Kap. 7.3.2) ist der vorhergesagte Wert bei der Testperson mit dem längeren Unterschenkel größer.

8.2 Diskussion der evaluativen Querschnittsuntersuchung

Die Überprüfung des Verfahrens zur Ermittlung einer Anfangsbelastung an der LEG PRESS HORIZONTAL (vgl. Kap. 7.5) anhand der an der LEG PRESS VERTICAL entwickelten Regressionsgleichung führt zu der Erkenntnis, dass das angewandte Verfahren, basierend auf den nachgewiesenen Zusammenhängen zwischen übungsrelevanten anthropometrischen Prädiktoren und einer zielgerechten Anfangslast, vor dem Hintergrund der Unzulänglichkeiten der Trainingssteuerung im fitnessorientierten Krafttraining für Anfänger (vgl. Kap. 2.3.2 bis 2.3.3.2), eine Weiterentwicklung bestehender testunabhängiger Ansätze zur Belastungsbestimmung darstellt. Damit kann einerseits empirisch nachgewiesen werden, dass auf das 1RM als Bezugsgröße zur Belastungsbestimmung verzichtet werden kann und andererseits, dass die zugrundeliegende Regressionsgleichung stabile Merkmalsvorhersagen produziert.

Die Abweichungen der vorhergesagten ($12RM_{ber}$) von den tatsächlichen ($12RM_{exp}$) Wiederholungsmaxima zeigen sich zwar deskriptiv wie inferenzstatistisch, was in Anbetracht der unterschiedlichen Stichproben (Alter, Geschlecht, Anthropometrie, Trainingszustand) und der unterschiedlichen Testgeräte nicht anders zu erwarten gewesen wäre, jedoch konnten trotz dieser nur mittleren Vorhersagegenauigkeit bei 81,5% der untersuchten Fälle in maximal drei Serien eine hypertrophieorientierte Trainingslast angesteuert werden. Somit kann konstatiert werden, dass auch eine nur annähernd genaue Lastvorgabe geeignet scheint, ökonomisch eine zielgerechte Trainingslast bei Anfängern anzusteuern. Ohne diese auf individuellen Körperbaumerkmalen beruhende Lastvorgabe, wäre eine vergleichbar schnelle und präzise Annäherung wohl nicht möglich gewesen. Das heißt, unter Verzicht auf zeitraubende und methodisch fragwürdige Testverfahren kommt man relativ schnell und sicher zu einer Beanspruchung, die über die Auslösung mechanischer und metabolischer Prozesse die gewünschten Trainingseffekte induziert.

Der Erfolg dieses testunabhängigen induktiven Verfahrens auch bei den Frauen, deren 12RM im Mittel nicht bei den im Vorfeld festgelegten 75% des von den Männern erreichten Wertes lag, sondern 7% niedriger bei 68%, deutet darauf hin, dass die regressionsanalytisch ermittelten Lastwerte unter besonderer Berücksichtigung der individuellen Belastbarkeit und des Trainingszustandes eines Anfängers oder einer Anfängerin variiert werden können. Somit sollte sich der Einsatz dieses Verfahrens auf der Basis der empirisch ermittelten Formeln der Eichstichproben auch für das Krafttraining im Gesundheitssport, in der Primärprävention sowie in der Rehabilitation eignen. Wie hoch im Einzelfall die prozentuale Reduktion der Ziellastwerte sein soll,

muss der betreuende Therapeut oder Trainer entscheiden. Hierbei kommt der Abstimmung mit dem Trainingsanfänger während der Annäherung an die Ziellast und damit der Methodik des Näherungsverfahrens eine besondere Bedeutung zu. In der vorliegenden Studie wurde mit 50% und 75% der Ziellast je ein Aufwärmsetz durchgeführt. Im dritten Satz sollte dann erstmalig die Ziellast aufgelegt werden. In einigen Fällen deutete sich dem Testleiter bereits bei der Ausführung des zweiten Aufwärmsetzes an, dass die vorhergesagte Last (Ziellast) das tatsächliche 12RM überschätzt. In Absprache mit der Testperson und deren Einschätzung wurde daraufhin die Last gemäß dem beschriebenen $\pm 5/10/15\%$ -Schema (vgl. Kap. 6.4.3) verändert. Obwohl der Einstieg in das Näherungsverfahren auf einer empirisch begründeten Anfangslast beruht, spielt auch hier im weiteren Verlauf der Annäherung an eine zielgerechte Trainingslast die Befindlichkeit und die individuelle Belastbarkeit des Anfängers, aber auch die Erfahrung des Trainers oder des Therapeuten eine nicht zu vernachlässigende Rolle.

Inwiefern die mit dem entwickelten Verfahren ermittelte Trainingslast bei Krafttrainingsanfängern adaptionswirksam ist, wurde im Rahmen einer explorativen Längsschnittstudie mit zweiwöchiger Gewöhnungsphase, fünf Wochen Training und einer Woche Detraining überprüft.

8.3 Diskussion der explorativen Längsschnittstudie

Die Interpretation der Ergebnisse des Längsschnittes muss unter Vorbehalt erfolgen, da eine inferenzstatistische Auswertung aufgrund der geringen Stichprobengröße nicht sinnvoll ist und darüber hinaus eine geringe Interventionsdauer vorliegt.

Die Zuverlässigkeit der regressionsbasierten Annäherung an die spezifische Trainingslast ist, wie bereits im evaluativen Querschnitt nachgewiesen, auch im Rahmen der Längsschnittstudie evident. Bei neun von zehn Probanden gelingt es, sowohl an der CHEST PRESS als auch an der LEG PRESS VERTICAL innerhalb von maximal drei Serien die individuelle hypertrophieorientierte Ziellast anzusteuern. Lediglich ein Proband benötigt an der vertikalen Beinpresse eine zusätzliche Serie.

Obwohl die Start-Wiederholungsmaxima der Treatmentgruppe insgesamt deutlich über den Werten der für die Kontrollgruppe ermittelten liegen, zeigen sie eine sehr deutliche Steigerungsrate (vom ET bis AT) von durchschnittlich rund 15-20 % für die 12RM und von rund 9-15 % für die 1RM, während die Werte der inaktiven Kontroll-

gruppe weitestgehend stagnieren. Insofern kann der Kraftanstieg auf das spezifische Training zurückgeführt werden.

Die erzielten Kraftsteigerungen sind mit denen vergleichbar, die in anderen Trainingsstudien mit Untrainierten dokumentiert sind (Campos et al., 2002; Chestnut & Docherty, 1999; Gotshalk et al., 1998; Marx et al., 1998; Stemper, 1994; Wirth, 2004; Zimmermann, 2000).

Aufgrund der Übereinstimmung von Test- und Trainingssituation (Fröhlich, 2003) kann für das 12RM ein größerer prozentualer Anstieg festgestellt werden als für das 1RM. Die rund 6 % größeren Kraftgewinne (12RM) bei der Brustübung verglichen mit der Beinpresse korrespondieren mit dem intraindividuell geringeren Ausgangsniveau der Oberkörperkraft von Untrainierten im Vergleich zur Beinkraft infolge der größeren Alltagsbelastung der Beine.

Beide Aspekte können mit den Ergebnissen einer zwölfwöchigen Längsschnittstudie (N = 44) von Stemper (1994) mit vergleichbarem Untersuchungsdesign und Belastungskonfiguration untermauert werden. Im Vergleich zur hochsignifikanten Maximalkraftsteigerung beim Bankdrücken (20,3 %) zeigten sich dort bei parallel angewandten sportmotorischen Tests mit Kraftausdaueranteilen (z.B. Liegestütze) deutlich größere prozentuale Verbesserungen. Insofern resümiert der Autor:

„Trainingsbedingte Leistungssteigerungen zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der trainingsspezifischen Belastung.“ (Stemper, 1994, 297)

Die in der vorliegenden Studie nur etwa halb so hohe Steigerung des 1RM Bankdrücken (9,4 % von ET bis AT; 10,9 % von ET bis ÜT) ist auf die kürzere Interventionsdauer zurückzuführen. Verantwortlich für die Zuwächse des 1RM dürften primär koordinative bzw. neuromuskuläre Anpassungen sein (vgl. Kraemer & Fry, 1995; Rutherford & Jones, 1986).

Diese neuromuskulären Anpassungserscheinungen bei Kraftuntrainierten führen in der initialen Phase von mehrwöchigen Trainingsstudien zu den prozentual größten Kraftsteigerungen.

So konnten Gotshalk et al. (1998) in einer 24-wöchigen Trainingsstudie mit 74 untrainierten Frauen, die in vier Gruppen randomisiert aufgeteilt wurden, in der ersten Trainingshälfte größere Kraftsteigerungen (14 bis 20%) nachweisen als in der zweiten Hälfte (12 %). Die Oberkörpergruppe (N = 18) steigerte das 1RM beim Bankdrücken in den ersten 12 Wochen um $14 \pm 8,8$ % und von der 13. zur 24. Woche nur um $12,3 \pm 9,9$. Bei der Ganzkörpergruppe (N = 19) konnte in der ersten Hälfte eine

durchschnittliche Kraftsteigerung des 1RM Squat von $23,8 \pm 23,8$ % erzielt werden, wohingegen in der zweiten Hälfte nur $10,5 \pm 7,1$ % erreicht wurden.

Auch in der Längsschnittuntersuchung von Chestnut & Docherty (1999) über 10 Wochen mit 24 untrainierten Männern, die randomisiert einer 4RM- und einer 10RM-Gruppe zugeteilt wurden, konnten in den ersten sechs Wochen für beide Gruppen deutlich größere prozentuale Kraftgewinne (ca. 15 % bzw. ca. 17 %) der jeweiligen Trainingslasten (4RM bzw. 10RM) erzielt werden als zwischen der 7. und der 10. Trainingswoche (ca. 5 % bzw. ca. 8 %). Der deutliche Unterschied der Kraftsteigerungen zwischen den beiden Trainingsphasen könnte durch die einfach strukturierten, eingelenkigen Übungen intensiviert worden sein. Chilibeck et al. (1998) berichten in diesem Zusammenhang von unterschiedlich schnellen, strukturellen Adaptationen von Agonisten in Abhängigkeit der Komplexität einer Übung. Die fettfreie Masse der Arme zeigte in einem 20-wöchigen Längsschnitt mit 19 Frauen bereits nach 10 Wochen Krafttraining signifikante Zuwächse, wohingegen Beine und Rumpf erst in der zweiten Trainingsphase einen signifikanten Anstieg der lokalen fettfreien Masse aufwiesen. Die Autoren resümierten daraufhin, dass die neurale Adaptation im Bezug auf die relativ einfache Armcurlbewegung schneller ablief als bei den komplexeren Bankdrück- und Beinpressbewegungen. Dadurch gingen die frühen Kraftgewinne beim Armcurl bereits mit Muskelhypertrophie einher (Chilibeck et al., 1998).

Im vorliegenden Längsschnitt könnte dies eine Erklärung für die etwas größeren Steigerungen des Brustumfangs (+1,7 %) im Vergleich zum Oberschenkelumfang (+1,2 %) sein, wenn einerseits die größere Komplexität der Beinpressbewegung berücksichtigt wird und andererseits die gleichzeitige Steigerung der fettfreien Masse (+1,7 %) als Indiz einer Muskelhypertrophie interpretiert wird.

Bei Stemper (1994) werden die Unterschiede aufgrund der längeren Interventionsdauer deutlicher. Während der prozentuale Körperfettanteil (Impedanz-Analyse) eine hochsignifikante Reduktion von 16,8 % auf 14,7 % aufwies, vergrößerte sich gleichzeitig der Brustumfang von 92,2 auf 96,0 cm deutlich ($p < 0,001$) und der Oberschenkelumfang demgegenüber nur von 46,0 auf 46,5 cm ($p < 0,001$), was damit begründet werden kann,

„[...] dass die Beinmuskulatur alltagsbedingt stärker belastet und damit trainiert ist.“ (Stemper, 1994, 292)

Allerdings weist der Autor auf die eingeschränkte Präzision der Umfangsmessungen hin. Zumindest für Umfangsmessungen am kontrahierten Oberarm konnten Chestnut & Docherty (1999) auf der Basis signifikanter CSA-Zuwächse (MRI-Verfahren) eine hohe Validität nachweisen:

„[...] corrected flexed-arm girth measurement can be used to reflect training-induced changes in muscle hypertrophy.“ (Chestnut & Docherty, 1999, 358)

Angesichts dieser Aspekte und der nur 7-wöchigen Interventionsdauer (incl. Gewöhnungsphase) können die anthropometrischen Veränderungen der Treatmentgruppe des explorativen Längsschnittes nur tendenziell die Vermutung untermauern, dass Muskelmasse aufgebaut wurde.

Beim Vergleich der Kraftzuwächse während der Detrainingsphase fällt auf, dass das 12RM CHEST PRESS und das 12RM LEG PRESS VERTICAL mit durchschnittlich 3,8 % bzw. 3 % etwa doppelt so starke Zuwächse erfahren, wie die jeweiligen 1RM-Werte mit 1,5 % bzw. 1,6 %. Vermutlich kommt es im Falle des 12RM aufgrund der Übereinstimmung von Trainings- und Testsituation zu einer spezifischen, aufgestockten neuromuskulären Ermüdung, die in der einwöchigen Detrainingsphase zu einem größeren superkompensatorischen Effekt führt. Das Auftreten verzögerter Trainingseffekte wurde in der Untersuchung von Schlumberger & Schmidtbleicher (2000) für das Training mit maximalen Lasten (90 % 1RM) nachgewiesen. Die exzentrisch-konzentrische Gruppe (neben der konzentrischen Gruppe u. der Kontrollgruppe) verzeichnete nach sieben Tagen Trainingspause einen Kraftzugewinn der dynamischen Maximalkraft von rund 10 %. In Relation dazu, erscheinen die Detrainingszugewinne in der vorliegenden Studie verhältnismäßig gering und sollten somit nicht dahingehend interpretiert werden, dass die Beanspruchung der Trainingsanfänger zu hoch war. Darauf deuten auch die geringen Serienregressionen hin; d.h. die Trainingslast konnte über mehrere Sätze in einem zieladäquaten Wiederholungsbereich gehalten werden.

Die Ergebnisse der explorativen Längsschnittstudie sprechen insgesamt, wenn auch nur auf deskriptiver Ebene, für die Zuverlässigkeit des angewandten Verfahrens der Belastungsbestimmung und für die Wirksamkeit der daraus resultierenden Trainingslast.

Die Effektivität dieser beanspruchungsorientierten Trainingslast darf natürlich nicht losgelöst von ihrem quantitativen Einsatz, im Hinblick auf die Serienzahl pro Trainingseinheit und die Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche (Wirth, 2004), interpretiert werden.

Die evidenzbasierte Methodik im gerätegestützten Krafttraining für hypertrophieorientierte Anfänger lässt nach jetzigem Kenntnisstand folgenden Schluss zu:

Während der Belastungsumfang die muskulären Adaptationen von Krafttrainingsanfängern in den ersten Wochen nur unwesentlich beeinflusst (Marx et al., 1998), scheint die Belastungsintensität zur Ansteuerung von Hypertrophieeffekten bereits zu Beginn des Krafttrainings eine größere Bedeutung zu besitzen (Campos et al., 2002). Insofern könnte es hinreichend sein, wenn ein Anfänger mit muskelaufbauorientierter Zielsetzung in den ersten Wochen lediglich ein bis zwei Serien pro Übung durchführt. Jedoch sollte die Wiederholungszahl bzw. die Seriadauer in Verbindung mit den anpassungsrelevanten Ausbelastungen bereits zu Beginn des Trainings mit der Zielstellung korrespondieren, wenn die Belastbarkeit es zulässt.

8.4 Methodenkritik

Im Folgenden werden die methodische Vorgehensweise, die verwendeten Messsysteme sowie das statistische Verfahren der multiplen Regression einer kritischen Betrachtung unterzogen.

Probleme bei der Testdurchführung erwuchsen aus gerätetechnischen Defiziten und testimmanenten methodischen Aspekten.

Aus gerätetechnischer Sicht war bei allen Geräten die Gewichtsabstufung zu grob, obwohl die Geräteserie der Fa. ERGO-FIT, im Gegensatz zu vielen anderen Herstellern, bereits mit 5 kg-Gewichtsplatten anstatt der sonst üblichen 10 kg-Gewichtsplatten bestückt ist. Folglich mussten zur Feinabstufung der Gewichtslasten kleinere Gewichtsscheiben an die modifizierten Splints gehängt werden (vgl. Kap. 6.3). Dies hatte zur Folge, dass es bei geringen Lasten zur Verkantung der Gewichtsplatten verbunden mit einer erhöhten Reibung an den Führungsstangen kam. Der Testleiter sorgte daraufhin dafür, dass an den Führungsstangen permanent genügend Schmierstoff auf Silikonbasis haftete, um den Reibungswiderstand zu minimieren. Zusätzlich übte er mit dem Finger einen horizontalen Druck in Richtung der Längsachse des Gewindestabes (Splint) aus, wodurch das Abkippen der Gewichtsplatten verhindert wurde. Bei höheren Lasten war die Zusatzlast an der Gewindestange (maximal 4,5 kg) in Relation zur Gesamtgewichtslast so gering, dass ein Abkippen der Platten nicht mehr in Erscheinung trat.

An der LEG PRESS VERTICAL wurden die feinabstufenden Scheibengewichte sowie die zusätzlichen Scheibengewichte, die aufgrund der zu geringen Last des Gewichtsblockes nötig waren, an eine eigens konstruierte Halterung (vgl. Abb. 11) ge-

hängt, die es ermöglichte, auf beiden Seiten des Gewichtsblockes Hantelscheiben aufzunehmen, wodurch ein Abkippen vermieden wurde.

Ein größeres Problem war die Aufrechterhaltung der Positionierung an der LEG PRESS VERTICAL und der TRICEPS EXTENSION bei größeren Widerständen sowie nahe der Ausbelastung. Trotz genereller Einstellung der Rückenlehne der LEG PRESS VERTICAL in steilster Position, konnten die Probanden das Gesäß nicht mehr auf dem Sitzpolster fixieren, was als Ausweichbewegung und somit als Abbruchkriterium interpretiert wurde. Um ein Hochschieben des Gesäßes auf das Rückenpolster zu verhindern, war es den Probanden gestattet, den Kopf ohne Kontakt zum Kopfpolster etwa in der Senkrechten zu halten. Diese Position erleichterte die Fixierung des Gesäßes auf dem Sitzpolster durch einen effektiveren, senkrechten Armzug an den Haltegriffen.

Konstruktionsbedingt traten die häufigsten Ausweichbewegungen an der TRICEPS EXTENSION auf. Die achsengerechte Einstellung des Gerätes auf kleinere Versuchspersonen gestaltete sich schwierig. Im Bezug auf diese Vorgabe musste die Sitzfläche maximal hoch eingestellt und die Rückenlehne entsprechend weit in Richtung Armpolster gezogen werden, dass die Probanden zwischen Rücken- und Armpolster regelrecht eingeklemmt wurden, nur auf der vorderen Spitze der Sitzfläche saßen und die Beine fast durchgestreckt waren. Diese recht instabile Position hatte zur Folge, dass die Anforderungen an die stabilisierende Muskulatur subsumiert wurden und zu Schwierigkeiten bei der Bewältigung submaximaler und maximaler Lasten führten. Dabei traten die im Kapitel 6.3.1.1 beschriebenen Ausweichbewegungen auf, die hätten vermieden werden können, wenn das Gerät über eine Fußraste, ein höhenverstellbares Armauflagepolster und eine horizontal verstellbare Sitzfläche verfügen würde. Auch größere Versuchspersonen hebelten sich bei höheren Lasten regelrecht aus dem Sitz. Hier könnte ein Beckengurt oder Ähnliches Abhilfe schaffen. Die Probanden wurden aufgefordert, durch Adduktion der Beine den dazwischenliegenden Pfosten möglichst fest zu umschließen, um eine stabilere Ausgangsposition sicher zu stellen.

Unter methodischen Gesichtspunkten konnte festgestellt werden, dass die Krafttrainingsanfänger, insbesondere innerhalb der Gewöhnungsphase, die mit der zuletzt bewältigten Last noch möglichen Anzahl von Wiederholungen zu pessimistisch einschätzten.

Die Ursache liegt wohl in der fehlenden Erfahrung mit muskulärer Ausbelastung und den damit zusammenhängenden negativen Empfindungen (Muskelbrennen etc.), die

bereits dann auftreten, wenn von einer Ausbelastung noch keine Rede sein kann. Dies führt bei Anfängern bei beanspruchungsorientierter Belastungsgestaltung zur Wahl einer zu geringen Belastungsintensität (Glass & Stanton, 2004).

Infolge der begrenzten Anzahl von Testsätzen pro Termin und der a priori-Planung von maximal drei Terminen bis zur Ermittlung des 12RM, wog zu Beginn der Untersuchung die Interpretation des Testleiters hinsichtlich des letzten Testsatzes und die prozentuale Lasterhöhung für den nächsten Satz schwerer als die Einschätzung des Probanden. Geradezu diametral war oftmals die Entscheidung der Probanden im Bereich der Ausbelastung. Obwohl es für den Testleiter offensichtlich war, dass das Mehrwiederholungsmaximum „in Reichweite“ war, nahmen Probanden eine sehr optimistische Einschätzung bezüglich der nächsten Lasterhöhung vor. Aus Gründen der Validität der Messergebnisse musste der Testleiter auch hier intervenieren.

Das angewandte Testschema, basierend auf prozentualen Laststeigerungen, war zumindest mitverantwortlich für die aufgezeigte Problematik. Im Bereich geringer Lasten führte eine maximale prozentuale Lasterhöhung zu einer lediglich geringen absoluten Erhöhung der Last, wohingegen im Bereich großer Widerstände die absolute Lasterhöhung immer größer wurde und weitaus größere Auswirkungen auf die potenziell möglichen Wiederholungszahlen hatte.

Besonders bei der Übung LEG EXTENSION schätzten sich die Probanden zu schwach ein, da bereits relativ früh Schmerzen in der arbeitenden Muskulatur auftraten. Ein Umstand, der dem Praktiker hinlänglich bekannt ist. Zu dieser Fehleinschätzung kam es auch deshalb, da die Übungen TRICEPS EXTENSION (zweite Teilstudie am Sportwissenschaftlichen Institut) und LEG EXTENSION als Supersätze absolviert wurden und die Probanden den direkten Vergleich beider Übungen hatten. Dabei wurde festgestellt, dass sie die Belastung beim Trizepsdrücken am Anfang deutlich geringer empfanden. Offensichtlich sind mit dem Training unterschiedlicher Muskelgruppen (Kraftübungen) auch unterschiedliche Belastungsempfindungen verbunden (Buskies, 2001).

Bei der Erfassung der anthropometrischen Parameter gestaltete sich die Messung der Oberschenkellänge bei übergewichtigen und leicht adipösen Probanden als schwierig, da der Trochanter major nicht sonderlich gut ertastet werden konnte. Auch Umfangsmessungen waren bei diesem Personenkreis problematisch (vgl. Stemper, 1994). Infolge des dickeren Unterhautfettgewebes war das Messergebnis hier ganz besonders davon abhängig, wie fest das Maßband um die Extremität gezogen wurde. Ein Punkt, der aus Sicht der Testtheorie, aber auch aus Sicht der Praxisrelevanz

bei der Auswahl von Prädiktoren zur Vorhersage von Kraftleistungen berücksichtigt werden sollte.

Die Messungen von Extremitätenlängen gingen mit der gleichen Problematik einher. Aus Gründen der Reliabilität sollte hier ein sogenannter Anthropometer - eine Art überdimensionaler Messschieber - verwendet werden (vgl. Marfell-Jones, 2002, 3). Eine hohe Reliabilität bei der Erfassung der unabhängigen Variablen ist eine grundlegende Voraussetzung für die Genauigkeit der Beta-Gewichte und infolgedessen für die Vorhersagegenauigkeit. Tabachnick & Fidell (2001) stellen hierzu fest:

„Accuracy of parameter estimates depends on agreement with the assumptions of multiple regression analysis, including the assumption that IVs are measured without error. Therefore, interpreting has to be tempered by knowledge of the reliability of the Ivs.“ (Tabachnick & Fidell, 2001, 115)

Vor diesem Hintergrund soll auf effizientere Analyseverfahren hingewiesen werden, die nicht nur eine grobe Schätzung des Muskelvolumens erlauben, wie in der vorliegenden Arbeit durch die Erfassung von Extremitätenumfängen und der fettfreien Masse. Beispielsweise ermöglicht die Kernspintomographie eine genaue Diagnose der Muskelquerschnittsfläche (Alway, Stray-Gundersen, Grumbt & Gonyea, 1990; Chestnut & Doherty, 1999; Wirth, 2004), wobei die hohe Strahlenbelastung allein aus ethischer Sicht ein erheblicher Nachteil, neben den hohen Kosten, für die generelle Anwendung in Fitness-Studios und Reha-Praxen darstellt. Eine kostengünstigere und gesundheitlich unbedenkliche Alternative stellt die Ultraschalldiagnostik dar, wie sie in einer Reihe Studien angewendet wurde (vgl. Abe, De Hoyos, Pollock & Garzarella, 2000; Fröhner & Börnert, 1994; Pollock, Abe, De Hoyos, Garzarella, Hass & Werber, 1998; Woltering, Frohberger & Matthiaß, 1987). Mit beiden Verfahren kann grundsätzlich eine zuverlässige Quantifizierung des Muskelquerschnittes erzielt werden, so dass die Voraussetzung der multiplen Regression hinsichtlich der genauen Erfassung von Prädiktoren erfüllt ist (Tabachnick & Fidell, 2001). Jedoch kann eine hohe Reliabilität bei geringem Auftreten von Messfehlern nur dann erreicht werden, wenn erfahrene Diagnostiker am Werke sind. Insofern stellt sich die Frage der Alltagstauglichkeit dieser Analyseverfahren, auch wenn sie wissenschaftlich von großem Nutzen wären, um hohe Varianzaufklärungen von Kraftfähigkeiten zu erzielen. Die multiple Regression per se bringt statistische Probleme mit sich. Bei der Berechnung des multiplen Korrelationskoeffizienten werden eine Vielzahl von Korrelationskoeffizienten zwischen den einzelnen Prädiktoren und dem Kriterium berücksichtigt (Leonhart, 2004, 260). Da es sich bei den Prädiktoren generell um Körpermaße handelte, traten zum Teil hohe Interkorrelationen auf, die dazu führen, dass die Beta-

Gewichte in den vorliegenden Regressionsgleichungen mit den Einflüssen der übrigen Prädiktoren konfundiert sind (Köller & Gehrke, 1999, 395). Bei großer Anzahl von Prädiktoren in Verbindung mit hoher Multikollinearität und kleiner Stichprobe steigt das Risiko von stichprobenspezifischen Zufallsfehlern bei der Schätzung der Beta-Koeffizienten. Dadurch wird aber der tatsächliche - in der Population bestehende - Zusammenhang zwischen den Prädiktoren und dem Kriterium überschätzt (Diehl & Kohr, 1994, 335).

Somit muss einerseits überlegt werden, welche Strategie bei der Auswahl der Prädiktoren verfolgt wird und andererseits, auf welche Art die Zufallsfehler kontrolliert werden sollen.

Leonhart (2004, 262) unterscheidet bei der Auswahl der Prädiktoren die inhaltliche Auswahl und die iterativen Verfahren. Die inhaltliche Auswahl erfolgt auf der Basis theoretischer Überlegungen, wodurch eine Überschätzung der Populationskorrelation vermieden werde, da nur eine einzige Regressionsanalyse durchgeführt wird. Allerdings könnten Prädiktoren aufgenommen werden, die keinen signifikanten Beitrag liefern oder Prädiktoren könnten einfach übersehen werden. Bei den iterativen Verfahren, wie der Vorrwärtselektion, der Rückwärtselemination sowie der schrittweisen Regression (vgl. Leonhart, 2004; Bortz, 1999) berechnet der Computer eine Vielzahl von Regressionsanalysen, um schließlich den Prädiktor oder die Prädiktorkombination zu isolieren, die den größten Anteil Kriteriumsvarianz aufklärt. Dadurch erhöht sich jedoch die Gefahr einer Überschätzung des multiplen Korrelationskoeffizienten, so dass zur Kontrolle der Regressionsgleichung auf jeden Fall eine Kreuzvalidierung durchgeführt werden sollte (Diehl & Kohr, 1994, 336; Leonhart, 2004, 264). Zudem sind die iterativen Verfahren weniger theoriegeleitet.

In der vorliegenden Arbeit fand eine theoriegeleitete Auswahl der übungsspezifischen Prädiktoren statt. Beispielsweise wurden bei der Auswahl der Prädiktoren für eingelenkige Übungen keine einfachen Indices (Broca, Quetelet, BMI, Rohrer) berücksichtigt sowie keine Indices mit fettfreier Masse in zweiter oder dritter Potenz, da diese Parameter zum einen nur unzureichend strukturelle Informationen liefern und zum anderen Hebelverhältnisse mit hoher Wahrscheinlichkeit einen geringen Einfluss auf Krafftfähigkeiten bei eingelenkigen Übungen haben sollten.

Die auf diese Weise festgelegten Prädiktoren wurden anschließend in die schrittweise Regression eingebracht. Auch Bortz (1999, 448) plädiert dafür, den Einsatz der schrittweisen Regressionstechnik theoretisch vorzustrukturieren. Bei der schrittweisen Regression erfolgt generell eine Bevorzugung von hoch mit dem Kriterium korrelierender Prädiktoren, so dass diejenigen Prädiktoren ausgeschlossen werden könn-

ten, die unter Umständen aufgrund von Messfehlern etwas geringer mit dem Kriterium korrelieren.

Kritisch betrachtet werden muss darüber hinaus die Tatsache, dass aufgrund der relativ kleinen Stichproben ($N = 21-55$) und der relativ großen Anzahl von Prädiktoren ($p = 4-13$) die Gefahr der Überschätzung der tatsächlichen Zusammenhänge auf Populationsebene recht hoch ist. Kreuzvalidierungen wurden jedoch nicht mit allen Stichproben durchgeführt, sondern nur dort, wo sich zwei klassisch unabhängige Stichproben herauskristallisierten (Bw/Uni). Um die Gefahr der Überschätzung weitgehend gering zu halten, wurde in der Ergebnisinterpretation der minderungskorrigierte Determinationskoeffizient (R^{2*}) berücksichtigt. Des Weiteren wurde exemplarisch an der LEG PRESS (VERTICAL/HORIZONTAL) der empirische Weg beschritten, die Konsistenz der Regressionsgleichung über mehrere Stichproben hinweg zu überprüfen (s. empirische Kreuzvalidierung in Kap. 7.5).

Bis auf die statistisch sowie empirisch validierten Regressionsgleichungen können die Ergebnisse nur in Bezug auf die jeweiligen Stichproben bzw. Probandengruppen interpretiert werden.

Homogene Untergruppen (Frauen, Männer, Bundeswehr) führten, wie in stochastischen Zusammenhängen üblich, aufgrund geringerer Korrelationen zwischen Prädiktor und Kriterium zu schlechteren Merkmalsvorhersagen. Insofern erscheint es wenig sinnvoll, für alle möglichen Gruppen (Frauen, Männer, Adipöse, Magere, Sportler, Nichtsportler etc.) Regressionsanalysen durchzuführen. Ein Prädiktor ist nämlich nur dann als valide zu bezeichnen, wenn

„[...] die in der 'Eichstichprobe' ermittelte Beziehung zwischen den Prädiktorvariablen und der Kriteriumsvariablen auch auf einen konkret untersuchten Einzelfall, der nicht zur Eichstichprobe, aber zur Grundgesamtheit gehört, anwendbar ist.“ (Bortz, 1999, 174)

Gruppenspezifische Regressionsgleichungen erschweren die Zuordnung des Einzelfalls zur Grundgesamtheit. Außerdem führen hohe Standardschätzfehler bei geringer Vorhersagegüte zu einer schwierigeren Ansteuerung der zieladäquaten Trainingslast.

Ein weiteres Problem war das Auftreten nicht signifikanter Konstanten. Die Konstante kennzeichnet die Höhenlage einer Regressionsgeraden und damit den Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse (Bortz, 1999, 175). Ein nicht signifikanter T-Wert bedeutet zunächst nur, dass die Konstante nicht unterschiedlich von Null ist, der Schnittpunkt also nicht eindeutig im positiven oder negativen Bereich der y-Achse

festgelegt werden kann. Der Bereich kann über das Konfidenzintervall bestimmt werden. Inwiefern dies Auswirkungen auf die Interpretation des multiplen Korrelationskoeffizienten hat, wird in der Literatur auch nicht nur ansatzweise thematisiert. Der Autor entschied sich daraufhin, für ein positives Ergebnis allein die Signifikanz der jeweiligen Prädiktoren zugrunde zu legen.

8.5 Ergebniszusammenfassung

Die regressionsanalytischen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stimmen mit den Ergebnissen anderer Studien zum Zusammenhang zwischen anthropometrischen Parametern und Krafftähigkeiten insofern überein, als auch hier deutlich wurde, dass eine hinreichend genaue Vorhersage allein auf der Basis leicht zu erfassender anthropometrischer Parameter nicht möglich ist (vgl. Bale et al., 1994; Ball et al., 1995; Cummings & Finn, 1998; Dean et al., 1987; Ghena et al., 1991; Hart et al., 1991; Hortobagyi et al., 1990; Kravitz et al., 2003; Kroll et al., 1990; Mannion et al., 1999; Mayhew, Piper et al., 1993; Simpson et al., 1997; Walsworth et al., 1998; Willardson & Bressel, 2004).

Es verbleibt generell ein zu großer Anteil Kriteriumsvarianz, die mit anthropometrischen Prädiktoren nicht aufgeklärt werden kann. Dieser unaufgeklärte Varianzanteil spiegelt die muskel- und neurophysiologischen sowie metabolischen und biomechanischen Einflussfaktoren von Krafftähigkeiten wider, die einfache anthropometrische Prädiktoren nicht vollständig abbilden können (vgl. de Marées, 2002; Edman, 1994; Felder, 1994; Fürst, 1999; Gollhofer et al., 2003; Gottlob, 2003a; Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Häkkinen, 1998; Häkkinen et al., 1996; Hay, 1994; Heinold, 1995; Heyward et al., 1986; Hollmann & Hettinger, 2000; Huijing, 1994; Hultman & Sjöholm, 1986; Kibele, 1995; Komi, 1998; Müller, 1987; Newham, 1988; Pollmann, 1993; Sale, 1994; Tesch, 1994; Tittel & Wutscherk, 1994; Weicker, 1992, 1995; Wiemann et al., 1998; Zatsiorsky, 1996).

Ohne die Integration moderner, leider aber auch teurer, zeitaufwändiger und zudem noch diagnostisch schwieriger Analyseverfahren wie die Kernspint- bzw. Computertomographie (Beneke et al., 1990; Schmidt et al., 1990; Schmidtbleicher & Bührle, 1987; Wirth, 2004) oder die Ultraschalldiagnostik (Fröhner & Börnert, 1994; Woltering et al., 1987) zur Quantifizierung der lokalen Muskelmasse als zentrale determinierende Größe, scheint eine exakte Prognose von Krafftähigkeiten basierend auf anthropometrischen Parametern ein aussichtsloses Unterfangen zu sein.

Insofern kann das wissenschaftliche Desiderat nicht darin bestehen, mit den verwendeten Prädiktoren eine (fast) hundertprozentige, exakte Vorhersage einer individuellen Trainingslast zu treffen, sondern lediglich eine möglichst genaue Abschätzung einer auf individuellen Voraussetzungen beruhenden Anfangslast. Diese Anfangslast soll mit Kenntnis der statistischen Streubreite eine schnelle und zuverlässige Ermittlung einer spezifischen Trainingslast ermöglichen. Die Evaluationsstudie ist zumindest für eine muskelaufbauorientierte Last ein hinreichender Beleg für die Zuverlässigkeit dieses Verfahrens, das man als testunabhängige induktive Form der Beanspruchungsermittlung definieren könnte. Zudem unterstreicht die mit zwei unabhängigen Stichproben durchgeführte (statistische) Kreuzvalidierung die Stabilität der ermittelten Regressionsgleichungen sowie die geringe Überschätzung der Vorhersagen.

Beim Vergleich zwischen deduktiver und induktiver Belastungsbestimmung auf der Grundlage anthropometrischer Parameter gelingt des Weiteren der Nachweis, dass sich trainingswirksame Lasten effizienter bestimmen lassen, wenn auf das 1RM als Bezugsgröße verzichtet wird.

Im Ergebnis wird in der vorliegenden Arbeit ein neuer Ansatz innerhalb induktiver Verfahren zur Belastungsbestimmung verfolgt, wobei sich folgende Vorteile und Ergebnisse subsumieren lassen:

- (1) Es wurde ein testunabhängiges Verfahren zur Bestimmung einer trainingsrelevanten Last für das Krafttraining entwickelt. Damit kann auf methodisch fragwürdige und orthopädisch bedenkliche Testverfahren verzichtet werden.
- (2) Auf der Grundlage anthropometrischer Merkmale wird nicht die Maximalkraft (1RM), sondern eine zieladäquate Anfangslast (12RM) vorhergesagt, wodurch die problembehaftete Transferierbarkeit des 1RM in die Wiederholungszahlbereiche entfällt.
- (3) Eine direkte Vorhersage des 12RM ermöglicht eine bessere Schätzung, als dies auf dem Umweg über das 1RM möglich wäre.
- (4) Die Vorhersage basiert allein auf leicht zu erfassenden anthropometrischen Parametern und damit auf den individuellen Voraussetzungen des Trainingsanfängers.
- (5) Die Differenzierung der Vorhersage in Abhängigkeit der Freiheitsgrade von Krafttrainingsübungen manifestiert sich in anthropometrischen Kriterien:
 - ✓ Für eingelenkige Übungen erscheint die fettfreie Masse als dominanter Prädiktor.

- ✓ Bei zweigelenkigen Übungen ermöglichen Indizes bzw. Indizes mit fettfreier Masse die beste Vorhersage.
 - ✓ Kraftleistungen der mehrgelenkigen Übung Beinpressen werden durch Indizes in Verbindung mit Segmentlängen am besten vorhergesagt.
- (6) Nach Abschätzung der Anfangslast kann mit einem validen Näherungsverfahren eine hypertrophieorientierte Trainingslast ermittelt werden.
- (7) Aus deskriptiver Sicht führt die mit diesem Verfahren ermittelte Trainingslast bereits in den ersten Wochen zu deutlichen Kraftsteigerungen und tendenziellen anthropometrischen Veränderungen entsprechend der Zielsetzung des Trainings.

8.6 Ausblick

Bei Trainingsanfängern des gerätegestützten Krafttrainings kann somit auf der Basis nachgewiesener Zusammenhänge zwischen übungsrelevanten Körpermerkmalen und individuellen Kraftleistungsfähigkeiten eine Anfangslast vorhergesagt werden, die es ermöglicht, ökonomisch eine dem Trainingsziel entsprechende Trainingslast anzusteuern.

Aus trainingsmethodischer Sicht haben Trainer und Therapeuten bei der Belastungsbestimmung mit regressionsanalytischen Modellen den Vorteil, dass sie über eine empirisch begründete Zielvorgabe, sozusagen über eine *deadline* verfügen, mit deren Hilfe testunabhängig, schnell, präzise und vor allem objektiv eine zieladäquate Trainingslast anvisiert werden kann. Die Anwendung dieses Verfahrens in populären trainingsmethodischen Ansätzen des fitnessorientierten Krafttrainings, wie z. B. dem sanften Krafttraining (Buskies, 2001) oder der ILB-Methode (Barteck, 1998; Kempf & Strack, 2001), könnten diese dahingehend optimieren, dass nicht mehr die auf Erfahrung beruhende subjektive Einschätzung des Trainers im Rahmen der Versuch-und-Irrtum-Methode die Lastermittlung prägt, sondern die anthropometrischen Voraussetzungen des Anfängers. Damit wird das Training stärker auf das Individuum fokussiert, was in Anbetracht der favorisierten beanspruchungsorientierten Intensitätssteuerung im fitnessorientierten Krafttraining sowie des diversifizierten potenziellen Mitgliederpools von Fitness-Studios eine notwendige und sinnvolle Maßnahme darstellt. Zarotis et al. (2003) stellen hierzu fest:

„[...] durch den wachsenden Zulauf an untrainierten und körperlich inaktiven Menschen in Fitnessanlagen sind die Anforderungen an individuell gestaltete

und auf die persönlichen Voraussetzungen abgestimmten Trainingsprogramme ständig wachsend.“ (Zarotis et al., 2003, 17)

Für die Anwendung des Verfahrens im sanften Krafttraining müsste ausgehend von der berechneten Anfangslast, die mit großer Wahrscheinlichkeit über der befindlichkeitsorientierten Trainingslast liegt, durch sukzessive Lastreduktion die Last angesteuert werden, die mit der zielgerechten Ausbelastung einhergeht. Für den Bereich der Rehabilitation müsste jedoch bereits a priori eine prozentuale Reduktion der Zielast in Abhängigkeit der Indikation erfolgen, um der reduzierten Belastbarkeit der aktiven und passiven Strukturen Rechnung zu tragen. Aufgrund der Vielfalt von orthopädischen Verletzungen und Erkrankungen ist es unmöglich, für jede Indikation einen Berechnungsfaktor empirisch zu ermitteln und in die Vorhersageformeln zu implementieren. Zentraler Eckpfeiler bei der Belastungsbestimmung bleibt in diesem Bereich die Erfahrung des Arztes oder des Therapeuten. In diesem Zusammenhang könnten die Formeln bei hoher Vorhersagegenauigkeit als Maßstab der theoretischen Leistungsfähigkeit eines Gesunden fungieren und somit dem Therapeuten als Richtschnur für die Rekonvaleszenz dienen.

Für Fitnessgerätehersteller sowie für die Anbieter softwaregestützter Trainingssteuerungskonzepte dürfte der Einsatz regressionsbasierter, testunabhängiger Verfahren zur Belastungsbestimmung ebenfalls ein lohnendes Unterfangen sein. Bei erstmaliger Benutzung eines Trainingsgerätes mit integrierter Datenbank könnte dem Anfänger eine angemessene Trainingslast angeboten werden, ohne sich einem langwierigen und darüber hinaus ermüdenden Testverfahren unterziehen zu müssen. Die möglichst ökonomische Ansteuerung von trainingswirksamen Lasten erscheint insbesondere dann von großem Interesse zu sein, wenn nur wenig Trainingszeit zur Verfügung steht (Krankengymnastik, Physiotherapie) oder nur wenige Trainingstermine (10er-Karte im Fitness-Studio, Kurssystem) in Aussicht gestellt werden.

Fortgeschrittene hätten die Möglichkeit ihre Kraftgewinne mit der theoretischen Anfangsmaximallast als Bezugspunkt zu quantifizieren, wenn das Gerät zusätzlich über eine Kraftmessdose verfügte. Dies erforderte jedoch eine möglichst zuverlässige Abschätzung der maximalen Last, was im Bezug auf die empirischen Befunde (vgl. Ergebnisüberblick, Kap. 7) lediglich für die Gesamtstichprobe der TRICEPS EXTENSION Studie angenommen werden kann.

Die softwaregestützte Ausarbeitung und Umsetzung von gerätespezifischen Trainingsplänen könnte aus betriebswirtschaftlicher Sicht ökonomischer erfolgen, so

dass dem Trainer mehr Zeit für Beratung bleibt, die er sonst für die Durchführung der Krafterdiagnostik aufwendet.

Ein weiteres Anwendungsfeld entsteht aus der Notwendigkeit als Übungsleiter im Sportverein oder als Sportausbilder der Bundeswehr im Rahmen des Dienstsportes mehrere Trainingsanfänger im Fitness-Raum betreuen zu müssen, also immer dann, wenn eine intensive und zeitaufwändige Individualbetreuung nicht möglich ist. Hierbei könnten an den Geräten angebrachte Formeltabellen eine individuelle Berechnung der zielgerechten Anfangslast ermöglichen, die im Folgenden als Basis für die überwiegend eigenständige Ansteuerung der entsprechenden Trainingslast dient. Der Sportausbilder hätte dadurch die Möglichkeit, sich intensiv auf die korrekte Bewegungsausführung der Teilnehmer zu konzentrieren.

Zukünftig anzugehende Forschungen sollten inferenzstatistisch und unter Anwendung exakter muskelphysiologischer Analyseverfahren untersuchen, inwiefern die Belastungsbestimmung auf Basis anthropometrischer Parameter dazu geeignet ist, signifikant Kraftsteigerungen und Muskelhypertrophie zu erzielen. Weitere Studien werden im Anschluss daran nötig sein, um mit größeren Untersuchungskollektiven valide Prädiktoren für spezifische Übungen respektive Übungsklassen zu finden. Ferner erscheint es mit der Entwicklung dieses neuen trainingsmethodischen Ansatzes von großem weitergehendem Interesse, nicht nur die Anfangslast, sondern auch die trainingswirksamen Lasten der sich anschließenden Serien in die Regression miteinzubinden.

9 Literaturverzeichnis

- Abadie, B. R. & Wentworth, M. C. (2000). Prediction of one repetition maximal strength from a 5-10 repetition submaximal strength test in college-aged females. *Journal of Exercise Physiology online*, 3 (3), 1-6.
- Abe, T., De Hoyos, D. V., Pollock, M. L. & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 81 (3), 174-180.
- Adams, G. R., Hather, B. M., Baldwin, K. M. & Dudley, G. A. (1993). Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 74 (2), 911-915.
- Alway, S. E., Stray-Gundersen, J., Grumbt, W. H., Gonyea, W. J. (1990). Muscle cross-sectional area and torque in resistance-trained subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 60, 86-90.
- Anderson, T. & Kearney, J. T. (1982). Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53 (1), 1-7.
- Appell, H.-J. (1983). Mechanismen und Grenzen des Muskelwachstums. In W. Decker & M. R. Lämmer (Hrsg.), *Kölner Beiträge zur Sportwissenschaft 12* (S. 7-18). Schorndorf: Hofmann.
- Arnold, M. D., Mayhew, J. L., LeSeur, D. & McCormick, M. (1995). Accuracy of predicting bench press and squat performance from repetitions at low and high intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9, 205-206.
- Baechle, T. R., Earle, R. W. & Wathen, D. (2000). Resistance training. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Hrsg.), *Essentials of strength training and conditioning* (S. 395-425): Human Kinetics.
- Bale, P., Colley, E., Mayhew, J. L., Piper, F. C. & Ware, J. S. (1994). Anthropometric and somatotype variables related to strength in american football players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 34 (4), 383-389.
- Ball, T. E., Mayhew, J. L. & Bowen, J. C. (1995). Parallel dips as a predictor of 1RM bench press strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9, 206.
- Barteck, O. (1998). *Fitness Manual*. Köln: Könenmann.
- Bartonietz, K. (1996). Isokinetik in der Leistungsdiagnostik - ein Überblick. *Leistungssport*, 26 (1), 5-12.

-
- Bass, C. & Bass, C. (1998). New evidence on sets controversy. <http://www.cbass.com/newevide.htm>, September 1999, 1-4.
- Bassey, E. J. (1986). Demi-Span as a measure of skeletal size. *Annals of Human Biology*, 13, 499-502.
- Bayer, G. & Ramlow, J. (1993). Verhältnis von Kraft- und Ausdauerfähigkeiten für die Vervollkommnung der Kraftausdauer im Rennrudern. *Leistungssport*, 23 (3), 15-19.
- Bemben, M. G., Clasey, J. L. & Massey, B. H. (1990). The effect of the rate of muscle contraction on the force-time curve parameters of male and female subjects. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61 (1), 96-99.
- Beneke, R., Brüggemann, G. P., Bohndorf, K., Ritzdorf, W. & Hollmann, W. (1990). Die Bedeutung der Computertomographie in der Muskelkraftdiagnostik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 41 (5), 160-168.
- Berger, R. A. (1961). Determination of the resistance load for 1RM and 10RM. *The Journal for the Association for Physical and Mental Rehabilitation*, 15, 108-110.
- Berger, R. A. (1962a). Effect of varied weight training programs on strength. *The Research Quarterly*, 33 (2), 169-181.
- Berger, R. A. (1962b). Optimum repetitions for the development of strength. *Research Quarterly of the American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 33 (3), 334-338.
- Berger, R. A. & Henderson, J., M., (1966). Relationship of power to static and dynamic strength. *The Research Quarterly of Exercise and Sports*, 37 (1), 9-13.
- Boeckh-Behrens, W.-U. & Buskies, W. (2000). *Fitness-Krafttraining: Die besten Übungen und Methoden für Sport und Gesundheit*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Bompa, T. O. & Cornacchia, L. J. (1998a). *Serious strength training*. Champaign: Human Kinetics.
- Bompa, T. O. & Cornacchia, L. J. (1998b). *Serious strength training. Periodization for building muscle power and mass*. Champaign/Ill.: Human Kinetics.
- Böning, D. (2000). Muskelkater. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51 (2), 63-64.
- Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Science in Sports and Exercise*, 14 (5), 377-381.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer.

-
- Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer.
- Bös, K. (2001). *Handbuch - Motorische Tests*. Göttingen: Hogrefe.
- Bradley, M. (2000). The repetition. In M. Brzycki (Hrsg.), *Maximize your training: insights from leading strength and fitness professionals* (S. 181-188). Lincolnwood/Ill.: Masters press.
- Braith, R. W., Graves, J. E., Leggett, S. H. & Pollock, M. L. (1993). Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. *Med Science in Sports and Exercise*, 25 (1), 132-138.
- Bredenkamp, A. & Hamm, M. (2001). *Trainieren im Sportstudio*. Bünde: Fitness Contur Verlag.
- Breitenstein, B. (2003). *Power-Bodybuilding. Erfolgreich, natürlich, gesund*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Brown, R. D. & Harrison, J. M. (1986). The effects of a strength training program on the strength and self concept of two female age groups. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 57 (4), 315-320.
- Brzycki, M. (1993). Strength testing - predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance* (1), 88-90.
- Brzycki, M. (2000). *Maximize your training: insights from leading strength and fitness professionals*. Lincolnwood/Ill.: Masters Press.
- Buchbauer, J. (2003). *Krafttraining mit Seilzug- und Fitnessgeräten*. Schorndorf: Karl Hofmann.
- Buchbauer, J. & Steininger, K. (2001). *Funktionelles Kraftaufbautraining in der Rehabilitation. Komplette Programme zum medizinischen Aufbautraining*. München: Urban&Fischer.
- Bühl, A. & Zöfel, P. (2002). *SPSS 11. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows*. München: Pearson Studium.
- Bühl, A. & Zöfel, P. (2005). *SPSS 12. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows*. München: Pearson Studium.
- Bührle, M. (1985). Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In M. Bührle (Hrsg.), *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 82-111). Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Bührle, M. (1989). Maximalkraft - Schnellkraft - Reaktivkraft. Kraftkomponenten und ihre dimensionale Struktur. In: *Sportwissenschaft* 19 (3), 311-325.

- Bührle, M. & Schmidtbleicher, D. (1981). Komponenten der Maximal- und Schnellkraft. Versuch einer Neustrukturierung auf der Basis empirischer Ergebnisse. *Sportwissenschaft*, 11 (1), 11-27.
- Bührle, M. & Werner, E. (1985). Das Muskelquerschnittstraining der Bodybuilder. In M. Bührle (Hrsg.), *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 199-212). Schorndorf: Karl Hofmann.
- Buskies, W. (1999). Sanftes Krafttraining nach dem subjektiven Belastungsempfinden versus Training bis zur Ausbelastung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (10), 316-320.
- Buskies, W. (2001). Zur Bedeutung des sanften Krafttrainings nach dem subjektiven Belastungsempfinden. *Sportwissenschaft*, 31 (1), 45-60.
- Buskies, W. & Boeckh-Behrens, W.-U. (1999). Probleme bei der Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining auf der Basis von Maximalkrafttests. *Leistungssport*, 29 (3), 4-8.
- Buskies, W., Boeckh-Behrens, W. U. & Zieschang, K. (1996). Möglichkeiten der Intensitätssteuerung im gesundheitsorientierten Krafttraining. *Sportwissenschaft*, 26 (2), 170-183.
- Cable, A., Niemann, D. C., Austin, M., Hogen, E. & Utter, A. C. (2001). Validity of leg-to-leg bioelectrical impedance measurement in males. *Journal of Sports medicine and Physical Fitness*, 41, 411-414.
- Caimi, M. (2003). *Die Banalität der Kraft: Schonem wir uns zu Tode? : A & O des Wissens*.
- Campos, G. E. R., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F. et al. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimes: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 50-60.
- Carl, K., Starischka, S. & Stork, H.-M. (1989). *Kraftausdauertraining*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Chagas, M. H. (2001). *Auswirkungen von Beweglichkeitstraining auf die muskuläre Leistungsfähigkeit*. Unpublished Inauguraldissertation, Johann Wolfgang Goethe Universität, Frankfurt am Main.
- Chandler, T. G., Ware, J. S. & Mayhew, J. L. (2001). Relationship of lat-pull repetitions and pull-ups to 1RM lat-pull strength in male athletes. *Journal of Human Movement studies*, 41 (1), 25-37.

- Chandler, T. G., West, S. C., Larkin, R. B., Crady, B. J. & Mayhew, J. L. (1995). Relationship of pullup and lat-pull performances to 1RM lat-pull strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9, 205.
- Chestnut, J. L. & Docherty, D. (1999). The effects of 4 and 10 repetition maximum weight-training protocols on neuromuscular adaptations in untrained men. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 13 (4), 353-359.
- Chilibeck, P. D., Calder, A. W., Sale, D. G. & Webber, C. E. (1998). A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *European Journal of Applied Physiology*, 77 (1-2), 170-175.
- Clauß, G., Ebner, H. (1989). *Statistik für Soziologen, Pädagogen, Psychologen und Mediziner*. Thun und Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch.
- Coen, B., Urhausen, A., Herrmann, S., Weiler, B. & Kindermann, W. (1996). Belastungsdosierung von Dauerläufern unterschiedlicher Intensität anhand der Parameter Herzfrequenz, Laktat und Katecholamine. *Sportothopädie - Sporttraumatologie*, 96-101.
- Conzelmann, A. (1997). *Entwicklung konditioneller Fähigkeiten im Erwachsenenalter*. Schorndorf: Karl Hofmann.
- Craig, B. W., Everhart, J. & Brown, R. (1989). The influence of high-resistance training on glucose tolerance in young and elderly subjects. *Mechanisms of Aging and Development*, 49, 147-157.
- Crill, M., Campos, G. E. R., Staron, R. S., Hagerman, F. C., Luecke, T. J., Bailey, T. et al. (1998). Different resistance training protocols and skeletal muscle fibre hypertrophy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30 (5), S207.
- Cummings, B. & Finn, K. J. (1998). Estimation of a one repetition maximum bench press for untrained women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 12 (4), 262-265.
- Darden, E. (1998). *Hardcore Training. Professionelle Techniken für schnellen Muskelaufbau*. Arnsberg: Novagenics.
- Daug, R. (1987). Werden Spitzensportler geboren oder gemacht? In C. Niemitz (Hrsg.), *Erbe und Umwelt: zur Natur von Anlage und Selbstbestimmung des Menschen* (S. 318-335). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Day, M. L., McGuigan, M. R., Brice, G. & Foster, C. (2004). Monitoring exercise intensity during resistance training using the session RPE scale. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (2), 353-358.
- Dean, J. A., Foster, C. & Thompson, N. N. (1987). A simplified method of assessing muscular strength. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 19 (2), S63.

- Debra, M. (2002). *Das Verhältnis von 12 Repetition Maximum und 1 Repetition Maximum bei den Übungen Bankdrücken und Beinpresse - eine empirische Analyse der Intensitätsempfehlungen zum Training der Muskelhypertrophie*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Delavier, F. (2000). *Muskel Guide*. München: blv.
- DeLorme, T. L. (1945). Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 27 (4), 645-667.
- DeLorme, T. L. (1946). Heavy resistance training. *Archives of Physical Medicine*, 27, 607-630.
- DeLorme, T. L. (1948). Techniques of progressive resistance exercise. *Archives of Physical Medicine*, 29, 263-273.
- DeLorme, T. L. & Watkins, A. L. (1951). *Progressive resistance exercise: technic and medical application*. New-York: Appleton-Century-Crofts.
- De Marées, H. (2002). *Sportphysiologie*. Köln: Sport & Buch Strauß.
- Diehl, J. M. & Kohr, H. U. (1994). *Deskriptive Statistik*. Eschborn bei Frankfurt: Klotz.
- Dirks, A. J. & Leewenburgh, C. (2005). Der Einfluss von Alter und Training auf die Apoptose im Skelettmuskel. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56 (3), 62-67.
- Edman, P. K. A. (1994). Die kontraktile Funktion der Skelettmuskulatur. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 104-120). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Ehlenz, H., Grosser, M. & Zimmermann, E. (1998). *Krafttraining*. München: BLV.
- Ehram, R., Stoffel, S., Mensink, G. & Melges, T. (2004). Übergewicht und Adipositas in den USA, Deutschland, Österreich und der Schweiz. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (11), 278-285.
- Eifler, C. (2000). *Krafttraining nach der "Individuellen-Leistungsbild-Methode" - eine empirische Überprüfung der Trainingseffekte bei Anfängern und Fortgeschrittenen*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Enoka, R. M. (1994). *Neuromechanical basis of kinesiology*. Champaign/Ill.: Human Kinetics.
- Faller, A. (1984). *Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion*. Stuttgart, New York: Deutscher Taschenbuch Verlag.

- Felder, H. (1994). Bestimmung der Antagonistentätigkeit am Beispiel der Kniestreckung: Eine neue Möglichkeit zur muskulären Zustandsdiagnostik und zur Krafttrainingssteuerung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 45 (Sonderheft), 24-25.
- Felder, H. & Römer, K. (1999). *Isokinetik in Sport und Therapie*. München u.a.: Pflaum-Verlag.
- Fiatarone, M. A., O'Neill, E. F., Ryan, N. D., Clements, K. M., Solares, G. R., Nelson, M. E., Roberts, S. B., Kehayias, J. J., Lipsitz, L. A., Evans, W. J. (1994). Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people. *The New England Journal of Medicine*, 330, 1769-1775.
- Fiatarone, M. A., Marks, E. C., Ryan, N. D., Meredith, C. N., Lipsitz, L. A., Evans, W. J. (1990). High-intensity strength training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle. *JAMA*, 263, 3029-3034.
- Fitts, R. H., Widrick, J. J. (1996). Muscle mechanics: adaptations with exercise training. *Exercise Sport Science Review*, 24, 427-473.
- Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. (1997). *Designing resistance training programs*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Freese, J. (2001). *Medizinische Fitness*: Trainer College.
- Freese, J. (2003). *Medizinische Rückenfitness - Freie Gewichte in Prävention und Rehabilitation der Wirbelsäule*. Köln: Deutscher Trainer-Verlag.
- Fridén, J., Sjöström, M. & Ekblom, B. (1983). Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *International Journal of Sports Medicine*, 4 (3), 170-176.
- Friedrich, W. & Moeller, H. (1999). Zum Problem der Superkompensation. *Leistungssport* (5), 52-55.
- Froböse, I. & Lagerström, D. (1991). Muskeltraining in Prävention und Rehabilitation nach modernen trainingswissenschaftlichen Prinzipien. *Gesundheitssport und Sporttherapie*, 7 (1/2), 12-13/19-11.
- Fröhlich, M. (2003). *Kraftausdauertraining. Eine empirische Studie zur Methodik*. Göttingen: Cuvillier.
- Fröhlich, M., Felder, H. & Emrich, E. (2001). Belastungs-/Beanspruchungssituation am Beispiel einer mehrgelenkigen Bewegung. *Gesundheitssport und Sporttherapie*, 17, 5-9.
- Fröhlich, M., Klein, M., Emrich, E. & Schmidtbleicher, D. (2001). Arbeit als Bruttokriterium der Belastung im Kraftausdauertraining. *Leistungssport*, 31 (2), 24-28.

- Fröhlich, M. & Marschall, F. (2001). Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung der isometrischen und konzentrischen Maximalkraft. In H.-A. Thorhauer, K. Claus & U. Türck-Noack (Hrsg.), *Muskelermüdung - Forschungsansätze in der Trainingswissenschaft* (S. 119-126). Köln: Sport & Buch Strauß.
- Fröhlich, M. & Schmidtbleicher, D. (2003). Belastungsintensität und Wiederholungszahl in Abhängigkeit von der Trainingsspezifität im Krafttraining. In G.-P. Brüggemann & G. Morey-Klapsing (Hrsg.), *Biologische Systeme, Mechanische Eigenschaften und ihre Adaptation bei körperlicher Belastung* (S. 54-58). Hamburg: Czwalina.
- Fröhlich, M., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2002a). Belastungssteuerung im Muskelaufbautraining: Belastungsnormativ Intensität versus Wiederholungszahl. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53 (3), 79-83.
- Fröhlich, M., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2002b). Intensität und Wiederholungszahl als Steuerungsparameter im Krafttraining. *Zeitschrift für Physiotherapeuten*, 54 (5), 745-750.
- Fröhner, G. & Börner, K. (1994). Zustandsbeurteilung des vierköpfigen Oberschenkelmuskels mit der Methode der Ultraschalldiagnostik. *Leistungssport*, 24 (2), 36-38.
- Frontera, W. R., Meredith, C. N., O'Reilly, K. P., Knuttgen, H. G., Evans, W. J. (1988). Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *Journal of Applied Physiology*, 64, 1038-1044.
- Fürst, D. O. (1999). Titin, ein molekularer Gigant regiert im quergestreiften Muskel. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (7/8), 218-222.
- Gerhardt, J. J. & Rippstein, J. R. (1992). *Gelenk und Bewegung*. Bern, Göttingen u.a.: Hans Huber.
- Ghena, D., Mayhew, J. L., Kurth, A. & Thompson, C. B. (1991). Prediction of isokinetic leg strength from anthropometric dimensions in male college athletes. *Isokinetics and exercise science*, 1 (4), 187-192.
- Gießing, J. (2000). Das Heavy-Duty-Konzept. *Leistungssport*, 30 (4), 19-23.
- Gießing, J. (2002). *Das Muskelaufbautraining beim Bodybuilding. Eine kritische Analyse aus sportwissenschaftlicher Sicht*. Marburg: Tectum Verlag.
- Gießing, J. (2003). Trainingsplanung und -steuerung beim Muskelaufbautraining. *Leistungssport* (4), 26-31.
- Glass, C. & Stanton, D. R. (2004). Self-selected resistance training intensity in novice weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (2), 324-327.

- Goldspink, G. (1992). Cellular and Molecular Aspects of Adaptation in Skeletal Muscle. In P. V. Komi (Hrsg.), *Strength and Power in Sport* (S. 211-229). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Goldspink, G. (1994). Zelluläre und molekulare Aspekte der Trainingsadaptation des Skelettmuskels. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 213-231). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Gollhofer, A., Gruber, M. & Bruhn, S. (2003). Muskelphysiologie. In J. Munzert (Hrsg.), *Handbuch Bewegungswissenschaft - Bewegungslehre* (S. 57-80). Schorndorf: Karl Hofmann Verlag.
- Gotshalk, L. A., Nindl, B. C., Bush, J. A., Fleck, S. J., Newton, K. & Häkkinen, K. (1998). *Strength development in untrained women during 6 months of periodized heavy resistance training*. Paper presented at the International Conference on Weightlifting and Strength Training, Lahti.
- Gottlob, A. (2003a). *Differenziertes Krafttraining*. München, Jena: Urban & Fischer.
- Gottlob, A. (2003b). Leicht - Mittel - Schwer ? *Fitness Tribune*, 82 (2), 72-73.
- Grosser, M. & Neumaier, A. (1988). *Kontrollverfahren zur Leistungsoptimierung*. Schorndorf: Karl Hofmann Verlag.
- Grosser, M., Starischka, S. & Zimmermann, K. (2001). *Das neue Konditionstraining*. München: BLV.
- Güllich, A. & Schmidbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (7/8), 223-234.
- Häkkinen, K. (1998). *Neuromuscular adaptation to strength training in middle-aged and elderly men and women*. Paper presented at the International Conference on Weightlifting and Strength Training, Lahti.
- Häkkinen, K., Kallinen, M., Linnamo, V., Pastinen, U. M., Newton, R. U. & Kraemer, W. J. (1996). Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand*, 158 (1), 77-88.
- Harre, D. (1986). *Trainingslehre: Einführung in die Theorie und Methodik des sportlichen Trainings*. Berlin: Sportverlag.
- Hart, C. L., Ward, T. E. & Mayhew, J. L. (1991). Anthropometric correlates of bench press performance following resistance training. *Sports training, medicine and rehabilitation*, 2, 89-95.

- Hart, C. L., Ward, T. E., Mayhew, J. L. & Ball, T. E. (1990). Pushups as a measure of upper body strength in males. *Journal of Human Movement studies*, 18, 287-294.
- Hartmann, J. & Tünnemann, H. (1990). *Das große Buch der Kraft. Bessere Form durch Krafttraining*. Berlin: Sportverlag.
- Hartmann, J. & Tünnemann, H. (1993). *Modernes Krafttraining*. Frankfurt/Main: Ullstein.
- Hay, G. J. (1994). Biomechanische Grundlagen der Kraftentwicklung. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 200-209). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Hay, J. G. (1992). Mechanical basis of strength expression. In P. V. Komi (Hrsg.), *Strength and Power in Sport* (S. 197-207). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Heim, C. & Schmidtbleicher, D. (2003). Trainingsmethoden. In C. Igel (Hrsg.), *e-System BuT: Grundlagen des Krafttrainings*: Zugriff am 01. Oktober 2004, unter <http://daten.swi.uni-saarland.de/>.
- Heinold, M. (1995). *Muskelkraftdiagnostik und Muskelkrafttraining bei neuromuskulären Erkrankungen*. Thun, Frankfurt/M.: Harry Deutsch Verlag.
- Hemmling, G. (1994). *Anpassungen des neuromuskulären Systems an eine neuentwickelte Trainingsmethode*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Herm, K.-P. (2003). Methoden der Körperfettbestimmung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54 (5), 153-154.
- Heyward, V. H., Johannes-Ellis, S. M. & Romer, J. F. (1986). Gender differences in strength. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 57 (2), 154-159.
- Hochmuth, G. (1981). *Biomechanik sportlicher Bewegungen*. Berlin: Sportverlag.
- Hoeger, W. W. K., Barette, S. L., Hale, D. F. & Hopkins, D. R. (1987). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. *Journal of Applied Sports Science Research*, 1 (1), 11-13.
- Hoeger, W. W. K., Hopkins, D. R., Barette, S. L. & Hale, D. F. (1990). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4 (2), 47-54.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2003). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert Verlag.

- Hollmann, H. & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin - Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart, New York: Schattauer.
- Horn, H.-G. & Steinmann, H.-J. (1998). *Medizinisches Aufbautraining*. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm: Gustav Fischer.
- Hortobagyi, T., Katch, F. I., Katch, V. L., LaChance, P. F. & Behnke, A. R. (1990). Relationship of body size, segmental dimensions and ponderal equivalents to muscular strength in high-strength and low-strength subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 11, 349-356.
- Hortobagyi, T., Katch, F. I. & LaChance, P. F. (1989). Interrelationships among various measures of upper body strength assessed by different contraction modes. Evidence for a general strength component. *European Journal of Applied Physiology*, 58 (7), 749-755.
- Huijing, P. A. (1992). Elastic potential of muscle. In P. V. Komi (Hrsg.), *Strength and Power in Sport* (S. 151-168). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Huijing, P. A. (1994). Mechanische Muskelmodelle. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 135-154). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Hultman, E. & Sjöholm, H. (1986). Biochemical Causes of Fatigue. In N. L. Jones, N. McCartney & A. McComas, J. (Hrsg.), *Human Muscle Power* (S. 215-238). Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers, Inc.
- Israel, S. (1992). Biologisch-physiologische Aspekte des Sports. In H.-J. Schulke, U. Fietze, G. Mahltig & G. Scharf (Hrsg.), *Gesundheit in Bewegung* (S. 67-79). Aachen: Meyer & Meyer.
- Israel, S. (1994). Die Auswirkungen eines Krafttrainings in Abhängigkeit von Lebensalter und Gesundheitszustand. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 315-323). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Israel, S. (1995). *Muskelaktivität und Menschwerdung - technischer Fortschritt und Bewegungsmangel*. Sankt Augustin.
- Jackson, A., Watkins, M. & Patton, R. W. (1980). A factor analysis of twelve selected maximal isotonic strength performances on the universal gym. *Med Science in Sports and Exercise*, 12 (4), 274-277.
- Joch, W. & Ückert, S. (1999). *Grundlagen des Trainierens*. Münster: Lit-Verlag.
- Jones, D. A., Newham, D. J., Torgan, C. (1989). Mechanical influences on long-lasting human muscle fatigue and delayed-onset pain. *Journal of Physiology* 412, 415-427.

- Jones, D. A., Rutherford, O. M. (1987). Human muscle strength training: The effects of three different regimes and the nature of the resultant changes. *Journal of Physiology* 391, 1-11.
- Kemmler, W., Lauber, D., Weineck, J., Mayhew, J. L., Engelke, K. & Kalender, W. A. (2005). Trainingssteuerung im Gesundheitssport. Lastvorgabe versus subjektive Intensitätswahl im präventivsportlichen Krafttraining. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56 (6), 165-170.
- Kempf, H.-D. & Strack, A. (2001). *Der Hantel-Krafttrainer*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Kibele, A. (1995). *Bedingungsfaktoren von Kraftausdauerleistungen*. Thun, Frankfurt/M.: Harri Deutsch.
- Kibele, A. (1998). Maximalkraftzuwachs ohne Leistungsgewinn. *Leistungssport*, 28 (3), 45-49.
- Kieser, W. (1998). Wieviele Sätze beim Krafttraining. *Leistungssport*, 28 (3), 50-51.
- Kieser, W. (2003). *Ein starker Körper kennt keinen Schmerz*. München: Heyne.
- Kindermann, W., Jüngst, B.-K., Philipp, H., Rosemeyer, B., Rost, R., Schwenkmeizer, P., Zimmermann, E. (1993). Ein Vorschlag zur Definition des Begriffs Gesundheitssport. *Sportwissenschaft*, 23 (2), 197-199.
- Knuttgen, H. G. & Komi, P. V. (1994). Basale Definitionen der muskulären Aktivität. In P. V. H. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnelkraft im Sport* (S. 15-18). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Knuttgen, H. G. & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and measurement in exercise performance. *Journal of Applied Sport Science Research*, 1 (1), 1-10.
- Köller, O. & Gehrke, J. (1999). Multiple Regressionsanalyse. In B. Strauß, H. Haag & M. Kolb (Hrsg.), *Datenanalyse in der Sportwissenschaft* (S. 377-398). Schorn-dorf: Hofmann.
- Kolster, B. (1994). Medizinische Trainingstherapie. In B. Kolster, M. Ebelt-Paprotny & M. Hirsch (Hrsg.), *Leitfaden Physiotherapie - Befund, Techniken, Behandlungen, Rehabilitation* (S. 618-636). Stuttgart.
- Komi, P. V. (1986). Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 10-15.
- Komi, P. V. (1998). *Neural mechanisms in strength & power training*. Paper presented at the International Conference on Weightlifting and Strength Training, Lahti.

- Kraemer, W. J. & Fry, A. C. (1995). Strength testing: development and evaluation of methodology. In P. J. Maud & C. Foster (Hrsg.), *Physiological assessment of human fitness* (S. 115-138). Champaign/Ill.: Human Kinetics.
- Kraemer, W. J. & Häkkinen, A. (2002). *Strength training for sport*. Oxford: Blackwell Science.
- Kraemer, W. J., Häkkinen, K., Newton, R. U., Nindl, B. C., Volek, J. S., McCormick, M., Gotshalk, L. A., Gordon, S. E., Fleck, S. J., Campbell, W. W., Putukian, M., Evans, W. J. (1999). Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *Journal of Applied Physiology*, 87 (3), 982-992.
- Kraemer, W. J., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Marx, J. O., Tokeshi, S. A., Harman, F. S., Dohi, K., Newton, R. U., Fleck, S. J., Häkkinen, K. (1998). *Hypertrophy of the upper and lower body musculature in women following 6 months of periodized heavy resistance training*. Paper presented at the International Conference on Weightlifting and Strength Training, Lahti.
- Kraemer, W. J., Noble, B. J., Clark, M. J. & Culver, B. W. (1987). Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int J Sports Med*, 8 (4), 247-252.
- Kravitz, L., Akalan, C., Nowicki, K. & Kinzey, S. J. (2003). Prediction of 1 repetition maximum in high-school power lifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (1), 167-172.
- Kroemer, K. H. E. & Marras, W., S. (1980). Towards an objective assessment of the "Maximal Voluntary Contraction" component in routine muscle strength measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 45, 1-9.
- Kroll, W. P., Bultman, L. L., Kilmer, W. L. & Boucher, J. (1990). Anthropometric predictors of isometric arm strength in males and females. *Clinical kinesiology*, 44 (1), 5-11.
- Kuramoto, A. K. & Payne, V. G. (1995). Predicting muscular strength in women: A preliminary study. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 66 (2), 168-172.
- Laurig, W. (1980). *Grundzüge der Ergonomie*. Berlin.
- Leonhart, R. (2004). *Lehrbuch Statistik. Einstieg und Vertiefung*. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber.
- LeSuer, D. A., McCormick, J. H., Mayhew, J. L., Wasserstein, R. L. & Arnold, M. D. (1997). The accuracy of prediction equations for estimating 1-RM performance in the bench press, squat, and deadlift. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (4), 211-213.

- Letzelter, H., Letzelter, M. & Steinmann, W. (1990). Meßfehler in der Kraftdiagnostik. *Leistungssport*, 20 (2), 46-52.
- Letzelter, M. & Letzelter, H. (1986). *Krafttraining. Theorie, Methoden, Praxis*. Reinbek: Rowohlt.
- Lexell, J., Downham, D. Y., Larsson, Y., Bruhn, E. & Morsing, B. (1995). Heavy-resistance training in older Scandinavian men and women: short- and long-term effects on arm and leg muscles. *Scand J Med Sci Sports*, 5 (6), 329-341.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Löllgen, H. (2004). Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (11), 299-300.
- Lottmann, A. (2002). *Untersuchungen zur Optimierung der Belastungssteuerung im Krafttraining durch Kombination verschiedener Methoden der trainingsbegleitenden Leistungsdiagnostik*. Unpublished Dissertation, Universität Göttingen, Göttingen.
- Lüthi, J. M., Howald, H., Classen, H., Rösler, K., Vock, P. & Hoppeler, H. (1986). Structural changes in skeletal muscle tissue with heavy resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 7 (3), 123-127.
- MacDougall, J. D. (1992). Hypertrophy or hyperplasia. In P. V. Komi (Hrsg.), *Strength and Power in Sport* (S. 230-238). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- MacDougall, J. D., Wenger, H. A. & Green, H. J. (1991). *Physiological testing of the high-performance athlete*. Champaign: Human Kinetics.
- Mader, A. (1990). Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 41 (2), 40-58.
- Mader, A. (2001). Zum Problem der Anpassung der Muskulatur in der Substruktur der Muskelzelle als Funktion der Trainingsbelastung - Konsequenzen für die Erklärung der Phänomene Ermüdung/Erholung und chronischer Überbelastung/Übertragung. In H.-A. Thorhauer, K. Carl & U.-T. Noack (Hrsg.), *Muskel-Ermüdung - Forschungsansätze in der Trainingswissenschaft* (S. 185-213). Köln: Sport & Buch Strauß.
- Mannion, A. F., Adams, M. A., Cooper, R. G. & Dolan, P. (1999). Prediction of maximal back muscle strength from indices of body mass and fat-free body mass. *Rheumatology*, 38, 652-655.
- Marfell-Jones, M. (2002). *Kinanthropometric assessment. Guidelines for athlete assessment in New Zealand*. New Zealand.

- Marschall, F. & Fröhlich, M. (1999). Überprüfung des Zusammenhangs von Maximalkraft und maximaler Wiederholungszahl bei deduzierten submaximalen Intensitäten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (10), 311-315.
- Marschall, F. & Sieberger, J. (2003). Trainingseffekte im Kraftausdauertraining - zur Überprüfung der Wirkung unterschiedlicher Belastungsumfänge. *Leistungssport*, 33 (4), 19-22.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (1993). *Handbuch Trainingslehre* (2., unveränderte Auflage Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (2001). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann.
- Martin, D., Nicolaus, J., Ostrowski, C. & Rost, K. (1999). *Handbuch Kinder- und Jugendtraining*. Schorndorf: Karl Hofmann Verlag.
- Marx, J. O., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Harman, F. S., Dohi, K. et al. (1998). *The effects of a low-volume progressive resistance exercise program versus a high-volume periodized resistance exercise program on muscular performance in women*. Paper presented at the International Conference on Weightlifting and Strength Training, Lahti.
- Mayer, F., Gollhofer, A. & Berg, A. (2003). Krafttraining mit Älteren und chronisch Kranken. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54 (3), 88-94.
- Mayhew, J. L., Ball, T. E. & Arnold, M. D. (1989). Prediction of 1RM bench press from submaximal bench press performance in college males and females. *Journal of Applied Science Research*, 3 (3), 73.
- Mayhew, J. L., Ball, T. E., Arnold, M. D. & Bowen, J. C. (1991). Push-ups as a measure of upper body strength. *Journal of Applied Sport Science Research*, 5 (1), 16-21.
- Mayhew, J. L., Piper, F. C. & Ware, J. S. (1993). Anthropometric correlates with strength performance among resistance trained athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 33 (2), 159-165.
- Mayhew, J. L., Prinster, J. L., Ware, J. S., Zimmer, D. L., Arabas, J. R. & Bemben, M. G. (1995). Muscular endurance repetition to predict bench press strength in men of different training levels. *Journal of Sports medicine and Physical Fitness*, 35 (2), 108-113.
- Mayhew, J. L., Ware, J. S. & Prinster, J. L. (1993). Using lift repetitions to predict muscular strength in adolescent males. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 15 (6), 35-38.

-
- McDougall, J. D. (1994). Hypertrophie und/oder Hyperplasie. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 232-239). Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Mischo, G. (2003). *Zur Veränderung des Belastungsumfangs durch last- und wiederholungsorientierte Intensitätsvorgaben im Kraftausdauertraining*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Morales, J. & Sobonya, S. (1996). Use of submaximal repetition test for predicting 1RM strength in class athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10 (3), 186-189.
- Moritani, T. (1994). Die zeitliche Abfolge von Trainingsanpassungen im Verlaufe eines Krafttrainings. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 266-276). Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Morris, A. F., Clarke, D. H. & Dainis, A. (1983). Time to maximal voluntary isometric contraction (MVC) for five different muscle groups in college adults. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54 (2), 163-168.
- Müller, A. (2003a). *Zur Methodik des langfristigen leistungsorientierten Muskelaufbautrainings: eine empirische Untersuchung aus trainingswissenschaftlicher Sicht*. Butzbach-Griedel: Afra-Verlag.
- Müller, A. (2003b). Zur Transferierbarkeit trainingsmethodischer Erfahrungen des Hochleistungsbodybuildings. *Leistungssport* (4), 38-42.
- Müller, C. (2005). *Wie kann die zielgerichtete Anfangsbelastung für ein hypertrophieorientiertes Krafttraining von Trainingsanfängern bestimmt werden - Überprüfung eines Näherungsverfahrens an der horizontalen Beinpresse*. Unveröffentlichte Examensarbeit, Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Müller, K.-J. (1987). *Statische und dynamische Muskelkraft*. Frankfurt am Main: Beiträge zur Sportwissenschaft.
- Murphy, A. J., Wilson, G. J., Pryor, J. F. & Newton, R. U. (1995). Isometric assessment of muscular function: the effect of joint angle. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 205-215.
- Narcessian, R. P. (1998). Mehrgelenkiges Muskeltraining - "Multi-Joint-Strategies". *Gesundheitssport und Sporttherapie*, 14, 4-7.
- Newham, D. J. (1988). The consequences of eccentric contractions and their relationship to delayed onset muscle pain. *European Journal of Applied Physiology*, 57, 353-359.
- O'Shea, P. (1966). Effects of selected weight training programs on the development of strength and muscle hypertrophy. *The Research Quarterly of Exercise and Sports*, 37, 95-102.

-
- Olson, T. R. (1998). *ADAM-Anatomie-Atlas*. Bad Wörishofen: Mediscript Verlag.
- Pampus, B. (2001). *Schnellkraft Training. Theorie, Methoden, Praxis*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Pette, D. (1999). Das adaptive Potential des Skelettmuskels. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (9), 262-271.
- Philipp, M. (1999). Ein Satz genügt! - Erfahrungen mit Mehrsatz- und Einsatz-Methoden im Krafttraining. *Leistungssport*, 29 (1), 26-28.
- Pierce, K., Rozonek, R. & Stone, M. H. (1993). Effects of high volume weight training on lactate, heart rate and perceived exertion. *Journal of Strength and Conditioning Association*, 7 (4), 211-215.
- Ploutz-Snyder, L. L. & Giarnis, E. L. (2001). Orientation and familiarization to 1RM strength testing in old and young women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15 (4), 519-523.
- Pollmann, D. (1993). *Muskuläre Beanspruchung im Mikrozyklus des Krafttrainings*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Pollock, M. L., Abe, T., De Hoyos, D. V., Garzarella, L., Hass, C. J. & Werber, G. (1998). Muscular hypertrophie responses to 6 months of high- or low-volume resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30 (5), S116.
- Pytel, J. L. & Kamon, E. (1981). Dynamic strength test as predictor for maximal and acceptable lifting. *Ergonomics*, 24 (9), 663-672.
- Radlinger, L., Bachmann, W., Homburg, J., Leuenberger, U. & Thaddey, G. (1998). *Rehabilitatives Krafttraining*. Stuttgart, New York: Thieme Verlag.
- Reichel, H.-S. & Seibert, W. (1995). *Präventives Bewegungstraining*. Oberhaching: Gesundheits-Dialog.
- Rohmert, W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 38 (4), 193-200.
- Rose, K. & Ball, T. E. (1992). A field test for predicting maximum bench press lift of college women. *Journal of Applied Sport Science Research*, 6 (2), 103-106.
- Rost, J. (1996). *Lehrbuch Testtheorie Testkonstruktion*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Rühl, J. & Schuba, V. (2003). *Funktionelles Fitnesskrafttraining*. Aachen: Meyer&Meyer.
- Rutherford, O. M. & Jones, D. A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 55, 100-105.

- Sale, D. G. (1992). Neural adaptation to strength training. In P. V. Komi (Hrsg.), *Strength and Power in Sport* (S. 249-265). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Sale, D. G. (1994). Neurale Adaptation im Verlaufe eines Krafttrainings. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 248-265). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Saltin, B. (1981). Muscle fibre recruitment and metabolism in prolonged exhaustive dynamic exercise. In S. Edwards (Hrsg.), *Human muscle fatigue: physiological mechanisms* (S. 41-52). London.
- Sanborn, K., Boros, R., Hruby, J., Schilling, B., O'Bryant, H. S., Johnson, R. et al. (1998). *Performance effects of weight training with multiple sets not to failure versus a single set to failure in women: a preliminary study*. Paper presented at the International Conference on Weightlifting and Strength Training, Lahti.
- Schlicht, W. (1992). Das sportliche Training: Überlegungen auf dem Wege zu einem integrierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In J.-P. Janssen, W. Schlicht, H. Rieckert & K. Carl (Hrsg.), *Belastung und Beanspruchung* (S. 31-44). Köln: Sport & Buch Strauß.
- Schlumberger, A. (2000). *Optimierung von Trainingsstrategien im Schnellkrafttraining*. Köln: Sport & Buch Strauß.
- Schlumberger, A. & Schmidtbleicher, D. (1998). Zeitlich verzögerte Effekte beim Krafttraining. *Leistungssport*, 28 (3), 33-38.
- Schlumberger, A. & Schmidtbleicher, D. (1999). Einsatz-Training als trainingsmethodische Alternative - Möglichkeiten und Grenzen. *Leistungssport*, 29 (3), 9-11.
- Schlumberger, A. & Schmidtbleicher, D. (2000). Anpassungen nach Krafttraining mit maximalen Lasten. *Sportwissenschaft*, 30 (3), 249-261.
- Schlumberger, A., Wirth, K., Liu, Y., Steinacker, J. M. & Schmidtbleicher, D. (2003). Effekte eines Trainings mit einer Schnellkraftmethodenkombination. *Leistungssport* (4), 14-18.
- Schmidt, H., Kraft, W., Rotte, K.-H. & Hagen, H. (1990). Pilotstudie zur Diagnostik von Muskelflächen des Oberschenkels mittels Computertomographie (CT). *Medizin und Sport*, 30 (3), 70-72.
- Schmidtbleicher, D. (1980). *Maximalkraft und Bewegungsschnelligkeit*. Bad Homburg: Limpert.

- Schmidtbleicher, D. (1987). Motorische Beanspruchungsform Kraft - Struktur und Einflussgrößen, Adaptationen, Trainingsmethoden, Diagnose und Trainingsansteuerung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 38 (9), 356-377.
- Schmidtbleicher, D. (1998). Konzeptionelle Überlegungen zur muskulären Rehabilitation. In H. Binkowski, M. Hoster & H. U. Nepper (Hrsg.), *Medizinische Trainingstherapie in der ambulanten orthopädischen und traumatologischen Rehabilitation* (S. 20-27). Waldenburg: Sport Consult.
- Schmidtbleicher, D. & Bührle, M. (1987). Neuronal adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. *International Series in Biomechanics*, 10, 615-620.
- Schnabel, G., Harre, D., Krug, J. & Borde, A. (2003). *Trainingswissenschaft: Leistung - Training - Wettkampf*. Berlin: Sportverlag.
- Schönpflug, W. (1987). Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit - Konzepte und Theorien. In U. Kleinbeck & J. H. Rutenfranz (Hrsg.), *Arbeitspsychologie. Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D, Praxisgebiete, Serie 3, Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie* (S. 130-184). Göttingen: Hogrefe.
- Schubert, M., Dietrich, K., Voss, A. & Schwarze, B. (1998). *Zur Nachfragstruktur in kommerziellen Fitness-Anlagen. Ergebnisse einer empirischen Untersuchung*. Hamburg.
- Schulz, H. (2002). *Bodybuilding. Das ideale Figur- und Fitnessstraining*. München: Copress Sport.
- Seibert, W. (2002). *Perfektes Körpertraining*. München: Copress Sport.
- Simpson, S. R., Rozenek, R., Garhammer, J., Lacourse, M. & Storer, T. (1997). Comparison of one repetition maximums between free weight and universal machine exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (2), 103-106.
- Staron, R. S., Karapondo, D. L., Kraemer, W. J., Fry, A. C., Gordon, S. E., Falkel, J. E. et al. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology*, 76 (3), 1247-1255.
- Staron, R. S., Malicky, E. S., Leonardi, M. J., Falkel, J. E., Hagerman, F. C. & Dudley, G. A. (1989). Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *European Journal of Applied Physiology*, 60, 71-79.

-
- Steinacker, J. M., Wang, L., Lormes, W., Reißnecker, S. & Liu, Y. (2002). Strukturanpassungen des Skelettmuskels auf Training. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53 (12), 354-360.
- Steininger, K. & Buchbauer, J. (1994). *Funktionelles Kraftaufbautraining in der Rehabilitation*. Oberhaching: Gesundheits-Dialog-Verlag.
- Stemper, T. (1994). *Effekte des gerätegestützten Fitnessstrainings. Veränderung anthropometrischer, motorischer und physiologischer Parameter durch Training an Fitnessgeräten*. Hamburg: SSV-Verlag.
- Stemper, T. (2003). *Lehrbuch Lizenziierter Fitness-Trainer*. Hamburg: SSV-Verlag.
- Stemper, T. & Wastl, P. (1995). *Gerätegestütztes Krafttraining*. Hamburg: SSV Verlag.
- Stone, M. H., Plisk, S. S., Stone, M. E., Schilling, B. K., O'Bryant, H. S., Pierce, K. C. (1998). Athletic performance development: volume load - 1 set vs. multiple sets, training velocity and training variation. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 20 (6), 22-31.
- Stowers, T., McMillan, J., Scala, D., Davis, V., Wilson, D. & Stone, M. (1983). The short-term effects of three different strength-power training methods. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 5 (3), 24-27.
- Strack, A. (2001). Belastungsdauer als zentrale Steuerungsgröße des Belastungsumfangs im Krafttraining. *Trainer*, 20 (4), 33-34.
- Tabachnick, B. G. & L. S. Fidell (2001). *Using multivariate statistics*. Boston, London, Toronto, Sydney, Tokyo, Singapore: Allyn and Bacon.
- Tesch, P. A. (1994). Das Training im Bodybuilding. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 365-373). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Tesch, P. A. (1994). Kurzzeitige und langfristige histochemische und biochemische Adaptationen im Skelettmuskel. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 240-248). Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Tesch, P. A. (1998). *Strength training and muscle hypertrophie*. Paper presented at the International Conference on Weighthlifting and Strength Training, Lahti.
- Tesch, P. A. (1999). *Target bodybuilding. Precision lifting for more mass and greater definition*. Champaign/Ill.: Human Kinetics.
- Tittel, K. (1994). *Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen*. Jena, Stuttgart: Gustav Fischer.

- Tittel, K. & Wutscherk, H. (1994). Anthropometrische Faktoren. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 183-199). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Trunz, E., Freiwald, J. & Konrad, P. (2002). *Fit durch Muskeltraining*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Trunz-Carlisi, E. (2003). *Praxisbuch Muskeltraining - Effektive Übungen für Männer und Frauen*. München: Gräfe und Unzer Verlag.
- Ulmer, H.-V. (1997). Ernährung. In G. H. Thews (Hrsg.), *Physiologie des Menschen* (S. 792-805). Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- Unger, E. (1999). *Handbuch für Kraftsport und Bodybuilding*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Vandervoort, A. A. (1998). *Aging and muscle strength & power*. Paper presented at the International Conference on Weightlifting and Strength Training, Lahti.
- Viol, M. (1991). Methodische Grundlagen der Fettmassenbestimmung - ein Erfahrungsbericht. *Med. Sport*, 31 (2), 40-41.
- Voigt, R. & Böning, D. (1998). Die Eingangsuntersuchung von Leistungsfähigkeit und Gesundheit in Fitness-Studios. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 49 (2), 60-62.
- Walsworth, M., Schneider, R., Schultz, J., Dahl, C., Allison, S., Underwood, F., Freund, J. (1998). Prediction of 10 repetition maximum for short-arc quadriceps exercise from hand-held dynamometer and anthropometric measurements. *The Journal of Orthopädic and Sports Physical Therapy*, 28 (2), 97-104.
- Wang, Q. (1999). *Methodologische Probleme bei der diagnostischen Erfassung der Maximal- und Schnellkraftfähigkeit*. Köln: Sport & Buch Strauß.
- Wanjek, M. (2001). *Entwicklung und Überprüfung eines Verfahrens zur Ermittlung des Ein-Wiederholungs-Maximums (EWM) an der beidbeinigen horizontalen Beinpresse*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Wanner, H.-U. (1985). Subjektive Einstufung der Belastung bei Ausdauerleistungen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 36 (4), 104-112.
- Weicker, H. (1992). Metabolische Regulation unter Belastung. In J.-P. Janssen, W. Schlicht, H. Rieckert & K. Carl (Hrsg.), *Belastung und Beanspruchung* (S. 65-90). Köln: Sport & Buch Strauß.

-
- Weicker, H. (1995). Einfluss metabolischer Faktoren auf statische und dynamische Kraft sowie periphere Ermüdung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 46 (3), 151-168.
- Weineck, J. (2002). *Optimales Training: leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings*. Erlangen: Spitta.
- Weingarten, S. (2000). Bodybuilding HIT. In M. Brzycki (Hrsg.), *Maximize your training* (S. 319-334). Lincolnwood/Ill.: Masters Press.
- Werchoschanski, J. W. (1988). *Effektiv trainieren*. Berlin (DDR).
- Wieben, K. & Falkenberg, B. (2001). *Muskelfunktion - Prüfung und klinische Bedeutung*. Stuttgart, New York: Thieme.
- Wiemann, K., Klee, A. & Startmann, M. (1998). Filamentäre Quellen der Muskel-Ruhespannung und die Behandlung muskulärer Dybalancen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 49 (4), 111-118.
- Willardson, J. M. & Bressel, E. (2004). Predicting a 10 repetition maximum for the free weight parallel squat using the 45° angled leg press. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 18 (3), 567-571.
- Willimczik, K. (1999). *Statistik im Sport: Grundlagen, Verfahren, Anwendungen*. Hamburg: Czwalina.
- Willimczik, K., Daus, R. & Olivier, N. (1991). Belastung und Beanspruchung als Einflussgrößen der Sportmotorik. In N. Olivier & R. Daus (Hrsg.), *Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung* (S. 2-28). Clausthal-Zellerfeld: dvs-Protokoll.
- Wilson, G. J., Elliott, B. C. & Wood, G. A. (1992). Stretch shorten cycle performance enhancement through flexibility training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24 (1), 116-123.
- Wilson, G. J., Murphy, A. J. & Pryor, J. F. (1994). Musculotendinous stiffness: its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. *Journal of Applied Physiology*, 76, 2714-2719.
- Wirth, K. (2004). *Trainingshäufigkeit beim Hypertrophietraining*. Unpublished Dissertation, Johann Wolfgang Goethe Universität, Frankfurt am Main.
- Wolff, H. (1990). *Präventivmedizinisch orientiertes Fitnesstraining*. Erlensee: SFT-Verlag.

-
- Woltering, H., Frohberger, U. & Mattiaß, H. H. (1987). Muskelquerschnittsmessungen mittels Impulseechosonographie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 38 (3), 100-107.
- Zarotis, G. F., Athanailidis, I., Tosunidis, A., Katsagolis, A. & Lagerstrom, D. (2003). Geschichte und Zukunft des Fitness-Sports. *Gesundheitssport und Sporttherapie*, 19, 15-18.
- Zatsiorsky, V. M. (1996). *Krafttraining - Praxis und Wissenschaft*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Zatsiorsky, V. M. & Kulik, N. G. (1965). Zwei Arten von Ausdauer-Kennwerten. *Theorija i Praktika Fiziceskoj Kultury*, 27 (2), 35-41.
- Zimmer, M. (1999). *Entwicklung und Erprobung eines Mehrwiederholungstests zur Erfassung der Kraftleistung im Fitness-Training*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Zimmermann, K. (2000). *Gesundheitsorientiertes Muskelkrafttraining. Theorie - Empirie - Praxisorientierung*. Schorndorf: Karl Hofmann.
- Zittlau, D. (2001). *Bodytraining - Das erfolgreiche Workout für Muskelaufbau und Ausdauer*. München: Südwest Verlag.

10 Anhang

10.1 Normalverteilung

12RM CHEST PRESS (N = 47) Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körpergewicht [kg]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	Broca-Index ((Körpergewicht/(Körperhöhe-100)) x 100)	Broca mit fettfreier Masse	Body-Mass-Index [kg/m ²]	BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]
N		47	47	47	47	47	47	47
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	78,140	17,611	63,8600	100,1008	81,8077	24,6020	20,1068
	Standardabweichung	11,5630	5,4211	6,07500	13,63528	6,21780	3,30679	1,48012
Extremste Differenzen	Absolut	,129	,127	,110	,127	,121	,121	,098
	Positiv	,129	,127	,110	,127	,121	,121	,098
	Negativ	-,079	-,092	-,087	-,091	-,087	-,087	-,083
Kolmogorov-Smirnov-Z		,883	,873	,752	,870	,832	,833	,670
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,417	,430	,624	,436	,494	,492	,761

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Quetlet-Index [kg/m]	Quetlet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer-Index [kg/m ²]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	12RM CHEST PRESS [kg]
N		47	47	47	47	47
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	43,8212	35,8140	13,8274	11,3007	40,585
	Standardabweichung	5,99709	2,79203	1,95415	,95408	5,9903
Extremste Differenzen	Absolut	,101	,080	,132	,104	,091
	Positiv	,101	,080	,132	,104	,080
	Negativ	-,070	-,055	-,091	-,086	-,091
Kolmogorov-Smirnov-Z		,695	,546	,902	,710	,623
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,720	,927	,390	,695	,832

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

1RM CHEST PRESS (N = 45) Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körpergewicht [kg]	Halbspann [cm]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	Broca-Index ((Körpergewicht/(Körperhöhe-100)) x 100)	Broca mit fettfreier Masse	Body-Mass-Index [kg/m ²]
N		45	45	45	45	45	45	45
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	79,580	83,433	18,440	64,2805	101,6382	82,1756	24,9902
	Standardabweichung	12,9574	3,2885	5,7522	6,65316	13,63644	5,70915	3,37493
Extremste Differenzen	Absolut	,110	,135	,119	,116	,119	,119	,114
	Positiv	,110	,135	,119	,116	,119	,119	,114
	Negativ	-,077	-,094	-,106	-,093	-,070	-,084	-,071
Kolmogorov-Smirnov-Z		,739	,906	,800	,780	,800	,796	,766
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,645	,385	,544	,577	,544	,550	,600

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Quettlet-Index [kg/m]	Quettlet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer-Index [kg/m ²]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	1RM CHEST PRESS [kg]
N		45	45	45	45	45	45
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	20,2030	44,5710	36,0178	14,0268	11,3444	64,956
	Standardabweichung	1,40563	6,48616	2,93720	1,86879	,82818	7,1325
Extremste Differenzen	Absolut	,091	,095	,104	,124	,095	,120
	Positiv	,091	,095	,104	,124	,095	,120
	Negativ	-,063	-,065	-,051	-,074	-,070	-,094
Kolmogorov-Smirnov-Z		,613	,637	,699	,833	,640	,803
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,846	,812	,713	,491	,807	,539

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

12RM LAT PULL (N = 44) Überprüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körpergewicht [kg]	Halbspann [cm]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	Broca-Index ((Körpergewicht/(Körperhöhe-100)) x 100)	Broca mit fettfreier Masse	Body-Mass-Index [kg/m ²]
N		44	44	44	44	44	44	44
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	80,330	83,527	18,293	65,0182	102,0350	82,6077	25,1053
	Standardabweichung	12,7133	3,1559	5,8296	6,40661	14,42973	6,24924	3,53716
Extremste Differenzen	Absolut	,147	,138	,140	,131	,150	,095	,135
	Positiv	,147	,138	,140	,131	,150	,095	,135
	Negativ	-,084	-,101	-,116	-,083	-,100	-,087	-,098
Kolmogorov-Smirnov-Z		,975	,918	,928	,866	,992	,628	,898
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,297	,369	,355	,441	,279	,825	,395

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Quettlet-Index [kg/m]	Quettlet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer-Index [kg/m ²]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	12RM LAT PULL [kg]
N		44	44	44	44	44	44
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	20,3250	44,8831	36,3325	14,0579	11,3824	40,307
	Standardabweichung	1,50842	6,54069	2,91429	2,03073	,94460	5,0304
Extremste Differenzen	Absolut	,094	,107	,115	,119	,082	,138
	Positiv	,094	,107	,115	,119	,082	,138
	Negativ	-,084	-,079	-,070	-,077	-,067	-,098
Kolmogorov-Smirnov-Z		,624	,706	,762	,786	,543	,915
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,831	,700	,607	,566	,930	,372

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

1RM LAT PULL (N = 42) Überprüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körpergewicht [kg]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	Broca-Index ((Körpergewicht/(Körperhöhe-100)) x 100)	Broca mit fettfreier Masse	Body-Mass-Index [kg/m ²]
N		42	42	42	42	42	42
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	80,660	18,619	65,0072	102,8312	82,9358	25,2946
	Standardabweichung	12,9264	5,8157	6,45951	14,30259	6,16571	3,51814
Extremste Differenzen	Absolut	,135	,132	,110	,143	,115	,126
	Positiv	,135	,132	,110	,143	,115	,126
	Negativ	-,081	-,116	-,084	-,088	-,080	-,088
Kolmogorov-Smirnov-Z		,876	,857	,714	,925	,747	,816
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,427	,455	,689	,360	,632	,518

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Quettlet-Index [kg/m]	Quettlet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer-Index [kg/m ²]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	1RM LAT PULL [kg]
N		42	42	42	42	42	42
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	20,3996	45,1476	36,3989	14,1853	11,4436	65,000
	Standardabweichung	1,49817	6,60577	2,95876	1,98158	,90430	8,1592
Extremste Differenzen	Absolut	,096	,104	,113	,134	,088	,121
	Positiv	,096	,104	,113	,134	,088	,121
	Negativ	-,075	-,080	-,069	-,096	-,085	-,107
Kolmogorov-Smirnov-Z		,622	,675	,735	,868	,567	,781
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,834	,752	,653	,438	,904	,575

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

12RM LEG EXTENSION (N = 30) Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körperhöhe [cm]	Halbspann [cm]	Körpergewicht [kg]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Broca mit fettfreier Masse
N		30	30	30	30	30	30	30
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	173,317	79,953	69,010	21,537	54,1919	17,8726	73,5471
	Standardabweichung	9,3618	4,8370	11,2847	7,1758	10,69171	1,97145	7,48035
Extremste Differenzen	Absolut	,108	,129	,122	,128	,196	,169	,132
	Positiv	,108	,129	,122	,128	,196	,169	,132
	Negativ	-,085	-,089	-,066	-,078	-,126	-,126	-,113
Kolmogorov-Smirnov-Z		,590	,707	,668	,699	1,072	,925	,724
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,878	,700	,764	,713	,201	,359	,671

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Quettlet-Index [kg/m]	Quettlet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Unterschenkel länge [cm]	durchschnittlicher Oberschenkelumfang [cm]	12 RM LEG EXTENSION [kg]
N		30	30	30	30	30	30
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	39,6380	31,0765	10,3089	40,713	53,933	54,483
	Standardabweichung	4,77283	4,65172	,94396	2,5887	3,4744	15,7483
Extremste Differenzen	Absolut	,090	,181	,130	,123	,116	,146
	Positiv	,082	,181	,130	,123	,116	,146
	Negativ	-,090	-,141	-,121	-,081	-,091	-,087
Kolmogorov-Smirnov-Z		,494	,991	,714	,671	,636	,797
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,968	,280	,688	,758	,814	,548

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

1RM LEG EXTENSION (N = 17) Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körperhöhe [cm]	Halbspann [cm]	Körpergewicht [kg]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	Body Mass Index [kg/m ³]	BMI mit fettfreier Masse [kg/m ³]
N		17	17	17	17	17	17	17
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	169,298	77,829	63,976	23,671	48,5557	22,2374	16,8894
	Standardabweichung	8,9261	4,2679	9,9114	6,6040	7,08983	2,19389	1,41304
Extremste Differenzen	Absolut	,137	,153	,139	,108	,197	,115	,172
	Positiv	,137	,153	,139	,103	,197	,115	,172
	Negativ	-,103	-,087	-,111	-,108	-,176	-,075	-,133
Kolmogorov-Smirnov-Z		,564	,632	,575	,446	,811	,476	,707
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,908	,819	,895	,989	,526	,977	,699

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		BROCA-Index [(Körpergewicht/(Körperhöhe-100))*100]	Broca mit fettfreier Masse	Quetlet-Index [kg/m]	Quetlet mit fettfreier Masse [kg/m]	Unterschenkel länge [cm]	durchschnittlicher Oberschenkelumfang [cm]	1 RM LEG EXTENSION [kg]
N		17	17	17	17	17	17	17
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	92,4515	70,2396	37,6682	28,5977	40,059	52,841	73,118
	Standardabweichung	9,21652	6,19253	4,43191	2,97384	2,5311	3,5109	9,2728
Extremste Differenzen	Absolut	,115	,147	,104	,211	,133	,190	,184
	Positiv	,115	,147	,104	,211	,133	,190	,184
	Negativ	-,074	-,084	-,084	-,158	-,090	-,114	-,091
Kolmogorov-Smirnov-Z		,475	,606	,430	,868	,547	,785	,760
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,978	,856	,993	,438	,926	,569	,611

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

12RM LEG PRESS HORIZONTAL (N = 26) Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körperhöhe [cm]	Körpergewicht [kg]	Body-Mass-Index [kg/m ³]	Oberschenkel länge [cm]	Unterschenkel länge [cm]	Oberschenkelumfang [cm]	12RM LEG PRESS HORIZONTAL
N		26	26	26	26	26	26	26
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	173,38	70,012	23,1258	42,35	40,50	51,35	134,1115
	Standardabweichung	9,226	13,6112	3,01965	2,993	2,550	3,949	26,38398
Extremste Differenzen	Absolut	,115	,083	,088	,135	,155	,097	,129
	Positiv	,096	,083	,087	,135	,115	,097	,122
	Negativ	-,115	-,058	-,088	-,101	-,155	-,066	-,129
Kolmogorov-Smirnov-Z		,584	,423	,448	,689	,789	,494	,657
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,884	,994	,988	,729	,563	,967	,781

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

1RM LEG PRESS VERTICAL (N = 46) Überprüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körpergewicht [kg]	Halbspann [cm]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	Broca-Index ((Körpergewicht/(Körperhöhe-100)) x 100)	Broca mit fettfreier Masse	Body-Mass-Index [kg/m ²]
N		46	46	46	46	46	46	46
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	79,213	83,526	18,072	64,3118	101,4672	82,3799	24,9341
	Standardabweichung	12,6064	3,4226	5,6423	6,63667	14,63256	6,62591	3,56510
Extremste Differenzen	Absolut	,110	,148	,117	,126	,124	,098	,123
	Positiv	,110	,148	,114	,126	,124	,098	,123
	Negativ	-,078	-,098	-,117	-,092	-,088	-,085	-,086
Kolmogorov-Smirnov-Z		,745	1,004	,796	,857	,840	,663	,835
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,636	,265	,551	,455	,480	,772	,489

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Quetlet-Index [kg/m]	Quetlet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer-Index [kg/m ²]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	1RM LEG PRESS VERTICAL [kg]
N		46	46	46	46	46	46
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	20,2442	44,4150	36,0606	14,0149	11,3787	176,391
	Standardabweichung	1,59112	6,51489	3,04112	2,08391	1,00660	25,1696
Extremste Differenzen	Absolut	,093	,089	,102	,120	,075	,114
	Positiv	,093	,089	,102	,120	,075	,114
	Negativ	-,083	-,069	-,059	-,066	-,056	-,096
Kolmogorov-Smirnov-Z		,631	,605	,694	,812	,510	,775
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,821	,857	,721	,525	,957	,585

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

12RM LEG PRESS VERTICAL (N = 43) Überprüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körpergewicht [kg]	Halbspann [cm]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	Broca-Index ((Körpergewicht / (Körperhöhe - 100)) x 100)	Broca mit fettfreier Masse	Body-Mass-Index [kg/m ²]
N		43	43	43	43	43	43	43
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	77,935	83,551	17,381	63,8119	99,9692	81,9483	24,5630
	Standardabweichung	12,7553	3,3149	5,3248	6,71838	13,20957	5,84645	3,27110
Extremste Differenzen	Absolut	,132	,137	,116	,117	,124	,093	,116
	Positiv	,132	,137	,116	,117	,124	,093	,116
	Negativ	-,096	-,086	-,094	-,086	-,083	-,067	-,085
Kolmogorov-Smirnov-Z		,866	,898	,760	,770	,812	,613	,759
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,441	,396	,610	,593	,525	,847	,613

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Quetlet-Index [kg/m]	Quetlet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer-Index [kg/m ²]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	12RM LEG PRESS VERTICAL [kg]
N		43	43	43	43	43	43
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	20,1328	43,7276	35,8225	13,8138	11,3280	151,337
	Standardabweichung	1,43066	6,33425	2,96843	1,80795	,85658	19,4963
Extremste Differenzen	Absolut	,100	,106	,095	,112	,074	,093
	Positiv	,100	,106	,095	,112	,074	,093
	Negativ	-,071	-,078	-,063	-,072	-,055	-,089
Kolmogorov-Smirnov-Z		,656	,697	,625	,734	,486	,608
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,783	,716	,829	,655	,972	,853

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

12RM TRICEPS EXTENSION (N = 55) Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körperhöhe [cm]	Körpergewicht [kg]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	Body-Mass-Index [kg/m ²]	BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Broca-Index mit fettfreier Masse
N		55	55	55	55	55	55	55
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	174,751	72,107	20,211	57,4950	23,4825	18,6822	76,5774
	Standardabweichung	8,4419	12,2048	6,3941	10,48201	2,66781	2,14003	8,22967
Extremste Differenzen	Absolut	,098	,083	,108	,108	,077	,092	,093
	Positiv	,098	,083	,108	,108	,077	,092	,093
	Negativ	-,078	-,047	-,055	-,096	-,057	-,081	-,079
Kolmogorov-Smirnov-Z		,724	,615	,803	,800	,570	,680	,690
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,671	,844	,539	,544	,902	,745	,727

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Quetlet-Index [kg/m]	Quetelet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Halbspann [cm]	Oberarmumfang [cm]	12 RM TRICEPS EXTENSION [kg]
N		55	55	55	55	55	55
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	41,1023	32,7364	10,6864	81,176	31,771	24,036
	Standardabweichung	5,58909	4,73310	1,07220	4,5721	2,8963	5,8924
Extremste Differenzen	Absolut	,093	,116	,089	,065	,058	,103
	Positiv	,093	,116	,087	,065	,058	,085
	Negativ	-,060	-,087	-,089	-,062	-,046	-,103
Kolmogorov-Smirnov-Z		,686	,857	,663	,482	,429	,763
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,734	,454	,772	,974	,993	,605

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

1RM TRICEPS EXTENSION (N = 55) Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körperhöhe [cm]	Körpergewicht [kg]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	Body-Mass-Index [kg/m ²]	BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Broca-Index mit fettfreier Masse
N		55	55	55	55	55	55	55
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	174,751	71,967	20,122	57,4472	23,4388	18,6670	76,5157
	Standardabweichung	8,4419	12,1414	6,4452	10,44911	2,65592	2,12933	8,19008
Extremste Differenzen	Absolut	,098	,080	,102	,107	,088	,091	,093
	Positiv	,098	,080	,102	,107	,088	,091	,093
	Negativ	-,078	-,047	-,058	-,089	-,059	-,084	-,081
Kolmogorov-Smirnov-Z		,724	,591	,759	,796	,656	,673	,688
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,671	,876	,612	,550	,783	,756	,730

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Quetlet-Index [kg/m]	Quetelet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Halbspann [cm]	Oberarmumfang [cm]	1 RM TRICEPS EXTENSION [kg]
N		55	55	55	55	55	55
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	41,0241	32,7090	10,6779	81,189	31,731	34,091
	Standardabweichung	5,55757	4,71338	1,06756	4,5828	2,8730	9,1008
Extremste Differenzen	Absolut	,091	,115	,101	,065	,059	,096
	Positiv	,091	,115	,101	,065	,059	,096
	Negativ	-,060	-,090	-,092	-,061	-,051	-,067
Kolmogorov-Smirnov-Z		,675	,854	,750	,483	,436	,709
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,753	,459	,627	,974	,991	,696

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

12RM TRICEPS EXTENSION Männer (N = 35) Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

Geschlecht (1=m; 2=w)			Körperhöhe [cm]	Körpergewicht [kg]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	Body-Mass-Index [kg/m ²]	BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Broca-Index [(Körpergewicht / (Körperhöhe - 100)) * 100]	
männlich	N	Mittelwert	35	35	35	35	35	35	35	
		Standardabweichung	178,837	77,583	17,009	64,0675	24,2085	19,9893	98,4232	
	Parameter der Normalverteilung(a,b)	Standardabweichung	6,6444	10,7325	4,3164	6,87329	2,70469	1,33870	11,02856	
		Extremste Differenzen	Absolut	,101	,078	,083	,096	,095	,107	,111
			Negativ	-,094	-,078	-,083	-,096	-,095	-,107	-,111
	Kolmogorov-Smirnov-Z		,596	,461	,493	,567	,562	,635	,658	
	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,870	,984	,969	,905	,911	,815	,779	

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

Geschlecht (1=m; 2=w)			Broca-Index mit fettfreier Masse	Quetelet-Index [kg/m]	Quetelet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer-Index [kg/m ²]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Halbspann [cm]	Oberarmumfang [cm]	12 RM TRICEPS EXTENSION [kg]	
männlich	N	Mittelwert	35	35	35	35	35	35	35	35	
		Standardabweichung	81,2667	43,3085	35,7619	13,5506	11,1883	83,511	33,251	27,529	
	Parameter der Normalverteilung(a,b)	Standardabweichung	5,40278	5,19843	2,91290	1,57444	,80406	3,4609	2,2454	4,0529	
		Extremste Differenzen	Absolut	,121	,097	,091	,196	,163	,075	,083	,129
			Negativ	-,121	-,097	-,091	-,196	-,163	-,062	-,083	-,094
	Kolmogorov-Smirnov-Z		-,081	-,080	-,077	-,097	-,075	-,075	-,070	-,129	
	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,719	,572	,539	1,161	,964	,446	,489	,763	
		,680	,899	,934	,135	,311	,989	,970	,605		

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

12RM TRICEPS EXTENSION Frauen (N = 20) Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

Geschlecht (1=m; 2=w)			Fettfreie Masse [kg]	Quetelet mit fettfreier Masse [kg/m]	12 RM TRICEPS EXTENSION [kg]	
weiblich	N	Mittelwert	20	20	20	
		Standardabweichung	46,3786	27,6454	17,600	
	Parameter der Normalverteilung(a,b)	Standardabweichung	3,44061	1,71248	2,4094	
		Extremste Differenzen	Absolut	,228	,203	,198
			Negativ	-,228	-,203	-,198
	Kolmogorov-Smirnov-Z		-,099	-,118	-,085	
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		1,022	,909	,887		
		,247	,381	,411		

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

1RM TRICEPS EXTENSION Frauen (N = 20) Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

Geschlecht (1=m; 2=w)			Fettfreie Masse [kg]	BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Broca-Index mit fettfreier Masse	Quetelet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	1 RM TRICEPS EXTENSION [kg]	
weiblich	N	Mittelwert	20	20	20	20	20	20	
		Standardabweichung	46,3786	16,5010	68,7834	27,6454	9,8623	23,925	
	Parameter der Normalverteilung(a,b)	Standardabweichung	3,44061	1,17117	5,64913	1,71248	,94218	3,3335	
		Extremste Differenzen	Absolut	,228	,158	,217	,203	,236	,141
			Negativ	-,228	-,158	-,217	-,203	-,236	-,141
	Kolmogorov-Smirnov-Z		-,099	-,125	-,110	-,118	-,101	-,099	
	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		1,022	,708	,970	,909	1,054	,631	
		,247	,698	,303	,381	,217	,821		

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

1RM TRICEPS EXTENSION Männer (N = 34) Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

Geschlecht (1=m; 2=w)			Körperhöhe [cm]	Körpergewicht [kg]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	Body-Mass-Index [kg/m ²]	BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Broca-Index mit fettfreier Masse
männlich	N		34	34	34	34	34	34	34
	Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	178,979	77,635	16,959	64,1534	24,1993	19,9921	81,2544
		Standardabweichung	6,4595	10,3889	4,3801	6,54662	2,69524	1,31474	5,36806
	Extremste Differenzen	Absolut	,092	,069	,098	,101	,091	,125	,138
		Positiv	,089	,069	,098	,091	,091	,125	,138
		Negativ	-,092	-,050	-,058	-,101	-,053	-,068	-,079
	Kolmogorov-Smirnov-Z		,539	,400	,571	,586	,529	,730	,803
	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,933	,997	,900	,882	,943	,660	,540

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

Geschlecht (1=m; 2=w)			Quetelet-Index [kg/m]	Quetelet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer-Index [kg/m ²]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Halbspann [cm]	Oberarmumfang [cm]	1 RM TRICEPS EXTENSION [kg]
männlich	N		34	34	34	34	34	34	33
	Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	43,3163	35,7892	13,5369	11,1821	83,585	33,232	39,485
		Standardabweichung	5,08965	2,78814	1,59327	,81295	3,3582	2,1622	5,2403
	Extremste Differenzen	Absolut	,106	,109	,191	,180	,079	,097	,090
		Positiv	,106	,109	,191	,180	,058	,097	,090
		Negativ	-,066	-,063	-,094	-,077	-,079	-,059	-,082
	Kolmogorov-Smirnov-Z		,618	,638	1,112	1,051	,458	,567	,515
	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,839	,811	,169	,219	,985	,905	,953

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

12RM TRICEPS EXTENSION (N = 21) Bw Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körperhöhe [cm]	Körpergewicht [kg]	Fettfreie Masse [kg]	Body-Mass-Index [kg/m ²]	BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Broca-Index [(Körpergewicht/(Körperhöhe-100)) ² *100]	Broca-Index mit fettfreier Masse	
	N	21	21	21	21	21	21	21	
	Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	177,619	77,886	63,4132	24,6326	20,0582	100,3440	81,7076
		Standardabweichung	6,6519	12,1480	7,30557	3,19544	1,55875	13,06147	6,34768
	Extremste Differenzen	Absolut	,116	,143	,172	,118	,107	,129	,098
		Positiv	,093	,143	,172	,118	,107	,129	,098
		Negativ	-,116	-,087	-,134	-,089	-,080	-,070	-,085
	Kolmogorov-Smirnov-Z		,532	,656	,788	,542	,492	,593	,450
	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,940	,783	,563	,931	,969	,873	,987

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Quetelet-Index [kg/m]	Quetelet mit fettfreier Masse [kg/m]	Halbspann [cm]	Oberarmumfang [cm]	12 RM TRICEPS EXTENSION [kg]	
	N	21	21	21	21	21	
	Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	43,7709	35,6393	83,695	33,657	26,262
		Standardabweichung	6,04147	3,22894	3,2718	2,3521	4,1642
	Extremste Differenzen	Absolut	,127	,133	,105	,093	,140
		Positiv	,127	,133	,105	,087	,140
		Negativ	-,122	-,101	-,090	-,093	-,115
	Kolmogorov-Smirnov-Z		,581	,608	,483	,427	,642
	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,888	,854	,974	,993	,804

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

12RM TRICEPS EXTENSION (N = 33) Uni Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körperhöhe [cm]	Körpergewicht [kg]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Broca-Index mit fettfreier Masse
N		33	33	33	33	33	33
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	172,888	68,297	21,806	53,4660	17,7251	72,9937
	Standardabweichung	9,1422	11,0292	6,9104	10,48686	1,94851	7,42476
Extremste Differenzen	Absolut	,127	,136	,102	,190	,158	,148
	Positiv	,127	,136	,102	,190	,158	,148
	Negativ	-,080	-,065	-,065	-,136	-,113	-,104
Kolmogorov-Smirnov-Z		,730	,782	,583	1,090	,908	,850
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,660	,574	,886	,185	,381	,465

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Quetlet-Index [kg/m]	Quetelet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Halbspann [cm]	Oberarmumfang [cm]	12 RM TRICEPS EXTENSION [kg]
N		33	33	33	33	33	33
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	39,3325	30,7413	10,2491	79,585	30,468	22,348
	Standardabweichung	4,67157	4,57265	,93854	4,6697	2,4799	6,2494
Extremste Differenzen	Absolut	,086	,182	,149	,118	,071	,145
	Positiv	,086	,182	,149	,118	,071	,145
	Negativ	-,069	-,132	-,123	-,071	-,064	-,110
Kolmogorov-Smirnov-Z		,494	1,046	,853	,676	,407	,831
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,968	,224	,460	,751	,996	,494

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

1RM TRICEPS EXTENSION (N = 34) Uni Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körperhöhe [cm]	Körpergewicht [kg]	Körperfettanteil [%]	Fettfreie Masse [kg]	BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Broca-Index mit fettfreier Masse
N		34	34	34	34	34	34
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	173,068	68,453	21,579	53,7529	17,7841	73,2005
	Standardabweichung	9,0634	10,8988	6,9320	10,46143	1,94935	7,41018
Extremste Differenzen	Absolut	,122	,128	,105	,185	,154	,146
	Positiv	,122	,128	,105	,185	,154	,146
	Negativ	-,072	-,064	-,064	-,130	-,119	-,112
Kolmogorov-Smirnov-Z		,713	,745	,612	1,078	,899	,852
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,689	,635	,849	,196	,394	,463

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Quetlet-Index [kg/m]	Quetelet mit fettfreier Masse [kg/m]	Rohrer mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Halbspann [cm]	Oberarmumfang [cm]	1 RM TRICEPS EXTENSION [kg]
N		34	34	34	34	34	34
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	39,3850	30,8757	10,2718	79,753	30,512	31,000
	Standardabweichung	4,61042	4,57049	,93369	4,7017	2,4624	8,9256
Extremste Differenzen	Absolut	,080	,178	,146	,116	,064	,161
	Positiv	,080	,178	,146	,116	,064	,161
	Negativ	-,080	-,144	-,126	-,079	-,064	-,136
Kolmogorov-Smirnov-Z		,469	1,041	,854	,676	,374	,939
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,980	,229	,460	,751	,999	,341

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b Aus den Daten berechnet.

1RM TRICEPS EXTENSION Bw (N = 20) Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Körperhöhe [cm]	Körpergewicht [kg]	Fettfreie Masse [kg]	Body-Mass-Index [kg/m ²]	BMI mit fettfreier Masse [kg/m ²]	Quetelet-Index [kg/m]
N		20	20	20	20	20	20
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	177,150	77,140	63,0094	24,5308	20,0409	43,4705
	Standardabweichung	6,6513	12,2008	7,23789	3,25750	1,60152	6,10916
Extremste Differenzen	Absolut	,116	,143	,178	,105	,107	,129
	Positiv	,090	,143	,178	,105	,107	,129
	Negativ	-,116	-,076	-,144	-,067	-,087	-,096
Kolmogorov-Smirnov-Z		,518	,638	,795	,469	,479	,576
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,951	,811	,553	,980	,976	,894

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Quetelet mit fettfreier Masse [kg/m]	Halbspann [cm]	Oberarmumfang [cm]	1 RM TRICEPS EXTENSION [kg]
N		20	20	20	20
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	35,5101	83,315	33,585	38,375
	Standardabweichung	3,23842	3,2790	2,3760	6,3864
Extremste Differenzen	Absolut	,158	,133	,097	,154
	Positiv	,158	,133	,097	,154
	Negativ	-,093	-,084	-,090	-,139
Kolmogorov-Smirnov-Z		,707	,595	,435	,691
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,700	,871	,992	,726

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

Längsschnitt: Prüfung der Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		12RM CHEST PRESS	12RM CHEST PRESS exp. - 12RM CHEST PRESS ber.	12RM LEG PRESS VERTICAL	12RM LEG PRESS VERTICAL exp. - 12RM LEG PRESS VERTICAL ber.	1RM CHEST PRESS	1RM LEG PRESS VERTICAL
N		10	10	10	10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	40,500	1,100	151,200	15,700	62,100	182,150
	Standardabweichung	2,9907	1,5055	28,7375	11,2007	5,4099	33,0497
Extremste Differenzen	Absolut	,148	,367	,160	,154	,204	,208
	Positiv	,148	,367	,160	,154	,105	,208
	Negativ	-,134	-,233	-,143	-,133	-,204	-,147
Kolmogorov-Smirnov-Z		,469	1,162	,506	,487	,645	,657
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,981	,134	,960	,971	,799	,781

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

10.2 Infoblätter für die Untersuchungsteilnehmer

Informationsblatt über den Versuchsablauf einer Untersuchung zur Bestimmung der 1-Wiederholungs-Maxima und der 12-Wiederholungs-Maxima an 3 verschiedenen Kraftgeräten

Lieber Proband,

mit Ihrer Hilfe wollen wir Möglichkeiten finden, die Anfangsgewichtsbelastung von Krafttrainingsbeginnern an drei versch. Kraftgeräten unabhängig von Kraft-Eingangstests zu bestimmen.

Gründe dieser Überlegungen sind die zunehmende Bestückung der Bundeswehrstandorte mit modernen Fitness-Geräten und der damit einhergehenden großen Anzahl von Anfängern im Bereich Krafttraining sowie Forschungsdefizite.

Ihre Teilname an dieser Untersuchung erfolgt im Rahmen der Allgemeinen Sportausbildung.

DSA- u. PFT-Tests sollten im Untersuchungszeitraum unterbleiben.

Die Untersuchung wird für Sie folgendermaßen ablaufen:

Bevor die eigentlichen Tests zur Bestimmung der 1-Wiederholungs-Maxima und der 12-Wiederholungs-Maxima durchgeführt werden, durchlaufen Sie eine einwöchige Gewöhnungsphase. Diese Phase dient dazu, sowohl Lerneffekte bezüglich der Muskulatur auszuschalten als auch schrittweise eine Annäherung an Ihre Wiederholungsmaxima zu erreichen.

Pro Woche werden Sie jeweils zwei Testtermine absolvieren. Der erste und dritte Termin findet montags, der zweite und vierte Termin immer donnerstags zu identischen Zeiten statt.

Bei jedem Termin erfolgt nach einer kurzen Abfrage der aktuellen Befindlichkeit (per Fragebogen) ein standardisiertes Aufwärmprogramm mit zwei Aufwärmsätzen und drei-vier Testsätzen mit progressiver Belastungszunahme pro Kraftgerät. Zudem werden am ersten Testtag anthropometrische Werte ermittelt und mit Hilfe eines Fragebogens einige persönliche Daten erfasst.

Der dritte Termin dient der Erfassung der 12-Wiederholungs-Maxima. Am vierten Termin werden die 1-Wiederholungs-Maxima ermittelt.

Da die registrierten Kraftwerte in hohem Maße von der individuellen Einstellung und der Motivation abhängig sind, bitte ich Sie, bei allen Testterminen um eine große Einsatzbereitschaft. Nur so sind zuverlässige Ergebnisse zu erzielen, die zukünftig eine zielgerechte Steuerung des Krafttrainings Ihrer Kameraden ermöglichen.

Des Weiteren werden Sie gebeten, während des Untersuchungszeitraumes kein Krafttraining zu betreiben und Ihren gewohnten Lebensstil beizubehalten.

Genauere Instruktionen zum Versuchsablauf erhalten Sie von dem Untersuchungsleiter zu den entsprechenden Terminen.

Für Ihre Mitarbeit möchte ich mich im Namen der Bundeswehr bereits im Voraus bedanken!

Informationsblatt „Trainingssteuerung im Krafttraining des Anfängers“

Lieber Versuchsteilnehmer,

Sie nehmen an einer Untersuchung im Bereich Krafttraining teil. Hierfür sei Ihnen bereits jetzt herzlich gedankt. Diese Untersuchung findet im Rahmen eines Promotionsvorhabens am Sportwissenschaftlichen Institut der Universität des Saarlandes in Kooperation mit dem Streitkräfteamt der Bundeswehr – Sportdezernat – zum Thema „Trainingssteuerung im Krafttraining des Anfängers“ statt.

Mit ihrer Hilfe wollen wir in einem Längsschnitt untersuchen, wie sich eine empirische sowie mittels einem Näherungsverfahren ermittelte Anfangsbelastung im Hypertrophietraining auf die subjektive Beanspruchung auswirkt und welche Trainingseffekte generiert werden können.

Dazu ist es erforderlich, nach einer einwöchigen Gewöhnungsphase die konzentrische Maximalkraft als Einwiederholungsmaximum (Gewichtslast, die maximal einmal bewegt werden kann) sowie die Maximalkraftausdauer als 12-Wiederholungsmaximum (Gewichtslast, die maximal zwölfmal bewegt werden kann) an zwei Kraftgeräten (Beinpresse, Brustdrückmaschine) zu ermitteln. Da die registrierten Kraftwerte sehr stark von der Motivation und der individuellen Einstellung der Versuchspersonen, sich maximal anzustrengen, abhängig sind, möchten wir Sie bitten, insbesondere bei den Krafttests Ihre höchstmögliche Kraft aufzubringen. Dies gilt übrigens für den gesamten Untersuchungsverlauf.

Die vier Gewöhnungs- und Testtermine dauern ca. 60 Minuten. Beim ersten Termin werden zusätzlich mittels Fragebogen personenspezifische Variablen erhoben sowie anthropometrische Parameter gemessen.

Im Anschluss daran erstreckt sich eine fünfwöchige Trainingsphase mit insgesamt 10 Trainingseinheiten. Die einzelnen Trainingseinheiten (Mo + Do bzw. Di + Fr) dauern ca. 30-45 Minuten. In der zwölften Trainingseinheit und genau 1 Woche danach werden nochmals die Ein- und Zwölfwiederholungsmaxima bestimmt und anthropometrische Daten erfasst.

Insgesamt erstreckt sich die Gesamtuntersuchung auf 15 einzelne Termine.

Während des Untersuchungszeitraumes bitten wir Sie kein Krafttraining für die Oberarm-, Brust- und Oberschenkelmuskulatur durchzuführen.

Ausführliche Instruktionen zu den einzelnen Terminen und zum Untersuchungsablauf erhalten Sie vom Untersuchungsleiter zu den entsprechenden Zeitpunkten.

Für Ihre engagierte Mitarbeit und Ihr Interesse möchten wir
uns bereits im Voraus vielmals bedanken.

Einverständniserklärung

Stadtallendorf,
den _____

Untersucher: Marco Hauptert, DSpl Hessenkaserne 35260 Stadtallendorf 90-4305-4070 Fax - 4912

10.3 Wandzettel

Standardisiertes Aufwärmprogramm

A. Allgemeines Aufwärmen

Übung: Herz-Kreislauf-Erwärmung auf einem drehzahlunabhängigen Cross-Walker
Dauer: 5 Minuten
Intensität: 70-80 RPM mit 1,5 W/kg

B. Dehnprogramm

Übung 1: Dehnung der Brustmuskulatur (M. pectoralis major) im Stehen
Übung 2: Dehnung der Armstreckmuskulatur (M. triceps brachii) im Stehen
Übung 3: Dehnung des vierköpfigen Oberschenkelmuskels (M. quadriceps femoris) in Seitlage
Übung 4: Dehnung des großen Gesäßmuskels (M. gluteus maximus) im Liegen

Umfang, Dauer, Intensität: 2 Wdh., 20 Sekunden, submaximal

C. Spezielles Aufwärmen

Übungen: Brustdrücken, Beinpresse (bilateral, vertikal), Trizepsdrücken als Supersätze in Termin 1 und 2.

Übungspositionierungen:

Brustdrücken: Sitzposition (Griffe bei tiefer Einatmung unterhalb der Schulterachse → am Bewegungsendpunkt = ca. 90° Oberarm-Rumpf-Winkel; Füße schulterbreit, Unterschenkel senkrecht);
Ausgangsposition (Ellbogen auf Frontalebene in Griffhöhe);
Endstellung ca. 5° Flexion im Ellbogengelenk, ca. 90° Oberarm-Rumpf-Winkel.

Beinpresse: Fußstellung (hüftbreit, parallel, physiologisches Lot: Hüfte-Knie-Fuß; Knie auf Höhe der Fußspitzen); Auflageschlitten – Liegeposition: individuell; Rückenpolster generell Position 0; Ausgangswinkelstellung: 90° Kniewinkel bei Zugspannung (Hineinpressen in die Polster)
Endstellung im Kniegelenk ca. 5° Flexion.

Trizepsmaschine: Sitzposition = Oberkörper aufgerichtet, Oberarme liegen flach auf Auflagepolster;
Rückenpolster = Ellbogen in Höhe der Drehachse;
Ausgangswinkelstellung = Unterarme senkrecht;
Endstellung = Unterarme berühren Auflagepolster, ca. 5° Flexion im Ellbogengelenk;
Pfosten zwischen Beine klemmen, Unterschenkel senkrecht

Belastungsgefüge:

2 Aufwärmübersätze (Termin 1 u. 2):

Brustdrücken: 12 Wdh. mit 20% Körpergewicht
Beinpresse: 12 Wdh. mit 100% Körpergewicht
Trizepsdrücken: 12 Wdh. mit 20% Körpergewicht

Supersatzpause: 2 min

Bewegungstempo: mittel-zügig, ruckfrei;

Konzentrische-exzentrische Phase: 3
Sekunden

10.4 Fragebogen zur Erfassung personenspezifischer Variablen

Fragebogen zur Erfassung personenspezifischer Variablen

Die in diesem Fragebogen erhobenen Daten dienen dazu die Testergebnisse besser interpretieren zu können. Des Weiteren wird überprüft, ob die Kriterien zur Testteilnahme erfüllt sind.

Bitte beantworten Sie die Fragen vollständig und gewissenhaft.

Die persönlichen Daten werden unter Beachtung des Dienstgeheimnisses absolut vertraulich behandelt.

A. Angaben zur Person

Name: _____ Vorname: _____ Dienstgrad: _____

Einheit: _____ BS SaZ FWDL GWDL

Alter: _____ Geschlecht: m w Versuchsperson-Nr.: _____

Datum (Untersuchungsbeginn): _____

B. Angaben zur Leistungsfähigkeit

1. Wieviele Punkte erreichten Sie zuletzt beim PFT (Physical Fitness Test für Soldaten unter 40 Jahre)?

_____ Punkte

2. Haben Sie zuletzt die Bedingungen zum Erwerb des Deutschen Sportabzeichens erfüllt?

Nein Ja (noch) nicht teilgenommen

C. Angaben zur Gesundheit

1. Sind Sie vom Dienstsport befreit?

Nein Ja

2. Leiden Sie unter internistischen (Bluthochdruck, Diabetes, Asthma, etc.) und/oder orthopädischen Beschwerden (Arthrose, Knieschmerzen, Schulter-Arm-Schmerzen, Rückenschmerzen, etc.), die eine intensive Kraftbelastung sowie einen Ausdauer-test ausschließen würden, und wenn ja, welche?

Nein Ja:

3. Nehmen Sie regelmäßig oder zeitweise Medikamente ein, und wenn ja, welche?

Nein Ja:

4. Hatten Sie in den letzten 4 Wochen eine Erkältung, einen fieberhaften Infekt oder sonstige Erkrankungen, und wenn ja, welche Erkrankung lag vor und wie lange?

Nein Ja:

D. Angaben zur sportlichen Aktivität

1. Treiben Sie regelmäßig Sport in Ihrer Freizeit?

Nein Ja:

Wenn ja, welche Sportart(-en) und wie viele Stunden pro Woche?

1. Sportart: _____ Std./Woche: _____
2. Sportart: _____ Std./Woche: _____
3. Sportart: _____ Std./Woche: _____

2. Haben Sie bereits Erfahrungen im Krafttraining gesammelt?

Nein Ja:

Wenn ja, in welcher Form (Gerätetraining, Hanteltraining, Gymnastik, etc.)?

Vielen Dank für die persönlichen Auskünfte!!

10.5 Fragebogen zur Erfassung der aktuellen physischen und psychischen Befindlichkeit

Fragebogen zur Erfassung der aktuellen physischen und psychischen Befindlichkeit

Die Testergebnisse sind in hohem Maße abhängig von dem aktuellen körperlichen Befinden und der Motivation. Deshalb werden für die bessere Testinterpretation diese Angaben benötigt.

A. Allgemeine Angaben

Name: _____ Vorname: _____ VpNr.: _____

Testzeitpunkt (Datum, Uhrzeit): _____ Test: 1 2 3 4

B. Angaben zur sportlichen Aktivität

1. Wann haben Sie zuletzt eine Sportart ausgeübt?

heute gestern vor _____ Tagen

2. Welche Sportart haben Sie betrieben und wie hoch war Ihrer Meinung nach die subjektive Beanspruchung?

Sportart: _____

Grad der körperlichen Beanspruchung:

gering mittel hoch erschöpfend

C. Angaben zur physischen und psychischen Verfassung

1. Haben Sie zur Zeit Muskelkater?

Nein Ja, im Bereich: _____

2. Wie würden Sie Ihre körperliche Tagesform beurteilen?

sehr gut gut mäßig schlecht

3. Wie würden Sie Ihre aktuelle psychische Verfassung (Motivation) beurteilen?

hoch motiviert motiviert wenig motiviert völlig lustlos

4. Gibt es sonstige den Test negativ beeinflussende Umstände physischer oder psychischer Art?

10.6 Testprotokolle

Testprotokoll 1

VpNr.: _____ Datum: _____

Uhrzeit: _____

Vor-/Zuname: _____

Geschlecht: m w

Alter: _____ Körpergewicht: _____ kg Körperhöhe: _____ cm

Körperfettanteil (%): _____ Fettfreie Masse: _____ BMI: _____ BROCA: _____

Ausdauerstest/Gewöhnung

I. (Fahrradergometer)

PWC 170: max. Watt: _____ Watt/kg: _____

II. Allgemeines Erwärmen

Dehnprogramm für hauptbeanspruchte Muskulatur, 4 Übungen, 2 Wdh. pro Übung, passiv-statisch, Dehndauer 20 sec, submaximale Dehnintensität

Übungspositionierung:

Brustdrücken:

- Sitzposition: Nr. _____
(Arm –Rumpfwinkel in Bew.endposition = 90°;
Ellbogen auf Griffhöhe – Unterarme parallel)

Latzziehen:

- Sitzposition: Nr. _____
- Obersch.polster: Nr. _____
(Zug bis Griffhöhe= mind. Augenhöhe,
Ellbogen dabei zurückgezogen, Oberkörper vor)

Beinpresse:

- Kniewinkel 90° - Sitzposition _____ (Loch 1-5) - Feinjust.: _____ Schwert (-1,-2)
- Fußpos. li/re: _____/_____ cm Abstand vom Rand - Abstand Fußspitze-Oberkante: _____ cm

III. Spezielles Erwärmen Brustdrücken

a) Frauen

2*12 Wdh. mit 15% des Körpergew.
(in der Pause Beinpresse)

Satz Last Wiederholungszahl

(1)		12
(2)		12

b) Männer

2*12 Wdh. mit 20% des Körpergew.
(in der Pause Beinpresse)

(1)		12
(2)		12

III. Spezielles Erwärmen Beinpresse

a) Frauen

2*12 Wdh. mit 75% des Körpergew.
(in der Pause Latziehen)

Satz Last Wiederholungszahl

(1)		12
(2)		12

b) Männer

2*12 Wdh. mit 100% des Körperge.
(in der Pause Latziehen)

(1)		12
(2)		12

III. Spezielles Erwärmen Latziehen

a) Frauen

2*12 Wdh. mit 15% des Körpergew.
(Pause danach 2 min)

Satz Last Wiederholungszahl

(1)		12
(2)		12

b) Männer

2*12 Wdh. mit 20% des Körpergew.
(Pause danach 2 min)

(1)		12
(2)		12

IV. TestBerechnen der Last nach der Einschätzung
der Wiederholungen beim Erwärmen

bis 5 Wdh. mehr mögl.=	Last Erwärmung +5%
5-10 Wdh. mehr mögl.=	Last Erwärmung +10%
>10 Wdh. mehr mögl.=	Last Erwärmung +15%

	Satz	Last	Wiederholungszahl	
- 12 Wdh. Brustdrücken	1		12	
- 12 Wdh. Beinpresse	1		12	
- 12 Wdh. Latziehen	1		12	s.o.
3 min Satzpause – Lasterhöhung				
- 12 Wdh. Brustdrücken	2		12	
- 12 Wdh. Beinpresse	2		12	
- 12 Wdh. Latziehen	2		12	s.o.
3 min Satzpause – Lasterhöhung				
- 12 Wdh. Brustdrücken	3		12	
- 12 Wdh. Beinpresse	3		12	
- 12 Wdh. Latziehen	3		12	
2 Tage Pause – Lasterhöhung für 1. Testsatz Termin 2 s.o.				

Brustdrücken: Last 1. Testsatz Termin/Testprotokoll 2**Beinpresse: Last 1. Testsatz Termin/Testprotokoll 2****Latziehen: Last 1. Testsatz Termin/Testprotokoll 2**

Testprotokoll 2

VpNr.: _____ Datum: _____

Uhrzeit: _____

Vor-/Zuname: _____

Gewöhnung**I. Allgemeines Erwärmen**

1. a) Fahrradergometer, 5' / 80 Rpm
mit KH 1kg
oder b) Cross-Walker, 5' / 100 Rpm

Frauen 1 Watt/kg Körpergewicht
Männer 1,5 Watt/kg Körpergew.

2. Dehnprogramm:

Dehnprogramm für hauptbeanspruchte Muskulatur, 4 Übungen, 2 Wdh. pro Übung, passiv-statisch, Dehndauer 20 sec, submaximale Dehnintensität

Übungspositionierung:**Brustdrücken:**

- Sitzposition: Nr. _____
(Arm –Rumpfwinkel in Bew.endposition = 90°;
Ellbogen auf Griffhöhe – Unterarme parallel)

Latziehen:

- Sitzposition: Nr. _____
- Obersch.polster: Nr. _____
(Zug bis Griffhöhe= mind. Augenhöhe,
Ellbogen dabei zurückgezogen, Oberkörper vor)

Beinpresse:

- Kniewinkel 90° - Sitzposition _____ (Loch 1-5) - Feinjust.: _____ Schwert (-1,-2)
- Fußpos. li/re: _____/_____ cm Abstand vom Rand - Abstand Fußspitze-Oberkante: _____ cm

II. Spezielles Erwärmen Latziehen**a) Frauen**

2*12 Wdh. mit 15% des Körpergew.
(in der Pause Beinpresse)

Satz Last Wiederholungszahl

(1)		12
(2)		12

b) Männer

2*12 Wdh. mit 20% des Körpergew.
(in der Pause Beinpresse)

(1)		12
(2)		12

II. Spezielles Erwärmen Beinpresse**a) Frauen**

2*12 Wdh. mit 75% des Körpergew.
(in der Pause Brustdrücken)

Satz Last Wiederholungszahl

(1)		12
(2)		12

b) Männer

2*12 Wdh. mit 100% des Körpergew.
(in der Pause Brustdrücken)

(1)		12
(2)		12

II. Spezielles Erwärmen Brustdrücken

a) Frauen

Satz Last Wiederholungszahl

2*12 Wdh. mit 15% des Körpergew.
(Pause danach 2 min)

(1)		12
(2)		12

b) Männer

2*12 Wdh. mit 20% des Körpergew.
(Pause danach 2 min)

(1)		12
(2)		12

III. Test

Berechnen der Last nach der Einschätzung
der Wiederholungen im 3. Satz Termin 1 (siehe Testprotokoll 1)

bis 5 Wdh. mehr mögl.=	Last 3. Satz Termin 1 +5%
5-10 Wdh. mehr mögl.=	Last 3. Satz Termin 1 +10%
>10 Wdh. mehr mögl.=	Last 3. Satz Termin 1 +15%

	Satz	Last	Wiederholungszahl	
- 12 Wdh. Latziehen	1		12	
- 12 Wdh. Beinpresse	1		12	
- 12 Wdh. Brustdrücken	1		12	s.o.
3 min Satzpause – Lasterhöhung				
- 12 Wdh. Latziehen	2		12	
- 12 Wdh. Beinpresse	2		12	
- 12 Wdh. Brustdrücken	2		12	s.o.
3 min Satzpause – Lasterhöhung				
- 12 Wdh. Latziehen	3		12	
- 12 Wdh. Beinpresse	3		12	
- 12 Wdh. Brustdrücken	3		12	
3 Tage Pause – Lasterhöhung für 1. Testsatz Termin 3 s.o.				

Latziehen: Last 1. Testsatz Termin/Testprotokoll 3

Beinpresse: Last 1. Testsatz Termin/Testprotokoll 3

Brustdrücken: Last 1. Testsatz Termin/Testprotokoll 3

Testprotokoll 3

VpNr.: _____ Datum: _____

Uhrzeit: _____

Vor-/Zuname: _____

12 RM Test**I. Allgemeines Erwärmen**

1. a) Fahrradergometer, 5' / 80 Rpm
mit KH 1kg
oder b) Cross-Walker, 5' / 100 Rpm

Frauen 1 Watt/kg Körpergewicht
Männer 1,5 Watt/kg Körpergewicht.

2. Dehnprogramm:

Dehnprogramm für hauptbeanspruchte Muskulatur, 4 Übungen, 2 Wdh. pro Übung, passiv-statisch, Dehndauer 20 sec, submaximale Dehnintensität

Übungspositionierung:**Brustdrücken:**

- Sitzposition: Nr. _____
(Arm –Rumpfwinkel in Bew.endposition = 90°;
Ellbogen auf Griffhöhe – Unterarme parallel)

Latzziehen:

- Sitzposition: Nr. _____
- Obersch.polster: Nr. _____
(Zug bis Griffhöhe= mind. Augenhöhe,
Ellbogen dabei zurückgezogen, Oberkörper vor)

Beinpresse:

- Kniewinkel 90° - Sitzposition _____ (Loch 1-5) - Feinjust.: _____ Schwert (-1,-2)
- Fußpos. li/re: _____/_____ cm Abstand vom Rand - Abstand Fußspitze-Oberkante: _____ cm

II. Spezielles Erwärmen Brustdrücken**a) Frauen**

Satz Last Wiederholungszahl

- 2*12 Wdh. mit 15% des Körpergew.
(in der Pause Beinpresse)

(1)		12
(2)		12

b) Männer

- 2*12 Wdh. mit 20% des Körpergew.
(in der Pause Beinpresse)

(1)		12
(2)		12

II. Spezielles Erwärmen Beinpresse**a) Frauen**

Satz Last Wiederholungszahl

- 2*12 Wdh. mit 75% des Körpergew.
(in der Pause Latziehen)

(1)		12
(2)		12

b) Männer

- 2*12 Wdh. mit 100% des Körpergew.
(in der Pause Latziehen)

(1)		12
(2)		12

II. Spezielles Erwärmen Latziehen

a) Frauen

2*12 Wdh. mit 15% des Körpergew.

(Pause danach 2 min)

Satz Last Wiederholungszahl

(1)		12
(2)		12

b) Männer

2*12 Wdh. mit 20% des Körpergew.

(Pause danach 2 min)

(1)		12
(2)		12

III. Test

Berechnen der Last nach der Einschätzung

der Wiederholungen im 3. Satz Termin 2 (siehe Testprotokoll 2)

bis 5 Wdh. mehr mögl.=

Last 3. Satz Termin 2 +5%

5-10 Wdh. mehr mögl.=

Last 3. Satz Termin 2 +10%

>10 Wdh. mehr mögl.=

Last 3. Satz Termin 2 +15%

	Satz	Last	Wiederholungszahl	
- 12 Wdh. Brustdrücken	1		12	
- 12 Wdh. Beinpresse	1		12	
- 12 Wdh. Latziehen	1		12	
3 min Satzpause – Lasterhöhung				s.o.
- 12 Wdh. Brustdrücken	2		12	
- 12 Wdh. Beinpresse	2		12	
- 12 Wdh. Latziehen	2		12	
3 min Satzpause – Lasterhöhung				s.o.
- 12 Wdh. Brustdrücken	3		12	
- 12 Wdh. Beinpresse	3		12	
- 12 Wdh. Latziehen	3		12	
2 Tage Pause				

12 RM Brustdrücken =	kg
12 RM Beinpresse =	kg
12 RM Latziehen =	kg

Testprotokoll 4

VpNr.: _____ Datum: _____

Uhrzeit: _____

Vor-/Zuname: _____

1 RM Test / MVC Test**I. Allgemeines Erwärmen**

1. a) Fahrradergometer, 5' / 80 Rpm
mit KH 1kg
oder b) Cross-Walker, 5' / 100 Rpm

Frauen 1 Watt/kg Körpergewicht
Männer 1,5 Watt/kg Körpergewicht.

2. Dehnprogramm:

Dehnprogramm für hauptbeanspruchte Muskulatur, 4 Übungen, 2 Wdh. pro Übung, passiv-statisch, Dehndauer 20 sec, submaximale Dehnintensität

Übungspositionierung:**Brustdrücken:**

- Sitzposition: Nr. _____
(Arm –Rumpfwinkel in Bew.endposition = 90°;
Ellbogen auf Griffhöhe – Unterarme parallel)

Latzziehen:

- Sitzposition: Nr. _____
- Obersch.polster: Nr. _____
(Zug bis Griffhöhe= mind. Augenhöhe,
Ellbogen dabei zurückgezogen, Oberkörper vor)

Beinpresse:

- Kniewinkel 90° - Sitzposition _____ (Loch 1-5) - Feinjust.: _____ Schwert (-1,-2)
- Fußpos. li/re: _____/_____ cm Abstand vom Rand - Abstand Fußspitze-Oberkante: _____ cm

II. Spezielles Erwärmen Latziehen

a) Frauen

Satz Last Wiederholungszahl

2*6 Wdh. mit 12 RM

(in der Pause Beinpresse)

(1)		6
(2)		6
(1)		6
(2)		6

b) Männer

2*6 Wdh. mit 12 RM

(in der Pause Beinpresse)

II. Spezielles Erwärmen Beinpresse

a) Frauen

Satz Last Wiederholungszahl

2*6 Wdh. mit 12 RM

(in der Pause Brustdrücken)

(1)		6
(2)		6

b) Männer

2*6 Wdh. mit 12 RM
(in der Pause Brustdrücken)

(1)		6
(2)		6

II. Spezielles Erwärmen Brustdrücken

a) Frauen

2*6 Wdh. mit 12 RM
(Pause danach 2 min)

	Satz	Last	Wiederholungszahl
(1)			6
(2)			6

b) Männer

2*6 Wdh. mit 12 RM
(Pause danach 2 min)

(1)		6
(2)		6

III. Tests**MVC Tests:**

*MVC Tests bei für RM-Tests definierten Ausgangswinkelstellungen mittels Kraftaufnehmer;
Gewertet wird der höchste realisierte Kraftwert bei nicht schlagartiger Kraftentwicklung;*

	Ellbogenwinkel	Anspannungsdauer	Versuch	Kraftwert
Latziehen	175°	6 sec	1	
	175°	6 sec	2	

	Kniewinkel	Anspannungsdauer	Versuch	Kraftwert
Beinpresse	90°	6 sec	1	
	90°	6 sec	2	

	Ellbogenwinkel*	Anspannungsdauer	Versuch	Kraftwert
Brustdrücken	ca. 80°	6 sec	1	
	ca. 80°	6 sec	2	

* Ellbogen auf Frontalebene!

Höchste Kraftwerte:

MVC Latziehen _____ kg

MVC Beinpresse _____ kg

MVC Brustdrücken _____ kg

1 RM Tests:

bester MVC-Testwert

- 15%

Last Versuch Nr. 1

Latziehen
Beinpresse
Brustdrücken

	Satz	Last	Wiederholungszahl
1 Wdh. Latziehen	1		1
1 Wdh. Beinpresse	1		1
1 Wdh. Brustdrücken	1		1

bis 5 Wdh. mehr mögl. = +5%
5-10 Wdh. mehr mögl. = +10%
> 10 Wdh. mehr mögl. = +15%
1 Wdh. nicht mögl. = - 5%

3 min Pause

	Satz	Last	Wiederholungszahl
1 Wdh. Latziehen	2		1
1 Wdh. Beinpresse	2		1
1 Wdh. Brustdrücken	2		1

3 min Pause - Laststeigerung bzw. Lastreduzierung s.o.

	Satz	Last	Wiederholungszahl
1 Wdh. Latziehen	3		1
1 Wdh. Beinpresse	3		1
1 Wdh. Brustdrücken	3		1

1 RM Latziehen _____ kg

1 RM Beinpresse _____ kg

1 RM Brustdrücken _____ kg

Lebenslauf

Marco Hauptert
Wacholderweg 1
55743 Idar-Oberstein
Tel. (0 67 81) 26 30 31
E-Mail: m.hauptert@web.de

geboren am: 4. November 1967
in: St. Wendel
Familienstand: verheiratet
Kinder: Florian, geb. 02.01.1994
Marcel, geb. 23.05.1995
Melissa-Sophie, geb. 20.12.2000

beruflicher Werdegang

Seit 01/2005	Leitender Sportlehrer beim Wehrbereichskommando II (Bundeswehr), Dienstort Mainz
10/98 – 12/2004	Sportlehrer-Truppe beim Wehrbereichskommando II, Dienstort Stadtallendorf
06/96 – 10/98	Sportlicher Leiter im Sport- und Gesundheitsstudio OLYMPIC GYM in Idar-Oberstein
	02/98 – 10/98 Sporttherapeut in der Physiotherapiepraxis Fuhr in Idar-Oberstein
01/96 – 05/96	Betreiber und Mitinhaber eines Fitness-Studios in Dudweiler/Saarland
01/95 – 12/95	Freiberufliche Tätigkeit
09/93 – 12/94	Sportlehrer im Fitness-Studio Gold Gym in Idar-Oberstein
01/92 – 08/93	Sportlehrer im Fitness-Studio Ypsilon in Idar-Oberstein

Schule & Wehrdienst & Studium

Seit 11/2002	Promotionsstudium an der Philosophischen Fakultät III (empirische Humanwissenschaften) im Fachbereich Sportwissenschaften der Universität des Saarlandes in Saarbrücken
10/88 – 05/93	Studium der Sportwissenschaften am Sportwissenschaftlichen Institut der Universität des Saarlandes mit Abschluss als Diplomsportlehrer

10/87 – 12/88 Wehrdienst – StBtrArtLehrRgt 5 in Idar-Oberstein
08/78 – 06/87 Gymnasium Wendalinum in St. Wendel mit Abschluss der
Allgemeinen Hochschulreife
08/74 – 06/78 Grundschule Freisen

Weitere Kenntnisse und Tätigkeiten

Computer: MS Office, SPSS
Nebentätigkeiten: Rückenschullehrer beim TSV Kirchhain / Hessen
(08/1999 – 06/2004)
Jugendfußballtrainer bei der JSG Mardorf / Hessen
(08/2001 – 01/2004)
Sprachen: Gutes Englisch in Wort und Schrift
Hobbys: Krafttraining, Lesen, Fußball

Idar-Oberstein, Juni 2007