

**Sportwissenschaftliches Institut  
der Universität des Saarlandes**

**DIPLOMARBEIT  
zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Diplomsportlehrers**

**Zum Verhältnis von konzentrischer Maximalkraft  
und der Wiederholungszahl bei einbeiniger Ausführung  
der Beinpressbewegung in unterschiedlichen  
submaximalen Intensitätsbereichen**

**Michael Fröhlich**

**Gutachter:**

**Dr. Franz Marschall**

**Prof. Dr. Reinhard Daus**

**Saarbrücken, 1998**

## **Danksagung**

Für die mir entgegengebrachte Hilfe bei der Erstellung der vorliegenden Diplomarbeit möchte ich mich bei Dr. Franz Marschall recht herzlich bedanken.

Ein besonderer Dank an alle Probanden, die gewissenhaft und pünktlich an der Studie teilgenommen haben. Ohne Sie wäre die Durchführung der Untersuchung nicht möglich gewesen.

Weiterhin möchte ich mich bei dem Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland, vor allem bei Dr. Hanno Felder und Karen Roemer, für die Bereitstellung des Geräteequiments und die freundliche Unterstützung bei der Erhebung der Daten, bedanken.

Desweiteren danke ich allen Freunden und Bekannten, die mir mit konstruktiver Kritik zur Seite gestanden haben, besonders Marc-Oliver Dillinger, und den Korrekturlesern für ihren Einsatz.

Auch danke ich meiner Lebensgefährtin, Frau Andrea Pieter, die mir besonders während der intensiven Arbeitsphase Rücksicht und Geduld entgegengebracht hat.

Mein besonderer Dank gebührt meinen Eltern, Ulrike und Alfred Fröhlich, die mir das Studium und somit das Anfertigen dieser Arbeit ermöglicht haben.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung und einführende Begriffsbestimmung .....	1
1.2	Aufbau der Arbeit.....	3
<b>I</b>	<b>THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND EMPIRISCHE BEFUNDE ZUM EINFLUß VON KONZENTRISCHER MAXIMALKRAFT UND DER WIEDERHOLUNGSZAHL .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>KRAFT UND KRAFTTRAINING .....</b>	<b>5</b>
2.1	Bedeutung des Krafttrainings .....	5
2.2	Inhaltliche Abgrenzung der Kraft .....	7
2.3	Kraft aus physikalischer Sicht .....	8
2.4	Differenzierung der Kraft .....	10
2.5	Kraft als motorische Eigenschaft.....	12
2.5.1	<i>Exkurs Hypertrophie und/oder Hyperplasie .....</i>	<i>14</i>
2.6	Kraftdefinitionen .....	15
2.6.1	<i>Maximalkraft.....</i>	<i>15</i>
2.6.2	<i>Strukturierung der Maximalkraft.....</i>	<i>17</i>
2.6.3	<i>Strukturierung der Kraftausdauer.....</i>	<i>20</i>
2.6.4	<i>Maximalkraft und Kraftausdauer im Verständnis dieser Arbeit .....</i>	<i>23</i>
2.7	Klassifizierung der Trainingsmethoden im Krafttraining.....	24
<b>3</b>	<b>DIE INTENSITÄT ALS STEUERUNGSPARAMETER IM KRAFTTRAINING .....</b>	<b>27</b>
3.1	Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept in der Sportwissenschaft .....	28
3.2	Belastungs-/Beanspruchungsermittlung .....	29
3.2.1	<i>Reizintensität.....</i>	<i>30</i>
3.2.2	<i>Reizdauer .....</i>	<i>31</i>
3.2.3	<i>Reizhäufigkeit.....</i>	<i>32</i>
3.2.4	<i>Reizumfang.....</i>	<i>33</i>
3.2.5	<i>Reizdichte.....</i>	<i>33</i>
3.3	Belastungs-/Beanspruchungsermittlung im Krafttraining .....	35
<b>4</b>	<b>LEISTUNGSBEEINFLUSSENDE FAKTOREN DER MUSKELTÄTIGKEIT .....</b>	<b>39</b>
4.1	Anatomisch - morphologische Faktoren der Kraftentfaltung .....	39
4.1.1	<i>Muskelformen.....</i>	<i>39</i>
4.1.2	<i>Muskelarten.....</i>	<i>40</i>

---

4.1.2.1	Langsame Muskelfasern (ST-Fasern, slow twitch fibers) .....	40
4.1.2.2	Schnelle Muskelfasern (FT-Fasern, fast twitch fibers) .....	41
4.1.2.3	Intermediäre Muskelfasern .....	42
4.1.3	<i>Muskelquerschnitt</i> .....	44
4.1.4	<i>Muskellänge</i> .....	45
4.1.5	<i>Muskelkraft und Kontraktionsgeschwindigkeit</i> .....	47
4.1.6	<i>Muskelschlinge</i> .....	48
4.1.7	<i>Muskelkoordination</i> .....	51
4.1.7.1	Intermuskuläre Koordination .....	51
4.1.7.2	Intramuskuläre Koordination .....	52
4.2	Neurophysiologische Faktoren der Kraftentfaltung.....	53
4.2.1	<i>Rekrutierung von motorischen Einheiten</i> .....	54
4.2.2	<i>Frequenzierung von motorischen Einheiten</i> .....	55
4.2.3	<i>Muskelkraft und „muscular-fatigue“</i> .....	57
4.3	Inter-/Intraindividuelle Faktoren .....	59
4.3.1	<i>Muskelkraft in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht</i> .....	59
4.3.2	<i>Energiestoffwechsel des Muskels</i> .....	61
4.3.3	<i>Muskelkraft und Lateralität</i> .....	63
4.3.4	<i>Psychische Prozesse und Muskelkraft</i> .....	65
<b>5</b>	<b>EMPIRISCHE BEFUNDE UND ALLGEMEINE FORSCHUNGSHYPOTHESE .....</b>	<b>67</b>
<b>II</b>	<b>EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG ZUM VERHÄLTNIS VON KONZENTRISCHER MAXIMALKRAFT UND DER WIEDERHOLUNGSZAHL .....</b>	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG .....</b>	<b>68</b>
6.1	Arbeitshypothesen .....	70
6.2	Statistik.....	71
6.3	Methodik .....	72
6.3.1	<i>Personenstichprobe</i> .....	72
6.3.2	<i>Variablenstichprobe</i> .....	73
6.3.2.1	Unabhängige Variable .....	73
6.3.2.2	Abhängige Variable .....	73
6.3.2.3	Moderatorvariablen/Kontrollvariablen .....	73
6.3.2.4	Variablenerfassung .....	73
6.4	Meßtechnik .....	74
6.5	Bewegungsbeschreibung .....	75
6.6	Versuchsplan .....	78
6.7	Untersuchungsablauf .....	79
6.7.1	<i>Erster Untersuchungstermin</i> .....	80

---

6.7.2	<i>Zweiter Untersuchungstermin</i> .....	81
6.7.3	<i>Dritter Untersuchungstermin</i> .....	82
6.7.4	<i>Spezifizierung der Untersuchungstermine</i> .....	82
<b>7</b>	<b>ERGEBNISDARSTELLUNG</b> .....	<b>84</b>
7.1	Inferenzstatistische Ergebnisdarstellung.....	84
7.1.1	<i>Hypothese 1</i> .....	84
7.1.2	<i>Hypothese 2</i> .....	86
7.1.3	<i>Hypothesenprüfung <math>H_3</math> bis <math>H_7</math></i> .....	88
7.1.3.1	<i>Hypothese 3</i> .....	88
7.1.3.2	<i>Hypothese 4</i> .....	89
7.1.3.3	<i>Hypothese 5</i> .....	90
7.1.3.4	<i>Hypothese 6</i> .....	90
7.1.3.5	<i>Hypothese 7</i> .....	91
7.2	Ergebnisse der Maximalkraft und der Wiederholungszahlen.....	92
7.2.1	<i>Ergebnisse der konzentrischen Maximalkraft</i> .....	92
7.2.2	<i>Ergebnisse der Wiederholungszahlen</i> .....	94
7.3	Zusammenfassung der Ergebnisse und Interpretation .....	95
<b>8</b>	<b>DISKUSSION UND AUSBLICK</b> .....	<b>100</b>
8.1	Diskussion .....	100
8.1.1	<i>Fazit</i> .....	105
8.2	Ausblick.....	106
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>107</b>
<b>10</b>	<b>STICHWORTVERZEICHNIS</b> .....	<b>127</b>
<b>11</b>	<b>ANHANGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>130</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	<i>Die Wechselbeziehung der drei Hauptformen der Kraft (modif. n. WEINECK 1994b, 236).....</i>	12
Abb. 2:	<i>Kraft-Zeit-Kurve(n) nach einer statischen und mehreren dynamischen Messungen (modif. n. BÜHRLE 1985b, 88) .....</i>	16
Abb. 3:	<i>Leistungsbestimmende Faktoren der maximalen Kraftentfaltung (modif. n. Hemmling 1994, 6)...</i>	19
Abb. 4:	<i>Zusammenhang der Ziele und Methoden des allgemeinen Krafttrainings (modif. n. MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 126) .....</i>	24
Abb. 5:	<i>Methoden der wiederholten submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung zur Verbesserung des Muskelquerschnitts (modif. n. BÜHRLE 1985b, 96) .....</i>	26
Abb. 6:	<i>Vereinfachter Zusammenhang zwischen Belastung und Beanspruchung (modif. n. ROHMERT 1984, 195).....</i>	27
Abb. 7:	<i>Die Grundstruktur einer „Beanspruchungstheorie sportlichen Wettkampfes und Trainings“ (n. OLIVIER 1998, dvs-Sommerakademie Saarbrücken) .....</i>	28
Abb. 8:	<i>Anzahl der Wiederholungen pro Übungsserie in Abhängigkeit von der Reizintensität (modif. n. SCHOLICH 1974, 13).....</i>	32
Abb. 9:	<i>Abhängigkeit der maximalen Wiederholungsanzahl bis zum Abbruch (RM, Abszisse) vom gehobenen Gewicht (n. ZATSIORSKY/KULIK/SMIRNOV 1968. In: ZATSIORSKY 1996, 109 ) .....</i>	37
Abb. 10:	<i>Abhängigkeit der Wiederholungsanzahl im Bankdrücken vom relativen Hantelgewicht (n. ZATSIORSKY/KULIK 1965. In: ZATSIORSKY 1996, 247).....</i>	38
Abb. 11:	<i>M. vastus lateralis eines guten Sprinters (a) und eines Berufsradrennfahrers (b). ATPase-Färbung nach Vorinkubation bei pH 4,6 (n. HOWALD 1985, 38) .....</i>	43
Abb. 12:	<i>Beziehung zwischen Kontraktionskraft, Sarkomerlänge und Filamentüberlappung (modif. n. RÜEGG 1995, 78) .....</i>	46
Abb. 13:	<i>Streckschlinge im Bereich der unteren Extremitäten (modif. n. TITTEL 1994, 199).....</i>	49
Abb. 14:	<i>Der Anteil der verschiedenen energieliefernden Substrate an der Energiebereitstellung (n. KEUL/DOLL/KEPLER 1969, 38).....</i>	62
Abb. 15:	<i>Verwendete Meßtechnik zur Kraftdiagnostik .....</i>	74
Abb. 16:	<i>Isometrische Kraft-Zeit-Kurve eines Probanden .....</i>	75
Abb. 17:	<i>Isometrische Kraftmessung in 60 Grad Position .....</i>	76
Abb. 18:	<i>Isometrische Kraftmessung in 90 Grad Position .....</i>	76
Abb. 19:	<i>Vergleich der Mittelwerte der Wiederholungszahlen von linker und rechter Seite.....</i>	85
Abb. 20:	<i>Lineare und logarithmische Regression zwischen den Intensitätsstufen und den Wiederholungszahlen .....</i>	87
Abb. 21:	<i>Säulendiagramm des Mittelwertunterschieds mit logarithmischer Anpassung .....</i>	91
Abb. 22:	<i>Mittelwerte der konzentrischen Maximalkraft von linker und rechter Seite zu den jeweiligen Terminen .....</i>	92
Abb. 23:	<i>Vergleich der Wiederholungszahlmittelwerte auf den einzelnen Intensitätsstufen mit logarithmischer Anpassung .....</i>	98

---

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Maximale Haltezeit von Bruchteilen der Maximalkraft (n. ROHMERT 1960a, 132).....	22
Tab. 2:	Kraftverhältnisse und Trainierbarkeit von Mann und Frau .....	
	(modif. n. EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN/ZINTL 1998, 72).....	60
Tab. 3:	Mittelwerte und Standardabweichung der Wiederholungszahlen in Abhängigkeit .....	
	von der Intensität (graphische Bestimmung der Werte aus ZATSIORSKY 1996, 247).....	69
Tab. 4:	Anthropometrische Daten der Probanden .....	72
Tab. 5:	Zweifaktorieller Versuchsplan mit wiederholten Messungen auf dem Faktor A (Lateralität $p = 2$ ) und Faktor B (Intensität $q = 5$ ).....	78
Tab. 6:	Untersuchungsablauf im Überblick .....	83
Tab. 7:	Werte der Unterschiedsprüfung von Hypothese 1 .....	84
Tab. 8:	Werte der Seitigkeitsüberprüfung .....	86
Tab. 9:	Werte der Regressionsberechnung von Hypothese 2 .....	86
Tab. 10:	Werte der Unterschiedsprüfung von Hypothese 3 .....	89
Tab. 11:	Werte der Unterschiedsprüfung von Hypothese 4 .....	89
Tab. 12:	Werte der Unterschiedsprüfung von Hypothese 5 .....	90
Tab. 13:	Werte der Unterschiedsprüfung von Hypothese 6 .....	90
Tab. 14:	Werte der Unterschiedsprüfung von Hypothese 7 .....	91
Tab. 15:	Einwiederholungsmaxima von linker und rechte Seite zu den einzelnen Terminen.....	93
Tab. 16:	Deskriptive Werte der Wiederholungszahlen auf den einzelnen Intensitätsstufen.....	94
Tab. 17:	Korrelationsberechnung zwischen den Intensitätsstufen .....	94

---

## Gleichungsverzeichnis

<i>Gl. 1:</i>	<i>Kraft unter physikalischen Gesichtspunkten</i> .....	8
<i>Gl. 2:</i>	<i>Zusammenhang von inneren und äußeren Kräften</i> .....	11
<i>Gl. 3:</i>	<i>Differenzierung von Relativkraft und Absolutkraft</i> .....	44
<i>Gl. 4:</i>	<i>Klassisches Hebelgesetz</i> .....	45
<i>Gl. 5:</i>	<i>Modifiziertes Hebelgesetz</i> .....	45
<i>Gl. 6:</i>	<i>Hill'sche Gleichung</i> .....	47
<i>Gl. 7:</i>	<i>Modifizierte Hill'sche Gleichung</i> .....	47
<i>Gl. 8:</i>	<i>Gleichung des bilateralen Defizits</i> .....	64
<i>Gl. 9:</i>	<i>Exemplarische Berechnung der konzentrischen Maximalkraft</i> .....	81

---

**Abkürzungsverzeichnis**

ADP	Adenosindiphosphat
ATP	Adenosintriphosphat
b	Regressionskoeffizient
BD	Bilaterales Defizit
df	Freiheitsgrade (engl. degrees of freedom)
EMG	Elektromyogramm
F <sub>m</sub>	Maximalkraft
F <sub>mm</sub>	Maximum-maximorum Kraft, höchste Kraft unter Maximalwerten
Hz	Hertz [1/sec]
IEMG	Integriertes Elektromyogramm
iso	isometrisch
konz	konzentrisch
KP	Kreatinphosphat
K-S Z	Prüfgröße im KOLMOGOROV-SMIRNOV Test
l <sub>0</sub>	Ruhelänge eines Muskels
m	Masse
M.	musculus
Maxi	maximaler Meßwert
Mini	minimaler Meßwert
MLS	Muskelleistungsschwelle
MVC	maximal voluntary contraction (maximale Willkürkontraktion)
n	Anzahl der Probanden
N	Newton
Nm	Newtonmeter
Ns	Newtonsekunde
p	Auftretenswahrscheinlichkeit (engl. probability)
p <sub>max</sub>	maximaler Impuls in [Ns]
r	Korrelationskoeffizient
r (Beta)	standardisierter Regressionskoeffizient
RM	Repetition Maximum (Wiederholungsmaximum)
s	Streuung

---

SE B	Standardfehler des Regressionskoeffizienten
sec	Sekunde
t	Kennwert der t-Verteilung
v	Bewegungsgeschwindigkeit in [m/sec]
V <sub>p</sub>	Versuchsperson
vs.	versus
$\vec{a}$	Beschleunigung
$\vec{F}$	Betrag der Kraft
$\alpha$	Kritische Irrtumswahrscheinlichkeit
$\bar{x}$	Mittelwert
$\delta_{\bar{x}}$	Standardfehler des arithmetischen Mittels
$\alpha^*$	adjustiertes $\alpha$ -Niveau
$\mu_0$	Mittelwert einer theoretischen Verteilung (ZATSIORSKY)
*	signifikant ( $\alpha \leq 0,05$ )
**	sehr signifikant ( $\alpha \leq 0,01$ )

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung und einführende Begriffsbestimmung

Krafttraining nimmt in vielen sportlichen Bereichen eine herausragende Stellung ein. Sei es im Gesundheitssport, wo durch präventive Maßnahmen einem schleichenden degenerativen Abfall der Leistungsfähigkeit entgegengewirkt werden soll oder im rehabilitativen Bereich, der die Wiederherstellung der alltags- bzw. sportspezifischen Leistungsfähigkeit zum Ziel hat (vgl. RIEDER 1996). Ebenso werden im Freizeit-, Breitensport und nicht zuletzt im Leistungssport, bestimmte Kraftfähigkeiten und Kraftercheinungsweisen abverlangt, um dem gestiegenen Leistungsniveau gerecht zu werden bzw. dem allgemeinen Fitneß- und Bewegungsverlangen Rechnung zu tragen. Um diese Kraftfähigkeiten optimal ausbilden zu können, spielt neben der (Reiz-) Dauer, die *Intensität*, als zentrale Steuergröße des Trainings, eine herausragende Rolle. Durch sie werden die unterschiedlichsten Trainingsmethoden voneinander differenziert und mit verschiedenen Beanspruchungen von neuromuskulären Teilsystemen (spezifischen Stoffwechselprozessen) in Verbindung gebracht (BÜHRLE 1985b; SCHMIDTBLEICHER 1985b).

Die Festlegung der Intensität erfolgt hierbei in Abhängigkeit von der augenblicklichen Maximalkraft, d.h. die Maximalkraft wird als Referenzwert zugrunde gelegt und als Maßzahl 100% festgesetzt (vgl. HEINOLD 1995, 54-55; LETZELTER/LETZELTER 1990, 211; SPITZ 1985, 196; STEININGER/BUCHBAUER 1994, 11).

Nach HEINOLD (1995, 55) relativieren sich an diesem Maximalwert, der 100% entspricht

*„... in prozentualer Angabe die den unterschiedlichen Trainingsmethoden zugeordneten Intensitäten“.*

Im Training wird dann diese Intensität durch entsprechende Anzahl von Gewichtsplatten eingestellt.

Problematisch wird diese Vorgehensweise, wenn aufgrund bestimmter Rahmenbedingungen keine Maximalkraftbestimmung vorgenommen werden kann, da z.B. Verletzungen, Schädigungen oder die kindliche Entwicklung dies verbieten bzw. praktikable Durchführungen nicht gewährleistet sind (vgl. WEINECK 1994a, 318). Zu diesem Zweck wurden

Hilfsmittel, in Form von Tabellen und graphischen Darstellungen konzipiert, die Angaben über die Relation von Maximalkraft und Wiederholungszahl bei submaximalen Intensitäten machen. Eine derartige Zusammenhangsbeschreibung wurde erstmals 1965 von ZATSIORSKY/KULIK, sowie modifiziert von ZATSIORSKY (1977) vorgelegt. Anhand dieser empirischen Befunde über den Zusammenhang zwischen Intensität und Wiederholungszahl, soll dann aufgrund von definierten Wiederholungszahlen die Intensität für die Trainingssteuerung festgelegt werden.

So schreiben bspw. HOTTENROTT/ZÜLCH (1997, 143):

*„Auf einen Maximalkrafttest können sie verzichten. Die optimale Last läßt sich nicht nur aus dem maximalen Krafteinsatz, sondern auch anhand der Wiederholungen bei einer bestimmten Last ermitteln“.*

Im Lauf der Zeit erfuhr die spezifizierte Ausgangskurve (ZATSIORSKY/KULIK 1965) eine immer verallgemeinerte Betrachtung, was den Gültigkeitsbereich stark einschränkte, sowie die konkreten Angaben zur Trainingssteuerung in der Trainingspraxis zweifelhaft erscheinen lassen. So werden von unterschiedlichen Autoren verschiedenste Angaben bzgl. Intensität und Wiederholungszahl beschrieben und Teils in graphischer, Teils in tabellarischer Form veröffentlicht (vgl. BAYER/RAMLOW 1993, 16; HARRE 1986, 143; HARTMANN/TÜNNEMANN 1990, 17, 35; KOMI/HÄKKINEN 1989b, 158; KOVARIK 1991, 49; SCHMIDT-BLEICHER 1987b, 366-370; SCHOLICH 1988, 23; SPITZ 1985, 197).

Bezugnehmend auf empirische Befunde (vgl. BAYER/RAMLOW 1993; HOFMANN 1998), welche spezifische Personenstichproben bzw. Unterschiede in der Übungsauswahl berücksichtigten, als auch durch genaue Analyse der Beziehung von Wiederholungszahl und Intensität, scheint die Allgemeingültigkeit bzw. die Generalität der betrachteten Zusammenhänge fraglich. Vielmehr wird vermutet, daß das Verhältnis von Maximalkraft und Wiederholungszahl bei submaximalen Intensitäten muskelgruppenspezifisch und in Abhängigkeit von der Anzahl der an einer Kraftübung beteiligten Muskeln bzw. Gelenke unterschiedlich betrachtet werden muß (vgl. ZATSIORSKY 1996, 108).

Da sich bei vielen Kraftübungen die Frage nach einseitiger (unilateraler) oder beidseitiger (bilateraler) Ausführung stellt, bzw. die Anforderungsstruktur der jeweiligen Sportart eine zielgerichtete Ausbildung erfordert (u.a. wegen Seitigkeitsdifferenzen/Muskeldysbalancen) erscheint eine differenziertere Betrachtung des Verhältnisses von Maximalkraft, Wiederholungszahl und submaximaler Intensität angebracht.

In der vorliegenden Arbeit, die sich mit dem Verhältnis von konzentrischer Maximalkraft und der Wiederholungszahl bei einbeiniger Ausführung der Beinpressbewegung in unterschiedlichen submaximalen Intensitätsbereichen beschäftigt, sollen deshalb die generellen Trainingsempfehlungen überprüft werden und im Rahmen der Möglichkeiten eine differenziertere Sichtweise erfahren. Diese Überlegungen sollen einer individuelleren Sichtweise des Trainings dienen, um der Trainingssteuerung und -regelung besser gerecht zu werden.

## **1.2 Aufbau der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in einen theoretischen Teil (I) und einen experimentellen Teil (II).

Im ersten Teil sollen die theoretischen Grundlagen und empirischen Befunde, die für das Verständnis dieser Arbeit notwendig sind vorgestellt und kritisch diskutiert werden. Nach einer einführenden Darstellung bzw. Abgrenzung der Begriffe Kraft und Krafttraining in Kapitel zwei (angefangen von der Bedeutung des Krafttrainings, bis hin zur Klassifizierung der Trainingsmethoden), folgen Steuerungsparameter des Krafttrainings (Reizintensität, -dauer, -häufigkeit, -umfang und -dichte), welche in ein Belastungs-Beanspruchungskonzept integriert werden (Kapitel drei). Dabei werden die Belastungsnormative unter einem reinen Belastungsaspekt und unter einem Beanspruchungsaspekt dargelegt.

Leistungsbeeinflussende Faktoren der Muskeltätigkeit, näher spezifiziert in anatomisch-morphologische, neurophysiologische und inter-/intraindividuelle Faktoren, bilden dann den Schwerpunkt von Kapitel vier. Daraus abgeleitet lassen sich allgemeine Forschungshypothesen (Kapitel fünf) formulieren, welche dann im zweiten Teil innerhalb einer experimentellen Untersuchung spezifiziert, geprüft und diskutiert werden.

Der experimentelle Teil (ab Kapitel sechs), befaßt sich mit methodischen Aspekten der Untersuchung (Variablenbeschreibung, Meßtechnik, Bewegungsbeschreibung, Versuchsplan, Untersuchungsablauf). Anschließend daran findet in Kapitel sieben die Darstellung der Ergebnisse (Hypothesenprüfungen 7.1 bzw. Ergebnisse der Maximalkraft und der Wiederholungszahl 7.2) und deren Interpretation (7.3) statt.

In Kapitel acht werden die Ergebnisse innerhalb einer Diskussion kritisch bewertet und im Ausblick auf zukünftige Forschungsfragen beleuchtet.

# I Theoretische Grundlagen und empirische Befunde zum Einfluß von konzentrischer Maximalkraft und der Wiederholungszahl

## 2 Kraft und Krafttraining

### 2.1 Bedeutung des Krafttrainings

Krafttraining ist heute fester Bestandteil jeder Sportart, auch wenn in bestimmten Disziplinen, wie beispielsweise im Ausdauer- oder Sportspielbereich, noch berechtigte Unsicherheiten über die adäquaten Belastungen herrschen (vgl. STIEHLER/KONZAG/DÖBLER 1988, 108ff). So hat das Krafttraining neben seiner Bedeutung für die unmittelbare sportartspezifische Leistungsfähigkeit auch noch für andere Bereiche eine wichtige Funktion: Im Gesundheits- und Breitensport zielt das Krafttraining darauf ab, die Muskulatur allseits unter besonderer Berücksichtigung der Hauptmuskeln des Körpers zu kräftigen, was einer Stabilisierung und Mobilität und somit einer erhöhten Belastbarkeit und Belastungsverträglichkeit mit verminderter Verletzungsgefahr bei körperlich anstrengender und einseitiger Berufstätigkeit zugute kommt. Andererseits ist das Krafttraining im Wettkampfsport auf die spezifischen Anforderungen ausgerichtet und hat dabei nach SCHNABEL/HARRE/BORDE (1997, 238) folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Kräftigung der Muskeln, Muskelpartien und Muskelschlingen, die in der Wettkampfbewegung die Hauptarbeit leisten;
- prophylaktische Sicherung des arthromuskulären Gleichgewichts durch Kräftigung zur Abschwächung neigender Muskeln und weitgehende Beseitigung von Ungleichgewichten, die durch das spezifische Training entstehen und Fehlbelastungen verursachen können;
- Kräftigung derjenigen - zumeist kleineren - Muskeln, die durch das auf die Hauptmuskeln gerichtete Krafttraining nicht ausreichend gekräftigt werden; dies betrifft auch die Antagonisten.

---

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß es eine Vielzahl von Gründen für die Durchführung eines Krafttrainings gibt. Ohne ein Mindestmaß an Kraftfähigkeiten (abhängig von Alter und Geschlecht bzw. der Leistungsfähigkeit und dem Anspruchsniveau) ist eine optimale individuelle Leistungsfähigkeit nicht realisierbar, da das vorhandene bzw. erworbene Kraftniveau unmittelbar auf die Effektivität des Trainings im langfristigen Trainingsprozess einwirkt. Somit dient das Krafttraining einerseits der Steigerung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit und kann andererseits auch im Sinne einer Verletzungs- und Haltungsprophylaxe (vgl. WEINECK 1994a, 246) verstanden werden. Durch ein systematisch gesteuertes Krafttraining kann es also zur Verbesserung der Innervationsfähigkeit der Muskulatur kommen. Somit dient das Krafttraining der Erhöhung der Kraftbildungsgeschwindigkeit und der intermuskulären Koordination. Weiterhin wird eine Erweiterung des Energiepotentials der Muskulatur angenommen, wodurch es zu einer Hypertrophie der Muskelstrukturen und zur Verbesserung des Energieflusses im Muskel kommen kann (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 332).

All diese Effekte treten jedoch nur dann zu Tage, wenn durch ein zielgerichtetes, systematisch gesteuertes Krafttraining mit spezifischen Trainingsmethoden, die jeweiligen Anpassungserscheinungen in adäquater Weise gefördert werden. Diese Trainingsmethoden werden im Anschluß an unterschiedliche disziplinäre Zugangsweisen der Kraft, sowie deren Spezifikation und Differenzierung, näher klassifiziert und durch Belastungsnormative (speziell über die Festlegung der Intensität, als Steuerungsparameter) beschrieben.

## 2.2 Inhaltliche Abgrenzung der Kraft

*„Die Vorstellung von Kraft ist, wie allseits zugegeben (von Hegel bis Helmholtz), der Betätigung des menschlichen Organismus innerhalb seiner Umgebung entlehnt. Wir sprechen von der Muskelkraft, von der Hebungskraft der Arme, von der Sprungkraft der Beine, von der Verdauungskraft des Magens und Darmkanals, von der Empfindungskraft der Nerven, der Ausscheidungskraft der Drüsen usw.“ ... „Diese bequeme Methode übertragen wird dann auch auf die Außenwelt und erfinden ebenso viele Kräfte wie es verschiedene Erscheinungen gibt“ (ENGELS: zitiert n. WITT 1995, 21).*

Aus dieser einleitenden Beschreibung der Fähigkeit „Kraft“ wird ersichtlich, daß es eine eigenständige und für alle Bereiche präzise Definition von Kraft, die sowohl ihre physikalischen Aspekte hinreichend abdeckt, als auch ihre biologischen und physiologischen Merkmale ausreichend charakterisiert, nicht geben kann. Auf eine handlungstheoretische Unterscheidung zwischen Fähigkeiten (*ability*) und Fertigkeiten (*skill*) soll in dieser Arbeit verzichtet werden (vgl. CARL 1992, 158; MECHLING 1992, 162; im Überblick JOCH/ÜCKERT 1998, 50f). Während in der Physik der Begriff der Kraft (*force*) noch relativ einheitlich und definitorisch klar abgegrenzt ist, müssen bei der physiologischen und motorischen Sichtweise (*strength*) unterschiedliche Aspekte, wie bspw. Art der Muskelarbeit, der Spannungsentwicklung bzw. der Haupterscheinungsform (vgl. HOLLMANN/HETTINGER 1990; MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993; WEINECK 1994a) unterschieden werden.

Andererseits kann der Begriff Kraft in seiner Entstehung auch auf Fähigkeiten der Muskulatur zurückgeführt werden. Wobei die Vorstellung der Kraft geprägt wird durch Sinnesempfindungen, die der Tiefensensibilität zugerechnet und insgesamt als „Kraftsinn“ bezeichnet werden (ZIMMERMANN 1995, 224). Die Integration der vom Kraftsinn und anderen Sinneseindrücken verfügbaren Informationen ermöglicht uns die Erfahrung, daß Muskelkräfte entweder verformende Wirkung an Körpern zeigen oder deren Bewegungszustand ändern (HEINOLD 1995, 5). In eine ähnliche Richtung verweist auch TIHANYI (1987, 38) wenn er hierzu schreibt:

*„Demnach ist die Muskelkraft nichts anderes als die Kontraktion des lebenden Muskelgewebes auf elektrische, chemische oder mechanische Reize“.*

### 2.3 Kraft aus physikalischer Sicht

Unter physikalischen Gesichtspunkten werden Bewegungen im allgemeinen definiert als Ortsveränderung eines Körpers in Raum und Zeit bezüglich eines festgelegten Bezugssystems (BAUMANN/REIM 1994, 32). Dabei sind immer Kräfte ( $F$ ) nötig, um einen Körper in Bewegung zu versetzen bzw. zu beschleunigen oder einen Körper aus der Bewegung abzubremesen, da ein Körper in Ruhe oder in einer gegebenen Bewegung verharrt, falls nicht eine äußere Kraft auf ihn einwirkt (erstes NEWTONSche Gesetz). Man bezeichnet diese Eigenschaft als Trägheit (HOLLMANN/HETTINGER 1990, 176). Wird nun dieser Trägheitszustand überwunden, wirkt im physikalischen Sinn eine Kraft. Die Kraft stellt somit ein Maß für die Einwirkung eines Körpers auf einen anderen dar. Nach dem zweiten NEWTONSchen Gesetz (vgl. BAUMANN 1989, 64; MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 100; SUST 1996, 197) besteht ein proportionaler Zusammenhang zwischen der einwirkenden Kraft und der Zustandsänderung dahingehend, daß die Kraft definiert werden kann über die Grundgröße Masse ( $m$ ) und die abgeleitete kinematische Größe Beschleunigung ( $a$ ). Gleichung eins liefert den Zusammenhang zwischen der kinematischen Größe  $a$  und der dynamischen Größen  $m$  (BAUMANN 1989, 64):

$$Gl. 1: \quad \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

SCHMIDTBLEICHER (1987, 356) spricht in diesem Zusammenhang von dynamischer Wirkung der Kraft. Wird durch die Einwirkung der Kraft eine Änderung der Form eines Körpers hervorgerufen, spricht man von verformender Wirkung der Kraft (PREIB 1996, 65).

Das dritte NEWTONSche Gesetz schließlich besagt, daß jede Aktion eine gleiche entgegengesetzt gerichtete Reaktion auslöst (vgl. HOLLMANN/HETTINGER 1990, 176; BAUMANN/REIM 1994, 38), d.h. die von zwei Körpern aufeinander ausgeübten Wirkungen (Kräfte und Momente) sind stets gleich groß und von entgegengesetzter Richtung (BAUMANN 1989, 66). Dieses Prinzip wurde unter der Bezeichnung „*actio et reactio*“ bekannt.

Für den Alltag bedeutet dies, daß große Kräfte nur dann entwickelt werden können, wenn ein äußerer Widerstand vorliegt (vgl. LEHNERTZ 1988b, 43-44). Somit wird es bspw. nur mäßig gelingen, eine große Kraft auf eine Pennymünze zu übertragen (ZATSIORSKY 1996, 34).

---

In der Physik wird die Kraft als ein Vektor dargestellt und kann somit durch den *Betrag* (Größe), die *Richtung* ihrer Wirkung und den *Angriffspunkt* vollständig bestimmt werden. Dabei wird die als Proportionalitätsfaktor  $m$  im Grundgesetz der klassischen Mechanik eingeführte Masse in Kilogramm [kg] gemessen. Die Einheit der Kraft hingegen ist das Newton [N]. Ein Newton ist die Kraft, die einen Körper mit einer Masse von einem Kilogramm in einer Sekunde auf die Geschwindigkeit von 1m/sec beschleunigt (BAUMANN 1989, 66; LEHNERTZ 1987, 23; PREIß 1996, 65). Auf Meereshöhe und in 45° Breite werden durch die Gravitationskraft alle Körper mit einer Beschleunigung von  $9,81 \text{ m/sec}^2$  von der Erde angezogen. Aufgrund dessen muß bspw. ein Sportler mit einer Masse von 70 kg mittels Muskelkraft 686,7 Newton überwinden, wenn er senkrecht vom Erdboden abspringen will (LEHNERTZ 1987, 23).

## 2.4 Differenzierung der Kraft

Bei sportmotorischen und auch alltäglichen Bewegungen - Kraft ist die Grundlage jeglicher Änderung eines Bewegungszustandes - können eine Vielzahl von unterschiedlichen Kräften registriert werden. Die Biomechanik unterteilt dabei *innere* und *äußere* Kräfte. Innere Kräfte liegen dann vor, wenn eine Kraft von einem Teil des menschlichen Körpers auf einen anderen wirkt (ZATSIORSKY 1996, 39). Zu den inneren Kräften können die Kontraktionskraft des neuromuskulären Systems, die Kraft zwischen Knochen innerhalb des Skelettsystems und die Kraft zwischen der Verbindungsstelle Knochen-Sehne, gezählt werden. Äußere Kräfte wirken zwischen dem Körper des Menschen und seiner Umwelt und können durch das äußere Erscheinungsbild in verschiedenartige Bewegungsklassen differenziert werden. Folgerichtig unterscheiden u.a. LETZELTER/LETZELTER (1990, 66) spezifische Erscheinungsweisen wie Stoß-, Zug-, Wurf- sowie Sprint-, Sprung- und Schußkraft.

Äußere Kräfte, die auf den Menschen wirken, sind unter anderem die Schwer-, Reibungs-, Trägheitskraft, nicht zu vergessen die Widerstandskraft, die von einem Partner, einem Gegner oder einem Gerät ausgeübt wird (BÜHRLE 1985b, 82; HARTMANN/TÜNNEMANN 1990, 8).

SCHMIDTBLEICHER (1987b, 357) hält eine solche Einteilung in innere und äußere Kräfte für nicht zweckmäßig, da sie zwischen primär konditionellen (energetischen) und primär koordinativen Einflüssen keine Differenzierung mehr zuläßt.

Nach SUST (1996) hingegen besteht zwischen den inneren und den äußeren Kräften ein Bindeglied, das durch das Hebelsystem der Skelettknochen hergestellt wird (vgl. TAMME 1993).

*„Die äußeren muskulär bedingten Kräfte  $F_m$  stehen in Zusammenhang mit den inneren Kräften  $f_M$ , die im menschlichen Körper als Folge von Muskelkontraktionen am Skelett angreifen. Der Zusammenhang zwischen einer (außerhalb des menschlichen Körpers gemessenen) Kraft  $F_M$  und der entsprechenden inneren Kraft  $f_M$  wird durch die Hebelverhältnisse des Skelettsystems hergestellt“ (SUST 1996, 198).*

Diese Hebelverhältnisse sind nur von geometrischen Invarianten (Größen, die sich während der Bewegung nicht ändern) und dem jeweiligen Beugewinkel eines oder mehrerer Gelenke (Größen, die sich während der Bewegung ändern) abhängig. Somit kann eine Geometriefunktion ( $G$ ) aufgestellt werden, die die inneren Kräfte  $f_M$  in die äußeren Kräfte  $F_M$  (oder umgekehrt die äußeren Kräfte  $F_M$  in die inneren Kräfte  $f_M$ ) transformiert (SUST 1996, 198). Diese Gleichung lautet:

$$\text{Gl. 2: } F_M = G \cdot f_M \text{ bzw. } f_M = \frac{F_M}{G}$$

Auf eine ausführliche Differenzierung der Kraft als motorische Beanspruchungsform (SCHMIDTBLEICHER 1987b), die sowohl die *Arbeitsweise des Nerv-Muskel-Systems* (statische und dynamische) als auch die *Kontraktionsform des Nerv-Muskel-Systems* (isotonische, isometrische, auxotonische) berücksichtigt, sei auf die Ausführungen von DE MARÉES (1996); KNUTTGEN/KOMI (1994); SCHMIDTBLEICHER (1987a, 1987b.); sowie WEINECK (1994b) für die Arbeitsweise und auf die Beschreibungen von HARRE (1986); HARTMANN/TÜNNEMANN (1990), KENT (1996); LEHNERTZ (1988a); LETZELTER/LETZELTER (1990); NÖCKER (1980) und RÜEGG (1995) für die Kontraktionsform verwiesen. Darüber hinaus soll das technische Modell der Muskelkontraktion (HUIJING 1994; RÜEGG 1995), welches auf anschauliche Weise die obigen Zusammenhänge verdeutlicht, erwähnt werden. Der Muskel als Modell von in Serie und/oder parallel geschalteten elastischen und plastischen Elementen illustriert dabei den derzeitigen Stand der wissenschaftlichen Forschung zu diesem Themenkomplex.

## 2.5 Kraft als motorische Eigenschaft

Im traditionellen Kanon der konditionellen Fähigkeiten nimmt die Kraftfähigkeit neben den anderen konditionellen Erscheinungsformen, wie Schnelligkeit, Ausdauer und Beweglichkeit eine exponierte Stellung ein, da sie nach MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993, 102) die konditionelle Basis für Muskelleistungen ist, deren Werte über ca. 30% der jeweils individuell realisierbaren Maxima liegen. Hieraus wird ersichtlich, daß jede Aktivität ein Mindestmaß an Kraft voraussetzt. Je nach Sportart oder Disziplin erfährt sie nur eine unterschiedliche Gewichtung und steht so immer in Beziehung zu den anderen konditionellen Fähigkeiten. Daher werden in der sportwissenschaftlichen Terminologie drei Hauptformen unterschieden, die als Maximalkraft-, Schnellkraft- und Kraftausdauerfähigkeit bezeichnet werden (vgl. BÜHRLE 1985b; HARRE 1986; HARTMANN/TÜNNEMANN 1990; LETZELTER/LETZELTER 1990; SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997; WEINECK 1994b) und auf die generalisierte Betrachtungsweise von NETT (1964) zurückgehen. Abbildung eins veranschaulicht den Zusammenhang zwischen den drei Hauptformen.

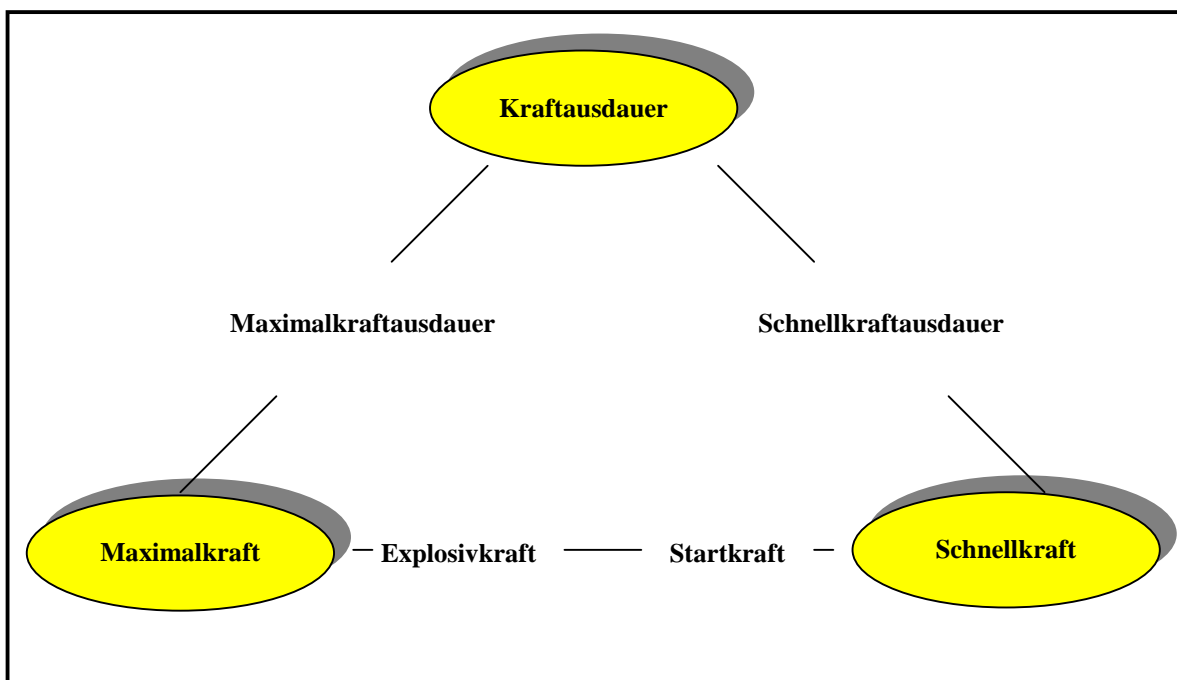


Abb. 1: Die Wechselbeziehung der drei Hauptformen der Kraft (modif. n. WEINECK 1994b, 236)

Neben den drei Kategorien Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer - die Maximalkraft wird in neuerer Literatur hierarchisch über der Schnellkraft und Kraftausdauer angesiedelt, da sie in entscheidendem Maße die anderen Fähigkeiten beeinflusst (vgl. BÜHRLE 1989, 311-312; BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER 1981, 12-25) - werden in neueren Werken der Trainingslehre, die sich mit Kraft und deren Erscheinung auseinandersetzen, die *Reaktivkraft*, *Explosivkraft* und *Startkraft* als eigenständige Eigenschaften bzw. Spezifikationen der Schnellkraft erwähnt und eigene spezifische Trainingsmethoden abgehandelt (vgl. MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993; BÜHRLE 1985b, 1989, 1993a, 1993b; BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER 1981). MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993, 102) schreiben zu dieser Problematik:

*„Beim derzeitigen Kenntnisstand ist eine Einteilung in Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer sinnvoll“.*

Dieser Sichtweise schließt sich auch PAMPUS (1995, 13) an, indem er feststellt, daß es in der Sportpraxis nicht die Kraft schlechthin gibt, sondern entsprechend den sportart- bzw. anwendungstypischen motorischen Anforderungen und Einsatzbereichen diese vier unterschiedlichen Kraftfähigkeiten differenziert werden müssen.

Da im Rahmen dieser Arbeit speziell die Maximalkraft (isometrische als auch konzentrische Kontraktionsform) und Kraftausdauer bzw. eine Kraftercheinung - welche von der Intensität her zwischen diesen beiden Erscheinungsformen liegt und mit Muskeldickenwachstum (Hypertrophie) in Verbindung gebracht wird (siehe Exkurs Hypertrophie und/oder Hyperplasie) - von Interesse ist, sollen die Schnellkraft und Reaktivkraft nur erwähnt werden. Der interessierte Leser sei auf die Definitionen von SCHNABEL/HARRE/BORDE (1997, 135) und WEINECK (1994b, 238) zu diesem Themenkomplex verwiesen, sowie auf die ausführlichen Darstellungen bzgl. der Kraft-Zeit-Kurven von BÜHRLE (1985b); BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER (1981); MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993); PAMPUS (1992); SCHMIDTBLEICHER (1982, 1984b, 1985a) als auch VERCHOSHANSKIY (1995).

### 2.5.1 Exkurs Hypertrophie und/oder Hyperplasie

Ob sich durch ein Training die Muskelfaser nur verdickt (*Hypertrophie*) oder ob es zu einer Neubildung von Muskelfasern durch die Aktivierung von Satelittenzellen kommt (*Hyperplasie*), wird auch heute noch unterschiedlich diskutiert, wobei eine Zunahme der Muskelfasergröße als gesichert angesehen wird (APPELL 1983; MACDOUGALL 1994; TESCH 1987; 1994a).

Andererseits konnten APPELL/FORSBERG/HOLLMANN (1988) in einem Trainingsexperiment nachweisen, daß es zu einer Vermehrung von Satelittenzellen kommt und sich diese zu neuen Muskelfasern zusammenschließen (vgl. APPELL 1986).

Der eigentliche adäquate Reiz für das Dickenwachstum (*Hypertrophie*) der einzelnen Muskelfaser ist mit großer Wahrscheinlichkeit die bei der Muskelkontraktion entwickelte mechanische Spannung - *Reiz-Spannungs-Theorie* (HETTINGER 1983; HOLLMANN/HETTINGER 1990, 227-228; STOBOY 1987, 379). Die Hypothese, daß Sauerstoffmangel (*Hypoxie*), der während eines Trainings entsteht, die Ursache für die *Hypertrophie* der Muskelfasern ist, gilt als zunehmend unwahrscheinlich (MOREHOUSE 1960). Andererseits wird die Verminderung von ATP - *ATP-Mangel-Theorie* von MEERSON (1967) - aufgrund einer gesteigerten Eiweißsynthese mit *Hypertrophieeffekten* in Verbindung gebracht (vgl. LORENZ/HAUSDORF/JESCHKE/TUSKER 1995; MADER 1990; WEICKER 1992, 1995). Im Überblick hierzu JOCH/ÜCKERT (1998, 72ff).

Grundsätzlich muß erwähnt werden, daß keine der genannten Theorien für sich allein eine Muskelhypertrophie und/oder Muskelhyperplasie erklären kann. Vielmehr sei herausgestellt, daß Muskelhypertrophie und -hyperplasie Vorsorgemechanismen darstellen, um den ungewohnt intensiven Spannungsreiz auf eine größere Zellmasse zu verteilen und um somit einen relativen Schutz vor Überlastung zu bieten (WEINECK 1994a, 257).

Dabei spielt die Belastungsintensität für die adaptiven Prozesse, neben der Belastungsdauer, die entscheidende Rolle, um die jeweiligen Stoffwechselmechanismen (Teilmechanismen) in adäquater Weise anzusprechen.

## 2.6 Kraftdefinitionen

### 2.6.1 Maximalkraft

*„Die Trainingslehre differenziert die Maximalkraft traditionell entsprechend der überwindenden, haltenden und nachgebenden Arbeitsweise der Muskulatur und der dabei realisierten Kontraktionsformen in eine konzentrische, isometrische und exzentrische Dimension“ (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 102).*

Eine solche Unterscheidung in verschiedene Kontraktionsformen halten BÜHRLE (1985b, 87-89) und SCHMIDTBLEICHER (1984b, 1786; 1987b, 357) für nicht gerechtfertigt und irreführend, da alle Kontraktionsformen auf einer einheitlichen Fähigkeit beruhen, nämlich die mit der Bezeichnung „Maximalkraft“ (SCHMIDTBLEICHER 1987a, 64-65). Zur Begründung schreibt SCHMIDTBLEICHER (1987a, 65) in Anlehnung an BÜHRLE (1985b, 87-88):

*„Die Unterscheidung zwischen konzentrischer und isometrischer Maximalkraft erscheint aufgrund der physiologischen Grundlagentheorie und der ermittelten Ergebnisse nicht gerechtfertigt. ... Die konzentrische Maximalkraft nähert sich der isometrischen Maximalkraft an. Sind die Test- und Trainingsbewegungen identisch, was sinnvoll ist, um koordinative Einflüsse auszuschalten, liegt bei allen untersuchten Gruppen von Versuchspersonen der Korrelationskoeffizient zwischen konzentrischer und isometrischer Maximalkraft über  $r = 0,85$ . Bei trainierten Personen und Hochleistungsathleten ist dieser Zusammenhang noch enger:  $r = 0,90-0,95$ . Die Gemeinsamkeit zwischen „beiden“ Erscheinungsformen der Maximalkraft beträgt somit 70-90%“ (SCHMIDTBLEICHER 1987a, 65).*

Dieser Auffassung schließt sich MÜLLER (1987, 5) im Rahmen von Längsschnittstudien an, indem er zeigt, daß zwischen dem isometrischen und dynamisch-konzentrischen Kraftverhalten bei Kontraktionen gegen unterschiedlich hohe Lasten ein enger Zusammenhang besteht, und zwar um so mehr, je höher und homogener das technisch-koordinative Leistungsniveau der untersuchten Gruppe ist. Danach handelt es sich bei statischer und dynamischer Kraftentfaltung nicht um unabhängige motorische Fähigkeiten, sondern um unterschiedliche Erscheinungsweisen derselben zugrundeliegenden Fähigkeit.

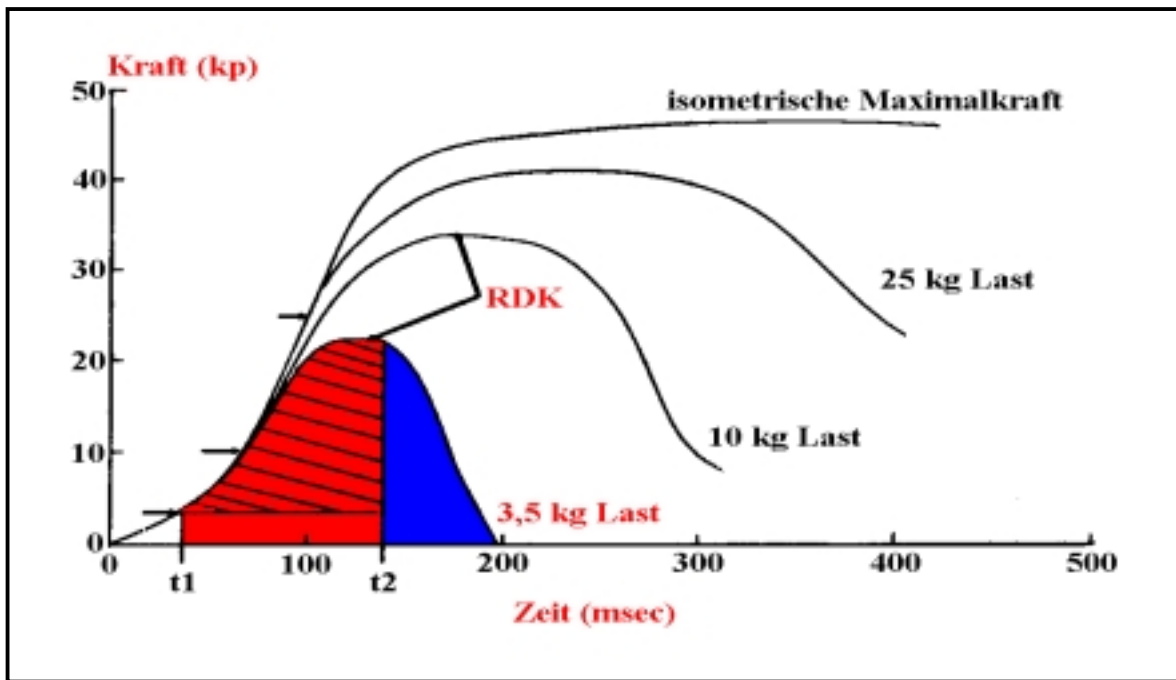


Abb. 2: Kraft-Zeit-Kurve(n) nach einer statischen und mehreren dynamischen Messungen gegen unterschiedlich hohe Widerstände mit den jeweiligen Krafthöchstwerten. Die schraffierte Fläche zeigt beispielhaft den zur Beschleunigung der Last von 3,5 kg eingesetzten Kraftstoß zwischen dem Bewegungsbeginn ( $t_1$ ) und dem Erreichen einer Zeitmarke gegen Bewegungsende ( $t_2$ ). Bis zum Zeitpunkt  $t_1$  wird die Gegenkraft zur Gewichtskraft (3,5 kg) entwickelt. Dann erst wird das Gewicht in Bewegung versetzt (modif. n. BÜHRLE 1985b, 88)

Zum besseren Verständnis der Charakterisierung der Maximalkraft sei noch auf die exzentrische Kontraktionsform hingewiesen, wie sie häufig in der Literatur beschrieben wird. Zurückgehend auf die Spezifizierung von KOMI (1975, 6-7) als auch SCHMIDTBLEICHER (1982, 146), versteht man unter exzentrischer Kontraktion oder exzentrischer Maximalkontraktion jene Arbeitsweise des Muskels, bei der die äußere einwirkende Kraft so groß ist, daß keine überwindende Arbeit mehr geleistet werden kann und sich Ansatz und Ursprung des Muskels voneinander entfernen. Die Kraftwerte, die bei solchen exzentrischen Maximalkontraktionen auftreten, liegen je nach Meßverfahren ca. 5-40% über der isometrischen Maximalkraft (vgl. SCHMIDTBLEICHER 1982, 146; 1987a, 64). Andererseits sei festgehalten, daß die Kraftwerte der isometrischen Maximalkraft, in Abhängigkeit von den beteiligten Muskelschlingen und des Trainingszustandes, ca. 5-20% über der konzentrischen Maximalkraft liegen (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 102). Je besser jedoch das Kraftniveau entwickelt ist, desto geringer wird der Unterschied zwischen konzentrischer und isometrischer Kraft ausfallen (vgl. EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN/ZINTL 1998, 67).

### 2.6.2 Strukturierung der Maximalkraft

Maximalkraft, Maximalkraftfähigkeit, maximale Kontraktionskraft - all diese Begriffe zur Beschreibung eines Zustandes werden von verschiedenen Autoren mit unterschiedlichen Erscheinungsweisen oder Charakteristika in Verbindung gebracht und zielen darauf ab, die *maximale willkürliche Muskelkontraktion* (*MVC = „maximal voluntary contraction“*) zu repräsentieren. So werden beispielsweise allein bei HOLLMANN/HETTINGER (1990, 182-183) drei verschiedene Erscheinungsweisen der Maximalkraft beschrieben und mit den Begriffen Maximalkraft (statische Maximalkraft), relative Maximalkraft (psychologische Grenzkraft) sowie absolute maximale Kraft (physiologische Grenzkraft, Absolutkraft) belegt.

- MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993, 103); JOCH/ÜCKERT (1998, 62) als auch WEINECK (1994b, 237) verstehen unter Maximalkraft die höchstmögliche Kraft, die das Nerv-Muskel-System bei maximaler willkürlicher Kontraktion ausüben vermag.
- KUNZ/SCHNEIDER/SPRING/TRITSCHLER/INAUEN (1990, 148) differenzieren die Maximalkraft als die größtmögliche Kraft, die sowohl in dynamischer als auch statischer Form willkürlich gegen einen Widerstand ausgeübt werden kann.
- EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN/ZINTL (1998, 67) schließen sich dieser Definition an, betonen aber noch die meßtechnische isometrische Kraftmessung an einem unüberwindlichen Widerstand.
- VERCHOSHANSKIY (1995, 56) versteht unter Maximalkraft, die Fähigkeit des Sportlers zur Herstellung eines ihm potentiell möglichen Niveaus des muskulären Krafteinsatzes. Die Maximalkraft wird dabei durch die Größe eines äußeren isometrischen Krafteinsatzes oder durch das größte gehobene Gewicht bewertet.

- Aus eher pragmatischer Sicht versucht MCCARTNEY et. al. (1988, 363) die Maximalkraft über das Gewicht, gemessen in [kg] zu definieren: „*The maximum voluntary strength was defined as the load which could be lifted once only, throughout the complete range of movement. After a rest period the testing was repeated to account for any habituation to the apparatus*“.

Führt man all diese Definitionen einer Analyse zu, so wird deutlich, daß die Maximalkraft je nach Autor eine unterschiedliche Abgrenzung erfährt und auf verschiedenen, individuellen Komponenten beruht, die in unterschiedlichem Ausmaß die Ausprägung der Maximalkraft bestimmen. So hängt die Maximalkraft (statische) nach HOLLMANN/HETTINGER (1990, 184) von dem Muskelfaserquerschnitt, der Muskelfaserzahl, der Struktur, der Muskelfaserlänge und des Zugwinkels, der Koordination und der Motivation in entscheidendem Maße ab (vgl. auch LETZELTER/LETZELTER 1990, 68). WEINECK (1994b, 192) schließt sich weitgehend den Ausführungen von HOLLMANN/HETTINGER an, fügt als leistungsbestimmende Faktoren jedoch noch die muskuläre Energiebereitstellung, das Geschlecht und Alter, sowie die Tagesperiodik hinzu. SCHNABEL/HARRE/BORDE (1997, 137) fassen ähnliche Faktoren zusammen, differenzieren jedoch den koordinativen Aspekt - in intramuskuläre und intermuskuläre Koordination - und halten darüber hinaus ein sporttechnisches Können für relevant.

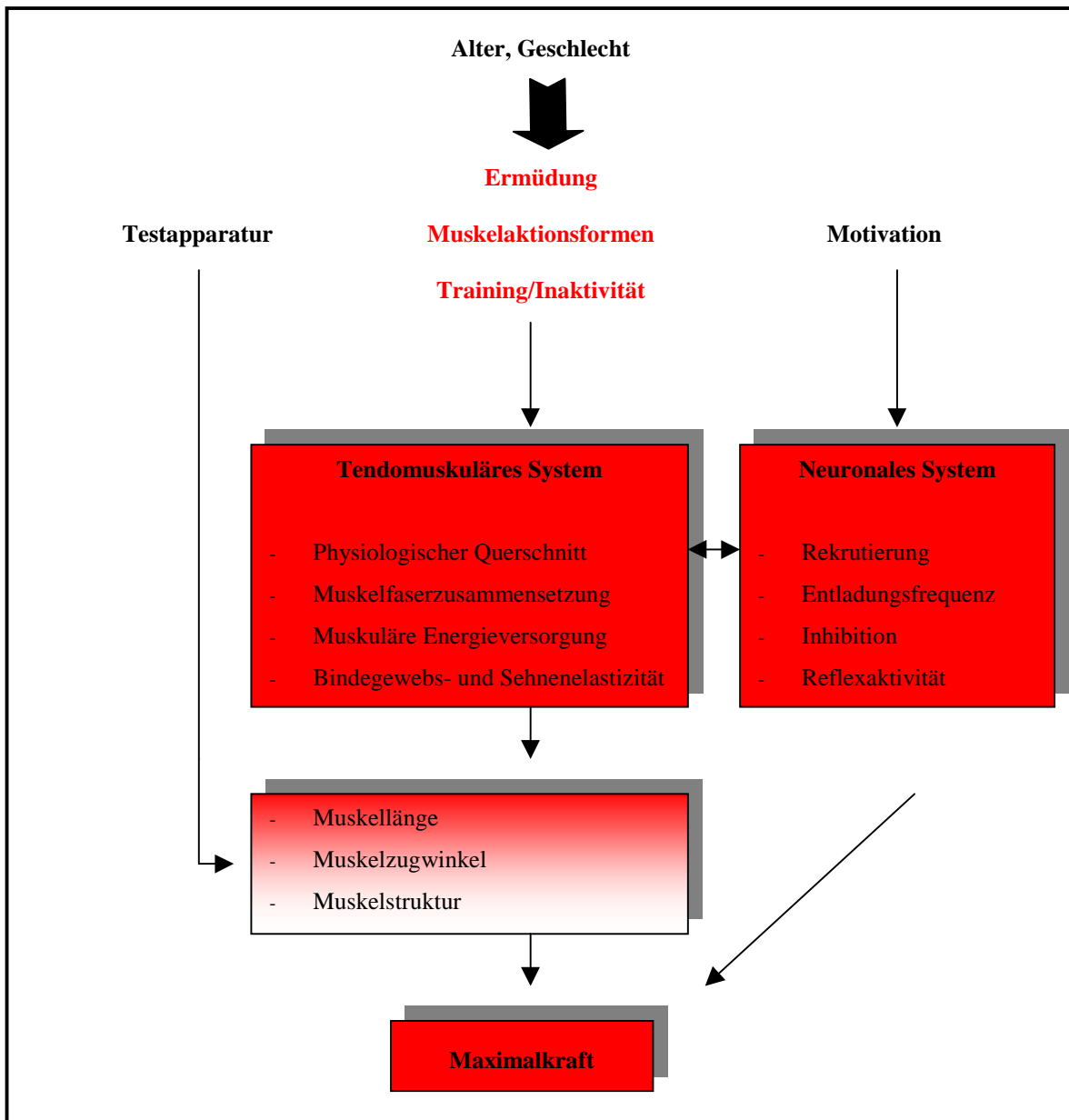


Abb. 3: Leistungsbestimmende Faktoren der maximalen Kraftentfaltung (modif. n. Hemmling 1994, 6)

Bevor nun auf die relevanten leistungsbestimmenden Faktoren bzw. deren Bedeutung für das Verhältnis von konzentrischer Maximalkraft und Wiederholungszahl bei submaximalen Intensitäten im einzelnen eingegangen wird, soll die Kraftausdauer näher beleuchtet und deren Erscheinungsweise im Überblick herausgestellt werden.

### 2.6.3 Strukturierung der Kraftausdauer

Wie sich unschwer erkennen läßt, verweist der Begriff Kraftausdauer zunächst auf ein prinzipielles Wirkungsgefüge zwischen der motorischen Fähigkeit Kraft und der Eigenschaft Ausdauer. Allgemein ist mit dem Begriff „Kraftausdauer“ die Fähigkeit gemeint, eine relativ intensive Muskelarbeit für längere Zeiträume durchzuhalten oder eine Last in einer bestimmten Bewegungsphase über längere Zeit zu fixieren (LEHNERTZ/MARTIN/NICOLAUS 1995, 428). Zur Vermeidung begrifflicher Mißverständnisse sollte die Kraftausdauer definitorisch klar abgegrenzt werden, wobei hauptsächlich auf die Definition von HARRE (1986, 134) verwiesen wird.

- *„Die Kraftausdauer ist die Ermüdungswiderstandsfähigkeit des Sportlers bei lang andauernden Kraftleistungen“ (HARRE 1986, 134)*
- Dieser Auffassung schließen sich auch EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN/ZINTL (1998, 71) an, erwähnen jedoch noch die wiederholende Belastung bei statischer und dynamischer Muskelarbeit.

Da die Definition von HARRE jedoch nichts über die Zeitdauer, als auch nichts über die Höhe der Kraftleistung aussagt und somit alles offen läßt, was eine Operationalisierung von Kraftausdauer betrifft, wurden schon früh kritische Äußerungen laut und differenziertere Aussagen formuliert.

Einer dieser neueren Definitionsversuche ist von SCHMIDTBLEICHER (1989) vorgelegt worden und beinhaltet sowohl qualitative als auch quantitative Aspekte:

*„Kraftausdauer ist eine komplexe Erscheinungsform der Kraft und der Ausdauer, die je nach Kombination des Belastungsgefüges, Höhe der Krafteinsätze pro Kontraktion, Schnelligkeit der Krafteinsätze pro Kontraktion, Dauer der Krafteinsätze pro Kontraktion, Frequenz der Krafteinsätze, Anzahl der Kontraktionen bzw. Dauer der Kontraktionen (im Falle einer Haltekontraktion), unterschiedliche Werte annimmt und dann entsprechend höhere Zusammenhänge mit den Basisgrößen der Kraft bzw. der Ausdauer aufweist“ (SCHMIDTBLEICHER 1989, 11).*

Folgerichtig fanden ZATSIORSKY/KULIK/SMIRNOV (1970) einen positiven Zusammenhang zwischen der Maximalkraft und der Kraftausdauer, der um so größer ist, je höher das Maximalgewicht an das isometrische Maximalkraftniveau heranreicht, und der bei Lasten, die weniger als 30% der individuellen Maximallast betragen, kaum noch statistisch nachzuweisen ist. Läßt man sich von diesen Untersuchungen leiten, so sollte man nur dann von Kraftausdauer sprechen, wenn Kräfteinsätze realisiert werden, die größer sind, als ein Drittel des individuellen maximalen Leistungsvermögens.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen und beziehend auf die Untersuchungen von KEUL (1975, 593), der einen Übergang bei maximalen Belastungen von anaerober zu aerober Energiebereitstellung nach ca. zwei Minuten feststellen konnte, wird von SCHMIDTBLEICHER (1989, 13) folgende Definition der Kraftausdauer vorgeschlagen:

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

Eine Bewertung der Kraftausdauer anhand der Impulssumme, nach der Definition von SCHMIDTBLEICHER (1989, 13), kann jedoch aufgrund ihrer kraftabhängigen Berechnung nur unzureichend die Spezifikation der Kraftausdauer wiedergeben. Deshalb wurde von LEHNERTZ/MARTIN/NICOLAUS (1995, 430-434); NICOLAUS (1993, 131-135); PAMPUS/LEHNERTZ/MARTIN (1989, 5-6); PAMPUS (1992) eine neue Methode zur Bestimmung der Kraftausdauer über die sogenannte *Muskelleistungsschwelle* (MLS) vorgestellt. Dabei erfolgt die Berechnung der MLS über die Werte Meßweg, bewältigte Last und dazu benötigte Zeit. Die hierbei abgeleiteten Größen sind erstens der maximale Impuls  $p_{\max}$  in [Ns], zweitens die Bewegungsgeschwindigkeit  $v$  in [m/sec] bei Erreichen der Muskelleistungsschwelle und drittens die Last in [kg] bei Erreichen der MLS (Schwellenlast). Auf eine genaue Testmethodik soll hier nicht näher eingegangen werden.

Jedoch hängt die Kraftausdauer nicht nur von der Maximalkraft und deren Komponenten, der Zeitdauer und der erzielten Impulssumme, sondern auch noch von der Arbeitsweise der Muskulatur und der beteiligten Muskelgruppen ab. Hinzu kommen noch die Höhe der *Reizstärke* (in Prozent der maximalen Kontraktionskraft), der *Reizumfang* (Summe der Wiederholungen) und die *Dauer* eines Reizes (vgl. WEINECK 1994b, 242).

Untersuchungen zur Kraftausdauer bei statischer Haltekontraktion wurden erstmals von ROHMERT (1960a, 131) beschrieben und lieferten grundlegende Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen der max. Haltedauer (in % der Maximalkraft) und der statischen Haltekraft. In diesem Zusammenhang wird erstmals von einer Dauerleistungsgrenze gesprochen.

Tab. 1: Maximale Haltezeit von Bruchteilen der Maximalkraft (n. ROHMERT 1960a, 132)

Prozent Maximalkraft		Max. Haltezeit in Minuten
100	≥	0,11
75	≥	0,35
50	≥	1,01
25	≥	3,40

Ähnliche Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen relativer Kraftausdauer und Maximalkraft wurden auch unter dynamisch konzentrischer Arbeitsweise gefunden (ZATSIORSKY/KULIK/SMIRNOV 1970, 141ff). Diese Ergebnisse stehen in guter Übereinstimmung mit den Untersuchungen von SHAVER (1970), der einen korrelativen Zusammenhang von  $r = 0,93$  zwischen dynamischer Maximalkraft (1er Wiederholungsmaximum und der absoluten Kraftausdauer (Wiederholungszahl gegen 75% des Gruppenmaximums) fand (vgl. KOMI/HÄKKINEN 1989,157f). Mittlere bis hohe positive Korrelationen wurden auch von ZINTL (1989, 69) beschrieben, der zwischen relativer Maximalkraft (N/kg Körpergewicht) und Kraftausdauer, Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,62$  für männliche und  $r = 0,79$  für weibliche Probanden ermitteln konnte.

#### 2.6.4 Maximalkraft und Kraftausdauer im Verständnis dieser Arbeit

Wie den bisherigen Ausführungen zu entnehmen ist, handelt es sich bei der Kraft um ein Konstrukt, welches je nach Sichtweise des Autors oder der disziplinspezifischen Besonderheit eine zum Teil erhebliche Differenzierung erfährt. Daher soll im folgenden ein für die Arbeit pragmatischer Ansatz zur Beschreibung der Maximalkraft und Kraftausdauer verfolgt werden, der implizit bereits die Bewegungsausführung berücksichtigt.

##### *Isometrische Maximalkraft*

- *Unter isometrischer Maximalkraft soll die größtmögliche, willkürlich realisierbare Kraft (MVC) in Newton [N] verstanden werden, die innerhalb einer Streck-schlingenbewegung der Beinpressbewegung (unüberwindbarer Widerstand) an einem Dehnungsmeßstreifen in Kilogramm [kg] abgelesen werden kann.*

##### *Konzentrische Maximalkraft*

- *Unter konzentrischer Maximalkraft soll die größtmögliche, willkürliche realisierbare Kraft in Newton [N] verstanden werden, welche über ein Gewicht, gemessen in [kg] definiert wird und maximal einmal (Einwiederholungslast) innerhalb eines vollen Bewegungsumganges (Anfangs- und Endpunkte sind definiert) innerhalb einer Streck-schlingenbewegung der Bein-extension bewegt werden kann.*

##### *Dynamische Kraftausdauer*

- *Unter Kraftausdauer soll die Fähigkeit verstanden werden, die auf einer Intensitätsstufe von 50 bis 70% der jeweiligen Maximalkraft angesiedelt ist und über eine Zeitdauer von mindestens 30-45 Sekunden aufrecht gehalten werden kann. Dabei muß die Bewegung (Streck-schlingenbewegung der Bein-extension) über den vollen Bewegungsumfang ausgeführt werden. Ist der volle Bewegungsumfang nicht mehr sichergestellt, liegt ein Abbruchkriterium vor.*

## 2.7 Klassifizierung der Trainingsmethoden im Krafttraining

Krafttrainingsmethoden spielen in allen Bereichen, angefangen vom Gesundheitssport/Rehabilitationssport (vgl. BUSKIES/BOECKH-BEHRENS/ZIESCHANG 1996; FREIWALD 1995; FROBÖSE 1996; GUSTAVSEN/STREECK 1997; HETTINGER 1983; LENHART/SEIBERT 1991; LUDWIG 1997; MAYER/HORSTMANN/KÜSSWETTER/DICKHUTH 1994; STEININGER/BUCHBAUER 1994) über den Freizeit und Breitensport (vgl. BÜHRLE 1985b, 1993b; HARTMANN/TÜNNEMANN 1990; SCHMIDTBLEICHER 1985b, 1987a, 1987b, 1994; TESCH 1994b), hin zum Leistungs- und Hochleistungssport (vgl. HARRE 1986; PAMPUS 1995; SPITZ 1985; WEINECK 1994b; ZATSIORSKY 1996 usw.), eine entscheidende Rolle, da durch sie zum einen die Verbesserung der Innervationsfähigkeit der Muskulatur und zum anderen die Erweiterung des Energiepotentials der Muskulatur hervorgerufen werden.

Können diese Zielsetzungen mit den Erscheinungsformen der Kraft und den Krafttrainingsmethoden verbunden werden, ergeben sich folgende vier Zusammenhänge:

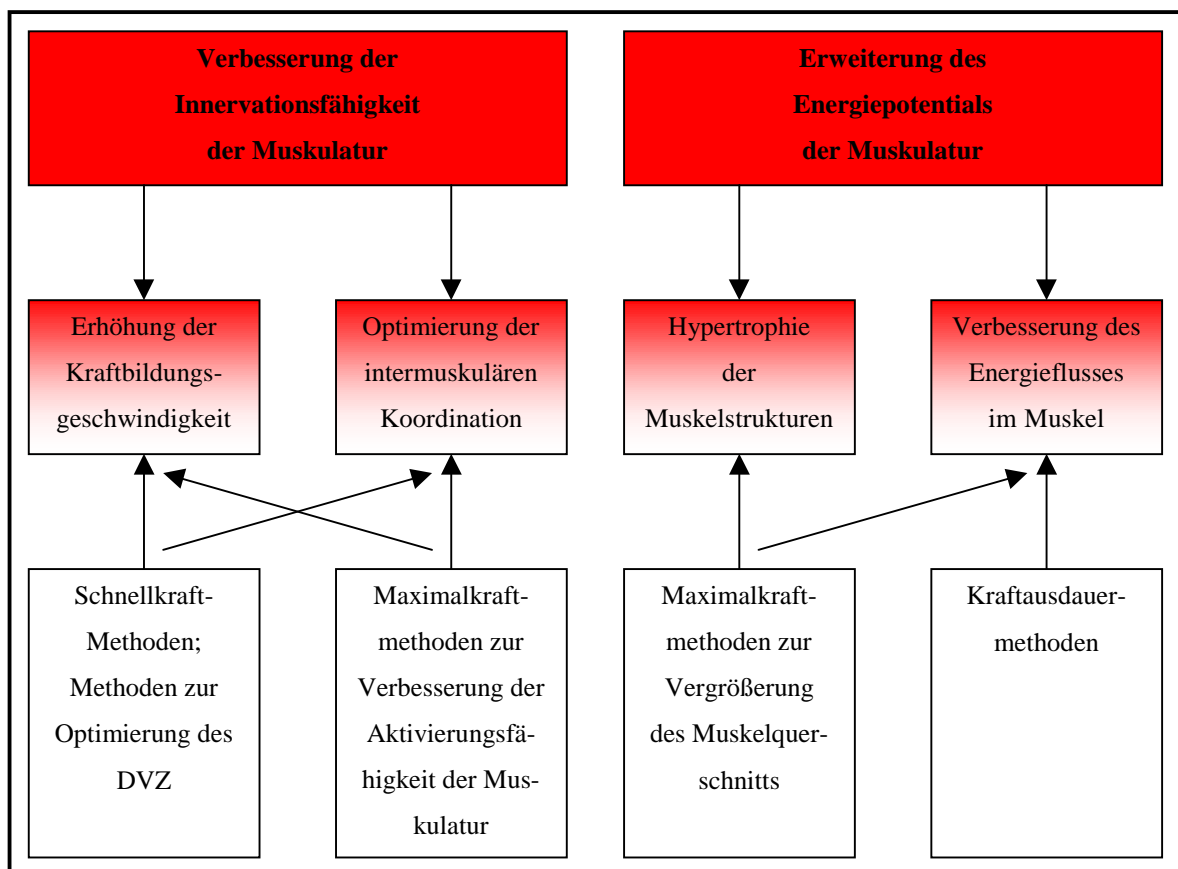


Abb. 4: Zusammenhang der Ziele und Methoden des allgemeinen Krafttrainings (modif. n. MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 126)

Das Krafttraining sucht dabei, bezogen auf die jeweilige Zielsetzung, grundsätzlich nach dem optimalen Trainingsreiz. Deshalb werden hier die Methoden des Krafttrainings nicht nach ihrer Belastungsstruktur eingeteilt, sondern nach ihrer Trainingswirkung. Hierbei hängt die Erweiterung des Energiepotentials vor allem von der Vergrößerung des Muskelquerschnittes und einer Verbesserung der Kraftausdauer ab; die Verbesserung der Innervationsfähigkeit dagegen wird über eine Verbesserung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit der Muskulatur und der Kraftbildungsgeschwindigkeit (Schnellkraftfähigkeit) erreicht (vgl. SCHMIDTBLEICHER 1987a, 1987b; BÜHRLE 1985b; MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993).

Somit ergeben sich nach BÜHRLE (1985b) und SCHMIDTBLEICHER (1987a, b) sowie modifiziert von KUNZ/SCHNEIDER/SPRING/TRITSCHLER/INAUEN (1990) als auch MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993) fünf grundlegende Krafttrainingsmethoden die folgend im Überblick dargelegt werden sollen:

- **Maximalkrafttrainingsmethoden zur Vergrößerung des Muskelquerschnitts**
- **Maximalkrafttrainingsmethoden zur Verbesserung der Innervationsfähigkeit der Muskulatur**
- **Methoden des Schnelligkeitstrainings**
- **Methoden des Kraftausdauertrainings**
- **Methoden des Reaktivkrafttrainings**

Auf spezifische Trainingsmethoden, wie sie von LETZELTER/LETZELTER (1990, 217ff), VERCHOSHANSKIY (1995, 84ff), WEINECK (1994b, 267ff) u.a. beschrieben werden, sowie auf die Empfehlungen der Trainingspraxis, speziell aus dem Bereich des Bodybuilding, soll bewußt verzichtet werden.

Die wichtigste Komponente der Belastungsstruktur für die Differenzierung bzw. Charakterisierung der verschiedenen Krafttrainingsmethoden ist die *Belastungsintensität* (vgl. MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 126). Sie legt unter anderem fest, inwieweit spezifische Anpassungserscheinungen möglich sind und wird so zur Steuerungs- und Regelungsgröße im Krafttraining. Daher soll die Belastungsintensität innerhalb des Belastungs-Bearbeitungs-Konzepts im folgenden Kapitel spezifiziert werden und als quantitativer Beanspruchungsfaktor beschrieben werden.

		Standard- methode I	Standard- methode II	Bodybuilding- methode I	Bodybuilding- methode II	Isometrische Methode
<b>Kontraktions- formen</b>	- konzentrisch	kon	kon	kon	kon	kon
	- isometrisch					
	- exzentrisch					
<b>Intensität</b>	<b>Geschwin- digkeit</b>					
	- schnell - zügig - langsam	zügig	zügig	langsam	zügig	
	<b>Last in %</b>	<b>80%</b>	<b>70-80-85-90%</b>	<b>60-70%</b>	<b>98-95%</b>	<b>100%</b>
<b>Umfang</b>	<b>Wdh.</b>	<b>8-10</b>	<b>10 ..10.. 7.. 5</b>	<b>15-20</b>	<b>5-8</b>	<b>1</b>
	Serien	3	1...1...1...1	3-5	3-5	3-5
	Dauer					10-12 sec
<b>Dichte</b>	<b>Pause zw. Wdh.</b>					
	- 4-10 sec - kon.	4-10 sec	4-10 sec	kon.	4-10 sec	
	<b>Serien- pause</b>	≥ 3 min	≥ 3 min	≥ 2 min	≥ 3 min	≥ 3 min

Abb. 5: Methoden der wiederholten submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung, zur Verbesserung des Muskelquerschnitts (modif. n. BÜHRLE 1985b, 96)

### 3 Die Intensität als Steuerungsparameter im Krafttraining

Innerhalb der Trainingswissenschaft ist die Beanspruchung die zentrale Regelgröße um Adaptationen im Sinne von Training zu erzielen. Zur Ermittlung von Beanspruchungen liegt in der Arbeitswissenschaft (speziell in der Ergonomie) ein anerkanntes und gleichermaßen bewährtes Konzept - das **Belastungs-Beanspruchungs-Konzept** - vor. Die Sportwissenschaft mit ihren Teildisziplinen, sollte sich dieser konzeptuellen Vorarbeiten bedienen und prüfen, inwieweit das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept in der Lage ist, die Probleme innerhalb der Sportwissenschaft zu erklären, bzw. inwieweit es modifiziert werden muß, um für Fragen der Sportmotorik einen Erklärungswert zu erhalten (WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991, 8).

Während jedoch das Ziel der Arbeitswissenschaft darin besteht, die Arbeit an den Menschen anzupassen, indem bei gleicher Leistung die Beanspruchung vermindert wird, ist die Zielstellung der Trainingswissenschaft, den Organismus an die Trainingsanforderung (Belastung) anzupassen.

*„Es geht im Training darum, die Belastungen so auszuwählen, daß optimale Beanspruchungen im Sinne einer zielgerichteten Beeinflussung der Eigenschaften induziert werden ...“ (WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991, 13).*

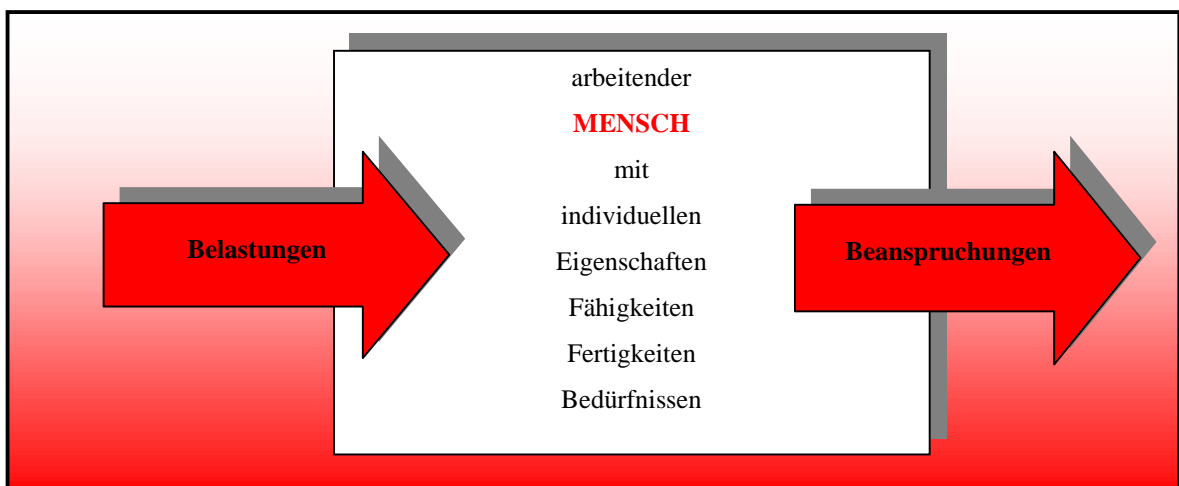


Abb. 6: Vereinfachter Zusammenhang zwischen Belastung und Beanspruchung (modif. n. ROHMERT 1984, 195)

### 3.1 Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept in der Sportwissenschaft

Sportliches Training beabsichtigt, den Organismus an Trainingsanforderungen zu adaptieren. Dabei soll entweder eine gegebene Funktionstüchtigkeit eines Organismus (Gesundheitstraining) stabilisiert oder so verändert werden, daß daraus höchste Leistungen resultieren (Leistungstraining). Diese Adaptationsvorgänge wurden theoretisch mit dem „*Superkompensations-Prinzip*“ erklärt. Während einer Belastung (Trainingsbelastung) antwortet der Organismus zunächst mit einer katabolen Reaktion, d.h. die Funktionstüchtigkeit bzw. Leistungsfähigkeit wird herabgesetzt. In der Erholungsphase vollziehen sich dann die beabsichtigten Anpassungsvorgänge. Bei einer optimal dosierten Belastung, übersteigt die Funktionstüchtigkeit in der anabolen Wiederherstellungsphase außerdem zeitlich befristet das ursprüngliche Ausgangsniveau. Es kommt zur Superkompensation (JAKOWLEW 1972, 367). Da die Superkompensation jedoch weder experimentell nachweisbar (bis auf die Untersuchungen zum Muskelglykogen/Leberglykogen, siehe VIRU 1996) noch theoretisch begründbar ist, wurden Kritikpunkte laut. Diese Kritikpunkte beziehen sich auf die *Linearität*, *Heterochronizität*, *Individualität* der Anpassung, den *Geltungsbereich* oder auch die *Operationalisierung* von *Ermüdung* als Voraussetzung dieser Prozesse (vgl. OLIVIER 1996, 39; SCHLICHT 1992, 33-38; VERCHOSHANSKIY/VIRU 1990, 11). Hier könnte das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept übertragen in den Bereich der Sportwissenschaft, einen Beitrag zur Theorie der Adaptation leisten bzw. als Metatheorie in der Sportwissenschaft fungieren (vgl. WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991, 27).

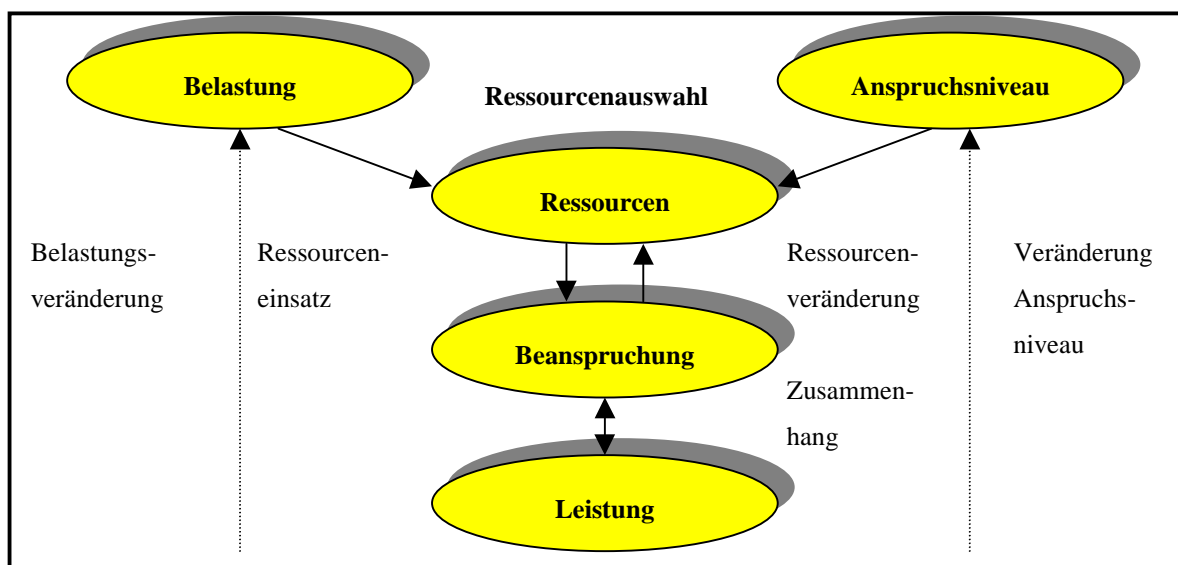


Abb. 7: Die Grundstruktur einer „Beanspruchungstheorie sportlichen Wettkampfes und Trainings“ (n. OLIVIER 1998, dvs-Sommerakademie Saarbrücken)

### 3.2 Belastungs-/Beanspruchungsermittlung

Grundlage für die Trainingsplanung ist die anzusteuernde Beanspruchung. Da die Belastung eine Ursache der Beanspruchung ist, setzt die Planung der Beanspruchung immer Aussagen zur Belastung voraus. In Anlehnung an die Arbeitswissenschaft (Ergonomie) kann die Belastung im Training (speziell für den Bereich des Krafttrainings) nach Belastungsfaktoren und Belastungsgrößen differenziert werden (vgl. POLLMANN 1993, 23f).

Zu den Belastungsfaktoren, die vorwiegend *qualitativ* beschreibbar sind, zählen die unterschiedlichen *Trainingsziele* (z.B. psychomotorische, kognitive, affektive Lernziele), *Trainingsinhalte* (z.B. allgemeinentwickelnde Übungen, Spezialübungen, Wettkampfübungen), *Trainingsmittel* (z.B. organisatorischer, gerätemäßiger, informativer Art), *Trainingsmethoden* (z.B. Maximalkrafttrainingsmethode, Bodybuildingmethode, Kraftausdauermethode) die Durchführung und der Schwierigkeitsgrad sportmotorischer Fertigkeiten sowie die Techniken (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 30, 128-134; WEINECK 1994a, 22).

*Quantitative* Beschreibungsgrößen der Trainingsbelastung sind die Belastungskomponenten (Belastungsnormative), *Trainingshäufigkeit* (Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche), die *Trainingsdauer* (Dauer der einzelnen Trainingseinheit oder die Gesamtheit des Trainings in einem Trainingszyklus) und die *Dosierung der Belastungsanforderung* in der Trainingseinheit, die durch *Belastungsumfang*, *Belastungsintensität*, *Belastungsdauer* und *Belastungsdichte* näher beschrieben werden (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 30).

Zur Beurteilung der Gesamtbelastung hinsichtlich der beanspruchten Trainingswirkungen ist die genaue Protokollierung der quantifizierten Belastungsnormative (Belastungshöhe, Wiederholungszahl, Pausenlänge und beabsichtigte Trainingswirkung) durch Trainer und Athleten eine grundlegende Voraussetzung (SCHMIDTBLEICHER 1987b, 370).

Die folgenden Definitionen und Ausdifferenzierungen der Belastungsnormative zeigen, daß diese immer bereits Beanspruchungsaspekte beinhalten, da die Variation der Belastung im Training beanspruchungsbestimmt ist (POLLMANN 1993, 25). Um dies zu verdeutlichen, werden die Normative jeweils unter dem „reinen“ *Belastungsaspekt* und unter dem *Beanspruchungsaspekt* dargestellt.

### 3.2.1 Reizintensität

„Reizintensität (Reizhöhe, Reizstärke, Trainingsintensität) ist die Ausprägung eines einzelnen Reizes oder einer Reizserie, also der Anstrengungsgrad- oder Einsatzgrad einer Übung“ (LETZELTER/LETZELTER 1990, 212).

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

*Beanspruchungsaspekt:*

„Eine Beurteilung der Reizintensität nach der quantifizierbaren Last ist für die Trainingspraxis nicht sinnvoll, da bei unterschiedlichem Kraftniveau von Sportlern die Beanspruchung verschieden ist“ (POLLMANN 1993, 25).

Deshalb muß die Reizintensität/Beanspruchungsintensität *subjektiv* beurteilt werden. Für das Krafttraining wird daher die Belastungshöhe prozentual zu dem Gewicht definiert, das der Sportler als Maximallast bewältigen kann. Zur Orientierung für die Trainingspraxis werden dann Rangskalen mit Prozentangaben vorgeschlagen, die mit qualitativen Urteilen (leicht, mittel, submaximal, maximal) über die Reizintensität gekoppelt werden (vgl. SCHOLICH 1988, 23).

Solch eine Intensitätsbestimmung entspricht der *deduktiven* Beanspruchungsermittlung in der Arbeits- und Sportwissenschaft (vgl. WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991). Dabei sollte jedoch immer vom aktuellen Leistungsniveau ausgegangen werden, d.h. eine Leistungseinbuße oder Leistungsverbesserung Berücksichtigung finden bzw. klar gemacht werden, worauf sich die 100% der Kraftentfaltung beziehen. Darüber hinaus bleiben Angaben über die Reizintensität zum Teil unpräzise, da die gleichen prozentualen Veränderungen der Belastung bei verschiedenen Krafttrainingsformen unterschiedliche Auswirkungen (Teilbeanspruchungen) nach sich ziehen.

### 3.2.2 Reizdauer

*„Reizdauer kennzeichnet die Zeit, in der ein einzelner Trainingsinhalt oder eine Serie von Trainingsübungen auf den Organismus einwirkt“ (LETZELTER/LETZELTER 1990, 213).*

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

*Beanspruchungsaspekt:* Wie aufgrund von experimentellen Untersuchungen festgestellt wurde, liegen je nach Trainingsziel unterschiedliche zeitliche Minima und Maxima vor, um optimale Trainingsanpassungen zu erreichen. Nach HOLLMANN/HETTINGER (1990, 230-231) soll die Reizdauer bei statischem Krafttraining mindestens 20-30% der bis zur Erschöpfung möglichen Anspannungszeit betragen, wobei die maximal mögliche Anspannungszeit ca. 10-15sec beträgt. Beim Kraftausdauertraining sollten die Übungsserien in der Regel bis an das Wiederholungsmaximum heranreichen. Im Schnellkraft- und Schnelligkeitstraining sollen hingegen Übungsserien und Belastungsphasen nur so lang sein, daß keine wesentliche Leistungsminderung durch Ermüdung auftritt, was an verlängerten Kontraktionszeiten, abnehmender Bewegungsfrequenz und verringerter Bewegungsamplitude sichtbar wird (HARRE 1986, 80).

### 3.2.3 Reizhäufigkeit

„Reizhäufigkeit bezieht sich auf die Anzahl der Einzelreize pro Serie oder pro Trainingseinheit und zeigt sich in der Wiederholungszahl“ (LETZELTER/LETZELTER 1990, 214).

*Beanspruchungsaspekt:* Die Reizhäufigkeit steht in enger Abhängigkeit von der Reizintensität, der Reizdauer und der Reizdichte, denn: Wie stark die Reizhäufigkeit die Wiederholungszahl und die Reizdauer mitbestimmt, hängt von der Reizintensität ab. Dies wird in der folgenden Abbildung sichtbar, welche die Anzahl möglicher Wiederholungen pro Übungsserie auf die Reizstärke (z.B. die Zusatzlast beim Training mit Scheibenhantel) abstellt. Während bei fast maximalen Belastungen nur ein bis drei Wiederholungen gelingen, steigt die Wiederholungszahl bei 50% Zusatzlast auf 10 bis 20 und bei Zusatzlasten von 30% auf über 20 an (LETZELTER/LETZELTER 1990, 214).

Dieser Sachverhalt, welcher die Abhängigkeit der Wiederholungszahl von der Intensität repräsentiert, wird Gegenstand der empirischen Untersuchung im zweiten Teil der Arbeit sein.

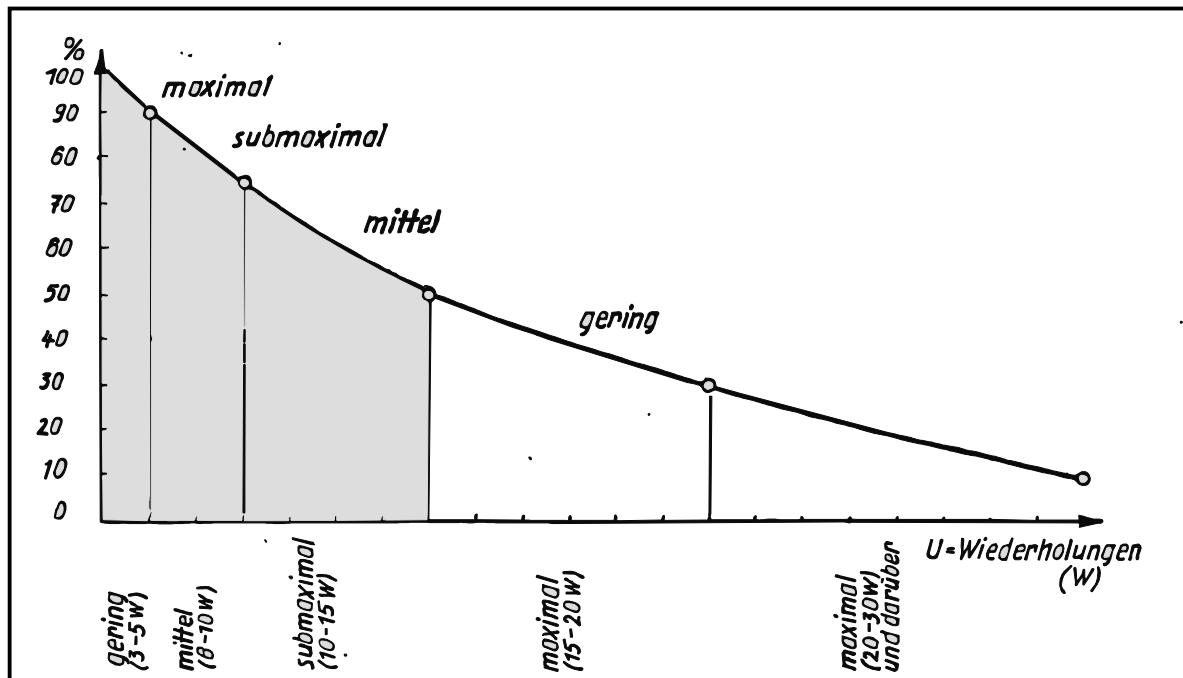


Abb. 8: Anzahl der Wiederholungen pro Übungsserie in Abhängigkeit von der Reizintensität (modif. n. SCHOLICH 1974, 13)

### 3.2.4 Reizumfang

„Reizumfang (Trainingsumfang) beschreibt die Summe aller Einzelreize“ (LETZELTER/LETZELTER 1990, 215).

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

*Beanspruchungsaspekt:* Eine Quantifizierung des Trainingsumfang anhand der gehobenen Gesamtlast ist nur dann aussagekräftig, wenn eine gleichbleibende Intensität gewählt wurde. Da man jedoch in den seltensten Fällen mit gleichbleibender Intensität trainiert, scheint es sinnvoller zu sein, den Reiz- (Trainingsumfang) nach Intensitätsbereichen (% der individuellen maximalen Muskelkräfte) aufzuschlüsseln (vgl. SCHMIDTBLEICHER 1987b, 370).

### 3.2.5 Reizdichte

„Reizdichte ist die zeitliche Aufeinanderfolge einzelner Übungen und Serien. Eine hohe Reizdichte liegt bei kurzen Pausen vor, eine niedrige bei langen Pausen“ (LETZELTER/LETZELTER 1990, 217).

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

*Beanspruchungsaspekt:* Die Reizdichte ist entscheidend für die Regulation von Belastung und Erholung - (Teil-)erholung - und hat somit eine besondere Bedeutung. Bei der Erholung zwischen Serien sind die beiden Pausentypen vollständige und unvollständige oder auch lohnende Pause zu unterscheiden. Unabhängig vom jeweiligen Trainingsziel gilt für

die Planung der Reizdichte: Je besser die Leistungsfähigkeit, desto kürzer die Pausen. Angelehnt an SCHOLICH (1988, 14-15) können dabei drei Grundregeln zur Pausengestaltung bei definierten Intensitäten unterschieden werden, wobei jedoch nur metabolische Beanspruchungen Beachtung finden:

- Nach hohem Krafteinsatz pro Zeiteinheit oder nach einer Zusatzbelastung von mehr als 90% ist zur Wiederherstellung eine echte Erholungspause von mindestens drei bis fünf Minuten notwendig.
- Nach submaximalem Krafteinsatz bzw. bei einer Zusatzlast von rund 75% der Maximallast muß bei schneller Übungsausführung zur vollen Wiederherstellung eine Pause von zwei bis drei Minuten eingeplant werden.
- Nach mittlerem Krafteinsatz bzw. bei Zusatzlasten von etwa 60% der Maximallast genügt eine kurze, unvollständige Pause von 45sec bis zu zwei Minuten.

Zusammenfassend sollen die Belastungsnormative in ein Zusammenhanggefüge von Belastungsanforderung, Reiz und Beanspruchung integriert werden. Sie sind somit jene „Beschreibungsgrößen“ der Belastungsanforderung, die Aussagen darüber machen, auf welche Weise, d.h. wie umfangreich, wie intensiv, wie oft, wie lange und mit welchen Intervallen, eine bestimmte Art der Übungsausführung realisiert werden kann (vgl. MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 92).

### 3.3 Belastungs-/Beanspruchungsermittlung im Krafttraining

Wie aus den bisherigen Ausführungen zu entnehmen ist, stellt die anzusteuernde Beanspruchung die zentrale Orientierungsgröße für die Steuerung und Regelung des Trainings dar, wobei ein *deduktiver* und ein *induktiver* Weg der Beanspruchungsermittlung unterschieden wird. Subjektive Beanspruchungseinschätzungen, welche bspw. über Fragebögen eine Intensitätssteuerung bei statischen und dynamischen Kontraktionen vornehmen (vgl. GUTENBRUNNER 1990, 28ff) haben in der Krafttrainingspraxis bisher noch keine befriedigende Lösung erbracht. Daher erfolgt die deduktive Beanspruchungsermittlung im Krafttraining auf der Basis der maximalen Leistungsfähigkeit (Maximalkraft), wobei die prozentuale Kraftbelastung so gewählt wird, daß die Beanspruchung in einem jeweils spezifischen Krafttrainingsbereich (Maximalkraft, Schnellkraft, Kraftausdauer) ein Optimum erfährt. Problematisch an dieser Art der Beanspruchungsermittlung ist, daß die entscheidende Bezugsgröße, die maximale Leistungsfähigkeit (isometrische vs. konzentrische Maximalkraft) nicht so einfach zu bestimmen ist (Gefahr von Verletzungen und Schädigungen, Probleme meßtechnischer sowie praktikabler Art, Operationalisierungsschwierigkeiten und definitorische Unklarheiten, Kontrolle von Einflußfaktoren usw.) und zeitlichen und persönlichen Schwankungen unterliegt, wie bspw. die Motivation und Bereitschaft die maximale Kraft zu entwickeln (vgl. LETZELTER/LETZELTER/STEINMANN 1990; LI/BÜHRLE/KIBELE/MÜLLER/SCHWIRTZ 1991).

Aus diesem Grund wurden Hilfsmittel konzipiert, die Angaben über die Relation von Maximalkraft und Wiederholungszahl bei submaximalen Intensitäten machen. Diese Zusammenhangsbeschreibungen, meist in graphischer bzw. tabellarischer Form dargestellt, sollen immer dann in der Trainingspraxis Anwendung finden, wenn aufgrund obiger Ausführungen keine Maximalkraftbestimmung durchgeführt werden kann oder diese für nicht sinnvoll erachtet wird.

So stellten 1965 ZATSIORSKY und KULIK eine solche Beziehung zwischen Wiederholungszahl und relativem Hantelgewicht bei 16 Gewichthebern im Bankdrücken fest. Diesen Erkenntnissen folgten in den anschließenden Jahren und Jahrzehnten immer weitere Untersuchungen die sich mit diesem Problem der Intensitätsbestimmung beschäftigten, was sich an der Fülle der Veröffentlichungen zu diesem Thema niederschlägt (ZATSIORSKY 1977; ZATSIORSKY/KULIK/SMIRNOV 1968, 1977), speziell im deutschsprachigen Raum

(BAYER/RAMLOW 1993; FESER 1977; HARRE 1988; HARTMANN/TÜNNEMANN 1990; KOVARIK 1991; SCHOLICH 1988). Daraus abgeleitet werden Trainingsempfehlungen, mit welcher Intensität bzw. Wiederholungszahl in Gesundheits-, Freizeit-, Breitensport und Leistungssport die „optimalen“ Trainingserfolge zu realisieren seien (BÜHRLE 1985b; HOTTENROTT/ZÜLCH 1997; LETZELTER/LETZELTER 1990; MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993; SCHMIDTBLEICHER 1985b, 1987a, 1987b; WEINECK 1994b).

ZATSIORSKY selbst schreibt hierzu:

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

Ähnliche Überlegungen wurden bereits 1945 von DE LORME zur Beurteilung der muskulären Kraftentwicklung dargelegt und von TESCH (1994b, 369-370) für den Bereich des Bodybuilding und von EVJENTH/SCHOMACHER (1997, 45) für die manuelle Therapie wieder aufgegriffen. Dabei besteht die Grundidee des Verfahrens darin, die Kraft durch die Wiederholungszahl zu definieren, die eine bestimmte Masse bis zur subjektiven Erschöpfung maximal angehoben werden kann ( $RM = Repetition Maximum$ ).

Jedoch ist auch diese Methode mit Schwierigkeiten behaftet, da verschiedenste Einflußgrößen, wie bspw. die Art der Bewegung, Ausführung der Bewegung, Probandenklientel, die Beziehung von Wiederholungszahl und Größe der gehobenen Last (submaximale Intensitäten) beeinflussen können. Dies sollte beachtet werden, wenn der Gültigkeitsbereich eines solchen Verfahrens zur Disposition steht. Dies hat auch ZATSIORSKY (1965, 1996) bei seinen Ausführungen immer wieder betont und darauf aufmerksam gemacht, daß gewisse Variationen in der Anzahl der Wiederholungen festzustellen sind (vgl. Abbildung neun).

*„Allerdings besteht 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. Dieses Verhältnis variiert bei verschiedenen Sportlern und Bewegungen“ (ZATSIORSKY 1996, 108).*

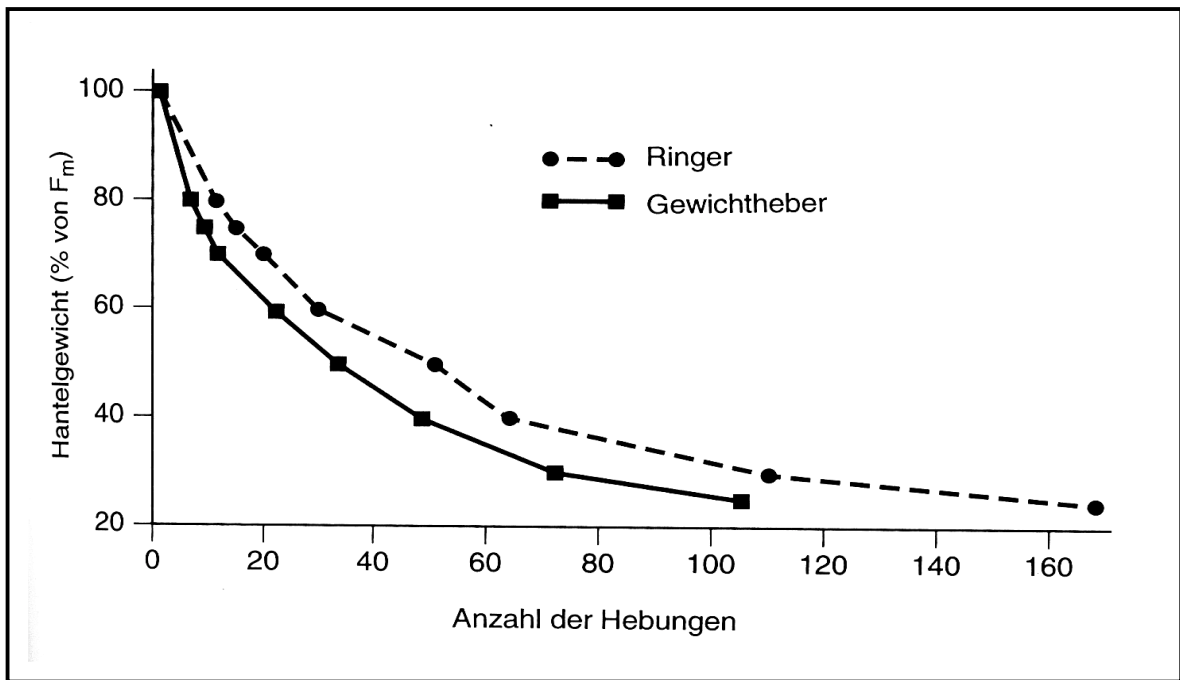


Abb. 9: Abhängigkeit der maximalen Wiederholungsanzahl bis zum Abbruch (RM, Abszisse) vom gehobenen Gewicht (%  $F_{mm}$  Ordinate) beim Bankdrücken. Probanden: je ein Spitzensportler im Ringen und Gewichtheben. Die Bankdrückversuche waren jeweils 2,5 sec auszuführen. (n. ZATSIORSKY/KULIK/SMIRNOV 1968. In: ZATSIORSKY 1996, 109 )

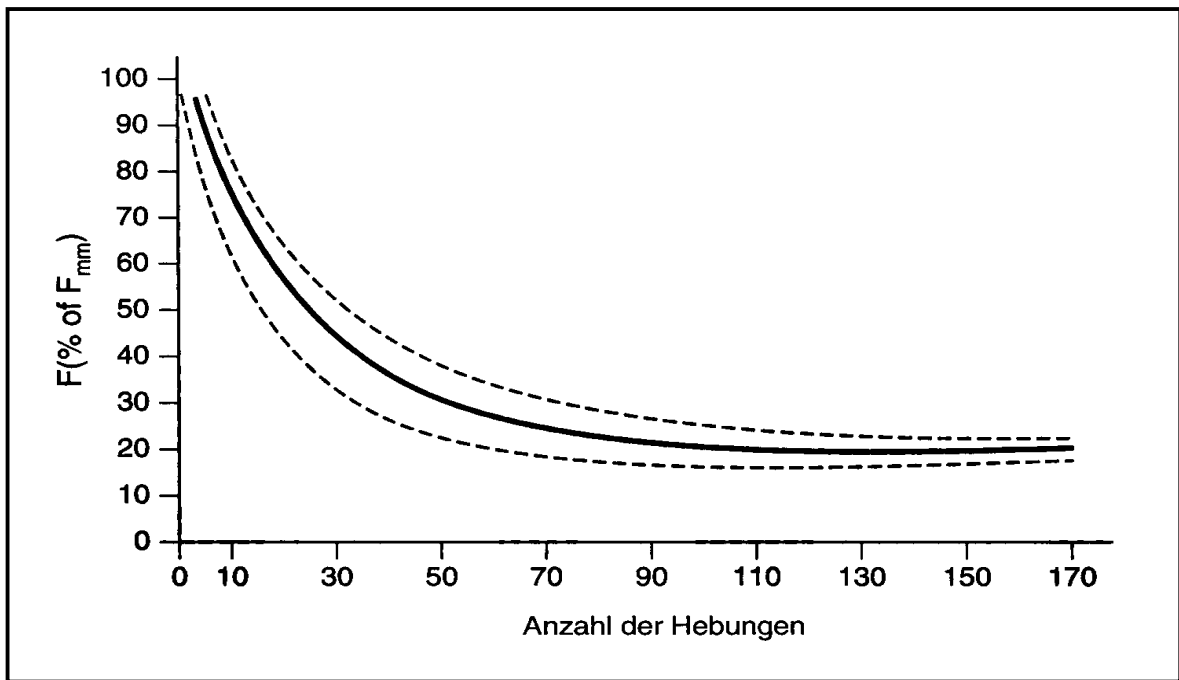


Abb. 10: Abhängigkeit der Wiederholungsanzahl im Bankdrücken vom relativen Hantelgewicht. Mittelwerte von 16 Gewichthebern. Die durchgezogene Linie repräsentiert die gerundeten Mittelwerte, die unterbrochenen Linien geben die Standardabweichung an (n. ZATSIORSKY/KULIK 1965. In: ZATSIORSKY 1996, 247)

Aufbauend auf diesen Zusammenhangsbeschreibungen (Wiederholungszahl in Abhängigkeit von der Intensität) wurden in den folgenden Jahren immer generalisiertere Aussagen bzw. Darstellungen veröffentlicht (MATWEJEW 1981, 52; WEINECK 1994b, 243). Dadurch wurde der Gültigkeitsbereich stark ausgedehnt (keine Einschränkung bzgl. verschiedener Sportler und Bewegungen, sowie keine Variation in der Anzahl der Wiederholungen), was die konkreten Angaben zur Trainingssteuerung und Trainingsplanung zweifelhaft erscheinen läßt (BÜHRLE 1985b, 96; SCHMIDTBLEICHER 1985b, 27-29; 1987b, 367-368). Vielmehr erscheint eine Variation in der Anzahl der Wiederholungen begründet, da verschiedenste Einflußgrößen das Verhältnis von Wiederholungszahl und Intensität dermaßen bestimmen, daß eine unterschiedliche Wiederholungsanzahl bei definierter Intensität zu erwarten ist (vgl. BAYER/RAMLOW 1993; HOFMANN 1998, Vorstudie - Praktisches Arbeiten in der Trainingswissenschaft SS 1997).

## 4 Leistungsbeeinflussende Faktoren der Muskeltätigkeit

Wie bereits bei den Darstellungen zur Maximalkraft deutlich wurde, ist die Kraft allgemein von verschiedenen intraindividuellen und interindividuellen Faktoren und Gegebenheiten abhängig und variiert je nach Art der Aufgabe und deren Realisation. Angelehnt an die Bestimmungsgrößen der Kraft von DE MARÉES (1996, 94); HOLLMANN (1987, 406f), HOLLMANN/HETTINGER (1990, 184) sowie SCHMIDTBLEICHER (1987b, 357) sollen in diesem Kapitel sowohl auf makrostruktureller, als auch auf mikrostruktureller Ebene Faktoren erklärt werden, die für die Realisierung von Kraftfähigkeiten, speziell der Maximalkraftfähigkeit und der Kraftausdauerfähigkeit, verantwortlich sind.

### 4.1 Anatomisch - morphologische Faktoren der Kraftentfaltung

#### 4.1.1 Muskelformen

Die Muskelformen sind außerordentlich vielfältig und variantenreich, richten sich aber nach ihrer Funktion. Somit lassen sich häufig wiederkehrende Formen in Klassen zusammenfassen, wobei besonders das Verhältnis der Muskulatur zur Sehne für die Einteilung Berücksichtigung findet. So werden zum einen *lange* und *kurze spindelförmige* Muskeln unterschieden. Sie sind die einfachste Form des Muskels, wobei der Muskel von beiden Seiten in eine Sehne übergeht. Sonderformen hiervon sind die mehrköpfigen, meist *zweiköpfigen* (bspw. *M. biceps femoris*), *dreiköpfigen* (bspw. *M. triceps suare*), sowie *vierköpfigen* (bspw. *M. quadriceps femoris*) Muskeln (u.a. TITTEL 1994, 65). Bei einer anderen Form des Muskels, dem *gefiederten* Muskel zieht die Sehne hoch bis zum Muskelbauch, so daß die Muskeln von der Seite in die Sehne einstrahlen, ähnlich dem Aufbau einer Feder. Je nachdem, ob die Muskeln nur von einer Seite oder von beiden Seiten einstrahlen, werden *einfachgefiederte* (*halbgefiederte*) oder *doppeltgefiederte* Muskeln unterschieden (FALLER 1988, 62; KUHN 1992, 61-62; NÖCKER 1980, 5, 7; WEINECK 1988, 59; WIRHED 1988, 10). Durch die unterschiedliche Fiederung wird erreicht, daß eine große Anzahl von Muskelfasern an einer Sehne ansetzen können und dadurch der physiologisch wirksame Querschnitt relativ groß wird (vgl. ROY/EDGERTON 1994, 121-125; TITTEL 1994, 65). Gefiederte Muskeln sind vor allem Muskeln, die für große Krafteinsätze verantwortlich sind, während spindelförmige oder parallelfasrige Muskeln für schnelle Kontraktionen prädestiniert sind (vgl. GOLDSPINK 1994, 215; TITTEL 1994, 65; WIRHED 1988, 11).

### 4.1.2 Muskelarten

Von den verschiedenen Muskelarten soll hier nur die *quergestreifte* Muskulatur (Skelettmuskulatur) Beachtung finden. Sie besitzt zwar in ihrer Gesamtheit eine allgemeine Grundstruktur (*Myofilamente*), wird aber aufgrund unterschiedlicher metabolischer, physiologischer und anatomischer Merkmale in drei unterschiedliche Muskelfasertypen differenziert. Bestimmt von genetischen Einflüssen und Routinebeanspruchungen entwickelten sich sogenannte *tonische* (*dünne, dunkelfarbige*) und *phasische* (*dickere, blaßgefärbte*) Muskeln. Neuerdings spricht man von *roten* und *weißen* Muskelfasern. Eine dritte Faserqualität nimmt eine Mittelstellung zwischen beiden ein und wird deshalb als *intermediär* bezeichnet (HOLLMANN/HETTINGER 1990, 38). Die phasischen (weißen) Muskelfasern zeichnen sich durch eine hohe Kontraktions- und Erschlaffungsgeschwindigkeit aus (schnelle Zuckungsfaser). Die tonischen (roten) Muskelfasern dagegen sind durch eine langsamere Kontraktions- und Erschlaffungsgeschwindigkeit charakterisiert (langsame Zuckungsfaser). Im Muskel, welcher für schnelle Bewegungen verantwortlich ist, überwiegen die schnellen Fasern, in den Haltemuskeln die langsamen Muskelfasern. Die Farbdifferenz erklärt sich aus dem unterschiedlichen Gehalt an Myoglobin, dem roten Muskelfarbstoff (vgl. RÜEGG 1995, 70).

#### 4.1.2.1 Langsame Muskelfasern (*ST-Fasern, slow twitch fibers*)

Die langsamen Skelettmuskelfasern überwiegen in Muskeln mit vorwiegend stützmotorischer Funktion, wie z. B. dem *M. soleus* (Schollenmuskel) im Wadenbereich (DE MARÉES 1996, 83; HOWALD 1985, 35; 1989, 18; RÜEGG 1995, 70). Sie werden von kleinen  $\alpha$ -Motoneuronen des Rückenmarks über langsam leitende Neuriten versorgt, welche Dauererregungen mit einer geringen Frequenz (10-20 Aktionspotentiale/sec) aussenden. Somit kommt es zu einer länger anhaltenden Kontraktion der ermüdungsresistenten Muskelfasern (slow twitch fibers).

Die langsam zuckenden Muskelfasern, auch als **Typ I** Muskelfasern bezeichnet, besitzen einen bis zu 5-fach höheren Myoglobingehalt, sind reich an aeroben Enzymen und Organellen, sind relativ dünn und von vielen Kapillaren umgeben, wodurch die Diffusionsstrecken für Sauerstoff möglichst kurz sind (vgl. DE MARÉES 1996, 83; ROHEN/LÜTJENDRECOLL 1990, 158). Außerdem weisen sie eine hohe Lipoprotein-Lipase Aktivität auf

(TITTEL 1994, 59). Somit sind sie prädestiniert für Aktivitäten mit geringerer Intensität und längerer Dauer. Nach FLECK/KRAEMER (1987) sind die langsamen Muskelfasern:

*„... ideal for the performance of low-intensity, long-duration (endurance) activities: Such activities include long distance running and swimming, and long sets of an exercise (20 repetitions and up)“ (FLECK/KRAEMER 1987, 143).*

#### 4.1.2.2 Schnelle Muskelfasern (FT-Fasern, fast twitch fibers)

Die schnellen Muskelfasern überwiegen in Muskeln mit primär zielmotorischen Funktionen, sie können sich schneller als die roten Muskelfasern kontrahieren (fast twitch fibers), da sie über schnellleitende Neuriten innerviert werden, die von größeren  $\alpha$ -Motoneuronen ausgehen (DE MARÉES 1996, 83). Die Motoneurone ermüden allerdings rascher und zeigen nur während der Bewegungsabläufe kurzfristige Aktionspotentialsalven von durchschnittlich 40 Hz. Die schnellen Muskelfasern sind dicker und damit zur größeren Kraftentwicklung fähig (vgl. GHEZ/GORDON 1996, 516-517). Ihren Energiebedarf für die eher schnellkräftigen Bewegungen stellen sie anaerob bereit und sind deshalb reich an Enzymen der Glykolyse (vgl. BILLETTER/HOPPELER 1994, 63; ROHEN/LÜTJEN-DRECOLL 1990, 159). Nach FLECK/ KRAEMER (1987) sind die schnellen Muskelfasern

*„... suited to the performance of high-intensity, short-duration work bouts as evidenced by their biochemical and physical characteristics. Such work bouts include a 40-yard sprint, a one-RM lift, and short sets (2-4 repetitions) of an exercise“ (FLECK/KRAEMER 1987, 141).*

Sie bestehen vorwiegend aus **Typ II** Muskelfasern, welche sich in Typ IIA- und Typ IIB-Fasern differenzieren. Da sie bei der Kontraktion sehr viel ATP spalten und damit viel Energie in kurzer Zeit umsetzen, ermüden sie schneller als die Typ I-Fasern (RÜEGG 1995, 71). Aufgrund ihres unterschiedlichen Gehaltes an Mitochondrien werden von energetischer Seite her die schnellen Typ II-Fasern weiter ausdifferenziert in:

- Mitochondrienreichere, sich schneller kontrahierende *fast twitch oxidative fibers* (FTO-Fasern), die etwa 50% bis 70% der Gesamtmenge ausmachen, und in
- Mitochondrienärmere, sich etwas langsamer kontrahierende *fast twitch glycolytic fibers* (FTG-Fasern), die zu 30% bis 50% vertreten sind.

#### 4.1.2.3 Intermediäre Muskelfasern

Die intermediären Muskelfasern, auch Typ IIC-Fasern genannt, die in ihren Eigenschaften zwischen den beiden erstgenannten Formen stehen, vereinigen sowohl Merkmale der schnellen Muskelfasern, als auch Merkmale der langsamen Muskelfasern, was für die Trainierbarkeit von entscheidender Bedeutung ist. Angelehnt an NÖCKER (1980, 7) ergeben sich dabei folgende praktische Gesichtspunkte:

- Bei der Stimulation der Skelettmuskulatur sprechen bei maximaler Beanspruchung die fast-twitch Fasern, bei submaximaler Beanspruchung die slow twitch Fasern und Intermediär-Fasern an.
- Die Trainierbarkeit des glykolytischen Enzymsystems in den fast-twitch Fasern ist relativ begrenzt, so daß auch maximale Beanspruchung nur eine geringe Enzymverbesserung auslöst. Hinzu kommt, daß bei längerer maximaler Beanspruchungsdauer die intramuskulären Glykogendepots schnell erschöpft werden.
- Langanhaltende Energieproduktion läuft vor allem in den slow-twitch und intermediär Fasern ab.

Seit der Einführung der Nadel-Biopsie-Technik zur Untersuchung struktureller und funktioneller Veränderungen in der Skelettmuskulatur sind bislang zahlreiche Publikationen erschienen, in denen der Nachweis geführt wurde, daß Langstreckenläufer, Radrennsportler, Ruderer und Skilangläufer im *m. vastus lateralis* und im *m. gastrocnemius* relativ mehr slow-twitch-Fasern (Typ I) aufweisen. Demgegenüber besitzen Sprinter, Springer und Kraftathleten überwiegend Typ II (fast-twitch-Fasern) mit der Ausprägung IIB und IIA

(vgl. DAUGS 1987, 328; KOMI 1989, 32). Diese Unterschiede in der Zusammensetzung des Skelett-Faserspektrums, die bei den Athleten beobachtet wurden, warfen die Frage auf, ob die Muskelstruktur des einzelnen Athleten primär durch Umwelteinflüsse (Training) bedingt, oder ob diese genetisch determiniert ist. Studien an eineiigen Zwillingen haben zu meist eine völlige Identität hinsichtlich der Muskelstruktur ergeben. Diese Befunde unterstreichen die Dominanz des genetischen Faktors bezüglich des Muskel-Faserspektrums.

Andererseits besteht Klarheit darüber, daß sich sowohl die Ultrastruktur als auch die metabolische Kapazität jeder einzelnen Muskelfaser spezifisch dem unterschiedlichen Training anpaßt (vgl. RÖCKER/MELLER/MELLEROWICZ/STOBOY 1971, 281-286). Unter Berücksichtigung der möglichen Umwandlung von einem zum anderen Fasertyp ist es wahrscheinlicher, die verschiedenen fast-twitch-Fasern (Typ IIA, IIB und IIC) in slow-twitch-Fasern (Typ I) umzuwandeln, als umgekehrt (KOMI 1989, 32; vgl. TESCH 1987; 1994a, 242; TITTEL 1994, 59). Eindeutig scheint jedoch zu sein, daß das Muskelfaser-Profil sowohl durch genetische als auch Umwelt- (Trainings-) Faktoren bestimmt wird (vgl. DAUGS 1987, 324-332; HOWALD 1985, 49; 1989, 24).

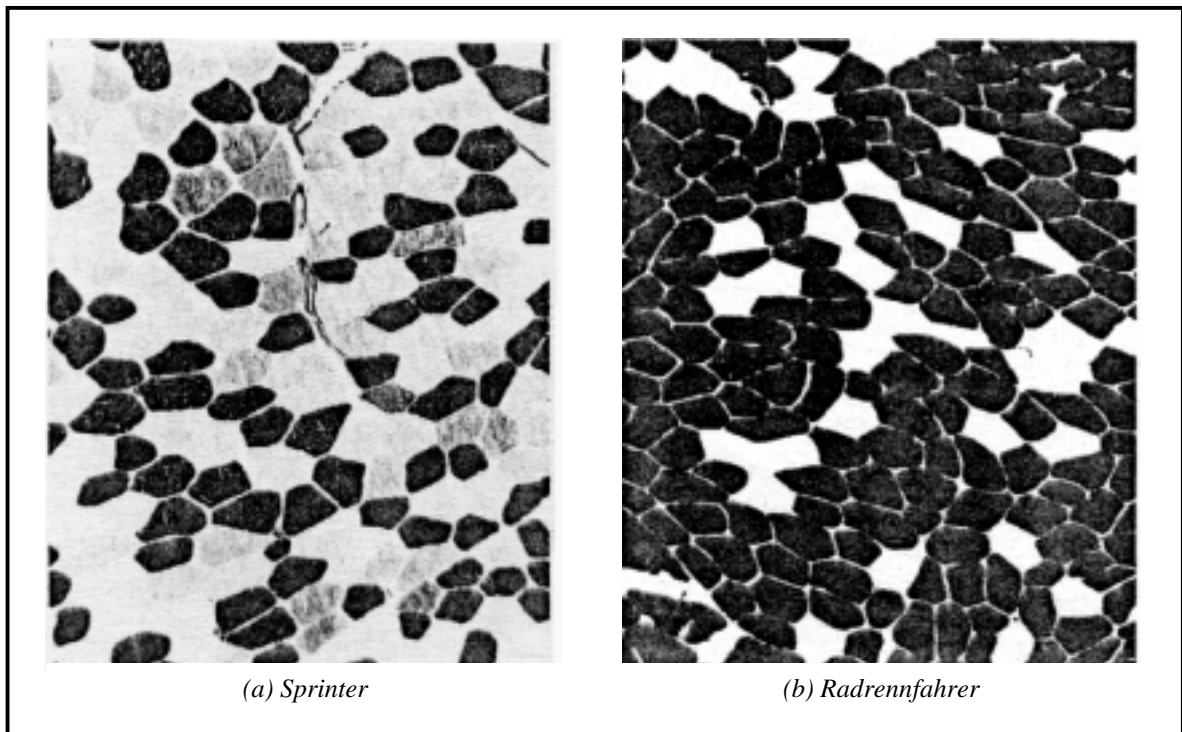


Abb. 11: *M. vastus lateralis* eines guten Sprinters (a) und eines Berufsradsrennfahrers (b). ATPase-Färbung nach Vorinkubation bei pH 4,6 (n. HOWALD 1985, 38)

### 4.1.3 Muskelquerschnitt

Da die Kraft auch von dem Muskelquerschnitt der eingesetzten Muskelmasse abhängt, können Sportler mit einem höheren Körpergewicht (Weltrekordler im Gewichtheben weisen eine sehr enge Korrelation von 0,93 zwischen der sportlichen Leistung und dem Körpergewicht auf) auch höhere Kräfte entwickeln (vgl. ZATSIORSKY 1996, 85). Um nun vergleichende Aussagen zu Kraftfähigkeiten zwischen verschiedenen Menschen machen zu können, wird gewöhnlich die Kraft pro Kilogramm Körpergewicht (Relativkraft) berechnet (vgl. TITTEL/WUTSCHERK 1994). Andererseits wird die Muskelkraft, wenn sie nicht auf das Körpergewicht bezogen wird, als Absolutkraft (ZATSIORSKY 1996, 86) bezeichnet. Nimmt nun das Körpergewicht bei Sportlern unterschiedlicher Gewichtsklassen und vergleichbarem Trainingszustandes zu, vergrößert sich auch die Absolutkraft, während sich die Relativkraft verringert (vgl. HOLLMANN/HETTINGER 1990, 179). Folgende Gleichung beschreibt den Zusammenhang zwischen Relativ- und Absolutkraft:

$$\text{Gl. 3: Relativkraft} = \frac{\text{Absolutkraft}}{\text{Körpermasse}}$$

In Bezug auf die begriffliche Differenzierung der Absolutkraft, im Zusammenhang mit *autonomer Reserve* und *Mobilisationsschwelle*, sei auf die einschlägige trainingswissenschaftliche Literatur, wie bspw. BÜHRLE (1985b, 89-90), MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993, 103); SCHMIDTBLEICHER (1987b, 357); SCHNABEL/HARRE/BORDE (1997, 133) verwiesen.

Die Angaben über die Kraft eines Muskels in situ schwanken zwischen 4 und 10 kg pro  $\text{cm}^2$ . Dabei liegen diese großen Schwankungsbreiten u.a. darin begründet, daß in allen Untersuchungen der Querschnitt des Muskels ermittelt und dieser Wert auf die Kraft bezogen wurde. Da sich der Muskelquerschnitt jedoch aus unterschiedlichen Anteilen, wie Myofibrillen, Sarkoplasma, interstitiellem Bindegewebe und Fettgewebe zusammensetzt, und deren genaue Differenzierung in Prozent in vivo praktisch nicht möglich ist, ergeben sich solch unterschiedliche Aussagen (HOLLMANN/HETTINGER 1990, 185). Darüber hinaus muß bei solchen Muskelquerschnitten noch die Faserrichtung beachtet werden, wobei man zwischen einem *anatomischen* Querschnitt (Muskelquerschnitt senkrecht zur Sehnenrichtung) und einem *physiologischen* Querschnitt (Muskelquerschnitt senkrecht zur Faserrichtung) unterscheidet (vgl. WEINECK 1988, 60f).

#### 4.1.4 Muskellänge

Bewirkt die Kraft eines Muskels eine Rotationsbewegung eines Körperteils um eine Achse (z. B. Kniegelenk), so stellt der an einem Dynamometer (Kraftmeßgerät) abgelesene Wert nicht die eigentliche Muskelkraft, sondern deren Lastwert dar (HOLLMANN/HETTINGER 1990, 195). Die eigentliche Kraft muß vielmehr aus der Gleichung des klassischen Hebelgesetzes, welche das Drehmoment der Kraft mit dem Drehmoment der Last vergleicht, errechnet werden:

$$\text{Gl. 4: Kraft (K)} \cdot \text{Kraftarm (k)} = \text{Last (L)} \cdot \text{Lastarm (l)}$$

Somit entspricht die Muskelkraft dem Ergebnis von:

$$\text{Gl. 5: } K = \frac{L \cdot l}{k}$$

Da in den meisten Muskelaktionen die Kraftwirkungslinie nicht in der kürzesten Verbindung der Angriffspunkte des Muskels liegt, sondern durch Knochen, Bänder und andere Teilstrukturen des Körpers umgelenkt wird, verändert sich die Muskelkraft in Abhängigkeit von seiner Länge (vgl. u.a. HOLLMANN/HETTINGER 1990, 195; RÜEGG 1995, 77). Somit ist die maximale Kraft, die ein Muskel entfalten kann, eine Funktion seiner Länge (Kraft-Längen-Relation). Da sich die Muskellänge und damit die Länge des Hebelarms im Verlauf einer Bewegung im Gelenk ständig ändert, ändert sich auch fortlaufend das maximale Moment, das ein Muskel ausüben kann (vgl. FELDER 1989). Das maximale Moment eines Muskels stellt somit eine Funktion der jeweiligen Gelenkstellung dar (vgl. HAY 1994, 200; WIEMANN 1994, 45).

Aufgrund dieser Erkenntnis läßt sich für jede Muskelgruppe ein optimaler Gelenkwinkel angeben, in dem die Kontraktionskraft ein Maximum erreicht (vgl. GUTEWORT/SCHMALZ/WANK/WEIB 1995; HAY 1994, 205; SCHREY 1991; STOBOY 1984, 14; 1987, 381; WANK 1996; ZATSIORSKY 1977, 32-33).

Begründet wird dieser Sachverhalt damit, daß sich die Aktin- und Myosinfilamente der Sarkomere der Myofibrillen in den einzelnen Gelenkwinkelstellungen unterschiedlich stark überlappen und sich auf diese Weise eine differierende Anzahl von Querbrücken bilden kann (BILLETTER/HOPPELER 1994, 58; EDMAN 1994, 108ff; HUIJING 1994, 136ff).

Wird aufgrund einer Muskeldehnung der Muskel über seine Ruhelänge  $l_0$  im unbelasteten Zustand auseinandergezogen, nimmt die isometrisch entwickelbare Kraft ab, da sich die Überlappungsbereiche zwischen Aktin und Myosin verringern. Hierbei nimmt auch die Zahl knüpfbarer Querbrücken ab, bis schließlich bei ca.  $> 3,5\mu\text{m}$  die isometrische Kraft nahezu Null ist (vgl. WIRHED 1988, 11-12). Verkürzt sich der Muskel unter seine Ruhelänge ( $< l_0$ ), so nimmt die entwickelbare Kraft ebenfalls ab und wird bei kleinstmöglicher Länge ebenfalls nahezu Null. Erklärt wird dieser Zustand damit, daß die Aktinfilamente dabei so weit in die Myosinzwischenräume gelangen, daß diese aufeinander und die Myosinfilamente gegen die Z-Membran stoßen (DE MARÉES 1996, 89). Die Brückenbildung wird behindert und so ist in diesem Zustand nur eine geringe Kraftentwicklung möglich. Bei einer Sarkomerlänge von ca.  $2,2\mu\text{m}$ - $2,0\mu\text{m}$  wird ein optimaler Überlappungsbereich zwischen den Filamenten angegeben (RÜEGG 1995, 77).

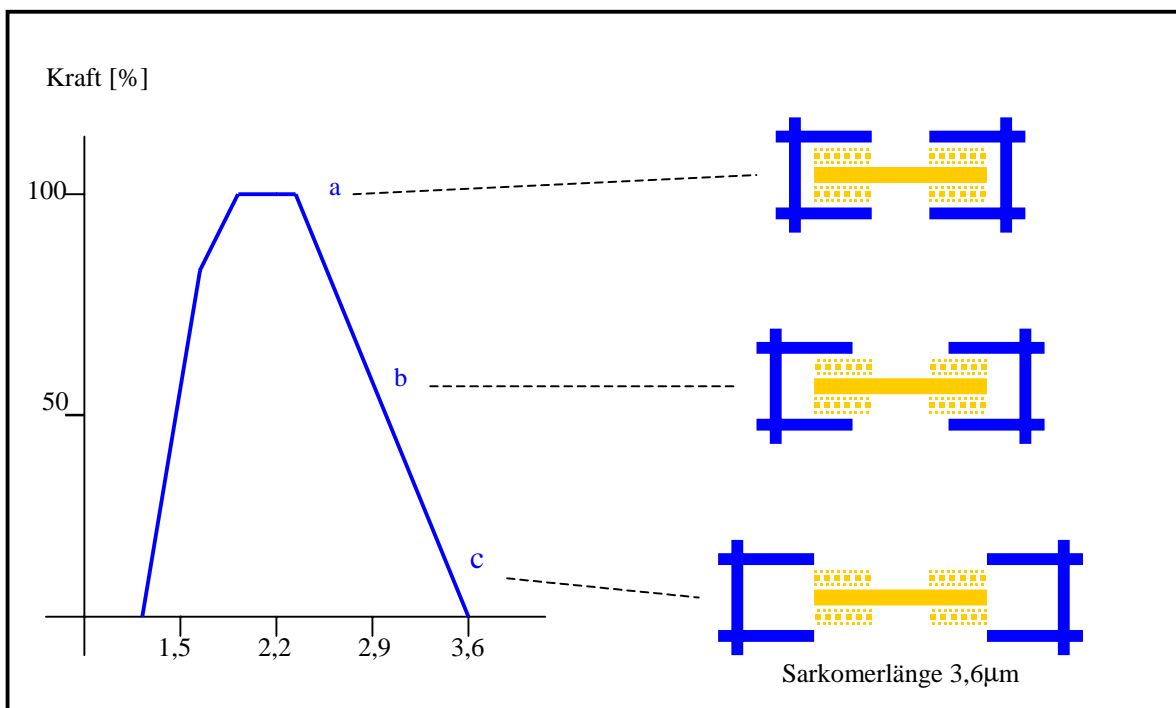


Abb. 12: Beziehung zwischen Kontraktionskraft, Sarkomerlänge und Filamentüberlappung (modif. n. RÜEGG 1995, 78)

#### 4.1.5 Muskelkraft und Kontraktionsgeschwindigkeit

Der Alltag lehrt, daß schwere Gegenstände bzw. Widerstände nur sehr langsam gehoben, bewegt oder geworfen werden können. Mit abnehmender Last wird umgekehrt die Verkürzungsgeschwindigkeit/Kontraktionsgeschwindigkeit des Muskels größer. Diese Kraft-Geschwindigkeitsbeziehung wurde bereits von HILL (1938) experimentell ermittelt und in Form einer Hyperbel mit folgender Gleichung (HILL'SCHE Gleichung) beschrieben (vgl. u.a. auch HOLLMANN/HETTINGER 1990, 273; WANK 1996, 22-31; ZATSIORSKY/KULIK/SMIRNOV 1977, 84-94):

$$\text{Gl. 6: Verkürzungsgeschwindigkeit } v = \frac{(\text{max.iso. Kraft } P_0 - \text{Last } P) \cdot b}{\text{Last } P + a}$$

$a = \text{Kraftkonstante}$ ,  $b = \text{Längenkonstante}$

Diese Beziehung läßt sich vereinfachen zu:

$$\text{Gl. 7: } v \sim \frac{P_0 - P}{P}$$

Daraus ergibt sich nach DE MARÉES (1996, 90) bzw. mathematisch logisch:

- Mit steigender Last nimmt die Verkürzungsgeschwindigkeit des Muskels ab und umgekehrt.
- Erreicht die Last  $P$  die maximale isometrische Muskelkraft  $P_0$ , wird obiger Quotient und damit die Verkürzungsgeschwindigkeit Null. D.h. die Kraft-Geschwindigkeits-Hyperbel schneidet die Kraftachse.
- Steigt die isometrische maximale Kraft  $P_0$  durch entsprechendes Krafttraining an, so ergibt sich, daß bei konstanter Last die Verkürzungsgeschwindigkeit zunimmt. Folglich kann dann eine submaximale Last mit größerer Verkürzungsgeschwindigkeit bewegt werden.

#### 4.1.6 Muskelschlinge

Funktionell anatomische Analysen haben gezeigt, daß selbst bei einfachen Bewegungsabläufen immer Kombinationen von Muskelgruppen beteiligt und selten isoliert einzelne Muskeln tätig sind. Solche, bei einer Bewegung funktionell zusammenarbeitende Einzelmuskeln, werden als *Muskelschlingen* bezeichnet (KUHNS 1992, 101, 150; TITTEL 1994, 192). Sie sind die Verbindungen der bei einer bestimmten Bewegung die Hauptarbeit leistenden und aufeinander abgestimmten Muskelgruppe. Die frühe Annahme, daß jeder Muskel - aufgrund seines Ursprunges und Ansatzes - eine spezielle Aufgabe verrichtet, ist nur bedingt tragfähig. Die Hauptfunktion von einzelnen Muskeln wird von der jeweiligen Muskelgruppenverbindung und den eingelagerten Knochen und Gelenken bestimmt und in Wirkung mit den äußeren Widerständen ausgeprägt (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 109). Somit können Muskelschlingen in Funktionseinheiten, die streckend (*Streckschlinge*), beugend (*Beugeschlinge*) und fixierend auf ein oder mehrere Gelenke wirken, unterschieden werden (u.a. KUHNS 1992, 150).

Muskeln, die sich bei einer solchen Bewegung aktiv kontrahieren (beugend/streckend) und zu einer Bewegung in einem Gelenk beitragen, werden als *Agonisten* bezeichnet. Dabei sind manche Muskeln Agonisten in Bezug auf eine oder mehrere Bewegungen in einem oder mehreren Gelenken. Agonisten, die sich innerhalb einer Muskelschlinge zu Funktionsgemeinschaften zusammenschließen und ähnliche Aufgaben erfüllen, werden zu *Synergisten*. Ihre Gegenspieler dabei sind die *Antagonisten*, die jeweils zum agierenden Agonisten die entgegengesetzte Funktion übernehmen (vgl. KNEBEL 1992, 37; TITTEL 1994, 194-195; WEINECK 1988, 63). An der Streckschlinge im Bereich der unteren Extremität soll die Funktionsweise kurz erläutert werden.

Wie bereits aus der plastischen Formung der Oberfläche der unteren Extremität (Abbildung 13) zu erkennen ist, sind die tätigen, streckenden Muskeln (Agonisten) der große Gesäßmuskel (*M. gluteus maximus*), der vierköpfige Schenkelstrecker (*M. quadriceps femoris*) sowie der Zwillingswadenmuskel (*M. gastrocnemius*), mit dem sich unter ihm seitlich vorwölbenden Schollenmuskel (*M. soleus*). Sie wirken in dieser Funktionseinheit als Synergisten zusammen. Um jedoch eine zweckmäßige, ökonomische und präzise Bewegung realisieren zu können, müssen abbremsende bzw. antagonistisch tätige (beugende) Muskeln in einer zweiten Muskelschlinge in Aktion treten. Dies ist die auf der Oberschenkelrückseite gelegene ischiocrurale Muskelgruppe (zweiköpfiger Schenkelmuskel, Halb-

und Plattensehnenmuskel - *M. biceps femoris*, *M. semitendinosus*, *M. semimembranosus*) sowie die auf der Vorderseite des Unterschenkels verlaufende Muskulatur (vorderer Schienbeinmuskel, langer Großzehenstrecker und langer Zehenstrecker - *M. tibialis anterior*, *M. extensor hallucis longus*, *M. extensor digitorum longus*). Sie sind in Form einer zweiten, ihrer Arbeitsleitung entsprechenden, schwächeren Muskelschlinge (vgl. KUHN 1992, 126, 136-139; TITTEL, 1994, 199) dargestellt.

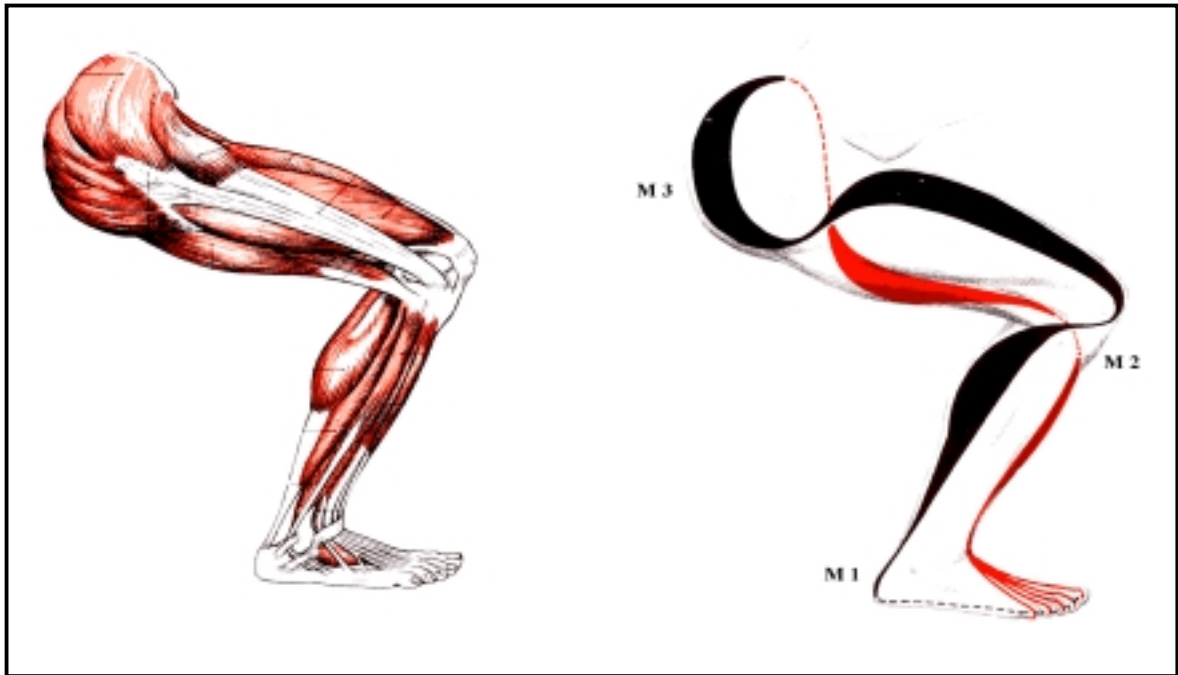


Abb. 13: Streckschlinge im Bereich der unteren Extremitäten (modif. n. TITTEL 1994, 199)

Das Modell der Muskelschlingen läßt allerdings die Bestimmung der Anteile der einzelnen Muskelgruppen am insgesamt erbrachten Kraftbetrag nur schätzungsweise zu, da sich die Summe des Kraftbetrages aus den Beträgen der drei Kraftmomente bzw. Drehmomente ( $M1 + M2 + M3$ ) zusammensetzt (vgl. TUSKER 1994, 15). Daraus läßt sich ableiten, daß mehrere Kombinationen der einzelnen Drehmomente zum gleichen Endbetrag der Kraft der gesamten Streckschlinge führen können. Das bedeutet wiederum, daß aus Messungen von Kräften, die durch die Wirkung von Muskelschlingen verursacht werden, keine präzisen Aussagen über die Muskelleistungen der einzelnen Muskelgruppen gemacht werden können (LI/BÜHRLE/KIBELE/MÜLLER/SCHWIRTZ 1991, 378; MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 110).

Andererseits verweisen HOLLMANN/HETTINGER (1990, 208) auf Korrelationen, von symmetrischen Muskelgruppen (rechte und linke Seite) sowie auf Korrelationen zwischen Flexoren und Extensoren, die in Größenordnungen von  $r = 0,80$  liegen. Zwischen dynamischer und statischer Kraft läßt sich ebenfalls eine hohe Korrelation nachweisen (durchschnittlich  $r = 0,80$ ). Daher kann eine Grobbeurteilung der dynamischen Kraft aufgrund der leichteren Messung der maximalen isometrischen Kraft (MVC) derselben Muskelgruppen vorgenommen werden.

Die Aktivierung eines Muskels, der eine bestimmte Bewegung durchführen soll, geht häufig mit einer gleichzeitigen Kontraktion der antagonistisch tätigen Muskulatur einher, also derjenigen Muskeln, die der intendierten Bewegung entgegenwirken (vgl. FELDER 1989). Eine solche gleichzeitige Aktivierung von Agonist und Antagonist erscheint zunächst kontraproduktiv, da sich das Nettodrehmoment in der Richtung der intendierten Bewegung um den Betrag der von den Antagonisten entwickelten Drehkräfte vermindert. TYLER und HUTTON (1986) wiesen sogar auf die Möglichkeit einer reziproken Hemmung, der in einer bestimmten Richtung tätigen antagonistischen Muskulatur, durch die gleichzeitig aktivierten Antagonisten, hin.

Fragt man sich nach dem Sinn dieser scheinbar nur paradoxen Aktivierung der Antagonisten, so werden von SALE (1994, 261-262) folgende Gründe angeführt:

- Antagonisten spielen eine wichtige Rolle bei der Bewegungskoordination im Sinne von Muskelschlingen.
- Speziell bei kräftigen Bewegungen wirken sie gelenkstabilisierend auf den Bandapparat ein.
- Sie bremsen und stabilisieren bei schnellkräftigen Bewegungen und wirken somit als Schutzmechanismus.

#### 4.1.7 Muskelkoordination

Aus physiologischer Perspektive verstehen HOLLMANN/HETTINGER unter Koordination:

*„Das Zusammenwirken von Zentralnervensystem und Skelettmuskulatur innerhalb eines gezielten Bewegungsablaufes“ (1990, 143).*

D.h. bei der Koordination einer Bewegung geht es vorrangig um die innere Organisation der optimalen Steuerbarkeit des Bewegungsapparates und seiner Teile; es geht um die Aneignung von Bewegungsfertigkeiten, die in einer Optimierung des Zusammenwirkens „motorischer Einheiten“ in einem Muskel (*intramuskuläre Koordination*) oder in verschiedenen Muskeln (*intermuskuläre Koordination*) unter Einbeziehung interner und externer Rückkopplungsmechanismen zu suchen sind (TITTEL 1989, 170). Bei dieser Betrachtungsweise geht es ausschließlich um neuromuskuläre Funktionen, welche die Aspekte der Bewegungsvorstellung sowie übergeordnete Handlungsprogramme außer acht lassen.

##### 4.1.7.1 Intermuskuläre Koordination

Die intermuskuläre Koordination stellt das Zusammenwirken verschiedener Muskeln, der Agonisten (Synergisten) wie der Antagonisten, bei einem gezielten Bewegungsablauf dar (BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER 1981, 13; HOLLMANN/HETTINGER 1990, 143; LETZELTER/LETZELTER 1990, 38).

Die kraftsteigernde Wirkung verbesserter intermuskulärer Koordination ist in der Praxis des Krafttrainings schon seit längerem bekannt. Speziell bei Krafttrainingsanfängern, oder auch wenn neue Übungen in das Training aufgenommen werden, zeigen sich in den ersten Trainingseinheiten oder Trainingsperioden erhebliche Kraftsteigerungen. Diese können kaum auf Anpassungen im morphologischen Bereich zurückgeführt werden, sondern werden mit Lernprozessen in Verbindung gebracht (BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER 1981, 13; HOLLMANN/HETTINGER 1990, 235; SALE 1994, 262; SCHMIDTBLEICHER 1987b, 364). So läßt sich eine Steigerung der intermuskulären Koordination durch ein verbessertes Zusammenspiel der an einer sportlichen Bewegung beteiligten Muskelgruppen erklären (WEINECK 1994a, 254). Während in der Literatur ein einheitliches Verständnis der intermuskulären Koordination vorliegt, zeigen sich erhebliche Differenzen in den Auffassungen zur sogenannten intramuskulären Koordination.

#### 4.1.7.2 Intramuskuläre Koordination

Unter intramuskulärer Koordination versteht man das Zusammenwirken des Nerv-Muskel-Systems innerhalb eines gezielten Bewegungsablaufes in einem einzelnen Muskel, d.h. das synchrone Zusammenwirken der einzelnen Muskelfasern des Muskels (HOLLMANN/HETTINGER 1990, 143; LETZELTER/LETZELTER 1990, 38; SCHMIDTBLEICHER 1987b).

Hiermit ist die auf den einzelnen Muskel bezogene trainingsbedingte Verbesserung der Fähigkeit gemeint, schnell große Innervationsaktivitäten mobilisieren zu können, die sich bei Kraft-Zeit-Messungen in einem steileren Anstieg der entsprechenden Kurve und häufig in einer gesteigerten Maximalkraft äußern (vgl. HEINOLD 1995, 17). Als ursächlich für diese Anpassung wird die Optimierung der zeitlichen Abfolge der *Synchronisation* motorischer Einheiten, die Einbeziehung bislang nicht aktivierter motorischer Einheiten (*Rekrutierung*) und die Erhöhung der im Verlauf zum untrainierten Zustand höher verarbeitbaren Innervationsimpulse (*Frequenzierung*) angenommen (DE MARÉES 1996; SCHMIDTBLEICHER 1987b).

WEINECK (1994a, 249) führt eine Steigerung der intramuskulären Koordination auf eine verbesserte Innervation zurück, d.h. es können bei einer willkürlichen Kontraktion (MVC) mehr Muskelfasern gleichzeitig (synchron) zur Kontraktion gebracht werden.

Auf die physiologischen Grundlagen, die für die intra- und intermuskuläre Koordination verantwortlich sind, sei auf BILLETER/HOPPELER (1994, 51-73); DE MARÉES (1996, 30-80); DUDEL (1995a, 3-42; 1995b, 43-66); HOLLMANN/HETTINGER (1990, 11-29) sowie NOTH (1994, 31-40) verwiesen.

## 4.2 Neurophysiologische Faktoren der Kraftentfaltung

Die Basis für jede muskuläre Kraftentfaltung sind neurophysiologische Erregungsprozesse (Innervationen), die im Zentralnervensystem entstehen und über Nervenbahnen und Umschaltstellen als elektrische Signale zum Muskel gelangen. Dort führen sie zur eigentlichen Muskelarbeit/Muskelkontraktion. Auf die genauen Prozesse der Erregungsübertragung, sowie auf die molekularen Mechanismen der Kontraktion sei auf BILLETTER/HOPPELER (1994); DE MARÉES (1996); DUDEL (1995a; 1995b); EDMAN (1994); ROHEN/LÜTJEN-DRECOLL (1990) sowie RÜEGG (1995) verwiesen.

Die elektrischen Impulse, die mittels des peripheren Nervensystems zum Skelettmuskel gelangen, werden Aktionspotentiale genannt. Sie werden von speziellen Nervenzellen im Rückenmark - den *Motoneuronen* - ausgesandt und über Nervenfasern (Axone) zur Muskelzelle (Muskelfaser) geleitet. Dabei erregt jeweils ein Motoneuron mehrere Muskelfasern. Die Spanne reicht von 5 bis zu 2000 Muskelfasern pro Motoneuron. Ein Motoneuron mit seinem Axon, den Axonenverzweigungen und den zugehörigen Muskelfasern wird *motorische Einheit* genannt (vgl. DE MARÉES 1996, 45; GHEZ/GORDON 1996, 514; SALE 1988; 1994, 249; ROHEN/LÜTJEN-DRECOLL 1990, 150; RÜEGG 1995, 75). Eine motorische Einheit (m.E.) stellt somit die kleinste „autonome“ Einheit im Nerv-Muskel-System dar.

Die Kraft, die ein Muskel jeweils bildet, setzt sich zusammen aus der Summe der Kraftwerte, die jede einzelne motorische Einheit erzeugt. Die Kontraktionskraft einer motorischen Einheit wiederum läßt sich durch die Entladungsfrequenz des Motoneurons, d.h. durch die Anzahl der zum Muskel pro Zeiteinheit gesandten Aktionspotentiale, regeln.

Dabei kann das Nervensystem die Kraft einer Muskelkontraktion auf zweierlei Weise abstimmen. Zum einen kann es die Anzahl der aktivierten motorischen Einheiten ändern - je mehr aktiviert werden, um so stärker ist die Kraft, die der Muskel in seiner Gesamtheit entfaltet. Diesen Mechanismus nennt man Rekrutierung (*recruitment*). Zum anderen kann es die Frequenzierung der Aktionspotentiale in einem Motoneuron ändern - je höher die Impulsfrequenz des Motoneurons, um so stärker die Kontraktionskraft der motorischen Einheit. Diesen Mechanismus nennt man Frequenzcodierung (*rate modulation*). Beide Mechanismen werden in den folgenden Kapiteln besprochen (GHEZ/GORDON 1996, 514).

#### 4.2.1 Rekrutierung von motorischen Einheiten

Rekrutierung von motorischen Einheiten bedeutet die fortlaufende Einbeziehung von neuen, bisher nicht aktivierten Einheiten in den Kontraktionsvorgang. Wesentlich dabei ist die Reihenfolge, in der dies geschieht: nach dem Rekrutierungsprinzip von HENNEMANN (so genanntes *Größenordnungsprinzip*) das in den 60er Jahren aus Tierexperimenten abgeleitet wurde, werden die motorischen Einheiten immer in der gleichen Reihenfolge aktiviert (HENNEMANN/SOMJEN/CARPENTER 1965). Somit arbeiten bei niedrigen Kraftwerten nur die kleinen, langsamen Einheiten, während bei stärkeren Kontraktionen zunehmend auch größere, kräftigere Einheiten aktiv werden.

Berücksichtigt man diese Erkenntnisse, so läßt sich für jede motorische Einheit eine Rekrutierungsschwelle als derjenige Kraftwert definieren, bei dem sie zum ersten Mal aktiv wird. Dieser Schwellenwert korreliert eng mit der Größe des Motoneurons, der Leistungsgeschwindigkeit des Axons und der potentiellen Kraft der Einheit. Motorische Einheiten mit höherer Rekrutierungsschwelle liefern also bei ihrer Aktivierung einen größeren absoluten Kraftzuwachs als kleinere motorische Einheiten, jedoch ist der relative Zuwachs dagegen bei allen motorischen Einheiten ungefähr gleich. Das Rekrutierungsprinzip ermöglicht somit eine feine und gleichmäßig abgestufte Regulierung der Kontraktionskraft eines Muskels (DIETZ 1985, 17ff; MÜLLER 1987, 9).

Wichtig ist in diesem Zusammenhang der Begriff des *Rekrutierungsbereiches*. Damit ist der Kraftwert gemeint - ausgedrückt in Prozent der isometrischen Maximalkraft -, bei dem zum ersten Mal alle motorischen Einheiten eines Muskels bei einer langsam ansteigenden isometrischen Kontraktion aktiv sind. Die weitere Krafterhöhung kann dann nur noch über die Steigerung der Entladungsfrequenz der aktivierten motorischen Einheiten erfolgen.

Die Frage, wann alle motorischen Einheiten aktiv sind, wird noch recht kontrovers diskutiert. So finden sich bei DIETZ (1985, 19) Angaben die belegen, daß bereits bei ca. 20% der Maximalkraft 50% der motorischen Einheiten rekrutiert sind. Als gesichert kann jedoch die Tatsache angesehen werden, daß spätestens bei 80 bis 90% der isometrischen Maximalkraft alle motorischen Einheiten rekrutiert sind, wobei die meisten Einheiten bereits bei sehr viel niedrigeren Kraftwerten aktiviert werden (MÜLLER 1987, 9).

#### 4.2.2 Frequenzierung von motorischen Einheiten

Der zweite wichtige Mechanismus zur Steuerung der Muskelkraft ist die Regulation der Entladungsfrequenz der motorischen Einheiten, wobei man unter Entladungsfrequenz die Zahl der nervalen Impulse versteht, die die Muskelfasern einer motorischen Einheit über die Motoneurone erreicht (SALE 1994, 249). Ein einzelnes Aktionspotential bewirkt bei den Muskelfasern einer motorischen Einheit eine Einzelzuckung, die sich über ihre Merkmale *Kontraktionskraft*, *Kontraktionszeit* und *Relaxationszeit* beschreiben läßt. Folgen nun weitere Entladungen, noch bevor die Muskelfaser wieder vollständig erschlafft ist, so summieren sich die Einzelimpulse zu einem höheren Kraftwert und zwar um so mehr, je dichter die Entladungsfrequenzen aufeinander folgen. Bei sehr hohen Frequenzen erfolgt schließlich eine vollständige Verschmelzung der Einzelimpulse mit einem glatten Kraftverlauf (*Tetanus*) und bedeutend höherem Kraftwert als bei der Einzelzuckung (MÜLLER 1987, 13).

Anhand des Ausmaßes der Kräftesummation lassen sich zwei Tetanus-Formen unterscheiden. Wenn die Frequenz der Aktionspotentiale relativ niedrig ist, aktivieren die aufeinanderfolgenden Reize den Muskel nach dem Kraftmaximum einer jeden Zuckung, so daß die einzelne Zuckung noch zu erkennen ist. Diese Form, unvollständiger Tetanus (*unfused tetanus*) genannt, bringt eine charakteristische Welle in der Kontraktionskraft des Muskels hervor. Die Reizfrequenz liegt bei etwa 10 Hz (DE MARÉES 1996, 55). Mit zunehmender Impulsfrequenz des Motoneurons steigt auch die im Muskel produzierte Kraft auf einen Maximalwert an. Dieses Phänomen nennt man vollständigen Tetanus (*fused tetanus*), weil man nun die einzelnen Zuckungen nicht mehr länger unterscheiden kann (GHEZ/GORDON 1996, 515). In diesem Stadium wird der Muskel mit einer Reizfrequenz von ca. 30 Hz aktiviert, was zu einer Dauerverkürzung des Muskels führt (DE MARÉES 1996, 55).

Die maximalen Frequenzen, die beim menschlichen Muskel bei willkürlicher Aktivierung gemessen wurden, sind recht unterschiedlich und liegen in einem Bereich von ca. 5-120 Hz (DE MARÉES 1996, 56; DIETZ 1985, 20; MÜLLER 1987, 14). Sie hängen vom untersuchten Muskel und von der Art der Aktivierung ab. Auffällig ist, daß zum Erreichen der Maximalkraft schon relativ niedrige Frequenzen ausreichen. Bei Dauerkontraktionen wird in einem Bereich von 10-30 Hz entladen. Der Bereich zwischen 30-100 Hz dient der Steigerung der Verkürzungsgeschwindigkeit bei schnellkräftigen Bewegungen.

Mit Hilfe von Nadelelektroden die an die motorischen Einheiten angelegt werden bzw. mit Hilfe von Oberflächenelektroden auf der Haut, kann dabei die Frequenz der Muskelaktionspotentiale und deren Rekrutierungsverhalten abgeleitet und registriert werden (vgl. NOTH, 1993). Damit konnte nachgewiesen werden, daß eine Steigerung der Impulsrate der Motoneurone von 5 auf 50 Hz, eine Erhöhung der Kontraktionskraft um den Wert 2 bis 10 aufweist (vgl. RÜEGG 1995, 75). Auf die Möglichkeiten und Grenzen, die sich mittels der Messung von EMG-Ableitungen ergeben, sei auf die Ausführungen von BOCHDANSKY (1994), CHAFFIN/LEE/FREIVALDS (1980); GOLLHOFER/SCHMIDTBLEICHER (1989), LAURIG (1983), als auch auf ZSCHORLICH (1987) verwiesen. Für den Bereich der elektromyographischen Beanspruchungsanalyse im Krafttraining seien POLLMANN (1993) und POLLMANN/WILLIMCZIK (1991) erwähnt.

Über die relative Gewichtung der beiden Mechanismen Rekrutierung und Frequenzierung zur Regulation der Muskelkraft findet man unterschiedliche Angaben. Manche Autoren halten die Frequenzierung für den dominierenden Faktor, andere messen der Rekrutierung den größeren Einfluß bei. MILNER-BROWN et al. (1973) kommen aufgrund einer Modellrechnung zu dem Ergebnis, daß ca. ein Drittel der Gesamtkraft durch Rekrutierung und zwei Drittel durch Frequenzierung bedingt sind. Dabei verschiebt sich im unteren Kraftbereich die Gewichtung mehr in Richtung Rekrutierung, da hier die überwiegende Anzahl der motorischen Einheiten aktiviert wird.

Schließlich hängt die Gewichtung der beiden Mechanismen von den Eigenschaften des untersuchten Muskels bzw. von den an der Bewegung beteiligten Muskeln ab (vgl. KIBELE/MÜLLER/MÜNST 1990):

- von der Faserstruktur (vgl. GHEZ/GORDON 1996, 516-518),
- vom Verhältnis Tetanus - Einzelzuckung der beteiligten Muskelfasern,
- vom Rekrutierungsbereich.

Es ist außerdem problematisch, beide Mechanismen isoliert zu betrachten, da sie im Regelfall immer gleichzeitig ablaufen und ihre Wirkungen sich überlagern. Gerade dadurch ist das motorische System in der Lage, die Muskelkraft sehr fein und flexibel zu regulieren und den unterschiedlichen Bewegungsaufgaben anzupassen (MÜLLER 1987, 17).

### 4.2.3 Muskelkraft und „muscular-fatigue“

Wird ein Muskel maximal kontrahiert, so kann die Maximalkraft nur für kurze Zeit aufrecht erhalten werden und es kommt zu einem raschen Abfall der Kraft. Diese Reduktion der Leistungs- oder Funktionsfähigkeit wird mit Ermüdungserscheinungen in Verbindung gebracht (vgl. BIGLAND-RITCHIE/BELLEMARE/WOODS 1986, 197). Somit versteht man allgemein unter Ermüdung, eine belastungsbedingte reversible Verminderung der Leistungs- oder Funktionsfähigkeit (HOLLMANN/HETTINGER 1990, 130; NÖCKER 1980, 37) bzw.

*„the inability of a physiology process to continue functioning at a particular level and/or the inability of the total organism to maintain a predetermined exercise intensity“ (Fifth International Symposium on Biochemistry of Exercise 1982, in HULTMAN/SJÖHOLM 1986, 215).*

Auf eine ausführliche Analyse von Ermüdungsdefinitionen sowie die Schwierigkeit der Operationalisierung wird auf OLIVIER (1996, 39-41) verwiesen.

Häufig wird im Zusammenhang mit Ermüdung eine Differenzierung der „allgemeinen Ermüdung“ in Ermüdung von Teilsystemen z.B. die „zentrale Ermüdung“ bzw. „periphere Ermüdung“ vorgeschlagen, wobei noch nach physischer vs. psychischer Ermüdung (STEHLE 1992, 151), muskulärer vs. zentraler Ermüdung (DE MARÉES/MESTER 1991, 101), peripherer vs. zentraler Ermüdung (WEINECK 1994b, 459), lokaler (peripherer) vs. zentraler (allgemeiner) Ermüdung (HOLLMANN/HETTINGER 1990, 135) differenziert wird.

Trotz der vielfältigen Definitionsversuche, unter anderem von DE MARÉES (1996, 487), MARTIN (1987) sowie ULMER (1995, 676) und der Differenzierung der „Ermüdung“ in Ermüdung von Teilsystemen ist man sich heute im Klaren darüber, daß es den einen Faktor der Ermüdung nicht geben kann. Vielmehr stellt OLIVIER (1996, 64) heraus, daß die Ermüdung als ein komplexer Prozeß beim Ablauf einer Kette von Ereignissen aufzufassen ist, bei der letztlich jedes allein oder im Zusammenspiel mit anderen für eine Reduktion der Muskelkraft verantwortlich sein kann. Wenn demnach die Entwicklung von Muskelkraft oder motorischen Handlungen vom Funktionieren eines jeden dieser Glieder abhängt, bedeutet es umgekehrt auch, daß das Versagen eines jeden dieser Glieder zur muskulären motorischen Leistungsminderung führen kann (vgl. MARTIN 1987, 382).

Festzustellen bleibt, daß es bei dynamischer (auxotonischer) und statischer (isometrischer) Muskelarbeit zu einer unterschiedlichen Beanspruchung spezieller Ressourcen mit entsprechendem Kraftabfall kommt (vgl. SCHÖNPFLUG 1987). Wie die Untersuchungen von STULL/CLARKE (1971) verdeutlichen, entsteht der Kraftabfall bei isometrischer Muskelarbeit nicht nur schneller, sondern auch wesentlich ausgeprägter als bei auxotonischer Muskelarbeit. In der Erholungsphase ergeben sich ebenfalls unterschiedliche Kurvenverläufe für isometrische und auxotonische Muskelarbeit (vgl. ROHMERT 1960b). Hier zeigen die Erholungskurven eine Phase der sehr schnellen und eine Phase der langsamen Rückkehr der Kraft zu einem Wert unterhalb der Eingangs ermittelten Kraft (vgl. HARRIS/EDWARDS/HULTMAN 1976). Dabei laufen die Erholungsvorgänge bei dynamischer Arbeit erheblich schneller ab als bei statischer (WEINECK 1994a, 317).

Beiden Ermüdungserscheinungen gemein ist jedoch ein Absinken der Aktivität des Enzyms Myosin-ATP-ase und eine Verminderung der Aufnahme von Kalziumionen durch das sarkoplasmatische Retikulum der Skelettmuskelzelle (vgl. HULTMAN/SJÖHOLM 1986, 223). Die ATP-Resynthese wird vermindert, die Kontraktions- und Entspannungsmöglichkeiten des Muskels sind eingeschränkt. Erneute Belastungen müssen diesen Wiederherstellungsprozessen gerecht werden, wenn im Sinne eines morphologisch orientierten Trainingsbegriffs Adaptationen stattfinden sollen (vgl. PAHLKE/PETERS 1991).

### 4.3 Inter-/Intraindividuelle Faktoren

Neben den bereits genannten anatomisch-morphologischen und neurophysiologischen Faktoren, welche ihrerseits schon beachtlichen Schwankungen unterworfen sind, handelt es sich bei den inter-/intraindividuellen Faktoren um Merkmale, die je nach Persönlichkeit unterschiedlich stark ausgeprägt sind oder die den individuellen psychischen Fähigkeiten und physischen Eigenschaften der einzelnen Personen Rechnung tragen. Zu den letztgenannten Faktoren zählen unter anderem kognitive Prozesse, Emotionen, Motivationen (Motive) und Volitionen (SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997). Diese sind nur sehr schwer zu kontrollieren, was untersuchungsmethodisch beachtet werden muß. Andererseits existieren inter-/intraindividuelle Faktoren, die ebenfalls einen großen Einfluß auf die Muskelkraft ausüben, jedoch durch geeignete Verfahren, sowie durch Standardisierung kontrolliert werden können. Zunächst sollen diese Faktoren im einzelnen beschrieben, sowie deren Einflußbereich auf die Kraftentfaltung herausgearbeitet werden. Im Anschluß daran werden die psychischen Einflußfaktoren und deren Einflußbereich beschrieben.

#### 4.3.1 Muskelkraft in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht

Aus zahlreichen Trainingsversuchsreihen läßt sich ableiten, daß die Trainierbarkeit und somit die Muskelkraft, alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede aufweist und lebenslänglichen Veränderungen unterworfen ist.

Unterhalb des achten bis zehnten Lebensjahres besteht kaum eine Trainierbarkeit im Sinne der morphologischen Adaptation. Mit zunehmendem Alter steigt die Muskelkraft des Mannes rapide an, um etwa mit dem 15.-25. Lebensjahr das Maximum zu erreichen. Im höheren Alter kommt es zu einem Abfall der Werte. Mit Beginn des vierten Lebensjahrzehnt fällt die maximale Muskelkraft ab; im siebten Lebensjahrzehnt ist die Kraft auf 70-75% der Werte von Normalpersonen im dritten Lebensjahrzehnt abgesunken (KINDERMANN 1986, 602).

Die Trainierbarkeit der Frau weist im Verlauf des Lebens geringere Schwankungen auf. Die unterschiedlichen Werte innerhalb der einzelnen Dezenien konnten statistisch in keinem Fall abgesichert werden. Ebenso zeigt eine muskelgruppenbezogene unterschiedliche Trainierbarkeit zwischen Mann und Frau etwa ab dem 60. Lebensjahr keine statistisch abzusichernde Differenz mehr (HOLLMANN/HETTINGER 1990, 251). D.h. der altersbedingte

Abfall beim weiblichen Geschlecht verläuft gleich dem des Mannes, wobei die Kraft der Frau jeweils ca. 70% jener des Mannes beträgt (KINDERMANN 1986, 602; LETZELTER/LETZELTER 1990, 176). Als Ursache für die Kraftunterschiede zwischen Mann und Frau ist das vermehrte Vorkommen des männlichen Sexualhormons (Testosteron) beim Mann anzusehen, welches eine erhöhte eiweißanabole Wirkung hat (KRAEMER 1994, 299; WEINECK 1994a, 249).

Kraftunterschiede zwischen Mann und Frau erklären FLECK/KRAEMER (1987, 189) unter anderem durch die Qualität und Variationsbreite der Muskelmasse.

*„Possible reasons for the difference in strength are variations in muscle mass distribution and quality of the muscle tissue; in addition, the difference may be attributed in part to the fact that in our society the majority of heavy physical labor is performed by males“ (FLECK/KRAEMER 1987, 189).*

Tab. 2: Kraftverhältnisse und Trainierbarkeit von Mann und Frau (modif. n. EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN/ZINTL 1998, 72)

Kraftverhältnisse/Trainierbarkeit	Mann	Frau
<b>Prozentualer Muskelanteil am Körpergewicht</b>	ca. 42%	ca. 32-36%
<b>Last-Kraft-Verhältnis</b>		ungünstiger als beim Mann
<b>Maximalkraft</b>	100%	absolut zum Mann: 60-80% relativ: gleich
<b>Kraftzuwachs 6.-26. Lebensjahr</b>	ca. 5-fach	ca. 3-fach
<b>Trainierbarkeit (Quantität)</b>	100%	absolut: 60-80% relativ: gleich
<b>Trainierbarkeit (Qualität)</b>	100%	relativ: gleich

### 4.3.2 Energiestoffwechsel des Muskels

Primärer chemischer Energieträger in der Zelle, um so mehr für Muskelkontraktionen, ist das Adenosintriphosphat (ATP). Bei der Spaltung von ATP wird Energie freigesetzt, die zum einen dazu genutzt wird, Querbrücken zwischen den Filamenten herzustellen (die Myosinköpfchen zu kippen) und zum anderen die Kalziumionen in die Terminalzisternen zurück zu transportieren, wobei die Querbrücken wieder gelöst werden (HECK 1990, 21).

Der normale Muskel enthält eine geringe Menge ATP (5  $\mu\text{mol/g}$  Muskel). Dieser läßt sich zwar durch Training erhöhen, jedoch spielen diese Größenordnungen für die Energielieferung nur eine relativ untergeordnete Rolle, so daß die muskelgespeicherte ATP-Energie nur für drei bis vier maximale Muskelkontraktionen ausreicht. Es ist demnach für die Muskelfunktion von grundlegender Bedeutung, daß ATP durch Resynthese möglichst rasch wieder aufgebaut wird (HECK 1990, 22; NÖCKER 1987, 26). Der Wiederaufbau (Resynthese) des ATP aus ADP erfolgt auf drei Wegen:

- **anaerob alaktazid** (über Kreatinphosphat)
- **anaerob laktazid** (über die Glykolyse)
- **aerob** (über Zitratzyklus und Atmungskette)

Die ersten beiden Resynthesewege werden auch als anaerobe Wege der Energiebereitstellung bezeichnet, da sie ohne Anwesenheit von Sauerstoff ablaufen. Im Gegensatz dazu ist der dritte Weg nur unter Verbrauch von Sauerstoff möglich, der dem Muskel von außen über die Atmung und über den Blutkreislauf zugeführt werden muß. Bei der anaeroben Glykolyse (Glykolyse = Abbau von Glukose) entsteht als Endprodukt Laktat (Milchsäure). Daher wird dieser Weg auch als anaerob laktazide Energiebereitstellung bezeichnet. Da die Resynthese über Kreatinphosphat nicht nur ohne Sauerstoff, sondern auch ohne Laktatbildung erfolgt, nennt man sie anaerob alaktazid. In geringem Maße läßt sich ATP auch aus zwei Molekülen ADP mit Hilfe der sogenannten Myokinase-Reaktion wieder aufbauen. Myokinase ist ein Enzym, das sich unter anderem in den Myofibrillen befindet. Bei dieser Reaktion werden aus zwei Molekülen ADP ein Molekül APT und ein Molekül AMP (Adenosin-Monophosphat) gebildet (HECK 1990, 22; NÖCKER 1987, 27). Auf die detail-

lierten Resynthesewege des ATP soll hier nicht weiter eingegangen werden (siehe dazu bspw. WEICKER 1992, 65-90; 1996, 39-46). In Abhängigkeit von der Zeitdauer und der dabei möglichen Intensität der Belastung (Beanspruchung) kann man den jeweiligen Anteil dieser möglichen Wege der Energiefreisetzung an der Energiebereitstellung wie folgt darstellen:

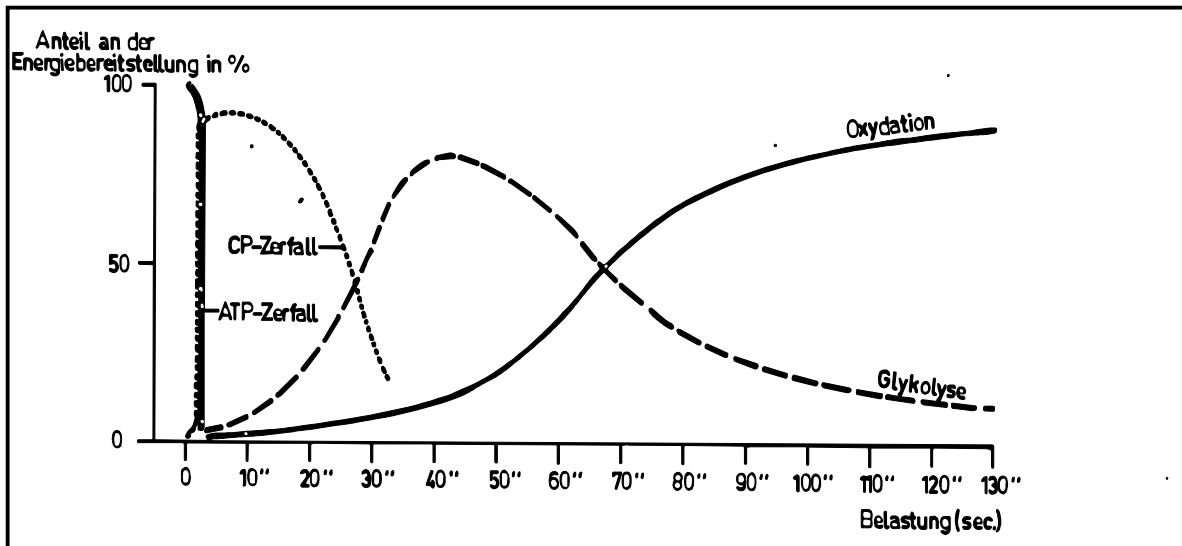


Abb. 14: Der Anteil der verschiedenen energieliefernden Substrate an der Energiebereitstellung. Bei einer starken körperlichen Belastung werden zuerst die ATP-Speicher ausgeschöpft. Sie können nur ganz kurzfristig Energie bereitstellen, aber mit der Ausschöpfung der ATP-Speicher werden auch schon die Kreatinphosphatspeicher mitbeansprucht. Die energiereichen Phosphate reichen je nach Arbeitsintensität höchstens 20 Sekunden aus. Mit Beginn der Belastung werden jedoch auch schon Energien über die Glykolyse bereitgestellt. Die Glykolyse erreicht ihr Maximum nach 30 bis 40 Sekunden und wird dann immer weniger an der Energiebereitstellung beteiligt. Die oxydativen Vorgänge kommen mehr und mehr zum Tragen und werden schließlich zur fast ausschließlichen Energiequelle für die muskuläre Arbeit (n. KEUL/DOLL/KEPPLER 1969, 38).

Neuere Untersuchungsergebnisse der Grundlagenforschung zur Rolle des Energiemetabolismus (z.B. ATP, Kreatinphosphat,  $\text{Ca}^{2+}$ , Glykolyserate, Laktat) haben ergeben, daß hochintensive Kraftproduktionen nicht durch die Resynthese von ATP limitiert sind, sondern der Austritt von  $\text{Ca}^{2+}$  aus dem sarkoplasmatischem Retikulum ein wichtiger Faktor bei ermüdenden Muskelkontraktionen ist (HULTMAN/BERGSTRÖM/LAWRENCE/SÖDERLUND 1990, 88).

### 4.3.3 Muskelkraft und Lateralität

Viele der üblichen Kraftübungen werden unter seitengleicher Belastung der Extremitätenmuskulatur durchgeführt, z.B. Kniebeugen, Beinpressen, Bankdrücken. Andere wiederum werden wechselseitig gestaltet, da die Anforderungsstruktur der Sportart eine wechselseitige (links/rechts) Ausrichtung erfordert, so z.B. in azyklischen Sportarten, wie Weitsprung oder Speerwurf (vgl. KIBELE/MÜLLER 1989; KIBELE/MÜLLER/BÜHRLE 1989). Solche Phänomene werden mit *Seitigkeit* bzw. *Lateralität* umschrieben. Die Lateralität gilt dabei als Oberbegriff für alle Kennzeichen von Symmetrie bzw. Asymmetrie bei paarig angelegten Organen bzw. die Symmetrie/Asymmetrie in Bezug auf die Erscheinungsform, wie Händigkeit, Füßigkeit, Drehseitigkeit, Hemisphärendominanz usw. (OBERBECK 1989, 13).

Der Nachweis funktioneller Differenzen zwischen den Beinen ist nicht so leicht zu erbringen wie für die oberen Extremitäten. Im normalen täglichen Leben, wie auch im Sport, tritt eine „Beinigkeits“ nur selten in den Vordergrund und wird zum entscheidenden Merkmal. Somit liegen kaum größere statistische Auswertungen zu funktionellen Präferenzen der unteren Extremitäten vor, so daß es schwierig ist, verlässliche Aussagen über das Phänomen der Beine zu machen (FISCHER 1988, 63). Anzumerken bleibt, daß in der Mehrzahl der Sportarten und Disziplinen Unterschiede in der Belastung der Beine auftreten, die sich zum Teil diametral gegenüberstehen und im Maximalkrafttraining sowie im speziellen disziplinspezifischen Krafttraining noch ungenügend Berücksichtigung finden (BARTONIETZ 1992, 9). Begründet wird dies bspw. mit ihrer Funktion, als *Sprung-* und *Schwungbein* (Sprungdisziplinen), *Stand-* und *Spielbein* (Spielsportarten), *Stand-* und *Ausfallbein* (Kampfsportarten) und *Druck-/Stemmbein* (Wurf- und Stoßdisziplinen). So konnte BARTONIETZ (1992) an isokinetischen Krafttrainingsgeräten erhebliche links/rechts Unterschiede in den beteiligten Gelenken registrieren.

Ähnliche laterale Unterschiede werden von KIBELE/MÜLLER (1989) beschrieben, welche die neuromuskuläre Aktivierung der Beinstreckmuskulatur bei unilateralen und bilateralen isometrischen Maximalkontraktionen (MVC) von weiblichen alpinen Skiläufern untersuchten. Dabei konnten nicht nur links/rechts Unterschiede registriert werden, sondern es zeigte sich ein Phänomen, welches mit dem Begriff des „*bilateralen Defizits*“ belegt wurde. Darunter versteht man die prozentuale Differenz, die sich ergibt, wenn die Summe der Kennwerte der Maximalkraftfähigkeit für die linke und die rechte Extremität (Arme oder Beine) zu dem durch beide Extremitäten gleichzeitig verursachten Kennwert in Beziehung

gesetzt wird (KIBELE 1998, 46; KIBELE/MÜLLER/BÜHRLE 1989, 120). Durch Berechnungen konnten obige Autoren nachweisen, daß die Summe der Kraftwerte von linker Seite und rechter Seite über den Kraftwerten bei beidbeiniger Ausführung liegt (vgl. SALE 1994, 254).

$$\text{Gl. 8: } BD = 100 \cdot \left( \frac{b}{r+1} - 1 \right) = 100 \cdot \left( \frac{b - (r+1)}{r+1} \right)$$

(r = Kennwert der rechten Extremität; l = Kennwert der linken Extremität; BD = bilateraler Kennwert)

Diese unterschiedlichen Kraftwerte kommen nach KIBELE/MÜLLER (1989, 82) dadurch zustande, daß es bei unilateralen Muskelkontraktionen zu einem signifikanten Aktivitätsanstieg, bei bilateraler hingegen zu einem Abfall selbiger kommt. Verantwortlich für diese Erscheinungen werden auf neuronaler Ebene unterschiedliche Rekrutierungs- und/oder Frequenzierungsschemata gemacht.

Übertragen auf die Trainingspraxis resultiert daraus:

*„Um maximale muskuläre Aktivitätsmuster in Gang zu setzen, ist dem unilateralen Krafteinsatz der Vorzug zu geben“ (WEINECK 1994a, 263).*

#### 4.3.4 Psychische Prozesse und Muskelkraft

Der psychische Anteil an einer sportlichen Leistung, speziell einer Kraftleistung, basiert auf den psychischen Prozessen Kognition, Emotion, Motivation und Volition sowie den ihnen entsprechenden Inhalten, Zuständen und relativ stabilen Regulationskomponenten (psychischen Leistungsvoraussetzungen). Sie lassen sich wie folgt charakterisieren und spielen eine nicht unerhebliche Rolle, wenn es darum geht Kräfte zu produzieren und eine Kraftanstrengung über einen gewissen Zeitraum auszuführen. Dabei unterliegen sie jeweils individuellen Einstellungen und Persönlichkeitsmerkmalen, was eine zielgerichtete Erfassung schwierig erscheinen läßt (vgl. CHAFFIN/LEE/FREIVALDS 1980).

- Über *kognitive Prozesse* und *Abbilder* (Inhalte) werden Informationen aus der Umwelt, aus dem Inneren und dem Verlauf der Tätigkeit wahrgenommen, gespeichert, wiedererkannt und neu strukturiert. Kognitive Operationen und Abbilder regulieren die Tätigkeit. So werden z.B. Bewegungen auf der psychischen Ebene über Bewegungswahrnehmung und Bewegungsvorstellung reguliert (SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997, 59).
- *Emotionen* drücken die Beziehung der Persönlichkeit (Bewertung) zu den aufgenommenen, verarbeiteten und gespeicherten Informationen aus der Umwelt sowie zu inneren psychischen und physischen Vorgängen im Handlungsverlauf aus. Emotionen sind im Grunde Wertungen. Dabei sind für das Handeln besonders diejenigen bedeutsam, die sozialen Charakter tragen und die Stellung zu sozialen Partnern kennzeichnen (SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997, 59).
- *Motivationale Prozesse* und Inhalte sind Beweggründe des Handelns, die aus den emotionalen und kognitiven Grundlagen der Persönlichkeit gespeist werden. Sie entwickeln sich in der Tätigkeit, in der Auseinandersetzung mit sozialen Anforderungen und Wirkungen und sind Ausdruck individueller Bedürfnisse (SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997, 59). Somit spielen sie eine entscheidende Rolle in der menschlichen Leistungsfähigkeit. Das gilt in ganz besonderem Maße für die Aufbringung der maximalen Kraft (vgl. HOLLMANN/HETTINGER 1990, 191).

- Das *Wollen (Volition)* tritt in zielgerichteten geistigen und praktischen Handlungen auf. Wollen ist erstens nötig bei der Entscheidung für ein Handlungsziel und den Handlungsbeginn sowie das einsetzende Handlungsprogramm. Zweitens wird das Wollen bei der Überwindung innerer und äußerer Widerstände (z.B. Ermüdung, Monotonie, Schmerz u. ä.) in der Handlungsausführung gefordert (SCHNABEL/HARRE/BORDE 1997, 60).

Diese Einflußgrößen spielen bei der Kraftrealisation, bspw. bei den Maximalkrafttests und auch bei den daraus abgeleiteten Wiederholungszahlen eine entscheidende Rolle. Da sie nur sehr schwer zu kontrollieren bzw. zu standardisieren sind, können sie im Sinne einer Moderatorvariablen, Störvariablen wirken und die zu ermittelten Ergebnisse in erheblichem Maße beeinflussen. Dies sollte bei einer generellen Empfehlungen zur Trainingssteuerung Beachtung finden.

## 5 Empirische Befunde und allgemeine Forschungshypothese

Aufgrund von empirischen Befunden (BAYER/RAMLOW 1993; HOFMANN 1998; Vorstudie - Praktisches Arbeiten in der Trainingswissenschaft SS 1997) als auch durch theoretische Überlegungen zu unterschiedlichsten Einflußgrößen (vgl. Kapitel vier) erscheint eine Generalisierung des Zusammenhangs von Intensität und Wiederholungszahl (HARRE 1986; HOLTEN 1962; SCHOLICH 1988) nicht haltbar zu sein. Vielmehr wird vermutet, daß durch anatomisch-morphologische, neurophysiologische und inter-/intraindividuelle Faktoren das Verhältnis von Intensität und Wiederholungszahl innerhalb eines bestimmten Rahmens Schwankungen unterworfen ist. D. h. der Zusammenhang von gehobener Last und möglicher Wiederholungszahl zeigt eine ausgesprochen große Variabilitätsspezifität (Alter, Geschlecht, Bewegung usw.), wie sie sonst für analoge Beziehungen von Last und Geschwindigkeit beschrieben wird. Dies gilt insbesondere für Kraftausdauersportler, bei denen sich bspw. ein wesentlich gestreckterer Kurvenverlauf ergibt (BAYER/RAMLOW 1993, 16).

Darüber hinaus wird angenommen, daß sich die Mittelwerte und Streuungsmaße von den Mittelwerten und Streuungsmaßen von ZATSIORSKY (1996, 247) unterscheiden. Spezifiziert und auf die allgemeine Problematik der Maximalkraftbestimmung aufgrund der Wiederholungszahl bezogen, wird vermutet, daß je geringer die Intensität bzw. der zu überwindende Widerstand (je höher demnach die Anzahl der möglichen Wiederholungen), desto größer der Streuungsbereich der Werte ist. Folglich sollte die Bestimmung der Maximalkraft aufgrund der Wiederholungszahlen in unteren Intensitätsbereichen immer ungenauer werden.

Geleitet durch diese hypothetischen Annahmen sollen deshalb die allgemeinen Forschungshypothesen wie folgt formuliert werden:

- **Es besteht ein Zusammenhang zwischen der von der Maximalkraft deduzierten Belastungsintensität und der Wiederholungszahl.**
- **Es besteht ein Unterschied zwischen den deskriptiven Beschreibungsgrößen dieser empirischen Arbeit und den deskriptiven Beschreibungsgrößen der trainingswissenschaftlichen Literatur bzgl. des Zusammenhangs von Intensität und Wiederholungszahl.**

## II Empirische Untersuchung zum Verhältnis von konzentrischer Maximalkraft und der Wiederholungszahl

### 6 Experimentelle Untersuchung

In der folgenden experimentellen Studie, zum Verhältnis von konzentrischer Maximalkraft und der Wiederholungszahl bei einbeiniger Ausführung der Beinpressbewegung in unterschiedlichen submaximalen Intensitätsbereichen, soll die Einflußgröße Seitigkeit/Lateralität (links/rechts) auf die allgemeine Forschungshypothese untersucht und einer kritischen Prüfung unterzogen werden.

Aufgrund der hohen Problemkomplexität der Bestimmung der Maximalkraft (hier operationalisiert über das konzentrische Einwiederholungsmaximum in 90 Grad Position innerhalb einer Beinpressbewegung) sowie der Ermittlung des Zusammenhangs von Wiederholungszahl und Intensität werden bestimmte Einschränkungen (Probandenklientel, Testtermine, Reihenfolge der Intensitätsfestlegung) und Standardisierungen (Bewegungsausführung, Tempo, Reihenfolge der Beine) vorgenommen. A priori wird dabei vermutet, daß solche Faktoren einen Einfluß auf das Verhältnis von Intensität und Wiederholungszahl ausüben. Darüber hinaus sollen die allgemeinen Forschungshypothesen und die daraus abgeleiteten Arbeitshypothesen einer kritischen Interpretation bzw. Diskussion unterzogen werden.

Die aus der Aposteriori-Theorie formulierten Hypothesen  $H_1$  und  $H_2$  dienen als Voraussetzungsprüfungen für die Hypothesen  $H_3$  bis  $H_7$ . Die Hypothesen  $H_3$  bis  $H_7$  im Sinne von Apriori-Theorien sollen den Gültigkeitsbereich der Aussagen von ZATSIORSKY überprüfen und die generellen Empfehlungen einschränken (vgl. HERRMANN/STAPF 1971, 337f).

Es soll hierbei konkret überprüft werden, inwieweit die gefundenen Mittelwerte der Wiederholungszahlen auf den einzelnen Intensitätsstufen den Werten in der trainingswissenschaftlichen Literatur (bspw. HARTMANN/TÜNNEMANN 1990, 17; LETZELTER/LETZELTER 1990, 210) entsprechen. Als Referenzwerte dienen dabei die aus der Graphik ermittelten Werte (Mittelwerte und Streuungen) der Abbildung von ZATSIORSKY (1996, 247), welche in Tabelle drei aufgeführt sind.

Tab. 3: Mittelwerte und Standardabweichung der Wiederholungszahlen in Abhängigkeit von der Intensität (graphische Bestimmung der Werte aus ZATSIORSKY 1996, 247)

Intensität (%)	Wiederholungszahl ( $\bar{x}$ )	Std. Abw. (s)
90%	5 Wdh.	3,0 Wdh.
80%	8 Wdh.	3,5 Wdh.
70%	12 Wdh.	4,5 Wdh.
60%	18 Wdh.	6,0 Wdh.
50%	25 Wdh.	8,0 Wdh.

## 6.1 Arbeitshypothesen

Um die generellen Aussagen bzgl. des Zusammenhangs von Intensität und Wiederholungszahl überprüfen zu können, wurden folgende statistischen Hypothesen (vgl. BORTZ 1993, 105; BORTZ/DÖRING 1995, 461) formuliert:  $H_1$  als Unterschiedshypothese,  $H_2$  als Zusammenhangshypothese (vgl. PAULUS 1997, 36-37).  $H_3$  bis  $H_7$  sind als statistische Teilhypothesen formuliert, um die Forschungshypothesen (siehe Kapitel fünf) überprüfen zu können.

- $H_1$ :** Es besteht ein Unterschied hinsichtlich der Wiederholungszahlen zwischen linkem und rechtem Bein.
- $H_2$ :** Es besteht ein negativer Zusammenhang hinsichtlich der Intensitätsstufen und der Wiederholungszahlen von linker bzw. rechter Seite.
- $H_3$ :** Es besteht ein Unterschied hinsichtlich der empirischen Mittelwerte der Wiederholungszahlen bei 50% innerhalb dieser Untersuchung und den Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 50% von ZATSIORSKY (1996).
- $H_4$ :** Es besteht ein Unterschied hinsichtlich der empirischen Mittelwerte der Wiederholungszahlen bei 60% innerhalb dieser Untersuchung und den Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 60% von ZATSIORSKY (1996).
- $H_5$ :** Es besteht ein Unterschied hinsichtlich der empirischen Mittelwerte der Wiederholungszahlen bei 70% innerhalb dieser Untersuchung und den Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 70% von ZATSIORSKY (1996).
- $H_6$ :** Es besteht ein Unterschied hinsichtlich der empirischen Mittelwerte der Wiederholungszahlen bei 80% innerhalb dieser Untersuchung und den Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 80% von ZATSIORSKY (1996).
- $H_7$ :** Es besteht ein Unterschied hinsichtlich der empirischen Mittelwerte der Wiederholungszahlen bei 90% innerhalb dieser Untersuchung und den Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 90% von ZATSIORSKY (1996).

## 6.2 Statistik

Zur Verrechnung der empirisch ermittelten Daten bzw. zur Überprüfung der Hypothesen wurden neben den allgemeinen deskriptiven Verfahren (Mittelwerte, Streuungen, Minimum, Maximum, Range), Produkt-Moment-Korrelationsberechnungen (zur Berechnung der Zusammenhangshypothese  $H_2$ ) durchgeführt. Darüber hinaus wurden lineare und logarithmische Regressionsanalysen (Hypothese  $H_2$ ) und Einstichproben T-Tests (One-Sample T-Test) für unabhängige Stichproben (zur Berechnung der Unterschiedshypothesen  $H_1$  sowie  $H_3$  bis  $H_7$ ) mit dem Statistikprogramm SPSS für Windows 95 (Version 7.5) gerechnet.

Zur Überprüfung der einzelnen Variablen auf Normalverteilung wurde der One-Sample *Kolmogorov-Smirnov* Test angewendet (BORTZ/LIENERT/BOEHNKE 1990, 319ff). Das Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha \leq 0,05$  für  $H_1$  bzw. auf  $\alpha \leq 0,01$  für  $H_2$  gesetzt (da hier eine fälschliche Entscheidung zugunsten von  $H_0$  gravierend den theoretischen Überlegungen widersprechen würde) und wird in den einzelnen Prüfverfahren jeweils angegeben.

Als besonderes Problem bei Meßwiederholungsdesigns (vgl. Abschnitt 6.6) ergibt sich die Abhängigkeit von Einzelvergleichen durch das mehrfache Eingehen der Stichproben in die Hypothesenprüfung (vgl. FEHRES/MARSCHALL 1990). Daher fand zur Überprüfung der Hypothesen  $H_3$  bis  $H_7$  eine  $\alpha$ -Adjustierung mit  $\alpha^* = 1 - (1 - \alpha)^{1/k}$  statt (vgl. BORTZ/LIENERT/BOEHNKE 1990, 50ff). Dieses Verfahren wurde angewandt, da eine Abhängigkeit der Teilprüfungen  $H_3$  bis  $H_7$  anzunehmen ist.

## 6.3 Methodik

### 6.3.1 Personenstichprobe

An der Querschnittsstudie mit Meßwiederholung zu drei Untersuchungsterminen nahmen insgesamt 15 männliche Sportstudenten teil. Die Teilnahme erfolgte auf freiwilliger Basis und ohne finanzielle Vergütung, wobei die Anwerbung der Probanden durch den Versuchsleiter (Michael Fröhlich), durch persönlichen Kontakt, erfolgte. Von den insgesamt 15 Studenten betrieben im Untersuchungszeitraum zwei Studenten leistungsmäßig Ausdauersport (Triathlon). Vom restlichen Probandenklientel kann aufgrund der Studienfachrichtung bzw. aufgrund der Angaben in einem Fragebogen zu sportlichen Aktivitäten (vgl. Anhang zwei) auf eine hohe, homogene Sportaffinität geschlossen werden. Die statistischen Daten wurden vor Untersuchungsbeginn mit Hilfe von Fragebögen zu personen- und sportspezifischen Variablen erfaßt. Das Alter der 15 Probanden betrug im Mittel  $25,7 \pm 4,6$  Jahre. Das durchschnittliche Gewicht lag bei  $73,9 \pm 6,4$  kg, bezogen auf eine durchschnittliche Körpergröße von  $178,5 \pm 5,2$  cm.

Tab. 4: Anthropometrische Daten der Probanden

	Mittelwert ( $\bar{x}$ )	Std. Abw. (s)	Minimum	Maximum
Alter [Jahre]	25,7	4,6	19	33
Gewicht [kg]	73,9	6,4	63,0	85,0
Größe [cm]	178,5	5,2	168,0	186,0

Um die experimentelle Untersuchung gemäß den testtheoretischen Gütekriterien (vgl. ROST 1996, 31f) durchführen zu können und um trainingsspezifische Adaptationen auszuschließen bzw. möglichst gering zu halten (vgl. POLLMANN/WILLIMCZIK 1991; LORENZ/HAUSDORF/JESCHKE/TUSKER 1995) wurde pro Woche nur ein Testtermin vergeben. Die weiteren Retesttermine (Reliabilitätsüberprüfung) für die zweiten und dritten Untersuchungsfolgen fanden jeweils eine Woche später zu gleicher Uhrzeit statt, um eventuelle circadianrhythmische Einflüsse während des gesamten Untersuchungszeitraums konstant zu halten (vgl. TUSKER 1994, 53ff).

### 6.3.2 Variablenstichprobe

Innerhalb der Untersuchung wurde eine Zuordnung von unabhängigen, abhängigen und konstanten Variablen vorgenommen (vgl. BORTZ/DÖRING 1995, 5f). Die Durchführungs-/Auswertungs- und Interpretationsobjektivität sollte durch standardisierte Bedingungen (wie bspw. Fragebögen, Informationsblätter zu den einzelnen Testterminen, Aufwärmprogramm, Onlineregistrierung der Meßwerte) erreicht werden. Andererseits sollten durch Meßwiederholungen an drei Untersuchungsterminen und durch geeignete objektive Meßsysteme (vgl. Meßtechnik Kapitel 6.4), die Testgütekriterien wie Reliabilität und Validität hinreichend gesichert werden (vgl. BORTZ/DÖRING 1995; BÖS 1986).

#### 6.3.2.1 *Unabhängige Variable*

Unabhängige Variable dieser Untersuchung ist zum einen die Seitigkeit/Lateralität. Diese liegt dichotom vor und wird mit links/rechts bzw. mit der Ausführungsleistung (Maximalkraft) der linken oder rechten Beinpressbewegung beschrieben. Eine weitere unabhängige Variable ist die Intensität. Diese liegt fünffach gestuft vor und wird 50%, 60%, 70%, 80%; 90% ausgehend von der konzentrischen Maximalkraft beschrieben.

#### 6.3.2.2 *Abhängige Variable*

Abhängige Variable dieser Untersuchung ist die Anzahl der realisierten, manifesten (beobachtbaren) Beinpressbewegungen (Wiederholungszahl). Diese Wiederholungszahlen werden durch Moderatorvariablen (Intensität) bestimmt.

#### 6.3.2.3 *Moderatorvariablen/Kontrollvariablen*

Moderatorvariablen dieser Untersuchung sind die Intensität (Reihenfolge, in der die einzelnen Intensitätsstufen in den Versuchsplan eingingen), das Alter und Gewicht der Probanden, das Bewegungstempo (über Metronom kontrolliert), die Bewegungskontrolle sowie die isometrische und konzentrische Maximalkraft. Durch Erhebung bzw. Registrierung wurden die Moderatorvariablen zu Kontrollvariablen.

#### 6.3.2.4 *Variablenerfassung*

Die Variablenerfassung erfolgte mit Hilfe von Fragebögen (siehe Anhang zwei und vier) sowie durch die in Kapitel 6.4 beschriebene Meßapparatur, als auch durch manifeste Beobachtung (zählen der korrekt ausgeführten Wiederholungen auf den einzelnen Intensitätsstufen bei linker vs. rechter Beinseite).

## 6.4 Meßtechnik

Zur Messung der isometrischen und konzentrischen Maximalkraft und zur Bestimmung der Wiederholungszahl wurde eine Beinpresse der Firma Gemino Sport GmbH Heroldstatt benutzt. Durch die Verwendung eines Dehnungsmeßstreifen (DMS) Digi Max der mecha-Tronic GmbH, welcher in das Seilzugsystem der Beinpresse eingebaut wurde und über einen AD-Wandler mit einem PC verbunden war, konnte mit Hilfe der Meßsoftware Easy-Lab (Stemmer Software GmbH, Puchheim), der elektrische Widerstand registriert und weiter verarbeitet werden. Durch eine Vorverstärkung mit 100 Hz am Ladungsverstärker des Kraftkanals sowie durch eine Feinverstärkung von 50 Hz an der AD-Wandler-Karte fand eine optimale Justierung der Geräte statt.

Die Datenanalyse erfolgte mit der Auswertsoftware QuickLook (Stemmer Software GmbH, Puchheim), welche die Kraft-Zeit-Kurven auf einem VGA Monitor abbildete. Somit konnte innerhalb kürzester Zeit die zugehörige Maximalkraft sowohl graphisch dargestellt, als auch zahlenmäßig abgelesen werden. Die Abtastrate der Datenaufnahme erfolgte dabei jeweils mit 200 Hz, über insgesamt neun Sekunden Meßdauer.

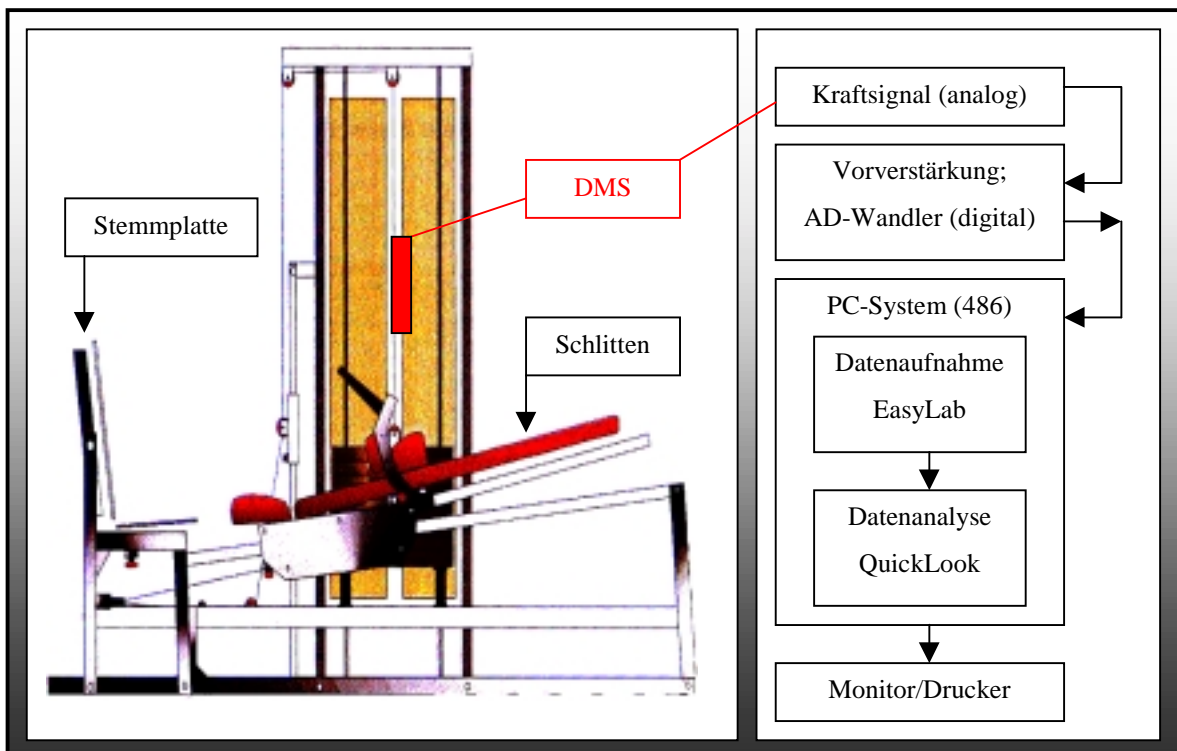


Abb. 15: Verwendete Meßtechnik zur Kraftdiagnostik

## 6.5 Bewegungsbeschreibung

Die eigentliche Bewegung bestand aus einer einbeinigen (*unilateralen*) Beinpressbewegung im Sinne einer kinematischen Kette. Um alle an der Bewegung beteiligten Muskeln mit Hilfe des EMG's ableiten zu können, wurde die Fußstellung dahingehend modifiziert, daß die Ferse keinen Kontakt zur Stemplatte hatte. Während der Messung des einen Beines (linke und rechte Seite wurden alternierend getestet), wurde das andere Bein frei in der Luft gehalten, um eventuelles Schwungnehmen zu vermeiden. Die Hüfte sollte während der gesamten Dauer der Tests festen Kontakt mit der Auflage haben. War dies nicht mehr gewährleistet, so wurde dies als Abbruchkriterium gewertet.

Die Streck- und Beugebewegung war durch eine Anfangs- und Endposition definiert, d.h. die Gewichte mußten immer wieder aus der 90 Grad Knieposition in die Streckung gebracht werden (vgl. RITZDORF/BRÜGGEMANN/MAAS u.a. 1995, 60ff).

Bei den isometrischen Maximalkrafttests in 60 und 90 Grad Position (siehe Abbildung 17 und 18) wurde die Beinpresse so fixiert, daß keine Gewichtsplatten bewegt und die von der kinematischen Kette gebildete Kraft anhand der Kraft-Zeit-Kurve abgelesen werden konnte (vgl. TUSKER 1994, 48).

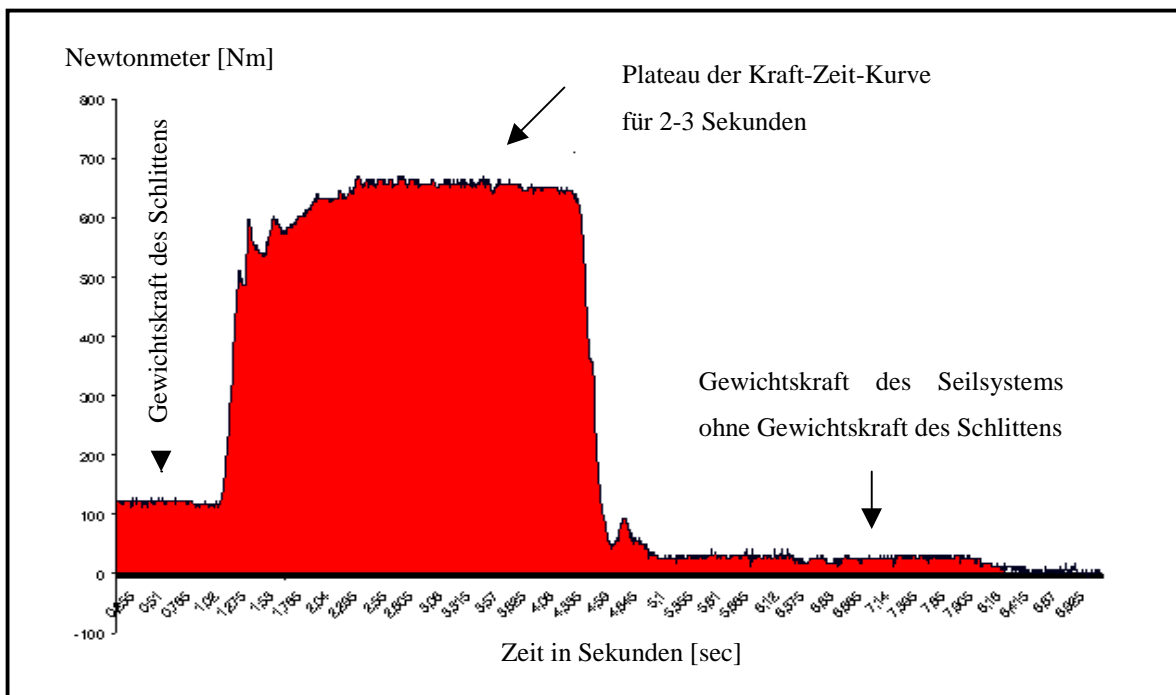


Abb. 16: Isometrische Kraft-Zeit-Kurve eines Probanden



Abb. 17: Isometrische Kraftmessung in 60 Grad Position



Abb. 18: Isometrische Kraftmessung in 90 Grad Position

Um möglichst praktikabel und ökonomisch eine konzentrische Maximalkraftbestimmung vornehmen zu können, orientierten sich die konzentrischen Maximalkrafttests an den isometrischen Maximalkraftwerten in gleicher Winkelstellung (vgl. BÜHRLE 1985b; MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993; MÜLLER 1987). Dieser Ansatzpunkt wurde gewählt, um im weiteren Verlauf mit möglichst wenig konzentrischen Versuchen, die jeweilige konzentrische Maximalkraft als Einwiederholungsmaximum zu finden (vgl. LETZELTER/LETZELTER/STEINMANN 1990, 48).

Die konzentrische Maximalkraft wurde dann als die größtmögliche, willkürlich realisierbare Kraft in Newton [N] verstanden, welche über ein Gewicht, gemessen in [kg] definiert wird und maximal einmal (Einwiederholungslast) innerhalb eines vollen Bewegungsumfanges (Anfangs- und Endpunkte sind definiert) innerhalb einer Streck-schlingenbewegung der Beinextension bewegt werden kann (vgl. SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 1998, 34). Dieser Wert wurde dann als 100% festgesetzt und diente als Referenzgröße zur deduktiven Bestimmung des Gewichts auf den einzelnen Intensitätsstufen (vgl. WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991).

### 6.6 Versuchsplan

Den experimentellen Überlegungen liegt ein zweifaktorieller Versuchsplan mit wiederholten Messungen auf dem Faktor A ( $p = 2$ ) und Faktor B ( $q = 5$ ) zugrunde. SARRIS (1992, 93) bezeichnet diesen Versuchsplan als Hauptdesign  $(5) WW - (p \times q) N$ .

Der Faktor A (Lateralität) ist zweifach gestuft (Testbeginn mit links bzw. Testbeginn mit rechts) und wird alternierend eingesetzt. Um mögliche abfolgespezifische Sequenzeffekte zu reduzieren, wurde zu allen drei Untersuchungsterminen die Reihenfolge verändert (vgl. BORTZ 1993, 312). Der Faktor B (Intensität) ist fünffach gestuft und wurde in folgender Reihenfolge durchlaufen: 70%; 90% und 60%; 80% und 50% (vgl. HOFMANN 1998, 89). Ökonomische bzw. praktikable Durchführungsmodalitäten haben hier eventuelle Sequenzeffekte in den Hintergrund treten lassen. Zur Verrechnung wurde das arithmetische Mittel (Mittelwert der Wiederholungszahlen) gebildet und zur weiteren Hypothesenprüfung eingesetzt. Im Falle der „Within“-Designs (repeated-measurements designs) kann dabei die gleiche Versuchsteilnehmergruppe zu verschiedenen Zeitpunkten des Gesamtverlaufs unter allen Bedingungen getestet werden (SARRIS 1992, 83).

Tab.5: Zweifaktorieller Versuchsplan mit wiederholten Messungen auf dem Faktor A (Lateralität  $p = 2$ ) und Faktor B (Intensität  $q = 5$ )

Ein-Stichprobe mit $n = 15$ : Design WW – $(2 \times 5) N$					
Faktor A	Faktor B ( $q = 5$ ) Intensität von 50% bis 90%				
( $p = 2$ ) Lateralität	B <sub>1</sub> 50%	B <sub>2</sub> 60%	B <sub>3</sub> 70%	B <sub>4</sub> 80%	B <sub>5</sub> 90%
A <sub>1</sub> (rechts)	I. } · } · } XV. }	I. } · } · } XV. }	I. } · } · } XV. }	I. } · } · } XV. }	I. } · } · } XV. }
	$\bar{Y}_{11}$	$\bar{Y}_{12}$	$\bar{Y}_{13}$	$\bar{Y}_{14}$	$\bar{Y}_{15}$
A <sub>2</sub> (links)	I. } · } · } XV. }	I. } · } · } XV. }	I. } · } · } XV. }	I. } · } · } XV. }	I. } · } · } XV. }
	$\bar{Y}_{21}$	$\bar{Y}_{22}$	$\bar{Y}_{23}$	$\bar{Y}_{24}$	$\bar{Y}_{25}$

## 6.7 Untersuchungsablauf

Die Untersuchung fand im Rahmen einer Kooperation mit dem Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saar statt. Dieser stellte freundlicherweise das Geräteequipment (Beinpresse, Analyse- und Auswertesysteme, sowie die Durchführungsmöglichkeiten) zur Verfügung. Innerhalb dieser Kooperation wurden neuroelektrische Aktivitäten mittels EMG von acht Muskeln (*M. vastus medialis*, *M. rectus femoris*, *M. vastus lateralis*, *M. biceps femoris*, *M. tibialis anterior*, *M. gastrocnemius*, *M. soleus*, *M. gluteus maximus*) auf der linken Beinseite abgeleitet und die aus der Bewegung resultierenden Kraft-Zeit-Kurven registriert.

Auf die EMG Untersuchung die Forschungsgegenstand des Olympiastützpunktes Rheinland-Pfalz/Saar war, soll im Rahmen dieser empirischen Studie nicht näher eingegangen werden.

Der Ablauf der eigentlichen Untersuchung war für alle 15 getesteten Probanden gleich und gliederte sich in drei Untersuchungstermine, die in einem wöchentlichen Abstand am gleichen Tag und zur gleichen Uhrzeit stattfanden. An den einzelnen Terminen, die sich über einen Zeitraum von ca. 90 Minuten erstreckten, fand anhand eines Posters die einleitende Information zu den Durchführungsmodalitäten statt (siehe Anhang fünf bis sieben).

Nach den Hinweisen zum Zweck der eigentlichen Untersuchung (standardisiert über ein Informationsblatt, siehe Anhang eins) wurden die Probanden gebeten, einen Fragebogen zur Erfassung von personenspezifischen Variablen (Anhang zwei) auszufüllen und eine Einverständniserklärung abzugeben.

Im Anschluß daran wurden die individuellen Einstellungen der Kniewinkelposition an der Beinpresse mit Hilfe eines Goniometers vorgenommen. So sollten einmal ein Kniewinkel von 60 Grad und ein anderes mal ein Kniewinkel von 90 Grad Auskunft über die zugehörigen Kraftwerte in dieser Position geben.

Segmentlängenbestimmungen von Fuß (unterteilt in Zehenlänge, Mittelfuß und Fersenbein), Unter- und Oberschenkel, sowie die Präparation der Muskulatur für die EMG Registrierung (vgl. ZIPP 1988, 1989) bildeten den Abschluß der allgemeinen Vorbereitung.

Der eigentliche Versuchsablauf wurde mit einem, für alle Probanden standardisierten Aufwärmprogramm begonnen, das sich aus einer allgemeinen Erwärmung auf dem Fahrradergometer (vier Minuten mit zwei Watt pro Kilogramm Körpergewicht) und anschließender Dehnung (siehe Anhang drei) der beanspruchten Muskulatur zusammensetzte. Nach dem Kleben der Oberflächenelektroden für das EMG folgte ein spezifisches Erwärmen bzw. Voraktivieren der Streck- und Beugemuskulatur an der Beinpresse mit zehn beidbeinigen Wiederholungen, ausgehend vom Körpergewicht in Kilogramm. Eine Minute Pause bis zur eigentlichen Maximalkraftmessung bildete den Abschluß dieser Phase.

Dieser Ablauf wurde am zweiten und dritten Untersuchungstermin in ähnlicher bzw. leicht modifizierter Weise wiederholt, wobei auf eine Segmentlängenbestimmung, als auch auf eine Vermessung der individuellen 60° und 90° Position im Kniegelenk, verzichtet werden konnte, da diese Daten beim ersten Untersuchungstermin schriftlich fixiert wurden. Durch einen veränderten Fragebogen (Anhang vier) sollte an diesen Terminen geklärt werden, ob spezifische Trainingsmaßnahmen die Untersuchung beeinflussen könnten.

### **6.7.1 Erster Untersuchungstermin**

Beim ersten Untersuchungstermin wurde die isometrische Maximalkraft (MVC) in der 60 Grad Kniewinkelposition bestimmt (das rechte Bein wurde zuerst getestet, nach einer Minute Pause folgte das linke Bein). Nach fünf Minuten Pause folgte die Bestimmung der isometrischen Maximalkraft (MVC) in 90 Grad Kniewinkelposition (das linke Bein wurde zuerst getestet, nach einer Minute Pause folgte das rechte Bein).

Angelehnt an die isometrischen Maximalkraftwerte in 90° Position (konnten anhand der Kraft-Zeit-Kurve abgelesen werden), fand nach fünf Minuten Pause eine konzentrische Maximalkraftbestimmung statt. Dabei sollten die Probanden versuchen, ein Gewicht welches ca. 10% unter der isometrischen Maximalkraft (90°) lag, einmal innerhalb eines vollen Bewegungsumfanges zu bewegen - Einwiederholungsmaximum - (das rechte Bein wurde zuerst getestet, nach einer Minute Pause folgte das linke Bein).

Nach weiteren fünf Minuten Pause folgte eine zweite konzentrische Maximalkraftbestimmung, die das ermittelte Einwiederholungsmaximum überprüfen sollte (das linke Bein wurde zuerst getestet, nach einer Minute Pause folgte das rechte Bein). Dieses zweifach ermittelte Einwiederholungsmaximum (bei ungleichen Einwiederholungsmaxima wurde

das arithmetische Mittel berechnet) wurde dem Wert 100% gleichgesetzt und diente somit als Referenzwert für die anschließende Berechnung des Gewichts in den einzelnen Intensitätsstufen. Gleichung neun illustriert eine exemplarische Berechnung eines Gewichts bei 70% der konzentrischen Maximalkraft (120 kg).

$$\text{Gl. 9: } x = \frac{120 \cdot 70}{100} \left[ \frac{\text{kg} \cdot \%}{\%} \right]; x = 84 \text{ kg}$$

Nach zehn Minuten Pause sollten die Probanden dann, bei 70% des vorher ermittelten konzentrischen Maximalkraftwertes, so viele Wiederholungen wie möglich machen (das rechte Bein wurde zuerst getestet, nach drei Minuten Pause folgte das linke Bein).

### 6.7.2 Zweiter Untersuchungstermin

Am zweiten Untersuchungstermin folgten nach dem gleichen Aufwärmprogramm und nach den gleichen Prozeduren der EMG-Ableitung, die Messungen der isometrischen Maximalkraft (MVC) in 60 Grad und 90 Grad Position. Die Maximalkraftmessung begann mit der linken Beinseite und wechselte von Test zu Test, wobei die Pausenzeiten zwischen den Wechseln der Beinseite jeweils eine Minute und die Pause zwischen den einzelnen Tests jeweils fünf Minuten betrug.

Um den Referenzwert für die Bestimmung des Gewichts auf den Intensitätsstufen festzulegen, fand eine konzentrische Maximalkraftbestimmung, als Einwiederholungsmaximum statt. Dieses Gewicht konnte schon relativ sicher aus den Werten der vorangegangenen isometrischen Messungen in 90 Grad Position abgelesen werden und korrelierte bspw. auf der linken Streckschlingenseite mit  $r = 0,994$  ( $\alpha \leq 0,01$ ) und auf der rechten Streckschlingenseite mit  $r = 0,991$  sehr signifikant. Dieser ermittelte Wert wurde wiederum als 100% definiert und stellte den Ausgangswert für die anschließende Berechnung des Gewichts für die Intensitätsstufen von 90% und 60% dar. Die Pausendauer zwischen den Seitenwechseln betrug drei Minuten bzw. zehn Minuten zwischen den einzelnen Wiederholungstests und dem konzentrischen Maximalkrafttest.

### 6.7.3 Dritter Untersuchungstermin

Am dritten Untersuchungstermin erfolgte die gleiche Vorgehensweise wie zum zweiten Untersuchungstermin. Hierbei sollten jedoch die maximalen Wiederholungszahlen bei 80% und 50% der vorher ermittelten konzentrischen Maximalkraft realisiert werden. Die Pausen zwischen den Tests, sowie zwischen den Wiederholungsausführungen waren die gleichen und betragen zehn bzw. drei Minuten.

### 6.7.4 Spezifizierung der Untersuchungstermine

Die Maximalkraftbestimmungen in 60 und 90 Grad Position (isometrisch) und auch die konzentrische Maximalkraftbestimmung in 90 Grad Position wurden zu allen drei Untersuchungsterminen durchgeführt um:

- eventuell mangelnde Motivationsbereitschaft auszuschließen (standardisierte Anweisungen zu den einzelnen Untersuchungsphasen)
- den individuellen tageszeitlichen Schwankungen Rechnung zu tragen,
- den Grad der Reliabilität zu überprüfen,
- ein MVC für die EMG-Ableitung zu registrieren.

Somit lag zu allen drei Untersuchungsterminen eine möglichst objektive Referenzgröße vor, die für die weitere Berechnung des Gewichts auf den Intensitätsstufen dienen sollte.

Die zu realisierenden Wiederholungszahlen auf den einzelnen Intensitätsstufen (50%-90%) wurden durch einen Metronom gesteuert, der einen Takt von 30 Schlägen pro Minute vorgab (vgl. BUTTLER/KUHN/MÜCKE 1996, 259). Diese Vorgehensweise zu allen drei Versuchsterminen wurde unter anderem gewählt, um den Probanden eine Orientierung zu geben. Andererseits sollte die Geschwindigkeit der Ausführung der Beinpressbewegung aller Probanden auf ein einheitliches Maß beschränkt werden, um eventuelle Wechselwirkungen von Kraft und Geschwindigkeit zu berücksichtigen (vgl. BOSCO 1992, 26).

Tab. 6: Untersuchungsablauf im Überblick

Treatment	Linke Seite	Rechte Seite	Pause zw. links/rechts
<b>1. Termin</b>			
iso. max. F 60°			1 Min.
5 Min. Pause			
iso. max. F 90°			1 Min.
5 Min. Pause			
kon. max. F 90°			1 Min.
5 Min. Pause			
kon. max. F 90°			1 Min.
10 Min. Pause			
Wdh. 70% kon. Max. F			3 Min.
<b>2. Termin</b>			
iso. max. F 60°			1 Min.
5 Min. Pause			
iso. max F 90°			1 Min.
5 Min. Pause			
kon. max. F 90°			1 Min.
5 Min. Pause			
Wdh. 90% kon. max. F			3 Min.
10 Min. Pause			
Wdh. 60% kon. max. F			3 Min.
<b>3. Termin</b>			
iso. max. F 60°			1 Min.
5 Min. Pause			
iso. max. F 90°			1 Min.
5 Min. Pause			
kon. max. F 90°			1 Min.
5 Min. Pause			
Wdh. 80% kon. max. F			3 Min.
10 Min. Pause			
Wdh. 50% kon. max. F			3 Min.

## 7 Ergebnisdarstellung

### 7.1 Inferenzstatistische Ergebnisdarstellung

#### 7.1.1 Hypothese 1

Zur statistischen Berechnung der Unterschiedshypothese  $H_1$  wurde ein Einstichproben T-Test (One-Sample T-Test) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha \leq 0,05$  und zweiseitiger Fragestellung verwendet. Anhand dieser Prozedur wird getestet, ob die Daten der Stichprobe aus einer Population stammen. Dabei wird für dieses Prüfverfahren vorausgesetzt, daß die Differenzen in ihrer Grundgesamtheit normalverteilt und intervallskaliert vorliegen. Die Prüfung der Normalverteilung erfolgte mit dem KOLMOGOROV-SMIRNOV Test (vgl. BORTZ/LIENERT/BOEHKE 1990, 319ff). Danach kann für den Datensatz die Annahme der Normalverteilung angenommen werden (K-S Test  $p \geq 0,20$ ). Die Signifikanzprüfung mit  $n = 75$  ( $df = n - 1$ ) lieferte einen t-Wert von 1,277.

Da  $t_{\text{emp}} < t_{\text{krit}}$  ( $t_{1,277} < t_{1,671}$ ) ist Hypothese  $H_1$  zu verwerfen und  $H_0$  anzunehmen. D.h. es besteht kein Unterschied hinsichtlich der Wiederholungszahlen zwischen linkem und rechtem Bein, mit  $p = 0,206_{(74; 0,05)}$ .

In Tabelle sieben ist der empirische t-Wert, der kritische t-Wert bei  $\alpha \leq 0,05$  ( $n = 60$ ), der Mittelwert der Differenzen ( $\bar{x}$ ), die Standardabweichung der Differenz ( $s$ ), der geschätzte Standardfehler ( $\delta_{\bar{x}}$ ), die Freiheitsgrade ( $df$ ), sowie der p-Wert aufgeführt.

Tab. 7: Werte der Unterschiedsprüfung von Hypothese 1

$t_{\text{emp}}$	$t_{\text{krit}}$	$\bar{x}$	$s$	$\delta_{\bar{x}}$	$df$	$p$
1,277	1,671	1,373	9,316	1,075	74	0,206

Da die Überprüfungen der Hypothese  $H_1$  hervorgebracht hat, daß es keine Unterschiede zwischen den Wiederholungszahlen der linken und der rechten Seite auf den einzelnen Intensitätsstufen gibt, sollen im weiteren Verlauf der Hypothesenprüfungen die Mittelwerte der Wiederholungszahlen von linker und rechter Seite zusammengefaßt werden. Somit gehen in die weitere Berechnung die Mittelwerte der linken und rechten Seite ein.

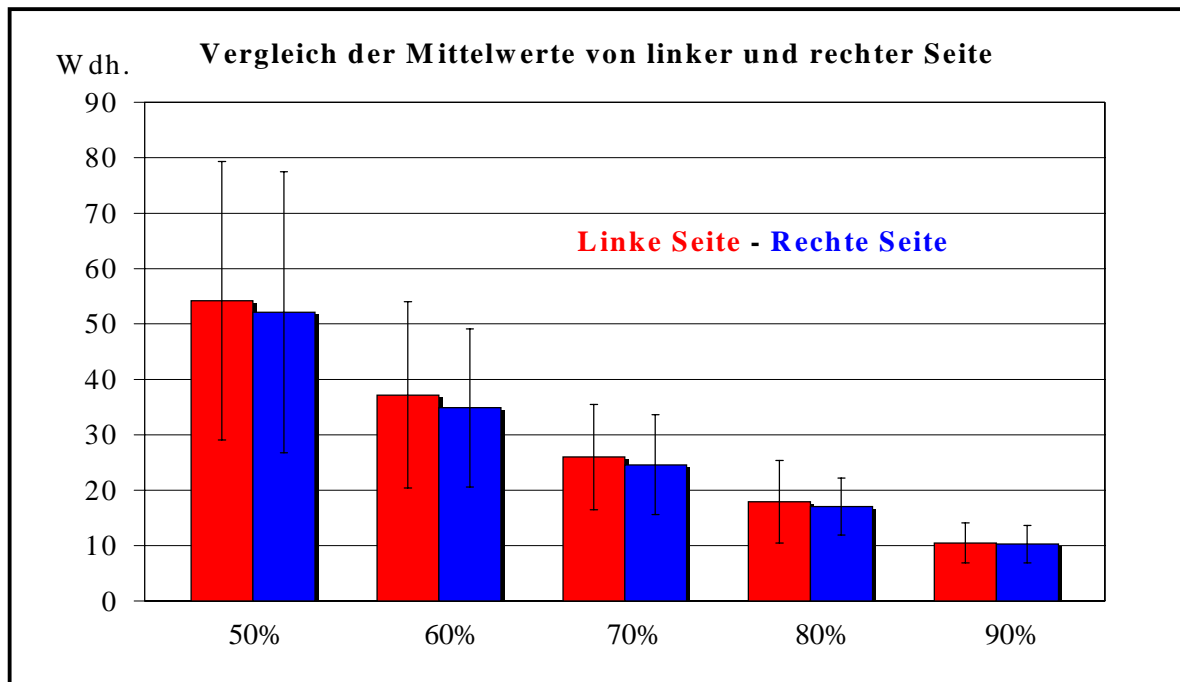


Abb. 19: Vergleich der Mittelwerte der Wiederholungszahlen von linker und rechter Seite

Aufgrund der Überprüfung von  $H_1$  konnte gezeigt werden, daß keine links/rechts Unterschiede im Mittel vorliegen. Da jedoch bei den einzelnen Versuchspersonen zum Teil Differenzen von über 25 Wiederholungen (siehe Anhang acht) zwischen der linken und der rechten Ausführungsseite bestehen und die Streuung der Unterschiedshypothese  $H_1$  sehr groß ausfällt (siehe Tabelle sieben), sollte nachträglich überprüft werden, ob Seitigkeitsdifferenzen bzgl. der Wiederholungszahlen vorliegen.

A posteriori wurde zur statistischen Berechnung hierfür ein Einstichproben T-Test (One-Sample T-Test) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha \leq 0,05$  und zweiseitiger Fragestellung verwendet. Dabei wurde jedoch nicht die Differenz der Wiederholungszahlen der linken und rechten Seite zugrunde gelegt, sondern der Betrag der Differenz, um einen absoluten Wert zu erhalten.

Die Signifikanzprüfung mit  $n = 75$  ( $df = n - 1$ ) lieferte einen t-Wert von 8,631. D.h. obwohl keine links/rechts Unterschiede zwischen den Wiederholungszahlen bei den Probanden bestehen, zeigten sich jedoch erhebliche Seitigkeitsdifferenzen.

Tab. 8: Werte der Seitigkeitsüberprüfung

$t_{\text{emp}}$	$t_{\text{krit}}$	$\bar{x}$	s	$\delta_{\bar{x}}$	df	p
8,631	1,671	6,626	6,649	0,767	74	0,000

### 7.1.2 Hypothese 2

Zur statistischen Berechnung der Zusammenhangshypothese  $H_2$  wurde eine bivariate Korrelationsanalyse (PEARSON Korrelation) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha \leq 0,01$  und zweiseitiger Fragestellung verwendet. Die Überprüfung der Daten auf Normalverteilung erfolgte mit dem KOLMOGOROV-SMIRNOV Test. Der ermittelte Korrelationskoeffizient liegt bei  $-0,722$  und ist auf dem 1%-Niveau signifikant. Die Signifikanzprüfung mit  $n = 150$  ( $df = n - 2$ ) lieferte einen t-Wert von  $-12,698$ .

Da  $t_{\text{emp}} > t_{\text{krit}}$  ( $t_{-12,69} > t_{-1,35}$ ) ist Hypothese  $H_2$  anzunehmen. D.h. es besteht ein negativer statistisch sehr signifikanter Zusammenhang zwischen den Intensitätsstufen und den Wiederholungszahlen mit  $r = -0,722_{(148; 0,01)}$ .

Da die einzelnen Variablen in ihrer Stichprobengesamtheit einer Normalverteilung entsprechen kann im folgenden eine lineare sowie eine logarithmische Regressionsanalyse durchgeführt werden (vgl. BORTZ 1993, 176). Die optische Überprüfung ergab, daß eine logarithmische Regression die Zusammenhangshypothese  $H_2$  besser abbildet, als eine exponentielle Regression (vgl. BAYER/RAMLOW 1993, 16).

Tab. 9: Werte der Regressionsberechnung von Hypothese 2

Regression	r (Beta)	df	b	SE B	t	p
Lineare	-0,722	148	-0,500	0,0394	-12,698	0,000
Logarithmische	-0,835	148	-17,901	0,9687	-18,479	0,000

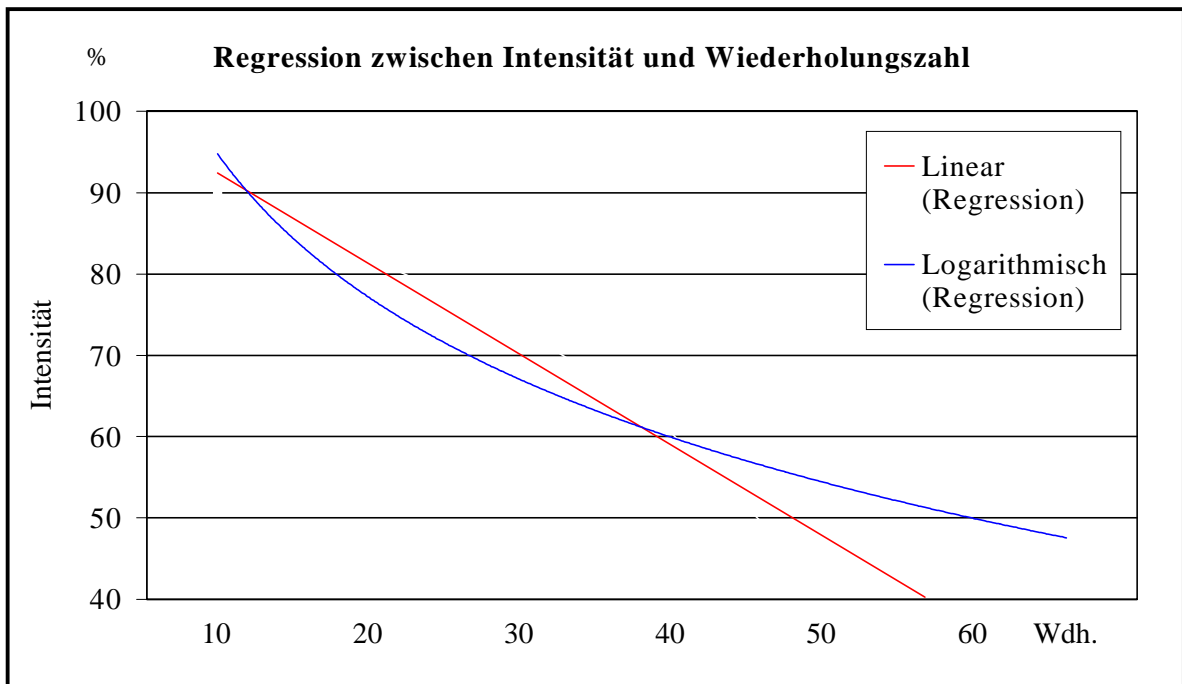


Abb. 20: Lineare und logarithmische Regression zwischen den Intensitätsstufen und den Wiederholungszahlen. Lineare Regression mit  $y = bx + a$  bzw. logarithmische Regression mit  $y = a + b \cdot \log x$  ( $x$  = unabhängige Variable,  $y$  = abhängige Variable,  $b$  = Steigung der Geraden,  $a$  = Schnittpunkt der Geraden mit der  $y$ -Achse)

### 7.1.3 Hypothesenprüfung H<sub>3</sub> bis H<sub>7</sub>

Zur statistischen Berechnung der Unterschiedshypothesen H<sub>3</sub> bis H<sub>7</sub> wurde ein Einstichproben T-Test für unabhängige Stichproben (One-Sample T-Test) mit einem „family wise error rate“ (BORTZ 1993, 249) adjustierten  $\alpha$ -Niveau von  $\alpha^* \leq 0,01$  und zweiseitiger Fragestellung gerechnet. Die  $\alpha$ -Adjustierung wurde mittels der Gleichung  $\alpha^* = 1 - (1 - \alpha)^{1/k}$  durchgeführt. Für  $k = 5$  (Intensitätsstufen) und  $\alpha = 0,05$  ergibt sich ein  $\alpha^* = 0,01$  (vgl. BORTZ/LIENERT/BOEHNE 1990, 49ff). Progressiv betrachtet bedeutet dies, wenn ein einzelner Test signifikant wird, ist die globale H<sub>0</sub> zu verwerfen. Zur Überprüfung der Daten auf Normalverteilung wurde der One-Sample KOLMOGOROV-SMIRNOV Test ( $p \geq 0,20$ ) benutzt. Da die Daten normalverteilt sind, soll im folgenden überprüft werden, ob die gefundenen Mittelwerte der beiden Stichproben aus der gleichen Population stammen. Hierbei wurde jedoch nicht gegen einen Erwartungswert von Null, sondern gegen den Stichprobenmittelwert ( $\mu_0$ ) von ZATSIORSKY (1996) geprüft.

#### 7.1.3.1 Hypothese 3

Zur Überprüfung der Hypothese H<sub>3</sub> wurde ein Einstichproben T-Test für unabhängige Stichproben mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha^* \leq 0,01$  und zweiseitiger Fragestellung gerechnet. Die Signifikanzprüfung mit  $n = 15$  ( $df = n - 1$ ) lieferte einen t-Wert von  $4,566_{(14; 0,01)}$ .

Da  $t_{\text{emp}} > t_{\text{theor}}$  ( $t_{4,56} > t_{2,62}$ ) ist Hypothese drei anzunehmen. D.h. es besteht ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den empirischen Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 50% innerhalb dieser Untersuchung und den Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 50% von ZATSIORSKY (1996).

In Tabelle zehn ist der empirische t-Wert, der kritische t-Wert ( $\alpha^* \leq 0,01$ ), der Mittelwert dieser Untersuchung ( $\bar{x}$ ), der Stichprobenmittelwert von ZATSIORSKY (Prüfgröße  $\mu_0$ ), die Standardabweichung ( $s$ ), der geschätzte Standardfehler ( $\delta_{\bar{x}}$ ), die Freiheitsgrade ( $df$ ), die Anzahl der Probanden ( $n$ ), sowie der p-Wert aufgeführt.

Tab. 10: Werte der Unterschiedsprüfung von Hypothese 3

$t_{\text{emp}}$	$t_{\text{theor}}$	$\bar{x}$	$\mu_0$	s	$\delta_{\bar{x}}$	df	n	p
4,566	2,624	53,173	25	23,898	6,170	14	15	0,000

Da bei den weiteren Hypothesenprüfungen ( $H_4$  bis  $H_7$ ) die gleichen statistischen Verfahren, wie bei Hypothese drei zur Anwendung kommen, sollen im folgenden nur die Ergebnisdarstellungen Berücksichtigung finden.

#### 7.1.3.2 Hypothese 4

Zur Überprüfung der Hypothese  $H_4$  wurde ein Einstichproben T-Test für unabhängige Stichproben mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha^* \leq 0,01$  und zweiseitiger Fragestellung gerechnet. Die Signifikanzprüfung mit  $n = 15$  ( $df = n - 1$ ) lieferte einen t-Wert von  $4,677_{(14; 0,01)}$ .

Da  $t_{\text{emp}} > t_{\text{theor}}$  ( $t_{4,67} > t_{2,62}$ ) ist Hypothese vier anzunehmen. D.h. es besteht ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den empirischen Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 60% innerhalb dieser Untersuchung und den Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 60% von ZATSIORSKY (1996).

Tab. 11: Werte der Unterschiedsprüfung von Hypothese 4

$t_{\text{emp}}$	$t_{\text{theor}}$	$\bar{x}$	$\mu_0$	s	$\delta_{\bar{x}}$	df	n	p
4,677	2,624	36,033	18	14,932	3,855	14	15	0,000

### 7.1.3.3 Hypothese 5

Zur Überprüfung der Hypothese  $H_5$  wurde ein Einstichproben T-Test für unabhängige Stichproben mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha^* \leq 0,01$  und zweiseitiger Fragestellung gerechnet. Die Signifikanzprüfung mit  $n = 15$  ( $df = n - 1$ ) lieferte einen t-Wert von  $5,968_{(14; 0,01)}$ .

Da  $t_{\text{emp}} > t_{\text{theor}}$  ( $t_{5,96} > t_{2,62}$ ) ist Hypothese fünf anzunehmen. D.h. es besteht ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den empirischen Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 70% innerhalb dieser Untersuchung und den Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 70% von ZATSIORSKY (1996).

Tab. 12: Werte der Unterschiedsprüfung von Hypothese 5

$t_{\text{emp}}$	$t_{\text{theor}}$	$\bar{x}$	$\mu_0$	s	$\delta_{\bar{x}}$	df	n	p
5,968	2,624	25,300	12	8,630	2,228	14	15	0,000

### 7.1.3.4 Hypothese 6

Zur Überprüfung der Hypothese  $H_6$  wurde ein Einstichproben T-Test für unabhängige Stichproben mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha^* \leq 0,01$  und zweiseitiger Fragestellung gerechnet. Die Signifikanzprüfung mit  $n = 15$  ( $df = n - 1$ ) lieferte einen t-Wert von  $6,985_{(14; 0,01)}$ .

Da  $t_{\text{emp}} > t_{\text{theor}}$  ( $t_{6,98} > t_{2,62}$ ) ist Hypothese sechs anzunehmen. D.h. es besteht ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den empirischen Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 80% innerhalb dieser Untersuchung und den Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 80% von ZATSIORSKY (1996).

Tab. 13: Werte der Unterschiedsprüfung von Hypothese 6

$t_{\text{emp}}$	$t_{\text{theor}}$	$\bar{x}$	$\mu_0$	s	$\delta_{\bar{x}}$	df	n	P
6,985	2,624	17,500	8	5,267	1,360	14	15	0,000

7.1.3.5 Hypothese 7

Zur Überprüfung der Hypothese  $H_7$  wurde ein Einstichproben T-Test für unabhängige Stichproben mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha^* \leq 0,01$  und zweiseitiger Fragestellung gerechnet. Die Signifikanzprüfung mit  $n = 15$  ( $df = n - 1$ ) lieferte einen t-Wert von  $7,020_{(14, 0,01)}$ .

Da  $t_{emp} > t_{theor}$  ( $t_{7,02} > t_{2,62}$ ) ist Hypothese sieben anzunehmen. D.h. es besteht ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den empirischen Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 90% innerhalb dieser Untersuchung und den Mittelwerten der Wiederholungszahlen bei 90% von ZATSIORSKY (1996).

Tab. 14: Werte der Unterschiedsprüfung von Hypothese 7

$t_{emp}$	$t_{theor}$	$\bar{x}$	$\mu_0$	s	$\delta_{\bar{x}}$	df	n	P
7,020	2,624	10,366	5	2,960	0,764	14	15	0,000

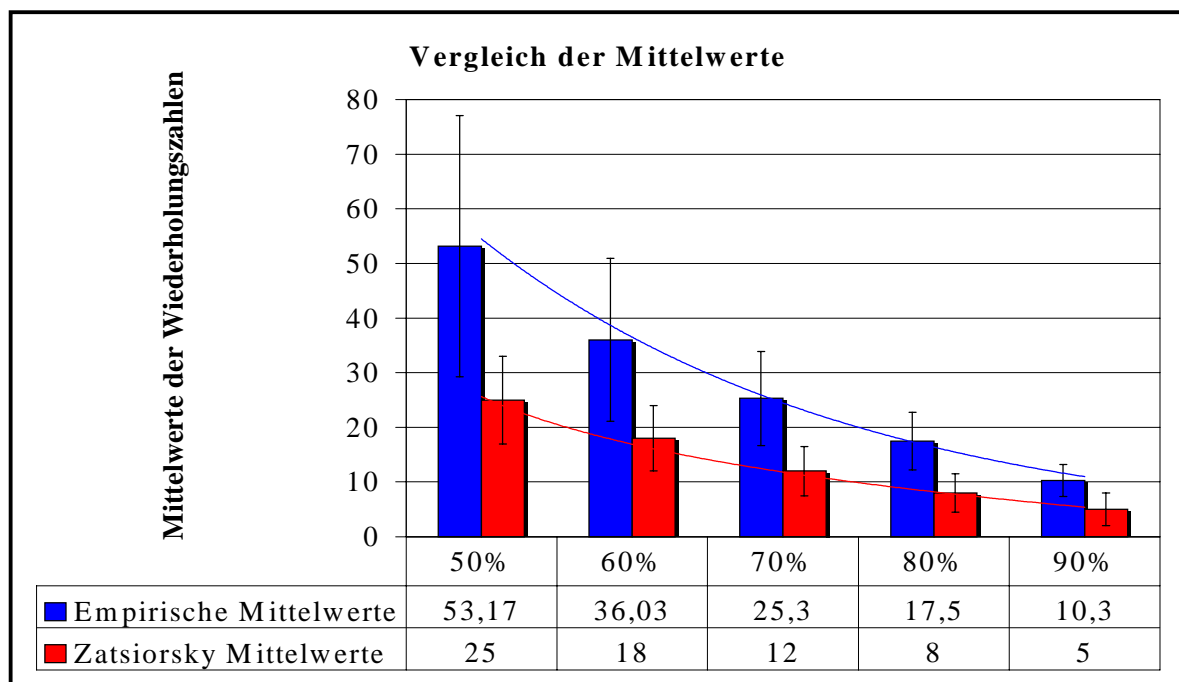


Abb. 21: Säulendiagramm des Mittelwertunterschieds mit logarithmischer Anpassung

## 7.2 Ergebnisse der Maximalkraft und der Wiederholungszahlen

### 7.2.1 Ergebnisse der konzentrischen Maximalkraft

Um eine Grobbeurteilung der dynamischen (konzentrischen) Kraft vornehmen zu können, wurde aufgrund der leichteren Messung, eine maximale isometrische Kraftermittlung (MVC) in gleicher Winkelstellung vorangeschaltet (vgl. HOLLMANN/HETTINGER 1990, 208f). Dieses Verfahren war sehr hilfreich, um im späteren Verlauf mit möglichst wenig konzentrischen Versuchen, das jeweilige konzentrische Einwiederholungsmaximum abschätzen zu können. Wie aus Abbildung 22 zu entnehmen ist, liegen die Mittelwerte der Einwiederholungsmaxima zu den einzelnen Terminen auf einem relativ konstanten Niveau. Weiterhin soll herausgestellt werden, daß die Einwiederholungsmaxima am dritten Untersuchungstermin schon recht sicher aus den Werten des zweiten Termins vorhergesagt werden konnten. Eine im nach hinein durchgeführte PEARSON Korrelation mit zweiseitiger Fragestellung lieferte einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem zweiten und dem dritten Termin auf der linken und auf der rechten Seite.

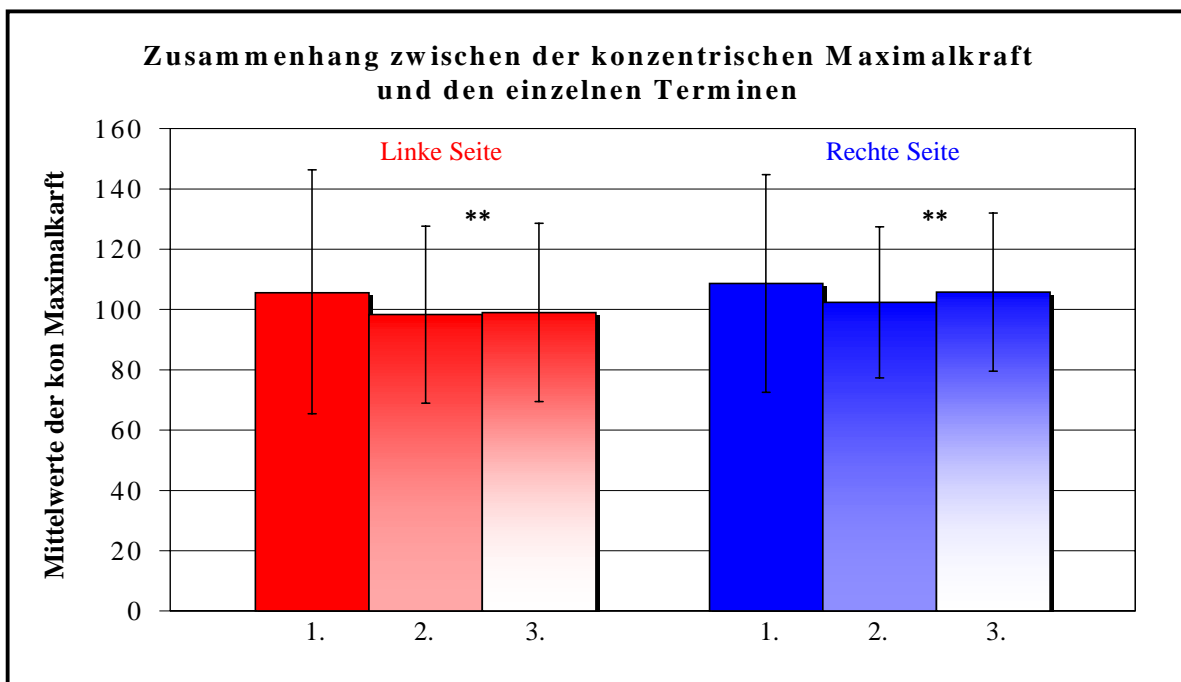


Abb. 22: Mittelwerte der konzentrischen Maximalkraft von linker und rechter Seite zu den jeweiligen Terminen ( $r = 0,977$  linke Seite bzw.  $r = 0,937$  rechte Seite; \*\* statistisch signifikant auf dem 1%-Niveau)

In folgender Tabelle sind die konzentrischen Maximalkraftwerte der 15 Probanden von linker und rechter Seite, die Mittelwerte ( $\bar{x}$ ), die Standardabweichung (s), die Minima und Maxima der bewegten Gewichtsplatten in [kg] sowie deren Differenz (Range) zu sehen:

Tab. 15: Einwiederholungsmaxima von linker und rechte Seite zu den einzelnen Terminen

Vp	kon F <sub>m</sub> linke Seite			kon F <sub>m</sub> rechte Seite		
	F <sub>m</sub> 1.	F <sub>m</sub> 2.	F <sub>m</sub> 3.	F <sub>m</sub> 1.	F <sub>m</sub> 2.	F <sub>m</sub> 3.
1.	82,5	100,0	100,0	82,5	100,0	103,0
2.	55,0	60,0	70,0	75,0	67,5	75,0
3.	97,5	105,0	115,0	95,0	105,0	135,0
4.	170,0	170,0	180,0	150,0	150,0	160,0
5.	57,5	57,5	57,5	67,5	67,5	67,5
6.	97,5	100,0	100,0	107,5	110,0	110,0
7.	80,0	80,0	80,0	90,0	85,0	85,0
8.	105,0	100,0	100,0	125,0	110,0	121,0
9.	110,0	105,0	105,0	115,0	115,0	115,0
10.	125,0	130,0	115,0	125,0	150,0	140,0
11.	85,0	87,5	90,0	90,0	95,0	92,5
12.	105,0	102,5	102,5	92,5	92,5	95,0
13.	210,0	70,0	70,0	212,5	80,0	85,0
14.	125,0	130,0	125,0	115,0	120,0	120,0
15.	77,5	77,5	75,0	87,5	87,5	82,5

$\bar{x}$	105,5	98,3	99,0	108,6	102,3	105,7
s	40,7	29,3	29,5	36,0	24,9	26,2
Mini	55,0	57,5	57,5	67,5	67,5	67,5
Maxi	210,0	170,0	180,0	212,5	150,0	160,0
Range	155,0	112,5	122,5	145,0	82,5	92,5

### 7.2.2 Ergebnisse der Wiederholungszahlen

Die Darstellung der Ergebnisse der Wiederholungszahlen soll sich auf eine tabellarische Form beschränken, wobei die Mittelwerte der Wiederholungszahlen auf den einzelnen Intensitätsstufen ( $\bar{x}$ ), die mittleren Fehler des Mittelwerts ( $\delta_{\bar{x}}$ ), die Standardabweichungen (s), die Differenz von Minimum und Maximum (Range), sowie die Minima und Maxima der Wiederholungszahlen, Berücksichtigung finden.

Tab. 16: Deskriptive Werte der Wiederholungszahlen auf den einzelnen Intensitätsstufen

	Mittelwert ( $\bar{x}$ ) und mittlerer Fehler des Mittelwert ( $\delta_{\bar{x}}$ )	Std. Abw. (s)	Range (diff.)	Minimum	Maximum
Wdh. bei 50%	53,17	6,17	23,89	29,60	102,50
Wdh. bei 60%	36,03	3,85	14,93	23,50	75,50
Wdh. bei 70%	25,30	2,22	8,63	17,50	45,50
Wdh. bei 80%	17,50	1,36	5,26	12,00	30,50
Wdh. bei 90%	10,36	0,76	2,96	7,00	17,00

Um Aussagen über die Zusammenhänge der Wiederholungszahlen auf den einzelnen Intensitätsstufen machen zu können, wurde a posteriori eine PEARSON Korrelation mit zweiseitiger Fragestellung gerechnet. Die signifikanten Ergebnisse (n = 15) sind mit Stern gekennzeichnet.

Tab. 17: Korrelationsberechnung zwischen den Intensitätsstufen

	50%	60%	70%	80%	90%
50%	1,000	<b>0,908**</b>	<b>0,719**</b>	<b>0,428</b>	<b>0,111</b>
60%		1,000	<b>0,876**</b>	<b>0,219</b>	<b>-0,009</b>
70%			1,000	<b>0,153</b>	<b>0,268</b>
80%				1,000	<b>0,571*</b>
90%					1,000

\* statistisch signifikant auf dem 5%-Niveau; \*\* statistisch signifikant auf dem 1%-Niveau

### 7.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Interpretation

Wie den Ergebnisdarstellungen zur konzentrischen Maximalkraft zu entnehmen ist, schwanken die Mittelwerte der Einwiederholungsmaxima zu den einzelnen Untersuchungsterminen von linker bzw. rechter Seite über einen Zeitraum von drei Wochen nur geringfügig. So liegen bspw. die Mittelwerte der Einwiederholungsmaxima der linken Seite bei  $105,5 \pm 40,73$  kg für den ersten Termin, bei  $98,33 \pm 29,37$  kg für den zweiten Termin und bei  $99,0 \pm 29,54$  kg für den dritten Termin, was einer Spannweite von 7,17 kg entspricht. Die Mittelwerte der Einwiederholungsmaxima der rechten Seite liegen bei  $108,66 \pm 36,06$  kg für den ersten Termin, bei  $102,33 \pm 24,99$  kg für den zweiten Termin und bei  $105,76 \pm 26,21$  kg für den dritten Termin, was einer Spannweite von 6,33 kg gleich kommt. A posteriori wurde eine Korrelationsanalyse (PEARSON) durchgeführt, die hervor gebracht hat, daß zwischen dem Einwiederholungsmaxima des zweiten und dritten Untersuchungstermins mit  $r = 0,977$  für die linke Seite und mit  $r = 0,937$  für die rechte Seite ein hoher Zusammenhang besteht (BÖS 1986, 47; vgl. LETZELTER/LETZELTER/STEINMANN 1990, 47f). Von daher erscheint unter pragmatischen Gesichtspunkten die Bestimmung der konzentrischen Maximalkraft auf diesem Weg ein geeignetes Verfahren zu sein, wenn es darum geht, Aussagen zu den maximalen, willkürlichen Kontraktionen der jeweiligen, an der Bewegung beteiligten, Muskelgruppen zu machen (vgl. RITZDORF/BRÜGGEMANN/MAAS u.a. 1995, 60ff).

Andererseits dürfen diese Ergebnisse jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß die konzentrischen Maximalkraftwerte innerhalb dieser kinematischen Kette inter-/intraindividuell sehr unterschiedlich ausfallen und über die einzelnen Testtermine stärker streuen, als dies durch die Mittelwerte repräsentiert wird. Die Tatsache, daß die Maximalkraft von anatomisch-morphologischen, neurophysiologischen und inter-/intraindividuellen Faktoren abhängt (siehe Kapitel vier; vgl. HOLLMANN/HETTINGER 1990; SCHMIDTBLEICHER 1987b), wird durch die große Standardabweichung (siehe Tabelle 15) sowie durch die Spannweite der Einwiederholungsmaxima der 15 Probanden verdeutlicht. Weiterhin muß in diesem Zusammenhang auf die zum Teil recht hohen Unterschiede der Einwiederholungsmaxima von linker und rechter Seite aufmerksam gemacht werden. Dabei liegen im Mittel die Einwiederholungsmaxima der rechten Seite (alle drei Termine) über den Werten der linken Seite.

Fasst man diese Ergebnisse zusammen, erscheint eine Bestimmung der konzentrischen Maximalkraft, als Einwiederholungsmaximum über verschiedene Meßzeitpunkte (Meßwiederholung), eine praktikable Methode zur deduktiven Bestimmung der Gewichte auf den einzelnen Intensitätsstufen zu sein (vgl. MCCARTNEY et. al. 1988). Dieses zu allen drei Versuchsterminen ermittelte Einwiederholungsmaximum diente für die weitere Berechnung der Gewichtsplatten auf den einzelnen Intensitätsstufen (siehe Gleichung neun; vgl. HEINOLD 1995, 55) und wurde als Referenzgröße mit dem Wert 100% belegt. Ausgehend von diesem momentanen Maximalwert, sollten dann im weiteren Verlauf der Untersuchung mit der linken und rechten Streckschlingenseite der Beine Gewichtsplatten bewegt werden, die 50%, 60%, 70%, 80% und 90% des jeweiligen Einwiederholungsmaximums entsprachen (vgl. Kapitel 6.7). Geleitet durch die Untersuchungen von BARTONIETZ (1992), FISCHER (1988), KIBELE/MÜLLER/BÜHRLE (1989), OBERBECK (1989) wurde vermutet, daß sich die Wiederholungszahlen der linken Streckschlingenseite von den Wiederholungszahlen der rechten Streckschlingenseite unterscheiden würden, was in der Formulierung von Hypothese eins zum Ausdruck kommt.

Wie sich jedoch bei der Überprüfung der Hypothese herausstellte, unterscheiden sich die Wiederholungszahlen der linken und der rechten Seite nicht voneinander. Somit konnten im weiteren Verlauf der Hypothesenprüfungen die Wiederholungszahlen zusammengefaßt werden, um im Sinne einer Erhöhung der Teststärke (BORTZ 1993, 118ff) eventuell vorhandene Unterschiede zwischen den Wiederholungszahlen dieser empirischen Arbeit und den Wiederholungszahlen bei ZATSIORSKY (1996) aufdecken zu können. Daß bei den einzelnen Probanden jedoch zum Teil erhebliche Seitigkeitsdifferenzen (operationalisiert als Betrag der Wiederholungszahlunterschiede zwischen linker und rechter Seite) konstatiert werden konnten (siehe Tabelle acht), spricht für die Tatsache einer individuellen Bestimmung der Wiederholungszahlen auf der linken und der rechten Seite (vgl. BARTONIETZ 1992; KIBELE/MÜLLER 1989). Allgemeine Trainingsempfehlungen sollten dies hinreichend berücksichtigen, um optimale Beanspruchungen zu initiieren.

Bevor nun auf die eigentliche Forschungshypothese eingegangen wird, soll zuerst der generelle negative Zusammenhang zwischen Intensität und Wiederholungszahl dargelegt werden. Wie aus Hypothesenprüfung zwei zu entnehmen ist, besteht zwischen den Intensitätsstufen und den Wiederholungszahlen ein Zusammenhang von  $r = -0,722$ . In der Interpretation kann hierbei nur festgestellt werden, daß hohen Werten von X (Wiederho-

lungszahlen) entsprechend niedrige Werte von Y (Intensität) und umgekehrt zugeordnet sind (vgl. PAULUS 1997, 49). Inwieweit die Variable Wiederholungszahl, die Variable Intensität beeinflusst und umgekehrt oder ob beide Variablen von einer dritten Variablen (bspw. der Maximalkraft, den intra-/interindividuellen Ressourcen (siehe SCHÖNPFLUG 1987) usw.) beeinflusst werden oder ob sie sich gegenseitig bedingen, scheint kausalanalytisch nicht hinreichend interpretierbar zu sein (BORTZ 1993, 217). Allein durch diese testtheoretische Betrachtung kann keine kausale „Wenn-Dann-Beziehung“, wie dies bei dem Verhältnis von Wiederholungszahl und Intensität (12 Wdh. = 75%) der Fall ist, aufgestellt werden.

Festzustellen bleibt, daß der negative Zusammenhang von Intensität und Wiederholungszahl durch unterschiedlichste Faktoren (vgl. Kapitel vier) beeinflusst wird (BAYER/RAMLOW 1993; HOFMANN 1998; KOVARIK 1991), jedoch in seinem generellen Verlauf, d.h. je höher die Intensität, desto geringer die Wiederholungszahl und umgekehrt, außer Frage steht. Dabei erfährt der Graph der Kurvenfunktion (lineare und logarithmische Regression mit  $y = bx + a$  bzw.  $y = a + b \cdot \log x$ ) einen eher steilen oder einen eher flachen Verlauf mit einer links bzw. rechts Verschiebung. Eine negative Steigung besagt hierbei, daß die y-Werte bei ansteigenden x-Werten geringer werden (BORTZ 1993, 167f; 180ff).

Nachdem die Voraussetzungsprüfungen den allgemeinen Zusammenhang zwischen Intensität und Wiederholungszahl hinreichend bestätigt haben, sollte durch die Formulierung von Hypothese drei (differenziert in Teilprüfungen) der generalisierte und teils zu pragmatisch orientierte Ansatz zur Trainingsregelung und Steuerung anhand der Wiederholungszahl untersucht werden (vgl. HOTTENROTT/ZÜLCH 1997). Da begründete Unsicherheiten bzgl. der Allgemeingültigkeit bestehen, konnten a priori die Hypothesen H<sub>3</sub> bis H<sub>7</sub> formuliert werden (BORTZ/DÖRING 1995, 452; BORTZ/LIENERT/BOEHNKE 1990, 49f).

Wie anhand der Darstellung der Ergebnisse (Kapitel 7.1.3 und folgend) zu entnehmen ist, unterscheiden sich die Mittelwerte der Wiederholungszahlen innerhalb dieser empirischen Studie von den Mittelwerten der Wiederholungszahlen von ZATSIORSKY und bestätigen somit die allgemeine Forschungshypothese. So liegt bspw. der Mittelwert der Wiederholungen bei  $53,17 \pm 23,89$  im Gegensatz zu  $25 \pm 8,0$  Wdh. bei 50% der vorherbestimmten Maximalkraft (siehe Abbildung 21 und 23).

Allein durch die deskriptive Betrachtung fällt auf, daß die Mittelwerte dieser Studie den doppelten Wert der Mittelwerte der Referenzstudie annehmen. Ebenso verhalten sich die Standardabweichungen, wobei auf den Intensitätsstufen 80% und 90% eine Annäherung der Werte stattfindet.

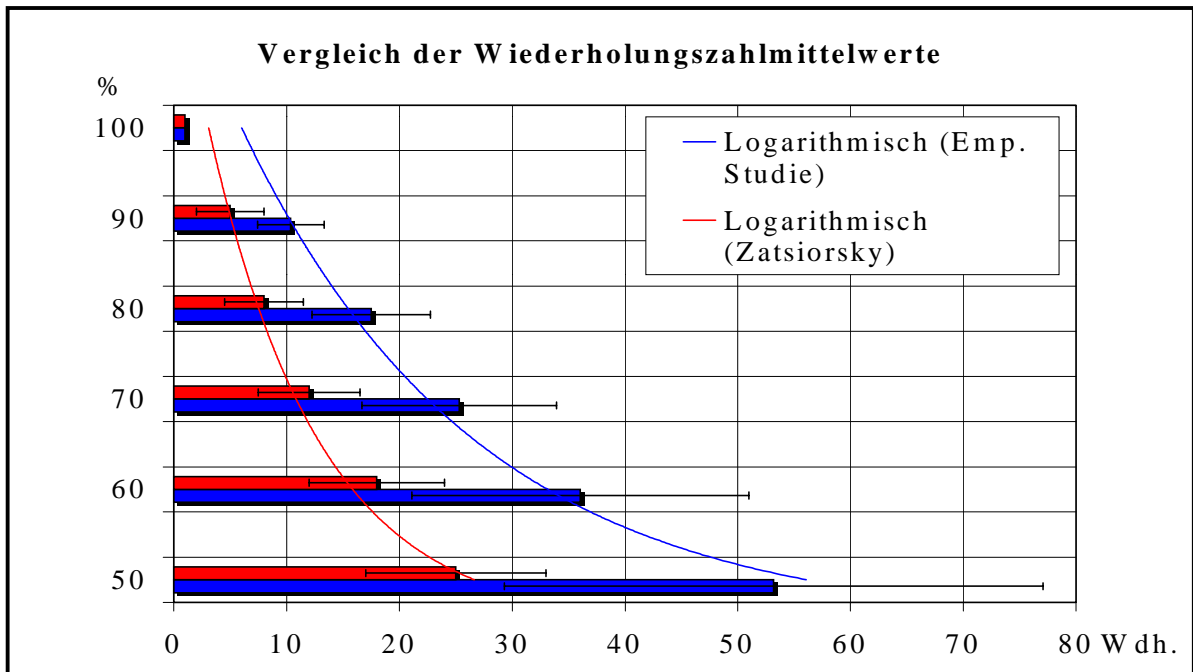


Abb. 23: Vergleich der Wiederholungszahlmittelwerte auf den einzelnen Intensitätsstufen mit logarithmischer Anpassung

Durch die inferenzstatistische Berechnung konnten die Unterschiede der Mittelwerte teststatistisch mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% abgesichert werden, was zu der Feststellung führt, daß sich die Wiederholungszahlen auf allen Intensitätsstufen unterscheiden. Somit kann nicht nur progressiv betrachtet, eine Einschränkung der generellen Aussage von ZATSIORSKY vorgenommen werden, sondern auch unter der Annahme einer konservativen Entscheidung ist die Allgemeingültigkeit der Steuerung und somit der Regelung des Krafttraining aufgrund des Verhältnisses von Wiederholungszahl und Intensität falsifiziert.

Sollen prognostisch Aussagen zu den Wiederholungszahlen auf den einzelnen Intensitätsstufen gemacht werden, so fällt auf, daß speziell bei den niedrigen Intensitäten (50%, 60% und 70%) ein positiver Zusammenhang besteht (vgl. Tabelle 17). Somit kann hier aufgrund eines empirisch ermittelten Intensitäts-Wiederholungszahl-Verhältnisses (bspw. 50% - 53 Wdh.) noch relativ sicher auf die benachbarten Intensitätsstufen von 60% und 70% (Wiederholungszahlen) geschlossen werden. Andererseits wird der korrelative Zusammenhang immer geringer, je größer die Differenz zwischen ermittelter und prognostizierter Intensitätsstufe ist. Folglich wird die Bestimmung der Maximalkraft bzw. die Bestimmung der Wiederholungszahlen bei 80%, 90% und mehr immer ungenauer. Im hohen Intensitätsbereich (80% - 90%) konnte ebenfalls, jedoch ein geringerer Zusammenhang ( $r = 0,571$ ) ermittelt werden. Dieser gilt jedoch nur für die angegebenen Intensitäten. Folglich wird eine Bestimmung der Wiederholungszahlen im Kraftausdauerbereich (50% und 60%) und im „Hypertrophie-Trainingsbereich“ (70 - 75%) ungenau und mit Fehlern behaftet sein.

Ob die Zusammenhänge bei den niedrigen Intensitätsstufen (Wiederholungszahlen bei 50%, 60% und 70%) hauptsächlich durch metabolische Faktoren bedingt sind und inwieweit die Zusammenhänge bei den hohen Intensitätsstufen (Wiederholungszahlen bei 80% und 90%) hauptsächlich durch neurophysiologische Faktoren bestimmt werden, kann noch nicht hinreichend belegt werden. Mit Hilfe der Faktorenanalyse scheint es ein lohnendes Unterfangen zu sein, diejenigen Merkmale zu analysieren, die hierbei einen bestimmenden Einfluß ausüben.

## 8 Diskussion und Ausblick

### 8.1 Diskussion

Zielstellung der vorliegenden Arbeit war es, zu überprüfen, inwieweit aufgrund der Wiederholungszahl eine Intensitätsfestlegung bzw. Bestimmung der konzentrischen Maximalkraft, als Einwiederholungsmaximum, stattfinden und/oder inwieweit aufgrund der Wiederholungszahl bei definierter Intensität auf eine andere Intensitätsstufe und somit auf die Wiederholungszahl hierbei geschlossen werden kann. Ausgangspunkt hierfür waren theoretische Überlegungen zu verschiedenen Einflußgrößen, empirische Studien sowie die mangelnde Variablenspezifität der Ausgangsuntersuchung. Innerhalb derer wurden leichtfertig die Ergebnisse auf andere Populationen verallgemeinert (Anspruch einer Allgemeingültigkeit siehe MATWEJEW 1981, 52; WEINECK 1994a, 243). Da hierbei die Zuordnung der Probanden jedoch nicht unter Zufallsauswahl erfolgte (16 Gewichtheber), haben solche Studien bestenfalls den Charakter explorativer, hypothesengenerierender Untersuchungen und sollten auch als solche deklariert werden (BORTZ/DÖRING 1995, 452). Allgemein sollte mit dieser Studie die Generalität der Beziehung Intensität-Wiederholungszahl überprüft und gegebenenfalls modifiziert werden.

Das wesentliche Ergebnis dieser experimentellen Untersuchung ist, daß eine generelle Trainingssteuerung/ -regelung anhand der Wiederholungszahl nicht bzw. nur eingeschränkt möglich ist. Da das Verhältnis von Maximalkraft und Wiederholungszahl bei submaximalen Intensitäten muskelgruppenspezifisch (Streckschlinge Arme ZATSIORSKY/KULIK 1965, Latissimusmuskulatur HOFMANN 1998, Streckschlinge Beine FRÖHLICH 1998) und in Abhängigkeit von der an der Bewegung beteiligten Muskeln und Gelenke (ein-/mehrgelenkige Bewegungen, offenes oder geschlossenes System) unterschiedlich betrachtet werden muß. Darüber hinaus können die Ergebnisse nicht auf andere Populationen (individuelle Voraussetzungen) verallgemeinert werden, sondern dienen lediglich als Orientierungsgröße für die Festlegung der Intensität (Gewicht) anhand der Wiederholungszahl. Da in Abhängigkeit individueller Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten Belastungen zu unterschiedlichen Beanspruchungen führen und verschiedenste Ressourcen zum Teil beansprucht, verbraucht (konsumptive, bspw. energiereiche Phosphate wie ATP, KP), zum anderen permanent vorliegen (bspw. innere Leistungsvoraussetzungen, wie Fähigkeiten, Kompetenzen), sollte eine deduktive Bestimmung stattfinden, um gleiche individuelle Beanspruchungen konstatieren zu können (vgl. SCHÖNPFLUG 1987, 151f).

Läßt man sich durch die leistungsbeeinflussenden Faktoren der Kraft leiten, wie sie von DE MARÉES (1996), HOLLMANN/HETTINGER (1990), SCHMIDTBLEICHER (1987b) u.a. beschrieben werden, scheinen individuelle und intraindividuelle Gegebenheiten einen bestimmten Einfluß auf das Verhältnis von Wiederholungszahl und Intensität auszuüben. So spielen sicherlich anatomisch-morphologische Faktoren der Kraftentfaltung eine entscheidende Rolle, wenn der Gültigkeitsbereich von Wiederholungszahl und Intensität zur Disposition steht. Da es sich bei den meisten Bewegungsabläufen immer um Kombinationen von tätigen Muskeln handelt, im Sinne von Muskelschlingen (Synergisten/Antagonisten), können die einzelnen Drehmomente am insgesamt erbrachten Kraftbetrag innerhalb dieser kinematischen Kette nur schätzungsweise bestimmt werden (vgl. LI/BÜHRLE/KIBELE/MÜLLER/SCHWIRTZ 1991; TUSKER 1994). Inwieweit es zu Kompensationsmechanismen synergistisch tätiger Muskeln, Muskelstrukturen oder anderer Teilprozesse kommt und ob koordinative Einflüsse (intramuskuläre und intermuskuläre), wie sie von SALE (1988, 1994) beschrieben werden, quantitativ wirken, muß derzeit noch spekulativ betrachtet werden. Darüber hinaus werden bzgl. der genannten koordinativen Prozesse (Kapitel 4.1.7.1) seit geraumer Zeit verstärkt reziproke Hemmmechanismen diskutiert (vgl. FELDER 1989; TAYLOR/HUTTON 1986), die sich durch Training günstig beeinflussen lassen (BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER 1981, 23). Deren Einfluß und Höhe in Abhängigkeit einer komplexen Bewegung abzuschätzen, ist jedoch noch nicht hinreichend gelungen.

Andererseits ist die Muskulatur in den verschiedenen Körperpartien in ihrem Aufbau und in ihrer Funktionsweise nicht einheitlich (vgl. KUHN 1992; siehe Kapitel 4.1.1 und 4.1.2). Nach BAYER und RAMLOW (1993, 19) ist in diesem Zusammenhang bedeutsam, daß innerhalb partieller Kraft-Ausdauer-Verbindungen der diagnostisch zu bewertende Maximalkraftanteil bei geringerer Muskelmasse (z.B. Armbeuger) höher ist, als bei größermassigen Muskeln (z.B. Beinstrecker) und somit hier der Ausdaueranteil stärker repräsentiert ist. Da innerhalb der ZATSIORSKY-Untersuchung hauptsächlich die Armmuskulatur den limitierenden Faktor darstellt (geringere Muskelmasse) können die Ergebnisse nicht auf die Streckschlinge der Beine (größere Muskelmasse) übertragen werden.

Wie bereits in Kapitel 4.1.2 herausgestellt wurde, besitzen die Muskelfaserarten (slow twitch fibers, fast twitch fibers) mit ihrem unterschiedlichen metabolischen Verhalten und Innervationsgeschehen ein spezifisches Aktivitätsmuster, welches sie für bestimmte Intensitätsbereiche prädestiniert (vgl. FLECK/KRAEMER 1987). Da in den Studien zum Verhält-

nis von Wiederholungszahl und Intensität (z.B. HARRE 1986; HOLTEN 1962; SCHOLICH 1988 u.a.) jedoch keinerlei Angaben zum jeweiligen quantitativen Vorkommen der Muskelfaserart, der an der Bewegung beteiligten Muskeln gemacht werden, kann deren Einfluß nicht genügend abgeschätzt und quantifiziert werden. Darüber hinaus werden die Intensitätsbereiche mit verschiedenen funktionellen, strukturellen und metabolischen Anpassungserscheinungen (Adaptationen) in Verbindung gebracht (vgl. BERG/KEUL 1985; HOWALD 1985). Andererseits liegt es auf der Hand, daß metabolische Reaktionen unterschiedlich sind, je nachdem ob ein Training mit hoher Intensität und geringer Wiederholungszahl oder umgekehrt mit niedriger Intensität und hoher Wiederholungszahl durchgeführt wird (vgl. TESCH 1994a, 247). Somit kommt es unter dem Einfluß spezifischer Reize zu spezifischen Anpassungen (**S**pecific **A**daptations to **I**mposed **D**emands principle - SAID-Prinzip; KENT 1996, 357). Da die Daten der Ausgangsuntersuchung an spezifisch trainierten Gewichthebern erhoben wurden, scheint eine Verallgemeinerung der Ergebnisse nicht plausibel und begründet zu sein (vgl. TESCH 1994a, 247). Ferner muß herausgestellt werden, daß die Kraft abhängig ist vom prozentualen Anteil der ST- und FT-Fasern im untersuchten Muskel (vgl. EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMANN/ZINTL 1998, 43). Da verschiedene Muskelgruppen untersucht wurden, können die Ergebnisse nicht generalisiert werden. D.h. die Ergebnisse besitzen lediglich einen eingeschränkten Gültigkeitsbereich (spezifisch trainierte Ringer, Bankdrücken, Alter/Geschlecht, hohe Adaptation bzgl. des Trainings usw.) und sollten auch als solche gekennzeichnet werden.

Durch die zahlreichen Untersuchungen von HOLLMANN/HETTINGER (1990), KOMI (1975; 1994) u.a. scheint der Einfluß des Muskelquerschnitts, der Muskellänge (Kraft-Längen-Relation) sowie der Kontraktionsgeschwindigkeit (Kraft-Geschwindigkeits-Relation) auf die Muskelkraft weitreichend abgesichert zu sein. Inwieweit monokausal die einzelnen Variablen jedoch das Verhältnis der Wiederholungszahl in Abhängigkeit von der Intensität quantitativ beschreiben, muß zum derzeitigen Stand der wissenschaftlichen Forschung eher mit Zurückhaltung skizziert werden. Weiterhin scheint hier eine ausgesprochene Variabilitätsspezifität (Muskeldicke und Hebelverhältnisse der Probanden, Geschwindigkeit mit der die Bewegung ausgeführt wird usw.) vorzuliegen, die aufgrund des Probandenklientels (Leistungsruderer, Sportstudenten) einen modifizierter Kurvenverlauf rechtfertigt (vgl. BAYER/RAMLOW 1993; HOFMANN 1998).

Daß die neurophysiologischen Faktoren Rekrutierung, Frequenzierung und Synchronisation die grundlegenden Mechanismen der Muskelkontraktion darstellen, darüber scheint seit langem Konsens zu bestehen. Über die relative Gewichtung der genannten Mechanismen zur Regulation der Kraft in Abhängigkeit von der Intensität werden jedoch unterschiedliche Angaben, in Bezug auf den untersuchten Muskel gemacht (GHEZ/GORDON 1996; MILNER-BROWN et al. 1973). Inwieweit auch hier spezifische Reize (Belastungen/Beanspruchungen) spezifische Anpassungen auslösen (vgl. SCHMIDTBLEICHER 1984a, 157f) und ob neuromuskuläre und/oder zentralnervöse Beanspruchungen die Leistungsfähigkeit beeinflussen, ist noch nicht hinlänglich und einheitlich beschrieben (siehe im Überblick OLIVIER 1996, welcher die Auswirkungen konditioneller Belastungen auf das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau und auf das muskelgruppenspezifische Schnellkraftniveau untersuchte).

Abschließend soll der Einfluß von Ermüdungsprozessen auf das Verhältnis von Intensität und Wiederholungszahl herausgestellt werden. Wird ein Muskel kontrahiert, so kommt es in Abhängigkeit von der Intensität zu einem mehr oder weniger schnellen Abfall der Kraft (vgl. Kapitel 4.2.3 Muskelkraft und muscular-fatigue). Diese Reduktion der Leistungs- oder Funktionstüchtigkeit wird mit Ermüdungserscheinungen in Verbindung gebracht. Grundsätzlich lassen sich dabei zwei Forschungsrichtungen in der „muscular fatigue“ - Forschung unterscheiden:

- erstens eine metabolische, welche biochemische Veränderung, wie bspw. energetische Substratverarmung (ATP, KP) untersucht und
- zweitens eine elektrophysiologische, welche Innervationsveränderungen an der Muskulatur zum Gegenstand der Untersuchungen erhoben hat.

Nach BIGLAND-RITCHIE (1981, 131) kann es dabei an nicht weniger als acht Stellen in der neuromuskulären Informationskette zu Belastungswirkungen und somit Reduktionen der Kraft kommen. Weiterhin kann angenommen werden, daß durch spezifische Trainingsreize (Gewichtheber - Maximalkrafttraining vs. Sportstudenten - unspezifisch trainiert), spezifische Adaptationen der untersuchten Probanden stattgefunden haben (SAID-Prinzip), was sich in einer unterschiedlich ausgeprägten Ermüdungswiderstandsfähigkeit (metabolisch/neurophysiologisch) innerhalb bestimmter Intensitätsbereiche äußert. Generell ist

---

somit nach konditionellen Belastungen (Kraft als ein wesentlicher Parameter), mit starker FT-Faserbeanspruchung, mit einer stärkeren Reduktion des Schnellkraftverhaltens (abhängig von der Maximalkraft, vgl. BÜHRLE 1993b) zu rechnen, als bei konditionellen Belastungen mit geringer FT-Faserbeanspruchung (OLIVIER 1996, 88). Weiterhin ist hierbei die Erholung wesentlich von der oxidativen Kapazität der beanspruchten Muskulatur abhängig. Dabei sei exemplarisch herausgestellt, daß sich insbesondere bei Ausdauersportlern (prozentual geringerer Anteil an FT-Fasern, erhöhte oxidative Kapazität, Mitochondriendichte, aerobe Enzyme) ein wesentlich gestreckterer Kurvenverlauf ergibt.

Allgemein wird der muskuläre Energiestoffwechsel durch konditionelle Belastungen in seiner ganzen Komplexität wesentlich beeinflußt. Vorrang scheint jedoch eine Reduktion des muskulären ATP- und KP-Gehalts sowie Reduktionen des muskulären pH-Wertes verantwortlich zu sein. Nach OLIVIER (1996, 88) sind diese Reduktionen sowie die jeweiligen Erholungsverläufe und -zeiten dabei von der Belastungsart (isometrisch oder dynamisch), der Belastungsintensität (maximal, submaximal, mittel, gering) und der Belastungsdauer sowie von der Muskelfaserzusammensetzung bzw. dem metabolischen Profil (Anpassung durch spezifische Reize) der beanspruchten Muskulatur abhängig. Hierbei können die Veränderungen jedoch nicht monokausal mit Parametern der muskulären Kraftentwicklung bzw. Entspannung (Erholung von Teilsystemen) in Beziehung gesetzt werden.

### 8.1.1 Fazit

Eine Intensitätsfestlegung bzw. Bestimmung der konzentrischen Maximalkraft, als Einwiederholungsmaximum, aufgrund der Wiederholungszahlen kann nur zur groben Orientierung der Steuerung und Regelung des Krafttrainings dienen. Somit sollten generelle Trainingsempfehlungen einer belastungs-/beanspruchungsbestimmten Kraftanalyse weichen, welche auch individuelle Fähigkeiten, Fertigkeiten und Eigenschaften in Relation zu den eingesetzten Ressourcen berücksichtigen muß.

Weiterhin ist zu bedenken, daß die einzelnen Wiederholungszahl-Intensitätsbereiche prognostisch nur für eine eingeschränkte Vorhersage taugen. Somit können bspw. die empirisch ermittelten Wiederholungszahlen bei einer definierten Intensität nur zum Teil für die Ermittlung der Wiederholungszahl in einer anderen Intensitätsstufe herangezogen werden (siehe Tabelle 17). D.h. je weiter die einzelnen Intensitätsbereiche voneinander abweichen (90%-60%; 80%-50%), desto wahrscheinlicher sind Ungenauigkeiten in der Vorhersage und desto größer wird die Gefahr einer Überforderung (Schädigung) oder Unterforderung (mögliches Potential nicht hinreichend ausgeschöpft).

## 8.2 Ausblick

Um optimale Beanspruchungen der Muskulatur zu erzielen, scheint die Bestimmung der Belastungsgröße in Abhängigkeit von den individuellen Ressourcen, für die Steuerung und Regelung des Trainings, existentiell zu sein. Da generelle Empfehlungen eine individuelle Beanspruchungssystematik nicht ausreichend berücksichtigen können (verschiedene Bewegungen, Personen (Alter, Geschlecht), Trainingserfahrungen usw.) und das Verhältnis von Maximalkraft und Wiederholungszahl bei submaximalen Intensitäten von anatomisch-morphologischen, neurophysiologischen und intra-/interindividuellen Faktoren abhängt, sollten im weiteren Versuch der Beanspruchungsanalyse, Parameter diagnostiziert werden, die prozeßorientiert (über die Zeit) das neuromuskuläre System abbilden bzw. in entsprechender Weise (beanspruchungsbedingt) belasten.

Die Elektromyographie könnte hierbei ein geeignetes Verfahren sein, um die muskuläre Beanspruchung und damit die Beanspruchung von neuromuskulären Teilsystemen während des Krafttrainings zu beschreiben. Hinsichtlich der Merkmale der Elektromyographie könnte dabei dem zeitnormierten IEMG, bezogen auf die maximale Kraft (MVC), ein besonderer Beschreibungswert für die muskuläre Beanspruchung zukommen (vgl. POLLMANN 1993).

Die Bestimmung von Kraftfähigkeiten mit Hilfe von isokinetischen Geräten (vgl. PERRIN 1993) stellt aufgrund der individuellen Anpassung des Widerstandes (gleiche Beanspruchung während des gesamten Bewegungsmaßes) und der Möglichkeit, Aussagen über alle Kontraktionsformen (konzentrisch, isometrisch, exzentrisch) zu treffen eine weitverbreitete Methode dar (KRÜGER 1986; MAYER/HORSTMANN/KÜSSWETTER/DICKHUTH 1994). Inwieweit valide und reliable Belastungs- /Beanspruchungsanalysen mit Hilfe der Isokinetik gemacht werden können, muß die zukünftige Forschung zeigen. Da zum derzeitigen Stand die Isokinetik hauptsächlich bei der Bestimmung von Kraftfähigkeiten einzelner Muskelgruppen zum Einsatz kommt (MAYER/HORSTMANN/KÜSSWETTER/DICKHUTH 1994, 272), sollten die weiteren Untersuchungen mittels der Isokinetik (isokinetisches Training), Muskelschlingen innerhalb eines geschlossenen Systems verstärkt berücksichtigen (vgl. BLÖCHINGER 1997).

## 9 Literaturverzeichnis

- APPELL, H.-J.: Mechanismen und Grenzen des Muskelwachstums. In: DECKER, W./LÄMMER, M. (Hrsg.): Kölner Beiträge zur Sportwissenschaft 12, Jahrbuch der DSHS Köln 1983. Schorndorf: Hofmann 1983, 7-18.
- APPELL, H.-J.: Morphology of immobilized skeletal muscle and the effects of a pre- and postimmobilization training program. In: International Journal of Sports Medicine 7 (1986) 1, 6-12.
- APPELL, H.-J./FORSBERG, S./HOLLMANN, W.: Satellite cell activation in human skeletal muscle after training. Evidence for muscle fiber neof ormation. In: International Journal of Sports Medicine 9 (1988) 4, 297-299.
- BALLREICH, R./BAUMANN, W.: Grundlagen der Biomechanik des Sports. Probleme, Methoden, Modelle. 2., neu bearb. Auflage. Stuttgart: Enke 1996.
- BARTONIETZ, K.: Effektivität im Krafttraining. Erfahrungen der Praxis und Erkenntnisse aus Biomechanik und Trainingswissenschaft. In: Leistungssport 22 (1992) 5, 5-14.
- BAUMANN, W.: Grundlagen der Biomechanik. 14. Studienbrief der Trainerakademie Köln des Deutschen Sportbundes. Schorndorf: Hofmann 1989.
- BAUMANN, H./REIM, H.: Studienbücher Bewegungslehre. 3., überarb. und erweiterte Auflage. Frankfurt am Main: Diesterweg; Aarau: Sauerländer 1994.
- BAYER, G./RAMLOW, J.: Verhältnis von Kraft- und Ausdauerfähigkeiten für die Vervollkommnung der Kraftausdauer im Rennrudern. In: Leistungssport 23 (1993) 3, 15-19.
- BERG, A./KEUL, J.: Kurz- und langfristige Anpassungsvorgänge an Krafttraining. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 56. Schorndorf: Hofmann 1985, 61-81.
- BIGLAND-RITCHIE, B.: EMG and fatigue of human voluntary and stimulated contractions. In: PORTER, R./WHELAN, J. (Hrsg.): Human muscle fatigue: physiological mechanisms. London: Pitman Medical 1981, 130-156.

- BIGLAND-RITCHIE, B./BELLEMARE, F./WOODS, J.J.: Excitation Frequencies and Sites of Fatigue. In: JONES, N.L./MCCARTNEY, N./MCCOMAS, A.J.: Human Muscle Power. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers, Inc. 1986, 197-213.
- BILLETER, R./HOPPELER, H.: Biologische Grundlagen der Muskelkontraktion. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 51-73.
- BLÖCHINGER, E.: LIBET. Ein Linear Isokinetischer Bein-Extensions-Test. In: Gesundheitssport und Sporttherapie 13 (1997) 6, 169-172.
- BOCHDANSKY, T.: Die Messung der Muskulatur mittels oberflächlicher EMG-Ableitung. Möglichkeiten und Grenzen. In: ZICHNER, L./ENGELHARDT, M./FREIWALD, J. (Hrsg.): Die Muskulatur. Sensibles, integratives und meßbares Organ. Wehr: Ciba-Geigy Verlag 1994, 59-67.
- BORTZ, J.: Statistik für Sozialwissenschaftler. 4., vollständig überarb. Auflage. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer 1993.
- BORTZ, J./DÖRING, N.: Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler. 2., vollständig überarb. und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer 1995.
- BORTZ, J./LIENERT, G.A./BOEHNKE, K.: Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer 1990.
- BOSCO, C.: Eine neue Methodik zur Einschätzung und Programmierung des Trainings. In: Leistungssport 22 (1992) 5, 21-28.
- BÖS, K.: Statistikkurs I. Einführung in die statistischen Auswertungsmethoden für Sportstudenten, Sportlehrer und Trainer. Hamburg: Czwalina 1986.
- BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 56. Schorndorf: Hofmann 1985a.
- BÜHRLE, M.: Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 56. Schorndorf: Hofmann 1985b, 82-111.

- BÜHRLE, M.: Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft. Kraftkomponenten und ihre dimensionale Struktur. In: Sportwissenschaft 19 (1989) 3, 311-325.
- BÜHRLE, M.: Schnellkraft und die unterschiedlichen Ansätze ihrer Erfassung. In: MARTIN, D./WEIGELT, ST. (Hrsg.): Trainingswissenschaft. Selbstverständnis und Forschungsansätze. Schriften der dvs, Bd. 53. St. Augustin: Academia 1993a, 121-129.
- BÜHRLE, M.: Schnellkraft. In: Spectrum der Sportwissenschaften 5 (1993b) 2, 5-29.
- BÜHRLE, M./SCHMIDTBLEICHER, D.: Komponenten der Maximal- und Schnellkraft. Versuch einer Neustrukturierung auf der Basis empirischer Ergebnisse. In: Sportwissenschaft 11 (1981) 1, 11-27.
- BÜHRLE, M./SCHURR, M. (Hrsg.): Leistungssport. Herausforderung für die Sportwissenschaft. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 72. Schorndorf: Hofmann 1991.
- BUSKIES, W./BOECKH-BEHRENS, W.U./ZIESCHANG, K.: Möglichkeiten der Intensitätssteuerung im gesundheitsorientierten Krafttraining. In: Sportwissenschaft 26 (1996) 2, 170-183.
- BUTTLER, S./KUHN, W./MÜCKE, A.: Zur intra- und interseriellen Pausengestaltung beim Maximalkrafttraining. In: GOLLHOFER, A. (Hrsg.): Integrative Forschungsansätze in der Bio & Mechanik. Schriften der dvs, Bd. 71. St. Augustin: Academia 1996, 253-262.
- CARL, K.: Fähigkeit. In RÖTHING, P. u. a. (Hrsg.): Sportwissenschaftliches Lexikon. 6., völlig neu bearb. Auflage, Bd. 49/50. Schorndorf: Hofmann 1992, 158-159.
- CARL, K./STARISCHKA, ST./STORK, H.-M. (Hrsg.): Kraftausdauertraining. Dokumentation eines Hearings des BISp und des Faches Sport der Universität Dortmund am 10. und 11. Dezember 1987. Köln: Sport und Buch Strauß 1989.
- CARL, K./QUADE, K./STEHLE, P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Dokumentation eines vom BISp durchgeführten Workshops. 2., erweiterte Auflage Köln: Sport und Buch Strauß 1995.
- CHAFFIN, D.B./LEE, M./FREIVALDS, A.: Muscle strength assessment from EMG analysis. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 12 (1980) 3, 205-211.

- DAUGS, R.: Werden Spitzensportler geboren oder gemacht? Zum Einfluß von Anlage und Umwelt auf die sportmotorische Leistungsfähigkeit. In: Erbe und Umwelt. Frankfurt am Main 1987, 318-333.
- DAUGS, R./LEIST, K.-H./ULMER, H.-V. (Red.): Motorikforschung aktuell. Clausthal-Zellerfeld: dvs-Protokoll Nr. 35, 1989.
- DE LORME, T.L.: Restoration of muscle power by heavy resistance exercises. In: Journal of Bone and Joint Surgery 27 (1945) 645-667.
- DE MARÉES, H.: Sportphysiologie. 8., korr. Auflage. Köln: Sport und Buch Strauß 1996.
- DE MARÉES, H./MESTER, J.: Sportphysiologie, Bd. 3. Frankfurt am Main: Diesterweg 1991.
- DIETZ, V.: Neurophysiologische Grundlagen des Kraftverhaltens. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 56. Schorndorf: Hofmann 1985, 16-34.
- DIRIX, A./KNUTTGEN H.G./TITTEL, K (Hrsg.): Olympia Buch der Sportmedizin. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 1. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1989.
- DUDEL, J.: Informationsvermittlung durch elektrische Erregung. In: SCHMIDT, R.T./THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. 26., vollständig überarb. Auflage. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer 1995a, 20-42.
- DUDEL, J.: Erregungsübertragung von Zelle zu Zelle. In: SCHMIDT, R.T./THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. 26., vollständig überarb. Auflage. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer 1995b, 43-66.
- EDMAN, K.A.P.: Die kontraktile Funktion der Skelettmuskelfaser. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 104-120.
- EHLENZ, H./GROSSER, M./ZIMMERMANN, E./ZINTL, F.: Krafttraining. 6., erweiterte Auflage. München: BLV-Sportwissen 1998.
- EVJENTH, O./SCHOMACHER, J.: Wie trainieren? Praktisches Vorgehen beim Erstellen eines Trainingsplans. In: Manuelle Therapie 1 (1997) 1, 44-49.

- FALLER, A.: Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion. 11. durchgesehene Auflage. Stuttgart, New York: Thieme 1988.
- FEHRES, K./MARSCHALL, F.: Verfahren und Probleme bei der Analyse von Meßwiederholungsdesigns mit SPSS-X; MANOVA und BMDP4V. In: FAULBAUM, F./HAUX, R./JOCKEL, K.-H. (Hrsg.): Softstat'89 - Fortschritte der Statistik-Software 2. Stuttgart: Fischer 1990, 66-73.
- FELDER, H.: Modell zur Abschätzung der Einflußhöhe biomechanischer, neuronaler und morphologischer Einflußgrößen auf die maximale Muskelkraft - dargestellt am Beispiel der Knieextensoren. Köln: Deutsche Sporthochschule 1989.
- FESER, R.: Die Entwicklung der motorischen Kraft qualifizierter Gewichtheber. In: Leistungssport 7 (1977) 4, 251-266.
- FISCHER, K.: Rechts-Links-Probleme in Sport und Training. Studien zur angewandten Lateralitätsforschung. Reihe Motorik, Bd. 6. Schorndorf: Hofmann 1988.
- FLECK, ST.J./KRAEMER, W. J.: Designing resistance training programs. Champaign, Illinois: Human Kinetics Books 1987.
- FREIWALD, J.: Prävention und Rehabilitation im Sport. Reinbek: Rowohlt 1995.
- FROBÖSE, I.: Isokinetisches Training in Sport und Therapie. Steuerung des Trainingsaufbaus nach Sport- und Unfallverletzungen. 2. Auflage. St. Augustin: Academia 1996.
- GHEZ, C./GORDON, J.: Muskeln und Muskelrezeptoren. In: KANDEL, E.R./SCHWARTZ, J.H./JESSELL, TH.M. (Hrsg.): Neurowissenschaften. Eine Einführung. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag 1996, 514-525.
- GOLDSPINK, G.: Zelluläre und molekulare Aspekte der Trainingsadaptation des Skelettmuskels. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 213-231.
- GOLLHOFER, A./SCHMIDTBLEICHER, D.: Protokoll der Expertendiskussion: Methodische Probleme der Elektromyographie. In: DAUGS, R./LEIST, K.-H./ULMER, H.-V. (Red.): Motorikforschung aktuell. Clausthal-Zellerfeld: dvs-Protokoll Nr. 35 (1989), 74-79.

- GUSTAVSEN, R./STREECK, R.: Trainingstherapie in Rahmen der Manuellen Medizin. 3., überarb. Auflage. Stuttgart, New York: Thieme 1997.
- GUTENBRUNNER, C.: Muskeltraining und Muskelüberlastung. Köln: Schmidt 1990
- GUTEWORT, W./SCHMALZ, T./WANK, V./WEIß, T.: Die Diagnose von Kraftfähigkeiten mit Hilfe biomechanischer Modelle der Muskelkontraktion. In: CARL, K./QUADE, K./STEHLE, P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Köln: Sport und Buch Strauß 1995, 268-295.
- HARRE, D.: Trainingslehre. Einführung in die Theorie und Methodik des sportlichen Trainings. 10., überarb. Auflage. Berlin: Sportverlag 1986.
- HARRIS, R.C./EDWARDS, R.H.T./ HULTMAN, E. u.a.: The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. In: Pflügers Archiv 367 (1976), 137-142.
- HARTMANN, J./TÜNNEMANN, H.: Das große Buch der Kraft. Bessere Form durch Krafttraining. Berlin: Sportverlag 1990.
- HAY, J.G.: Biomechanische Grundlagen der Kraftentwicklung. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 200-209.
- HECK, H.: Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik. 8. Studienbrief der Trainerakademie Köln des Deutschen Sportbundes. Schorndorf: Hofmann 1990.
- HEINOLD, M.: Muskelkraftdiagnostik und Muskelkrafttraining bei neuromuskulären Erkrankungen. Beiträge zur Sportwissenschaft, Bd. 23. Frankfurt am Main: Deutsch 1995.
- HEMMLING, G.: Anpassung des neuromuskulären Systems an eine neuentwickelte Trainingsmethode. Köln: Sport und Buch Strauß 1994.
- HENNEMAN, E./SOMJEN, G./CARPENTER, D.O.: Functional significance of cell size in spinal motoneurons. In: Journal of Neurophysiology 28 (1965), 560-580.
- HERRMANN, TH./STAPF, K.H.: Über theoretische Konstruktionen in der Psychologie. In: Psychologische Beiträge 13 (1971) 3, 336-354.

- HETTINGER, TH.: Isometrisches Muskeltraining. 5., überarb. und erweiterte Auflage. Stuttgart, New York: Thieme 1983.
- HILL, A.V.: The heat of shortening and dynamic constants of muscle. In: Proc.Roy.soc. 126 (1938), 136-195.
- HOFMANN, H.: Exemplarische Untersuchung zur Bestimmung der maximalen Wiederholungszahl in Abhängigkeit von der konzentrischen Maximalkraft bei einer ausgewählten Übung. Unveröff. Diplomarbeit. Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes 1998.
- HOFFMANN, U.: Schnellkurs Statistik. Mit Hinweisen zur SPSS-Benutzung. Köln: Sport und Buch Strauß 1996.
- HOLLMANN, W.: Muskelkraft und Krafttraining aus sportmedizinischer Sicht. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 38 (1987) 10, 405-415.
- HOLLMANN, W./HETTINGER, TH.: Sportmedizin. Arbeits- und Trainingsgrundlagen. 3., durchgesehene Auflage Studienausgabe. Stuttgart, New York: Schattauer 1990.
- HOLTEN, O.: Medisinisk Treningsterapi. Fysioterapeuten 5 (1962), 114-128.
- HOSTER, M./NEPPER, H.U. (Hrsg.): Dehnen und Mobilisieren. Waldenburg: Sport Consult 1994.
- HOTTENROTT, K./ZÜLCH, M.: Ausdauertrainer Laufen. Training mit System. Reinbek: Rowohlt 1997.
- HOWALD, H.: Morphologische und funktionelle Veränderungen der Muskelfasern durch Training. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 56. Schorndorf: Hofmann 1985, 35-52.
- HOWALD, H.: Veränderungen der Muskelfasern durch Training. In: Leistungssport 19 (1989) 2, 18-24.
- HUIJING, P.A.: Mechanische Muskelmodelle. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 135-154.

- HULTMAN, E./BERGSTRÖM, M./LAWRENCE, L.S./SÖDERLUND, K.: Energy metabolism and fatigue. In: TAYLOR, A.W. et. al. (Hrsg.): Biochemistry of exercise VII. International Series on Sport Sciences. Vol. 21 Champaign 1990, 73-92.
- HULTMAN, E./SJÖHOLM, H.: Biochemical Causes of Fatigue. In: JONES, N.L./MCCARTNEY, N./MCCOMAS, A.J.: Human Muscle Power. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers , Inc. 1986, 215-238.
- JAKOWLEW, N.: Die Bedeutung der Homöostasestörung für die Effektivität des Trainingsprozesses. In: Medizin und Sport 13 (1972), 367-370.
- JANSSEN, J.-P./CARL, K./SCHLICHT, W./WILHELM, A. (Hrsg.): Synergetik und Systeme im Sport. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 84. Schorndorf: Hofmann 1996.
- JANSSEN, J.-P./SCHLICHT, W./RIECKERT, H./CARL, K. (Hrsg.): Belastung und Beanspruchung. Köln: Sport und Buch Strauß 1992.
- JOCH, W./ÜCKERT, S.: Grundlagen des Trainierens. Sport Spektrum. Bewegung - Training - Gesundheit. Bd. 5. Münster: Lit Verlag 1998.
- JONES, N.L./MCCARTNEY, N./MCCOMAS, A.J.: Human Muscle Power. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers , Inc. 1986.
- KANDEL, E.R./SCHWARTZ, J.H./JESSELL, TH.M. (Hrsg.): Neurowissenschaften. Eine Einführung. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag, 1996.
- KENT, M. (Hrsg.): Wörterbuch Sport und Sportmedizin. Deutsche Übers. und Bearb.: ROST, K./ROST. R. Wiesbaden: Limpert 1996.
- KEUL; J.: Die Bedeutung des aeroben und anaeroben Leistungsvermögens für Mittel- und Langstreckenläufer (-innen). In: Lehre der Leichtathletik 26 (1975) 17/18, 593/632.
- KEUL, J./DOLL, E./KEPPLER, D.: Muskelstoffwechsel. Die Energiebereitstellung im Skelettmuskel als Grundlage seiner Funktion. Wissenschaftliche Schriftenreihe des DSB, Bd. 9. München: Johann Ambrosius Barth 1969.
- KIBELE, A.: Maximalkraftzuwachs ohne Leistungsgewinn? In: Leistungssport 28 (1998) 3, 45-49.

- KIBELE, A./MÜLLER, K.-J.: Neuromuskuläre Aktivierung der Beinstreckmuskulatur. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 40 (1989) 3, 80-84.
- KIBELE, A./MÜLLER, K.-J./BÜHRLE, M.: Bilaterale Defizite bei willkürlichen Maximalkontraktionen. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 40 (1989) 4, 120-134.
- KIBELE, A./MÜLLER, K.-J./MÜNSTER, P.: Die Aktivierungscharakteristik der Beinstreckmuskulatur an unterschiedlichen Krafttrainingsgeräten. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 41 (1990) 10, 342-354.
- KINDERMANN, W.: Sport und Alter. In: Das späte Alter und seine häufigsten Erkrankungen. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer 1986, 599-616.
- KNEBEL, K.-P.: Funktionsgymnastik. Dehnen, Kräftigen, Entspannen. Reinbek: Rowohlt 1992.
- KNUTTGEN, H.G./KOMI, P.V.: Basale Definitionen der muskulären Aktivität. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 15-18.
- KOMI, P.V.: Faktoren der Muskelkraft und Prinzipien des Krafttrainings. In: Leistungssport 5 (1975) 1, 3-16.
- KOMI, P.V.: Skelettmuskulatur. In: DIRIX, A./KNUTTGEN H.G./TITTEL, K (Hrsg.): Olympia Buch der Sportmedizin. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 1. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1989, 29-49.
- KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994.
- KOMI, P.V./HÄKKINEN, K.: Maximalkraft und Schnellkraft. In: DIRIX, A./KNUTTGEN H.G./TITTEL, K (Hrsg.): Olympia Buch der Sportmedizin. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 1. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1989, 157-167.
- KOVARIK, J.: Bemessung des Krafttrainings aufgrund des Zusammenhangs zwischen Belastung, Wiederholungen pro Serie und Serienanzahl. In: Leistungssport 21 (1991) 6, 49-51.

- KRAEMER, W.J.: Endokrine Reaktionen und Adaptationen unter einem Krafttraining. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 290-301.
- KRÜGER, A.: 20 Jahre isokinetisches Krafttraining. In: Leistungssport 16 (1986) 3, 39-45.
- KUHN, W.: Funktionelle Anatomie des menschlichen Bewegungsapparates. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 73. Schorndorf: Hofmann 1992.
- KUNZ, H.-R./SCHNEIDER, W./SPRING, H./TRITSCHLER, TH./INAUEN, E. U.: Krafttraining. Theorie und Praxis. Stuttgart, New York: Thieme 1990.
- LAURIG, W.: Elektromyographie. In: WILLIMCZIK, K. (Hrsg.): Forschungsmethoden in der Sportwissenschaft. Grundkurs Datenerhebung 1. Ahrensburg: Limpert 1983, 63-87.
- LEHNERTZ, K.: Muskelkraft und Bewegungsleistung - mechanische Aspekte. In: Leistungssport 17 (1987) 6, 22-24.
- LEHNERTZ, K.: Muskelkraft und Bewegungsleistung - magnetische Aspekte. In: Leistungssport 18 (1988a) 1, 48-50.
- LEHNERTZ, K.: Optimaler Krafteinsatz aus molekularmechanischer Sicht. In: Leistungssport 18 (1988b) 4, 42-46.
- LEHNERTZ, K./MARTIN, D./NICOLAUS, J.: Grundlegende Untersuchungen zur Kraftausdauer. In: CARL, K./QUADE, K./STEHLE, P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Dokumentation eines vom BISp durchgeführten Workshops. 2., erweiterte Auflage Köln: Sport und Buch Strauß 1995, 428-446.
- LENHART, P./SEIBERT, W.: Funktionelles Bewegungstraining. Muskuläre Dysbalancen erkennen, beseitigen und vermeiden. Oberhaching: Gesundheitsdialog 1991.
- LETZELTER, H./LETZELTER, M.: Krafttraining. Theorie, Methoden, Praxis. Überarb. Auflage Reinbek: Rowohlt 1990.
- LETZELTER, M./LETZELTER, H./STEINMANN, W.: Meßfehler in der Kraftdiagnostik. In: Leistungssport 20 (1990) 2, 46-52.

- LI, Q./BÜHRLE, M./KIBELE, A./MÜLLER, K.J./SCHWIRTZ, A.: Messen die verschiedenen Kraft-Diagnose-Verfahren die gleichen Kraftfähigkeiten? In: BÜHRLE, M./SCHURR, M. (Hrsg.): Leistungssport: Herausforderung für die Sportwissenschaft. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 72. Schorndorf: Hofmann 1991, 372-378.
- LORENZ, R./HAUSDORF, J./JESCHKE, D./TUSKER, F.: Wirkung von isometrischen Maximalkraftbelastungen mit unterschiedlicher Pausendauer und Wiederholungszahl auf den Muskel. In: CARL, K./QUADE, K./STEHLE, P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Köln: Sport und Buch Strauß 1995, 126-142.
- LUDWIG, M.: Funktionsanalytische Untersuchungen des rehabilitativen Krafttrainings nach vorderer Kreuzbandplastik und ihre Konsequenzen. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 48 (1997) 5, 193-200.
- MACDOUGALL, J.D.: Hypertrophie und/oder Hyperplasie. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 232-239.
- MADER, A.: Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 41 (1990) 2, 40-58.
- MARTIN, D.: Ermüdung als Steuergröße im Training. In: Sportwissenschaft 17 (1987) 4, 378-393.
- MARTIN, D./CARL, K./LEHNERTZ, K.: Handbuch Trainingslehre. 2., unveränd. Auflage. Schorndorf: Hofmann 1993.
- MATWEJEW, L.P.: Grundlagen des sportlichen Trainings. Berlin: Sportverlag 1981.
- MAYER, F./HORSTMANN, T./KÜSSWETTER, W./DICKHUTH, H.-H.: Isokinetik. Eine Standortbestimmung. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 45 (1994) 7/8, 272-287.
- MCCARTNEY, N./MOROZ, D./GARNER, S.H./MCCOMAS, A.J.: The effects of strength training in patients with selected neuromuscular disorders. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 20 (1988) 1-6, 362-368.
- MECHLING, H.: Fertigkeit. In: RÖTHING, P. u. a. (Hrsg.): Sportwissenschaftliches Lexikon. 6., völlig neu bearb. Auflage, Bd. 49/50. Schorndorf: Hofmann 1992, 162-163.

- MEERSON, F.S.: Plastische Versorgung der Funktionen des Organismus. Moskau: Nauka-Verlag 1967.
- MILNER-BROWN, H.S./STEIN, R.B./YEMM, R.: Changes in firing rate of human motor units during linearly changing voluntary contractions. In: *Journal Physiology* 230 (1973), 371-390.
- MOREHOUSE, L.E.: Physiological basis of strength development. In: *Exercise and Fitness*., New York: The Athletic Institute 1960.
- MÜLLER, K.-J.: Statische und dynamische Muskelkraft. Beiträge zur Sportwissenschaft, Bd. 7. Frankfurt am Main: Deutsch 1987.
- NETT, T.: Leichtathletisches Muskeltraining. Das Übungs- und Trainingsbuch der Leichtathletik 4. Berlin: Bartels & Wernitz 1964.
- NICOLAUS, J.: Kenngrößen der Kraftausdauer - Qualifizierung und Quantifizierung anhand des Zweiphasen-Tests. In: MARTIN, D./WEIGELT, ST. (Hrsg.): *Trainingswissenschaft. Selbstverständnis und Forschungsansätze. Schriften der dvs, Bd. 53.* St. Augustin: Academia 1993, 130-135.
- NOTH, J.: Physiologische Grundlagen der Entstehung elektromyographisch ableitbarer Spannungen. In: DAUGS, R./BLISCHKE, K. (Hrsg.): *Aspekte der Motorikforschung. Schriften der dvs, Bd. 50.* St. Augustin: Academia 1993, 199-212.
- NOTH, J.: Die motorische Einheit. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): *Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3.* Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 33-40.
- NÖCKER, J.: *Physiologie der Leibesübungen. 4., neubearb. Auflage.* Stuttgart: Enke 1980.
- NÖCKER, J.: *Die Ernährung des Sportlers. 4., erweiterte und verbesserte Auflage.* Schorndorf: Hofmann 1987.
- OBERBECK, H.: *Seitigkeitsphänomene und Seitigkeitstypologie im Sport. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 68.* Schorndorf: Hofmann 1989.
- OLIVIER, N.: *Techniktraining unter konditioneller Belastung - Zum Einfluß konditioneller Belastungen auf das sportmotorische Lernen und Techniktraining. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 83.* Schorndorf: Hofmann 1996.

- OLIVIER, N.: Thesenblatt. Die Grundstruktur einer „Beanspruchungstheorie sportlichen Wettkampfes und Trainings“. 5. dvs-Sommerakademie. Saarbrücken: 1998.
- PAHLKE, U./PETERS, H.: Zur Wiederherstellung nach sportlichen Belastungen. In: Leistungssport 21 (1991) 4, 7-11.
- PAMPUS, B.: Die Muskelleistung als Intensitätsparameter im Krafttraining. In: KAUL, P./ZIMMERMANN, K.W. (Hrsg.): Theorie und Praxis der Psychomotorik, Bd. 12. Kassel: Gesamthochschulbibliothek 1992.
- PAMPUS, B.: Schnellkraft Training. Theorie, Methoden, Praxis. Aachen: Meyer & Meyer 1995
- PAMPUS, B./LEHNERTZ, K./MARTIN, D.: Die Wirkung unterschiedlicher Belastungsintensitäten auf die Entwicklung von Maximalkraft und Kraftausdauer. In: Leistungssport 19 (1989) 4, 5-10.
- PAULUS, CH.: Statistik. Einführung für Sozialwissenschaftler. Saarbrücken: Softfrutti 1997.
- PERRIN, D.H.: Isokinetic exercise and assessment. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers 1993.
- POLLMANN, D.: Muskuläre Beanspruchung im Mikrozyklus des Krafttrainings. Eine elektromyographische Analyse dynamischer und isometrischer Krafttrainingsformen. Köln: Sport und Buch Strauß 1993.
- POLLMANN, D./WILLIMCZIK, K.: Zur Möglichkeit der Beanspruchungsanalyse im Krafttraining anhand elektromyographischer Kennwerte. In: BÜHRLE, M./SCHURR, M. (Hrsg.): Leistungssport. Herausforderung für die Sportwissenschaft. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 72. Schorndorf: Hofmann 1991, 384-396.
- PREIß, R.: Biomechanische Merkmale. In: BALLREICH, R./BAUMANN, W.: Grundlagen der Biomechanik des Sports. Probleme, Methoden, Modelle. 2., neu bearb. Auflage. Stuttgart: Enke 1996, 54-74.
- RIEDER, H.: Sport im Bereich von Prävention und Rehabilitation. In: RIEDER, H./HUBER, G./WERLE, J. (Hrsg.): Sport mit Sondergruppen. Ein Handbuch. Schorndorf: Hofmann 1996, 34-41.

- RITZDORF, W./BRÜGGEMANN, G.-P./MAAS, S./MESTER, J./NEUMAIER, A./THOMANN, I.: Ausgewählte Aspekte der Kraftdiagnostik im Hochleistungssport. In: CARL, K./QUADE, K./STEHLE, P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Dokumentation eines vom BISp durchgeführten Workshops. 2., erweiterte Auflage Köln: Sport und Buch Strauß 1995, 60-82.
- ROHEN, J.W./LÜTJEN-DRECOLL, E.: Funktionelle Histologie. 2, erweiterte und neu bearb. Auflage. Stuttgart, New York: Schattauer 1990.
- ROHMERT, W.: Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Menschen. In: Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie 18 (1960a), 123-164.
- ROHMERT, W.: Zur Theorie der Erholungspausen bei dynamischer Arbeit. In: Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie 18 (1960b), 191-212.
- ROHMERT, W.: Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 38 (1984) 4, 193-200.
- ROST, J.: Lehrbuch Testtheorie, Testkonstruktion. 1. Auflage. Bern u.a.: Huber 1996.
- ROY; R.R./EDGERTON, V.R.: Bau und Funktion der Skelettmuskulatur. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 121-134.
- RÖCKER, L./MELLER, W./MELLEROWICZ, H./STOBOY, H.: Die Wirkung eines dynamischen Trainings mit gleicher physikalischer Leistung, aber unterschiedlichen Gewichten und Wiederholungszahlen bei eineiigen Zwillingen. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 22 (1971) 12, 281-286.
- RÖTHING, P. u. a. (Hrsg.): Sportwissenschaftliches Lexikon. 6., völlig neu bearb. Auflage, Bd. 49/50. Schorndorf: Hofmann 1992.
- RÜEGG, J.C.: Muskel. In: SCHMIDT, R.T./THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. 26., vollständig überarb. Auflage. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer 1995, 67-86.
- SALE, D.G.: Neural adaptation to resistance training. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 20 (1988) 5, 135-145.

- SALE, D.G.: Neuronale Adaptation im Verlauf eines Krafttrainings. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 249-265.
- SARRIS, V.: Methodologische Grundlagen der Experimentalpsychologie. Bd. 2. Versuchsplanung und Stadien des psychologischen Experiments. München, Basel: Reinhardt 1992.
- SCHLICHT, W.: Das sportliche Training: Überlegungen auf dem Wege zu einem integrierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: JANSSEN, J.-P./SCHLICHT, W./RIECKERT, H./CARL, K. (Hrsg.): Belastung und Beanspruchung. Köln: Sport und Buch Strauß 1992, 31-44.
- SCHLUMBERGER, A./SCHMIDTBLEICHER, D.: Zeitlich verzögerte Effekte beim Krafttraining. In: Leistungssport 28 (1998) 3, 33-38.
- SCHMIDT, R.T./THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. 26., vollständig überarb. Auflage. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer 1995.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Exzentrische Maximalkraftentfaltung und die Bestimmung individueller Belastungsgrößen für ein exzentrisches Maximalkrafttraining. Clausthal-Zellerfeld: dvs-Protokoll Nr. 2 (1982), 145-155.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Sportliches Training und motorische Grundlagenforschung. In: BERGER, W. u.a. (Hrsg.): Haltung und Bewegung beim Menschen. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer 1984a, 155-188.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Strukturanalyse der motorischen Eigenschaft Kraft. In: Lehre der Leichtathletik. Beilage zur Zeitschrift Leichtathletik 35 (1984b) 50, 1785-1792.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Diagnose des Maximal- und Schnellkraftverhaltens. In: BÜHRLE, M.: Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 56. Schorndorf: Hofmann 1985a, 112-120.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Klassifizierung der Trainingsmethoden im Krafttraining. In: Lehre der Leichtathletik 24 (1985b) 1/2, 25-30.

- SCHMIDTBLEICHER, D.: Motorische Beanspruchungsform Kraft. Definitionen und Trainierbarkeit. In: VON OW, D./HÜNI, G. (Hrsg.): Muskuläre Rehabilitation. Erlangen 1987a, 62-85.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Motorische Beanspruchungsform Kraft. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 38 (1987b) 9, 356-377.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Zum Problem der Definition des Begriffs Kraftausdauer. In: CARL, K./STARISCHKA, ST./STORK, H.M. (Hrsg.): Kraftausdauertraining. Köln: Sport und Buch Strauß 1989, 10-30.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Training in Schnellkraftsportarten. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 374-387.
- SCHNABEL, G./HARRE, D./BORDE, A. (Hrsg.): Trainingswissenschaft. Berlin: Sportverlag 1997.
- SCHNEIDER, W./SPRING, H./TRITSCHLER, TH.: Beweglichkeit. Theorie und Praxis. Stuttgart, New York: Thieme 1989.
- SCHOLICH, M.: Kreistraining. Frankfurt am Main u.a.: Bartels & Wernitz 1974.
- SCHOLICH, M.: Kreistraining. 3., bearb. Auflage. Berlin: Sportverlag 1988.
- SCHÖNPFLUG, W.: Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit - Konzepte und Theorien. In: KLEINBECK, U./RUTENFRANZ, J. (Hrsg.): Arbeitspsychologie. Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D, Praxisgebiete, Serie III, Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie, Bd. 1. Göttingen: Hogrefe 1987, 130-184.
- SCHREY, R. : Kraftdiagnostik und Krafttraining im Aufbautraining eines Leistungssportlers. In: Leistungssport 21 (1991) 4, 35-39.
- SHAYER, L.G.: Maximum dynamic strength, relative dynamic endurance and their relationship. In: Research Quarterly 42 (1970), 460-465.
- SPITZ, E.: Das Krafttraining des Gewichthebers. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 56. Schorndorf: Hofmann 1985, 193-198.

- SPRING, H.U. u.a.: Dehn- und Kräftigungsgymnastik. Stuttgart, New York: Thieme 1988.
- STEHLE, P.: Ermüdung. In: RÖTHING, P. u. a. (Hrsg.): Sportwissenschaftliches Lexikon. 6., völlig neu bearb. Auflage, Bd. 49/50. Schorndorf: Hofmann 1992, 151.
- STEININGER, K./BUCHBAUER, J.: Funktionelles Kraftaufbau-Training in der Rehabilitation. Oberhaching: Gesundheitsdialog 1994.
- STIEHLER, G./KONZAG, I./DÖBLER, H.: Sportspiele. Theorie und Methodik der Sportspiele. Berlin: Sportverlag 1988.
- STOBOY, H.: Das Krafttraining und seine Beziehung zu verschiedenen Sportarten. In Sportwissenschaft 14 (1984) 1, 9-31.
- STOBOY, H.: Das Muskeltraining und seine Bedeutung für den atrophierten und normalen Muskel. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 38 (1987) 9, 377-389.
- STULL, G./CLARKE, D.: Patterns of recovery following isometric and isotonic strength decrement. In: Medicine and Science in Sports and Exercise 3 (1971), 135-139.
- SUST, M.: Modular aufgebaute deterministische Modelle menschlicher Bewegung. In: BALLREICH, R./BAUMANN, W.: Grundlagen der Biomechanik des Sports. Probleme, Methoden, Modelle. 2., neu bearb. Auflage. Stuttgart: Enke 1996, 196-218.
- TAMME, M.: Die Veränderung muskelspezifischer Parameter durch Training mit hohen Lasten. In: GUTEWORT, W./SCHMALZ, TH./WEIß, TH. (Hrsg.): Aktuelle Hauptforschungsrichtungen der Biomechanik sportlicher Bewegungen. Schriften der dvs, Bd. 55. St. Augustin: Academia 1993, 137-141.
- TESCH, P.A.: Acute and long-term metabolic changes consequent to heavy-resistance exercise. In: MARCONNET, P./KOMI, P.V.: Muscular function in exercise and training. Basel u.a.: Karger 1987, 67-89.
- TESCH, P.A.: Kurzzeitige und langfristige histochemische und biochemische Adaptationen im Skelettmuskel. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994a, 240-248.

- TESCH, P.A.: Das Training im Bodybuilding. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnelkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994b, 365-373.
- TIHANYI, J.: Die physiologischen und mechanischen Grundprinzipien des Krafttrainings. In: Leistungssport 17 (1987) 2, 38-44.
- TITTEL, K.: Bewegungskoordination und Gleichgewichtsfähigkeit. In: DIRIX, A./KNUTTGEN H.G./TITTEL, K (Hrsg.): Olympia Buch der Sportmedizin. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 1. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1989, 168-182.
- TITTEL, K.: Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen. 12.,völlig überarb. Auflage. Stuttgart u.a.: Fischer 1994.
- TITTEL, K./WUTSCHERK, H.: Antropometrische Faktoren. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnelkraft im Sport. Enzyklopädie der Sportmedizin, Bd. 3. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 1994, 183-199.
- TUSKER, F.: Bestimmung von Kraftparametern eingelenkiger Kraftmessungen. Aachen: Shaker Verlag 1994.
- TYLER, A.E./HUTTON, R.S.: Was Sherrington right about co-contractions? In: Brain Research 370 (1986), 171-175.
- ULMER, H.-V.: Arbeits- und Sportphysiologie. In: SCHMIDT, R.T./THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. 26., vollständig überarb. Auflage. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer 1995, 672-695.
- VERCHOSHANSKIY, J.: Ein neues Trainingssystem für azyklische Sportarten. Trainer Bibliothek, Bd. 32. Münster: Philippka 1995.
- VERCHOSHANSKIY, J./VIRU, A.: Einige Gesetzmäßigkeiten der langfristigen Adaptation des Organismus von Sportlern an körperliche Belastungen. In: Leistungssport 20 (1990) 3, 10-13.
- VIRU, A.: Postexercise recovery period: carbohydrate and protein metabolism. In: Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports (1996) 6, 2-14.

- WANK, V.: Modellierung und Simulation von Muskelkontraktionen. Köln: Sport und Buch Strauß 1996.
- WEICKER, H.: Metabolische Regulation unter Belastung. In: JANSSEN, J.-P./SCHLICHT, W./RIECKERT, H./CARL, K. (Hrsg.): Belastung und Beanspruchung. Köln: Sport und Buch Strauß 1992, 65-90.
- WEICKER, H.: Einfluß metabolischer Faktoren auf statische und dynamische Kraft sowie periphere Ermüdung. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 46 (1995) 3, 151-168.
- WEICKER, H.: Chaostheorie und Stoffwechsel. In: JANSSEN, J.-P./CARL, K./SCHLICHT, W./WILHELM, A. (Hrsg.): Synergetik und Systeme im Sport. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 84. Schorndorf: Hofmann 1996, 39-52.
- WEINECK, J.: Sportanatomie. 5. völlig überarb. Auflage. Erlangen: Perimed-spitta 1988.
- WEINECK, J.: Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder und Jugendtrainings. 8., überarb. und erweiterte Auflage. Balingen: Perimed-spitta 1994a.
- WEINECK, J.: Sportbiologie. 4. Auflage Balingen: Perimed-spitta 1994b.
- WIEMANN, K.: Beeinflussung muskulärer Parameter durch unterschiedliche Dehnverfahren. In: HOSTER, M./NEPPER, H.U. (Hrsg.): Dehnen und Mobilisieren. Waldenburg: Sport Consult 1994, 40-71.
- WILLIMCZIK, K./DAUGS, R./OLIVIER, N.: Belastung und Beanspruchung als Einflußgrößen der Sportmotorik. In: Olivier, N./Daug, R. (Hrsg.): Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung. Clausthal-Zellerfeld: dvs-Protokoll Nr. 44 (1991), 6-28.
- WIRHED, R.: Sport-Anatomie und Bewegungslehre. 2. Auflage. Stuttgart, New York: Schattauer 1988.
- WITT, M.: Theoretischer Ansatz und experimentelle Ergebnisse zum Krafttraining. In: CARL, K./QUADE, K./STEHLE, P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Dokumentation eines vom BISp durchgeführten Workshops. 2., erweiterte Auflage Köln: Sport und Buch Strauß 1995, 20-34.

- ZATSIORSKY, V.M.: Die körperlichen Eigenschaften des Sportlers. Frankfurt: Bartels & Wernitz 1977.
- ZATSIORSKY, V.M.: Kraft-Training. Praxis und Wissenschaft. Aachen: Meyer & Meyer 1996.
- ZATSIORSKY, V.M./KULIK, N.: Zwei Arten von Ausdauer-Kennwerten. In: *Theorija i Praktika Fiziceskoj Kultury* 27 (1965) 2, 35-41.
- ZATSIORSKY, V.M./KULIK, N.G./SMIRNOV, Y.I.: Die Beziehung zwischen den motorischen Eigenschaften. In: *Theorija i Praktika Fiziceskoj Kultury* 31 (1968) 12, 35-48.
- ZATSIORSKY, V.M./KULIK, N.G./SMIRNOV, Y.I.: Die Wechselwirkung zwischen den körperlichen Eigenschaften. In: *Theorie und Praxis der Körperkultur* 19 (1970) 2, 141-157.
- ZATSIORSKY, V.M./KULIK, N.G./SMIRNOV, Y.I.: Wechselbeziehungen zwischen den motorischen Fähigkeiten. In: RIEDER, H. (Hrsg.): *Bewegungslehre des Sports*. Sammlung grundlegender Beiträge II. Schorndorf: Hofmann 1977, 84-102.
- ZIMMERMANN, M.: Das somatoviszzerale sensorische System. In: SCHMIDT, R.T./THEWS, G. (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*. 26., vollständig überarb. Auflage. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer 1995, 216-235.
- ZINTL, F.: Messungen zur Kraftausdauer bei alpinen Skirennläufern. In: CARL, K./STARISCHKA, ST./STORK, H.-M. (Hrsg.): *Kraftausdauertraining*. Dokumentation eines Hearings des BISp und des Faches Sport der Universität Dortmund am 10. und 11. Dezember 1987. Köln: Sport und Buch Strauß 1989, 50-71.
- ZIPP, P.: Optimierung der Oberflächenableitung bioelektrischer Signale. Düsseldorf 1988.
- ZIPP, P.: Leitregeln für die Oberflächen-Myographie: ausgewählte Beispiele. In: DAUGS, R./LEIST, K.-H./ULMER, H.-V. (Red.): *Motorikforschung aktuell*. Clausthal-Zellerfeld: dvs-Protokoll Nr. 35 (1989), 68-73.
- ZSCHORLICH, V.: *Elektromyographie und Dynamometrie in der Bewegungsforschung*. Ahrensburg: Czwalina 1987.

## 10 Stichwortverzeichnis

---

### A

<i>Abhängige Variable</i> .....	73
<i>Agonisten</i> .....	48
<i>Alter</i> .....	6, 18, 59
<i>Antagonisten</i> .....	48
<i>Anthropometrische Daten</i> .....	72
<i>Arbeitshypothesen</i> .....	70
<i>ATP</i> .....	61, 100
<i>ATP-Mangel-Theorie</i> .....	14

---

### B

<i>Belastungs-/Beanspruchungsermittlung</i> .....	29
<i>Belastungs-Beanspruchungs-Konzept</i> .....	27
<i>Beschleunigung</i> .....	8, 9
<i>Bewegungsbeschreibung</i> .....	75
<i>Bilaterales Defizit</i> .....	63

---

### C

<i>Circadianrhythmische Einflüsse</i> .....	72
---	----

---

### D

<i>Deduktiv</i> .....	30, 35
<i>DMS</i> .....	74
<i>Dynamische Kraftausdauer</i> .....	23

---

### E

<i>Einstichproben T-Test</i> .....	84
<i>Einwiederholungsmaximum</i> .....	77, 80
<i>Emotionen</i> .....	65
<i>Energiestoffwechsel</i> .....	61, 104
<i>Ermüdung</i> .....	57, 103

<i>Erwärmung</i> .....	80
<i>Exzentrische Kontraktionsform</i> .....	16

---

### F

<i>Force</i> .....	7
<i>Forschungshypothese</i> .....	67
<i>Frequenzierung</i> .....	53, 55, 56
<i>FT-Fasern</i> .....	41, 102, 104

---

### G

<i>Geometriefunktion</i> .....	11
<i>Geschlecht</i> .....	59
<i>Größenordnungsprinzip</i> .....	54

---

### H

<i>Hebelgesetz</i> .....	45
<i>Hill'sche Gleichung</i> .....	47
<i>Hyperplasie</i> .....	14
<i>Hypertrophie</i> .....	14
<i>Hypoxie</i> .....	14

---

### I

<i>Induktiv</i> .....	35
<i>Intensitätsbestimmung</i> .....	30, 35
<i>Intermediäre Muskelfasern</i> .....	42
<i>Intermuskuläre Koordination</i> .....	51
<i>Intramuskuläre Koordination</i> .....	52
<i>Irrtumswahrscheinlichkeit</i> .....	84
<i>Isometrische Kraft-Zeit-Kurve</i> .....	75
<i>Isometrische Maximalkraft</i> .....	23

**K**

Kognitive Prozesse.....	65
Kontraktionsform.....	11, 15, 106
Kontraktionsgeschwindigkeit.....	47, 102
Konzentrische Maximalkraft.....	23
Koordination.....	51
Kraft.....	7
Kraftausdauer.....	13, 20
Kraft-Längen-Relation.....	45, 102
Krafttraining.....	5
Kraft-Zeit-Kurve.....	16

**L**

Lateralität.....	63
------------------	----

**M**

Masse.....	8
Maximalkraft.....	1, 15, 105
Meßtechnik.....	74
Mobilisationsschwelle.....	44
Moderatorvariablen.....	73
Motivationale Prozesse.....	65
Motoneuronen.....	53
Motorische Einheit.....	53
Muscular-fatigue.....	57, 103
Muskelarten.....	40
Muskelformen.....	39
Muskellänge.....	45
Muskelleistungsschwelle.....	21
Muskelquerschnitt.....	44
Muskelschlinge.....	48, 49
MVC.....	17

**N**

Newton.....	9
Normalverteilung.....	71, 84

**P**

Periphere Ermüdung.....	57
Personenstichprobe.....	72
Psychische Prozesse.....	65

**R**

Reizdauer.....	31
Reizdichte.....	33
Reizhäufigkeit.....	32
Reizintensität.....	30
Reiz-Spannungs-Theorie.....	14
Reizumfang.....	33
Rekrutierung.....	54
Rekrutierungsprinzip.....	54
Relativkraft.....	44
Reliabilitätsüberprüfung.....	72
Ressourcen.....	100
Resynthese.....	61
RM = Repetition Maximum.....	36

**S**

SAID-Prinzip.....	102
Schwellenlast.....	21
Seitigkeit.....	63
Seitigkeitsdifferenzen.....	85, 96
Statistik.....	71
ST-Fasern.....	40
Strength.....	7
Superkompensations-Prinzip.....	28
Synergisten.....	48, 101

**T**

Teststärke.....	96
Tetanus.....	55
Trainingsmethoden.....	24, 29

---

**U**

*Unabhängige Variable*.....73  
*Untersuchungsablauf*.....79

---

**V**

*Variablenstichprobe* .....73

*Vektor* ..... 9  
*Verkürzungsgeschwindigkeit* ..... 47  
*Versuchsplan* ..... 78  
*Volition* ..... 66

---

**Z**

*Zentrale Ermüdung*.....57

---

## 11 Anhangsverzeichnis

<i>Anhang 1:</i>	<i>Informationsblatt zu einem Experiment im Bereich Kraft.....</i>	<i>IX</i>
<i>Anhang 2:</i>	<i>1. Fragebogen zur Erfassung personenspezifischer Variablen.....</i>	<i>X</i>
<i>Anhang 3:</i>	<i>Standardisiertes Aufwärmprogramm für alle Meßtermine.....</i>	<i>XI</i>
<i>Anhang 4:</i>	<i>2. Fragebogen zur Erfassung personenspezifischer Variablen.....</i>	<i>XII</i>
<i>Anhang 5:</i>	<i>Unilateraler Versuchsablauf (1. Termin).....</i>	<i>XIII</i>
<i>Anhang 6:</i>	<i>Unilateraler Versuchsablauf (2. Termin).....</i>	<i>XIV</i>
<i>Anhang 7:</i>	<i>Unilateraler Versuchsablauf (3. Termin).....</i>	<i>XV</i>
<i>Anhang 8:</i>	<i>Rohwerte der Wiederholungszahlen.....</i>	<i>XVI</i>

---

**Anhang 1: Informationsblatt zu einem Experiment im Bereich Kraft**

Lieber Versuchsteilnehmer,

Mit Ihrer Hilfe wollen wir untersuchen, in welchem Verhältnis die maximale Wiederholungszahl von der Intensität einer Kraftbelastung und der Ausführung (rechts/links) einer Kraftübung obliegt. Dazu ist es erforderlich, die isometrische und konzentrische Maximalkraft an einer Beinpresse innerhalb einer Streckschlingenbewegung zu bestimmen.

**Da die registrierten Kraftwerte sehr stark von der Motivation und der individuellen Einstellung der Versuchspersonen, sich maximal anzustrengen, abhängig sind, möchten wir Sie bitten, speziell bei den Maximalkrafttest alle Kräfte zu mobilisieren.**

Bevor die eigentlichen Tests zur Bestimmung der Maximalkraft, sowie der Wiederholungen bei definierten Intensitäten stattfinden, wird zu jedem Termin ein standardisiertes Aufwärmprogramm durchlaufen. Beim ersten Versuchstermin werden zusätzlich mit Hilfe eines Fragebogens, noch einige persönliche Daten erhoben, sowie die Segmentlängen von Fuß, Unter- und Oberschenkel analysiert.

Um EMG Signale ableiten zu können, werden Ihnen auf der linken Seite des Beines Oberflächenelektroden aufgeklebt, welche die elektrischen Aktivitäten, die bei der Belastung entstehen, registrieren. Hierzu wird die Haut oberflächlich präpariert.

Genauere Instruktionen zum jeweiligen Test, über den genauen Versuchsablauf, den zeitlichen Rahmen, zur Pausengestaltung und sonstige für die Untersuchung relevanten Hinweise, werden Sie zu den jeweiligen Zeitpunkten erhalten.

Für Ihre engagierte Mitarbeit und Ihr Interesse möchten wir uns bei Ihnen im voraus vielmals bedanken.

---

**Anhang 2: 1. Fragebogen zur Erfassung personenspezifischer Variablen**

Name: \_\_\_\_\_ Vorname: \_\_\_\_\_ geboren am: \_\_\_\_\_ VpNr: \_\_\_\_\_

Körpergewicht: \_\_\_\_\_ kg

Körpergröße: \_\_\_\_\_ cm

Fußlänge: \_\_\_\_\_ cm

Zehenlänge: \_\_\_\_\_ cm

Unterschenkel: \_\_\_\_\_ cm

Mittelfuß: \_\_\_\_\_ cm

Oberschenkel: \_\_\_\_\_ cm

Fersenbein: \_\_\_\_\_ cm

1. Welches ist die subjektiv stärkere Beinseite?  rechts  links
2. Treiben Sie regelmäßig Sport: Nein  Ja, bis 2h/Woche  Ja, über 2h/Woche
3. Wenn ja, welchen Sport/Sportarten betreiben Sie?  
eher kraftorientiert  eher ausdauerorientiert  eher schnelligkeitsorientiert   
Sportart(en): \_\_\_\_\_
4. Betreiben Sie Krafttraining in Ihrer Sportart(en)? Nein  Ja   
Wenn ja, eher Maximalkraft  eher Kraftausdauer  eher Schnellkraft
5. Wann haben Sie das letzte Mal Krafttraining , Ausdauertraining  betrieben?  
heute, und zwar  eher obere Extremitäten   
gestern, und zwar  eher untere Extremitäten   
vorgestern, und zwar  eher Bauch/Rücken
6. Wie fühlen Sie sich heute?  
      
sehr gut gut mittelmäßig schlecht sehr schlecht
7. Haben Sie Muskelkater? Nein  Ja

**Anhang 3: Standardisiertes Aufwärmprogramm für alle Meßtermine****1. Allgemeine Erwärmung**

Vier Minuten drehzahlunabhängige Fahrradergometrie mit **2 Watt pro kg Körpergewicht**

Drehzahlfrequenz zwischen 60-70 Umdrehungen pro Minute

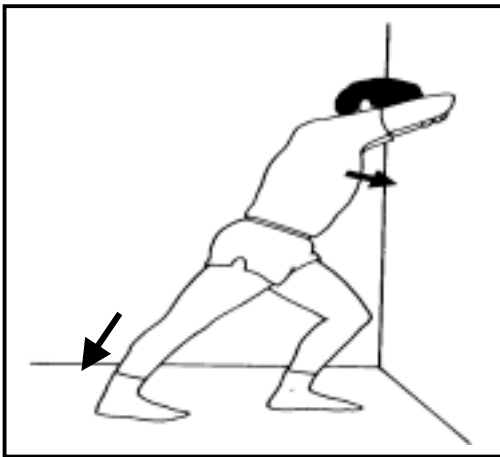
**2. Dehnen der beanspruchten Muskulatur (2 x 15 Sekunden links/rechts)**

Abb. 1: Wadenmuskulatur

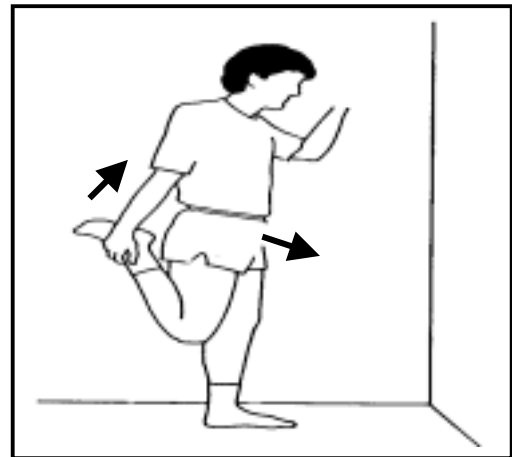


Abb. 2: Vordere Oberschenkelmuskulatur

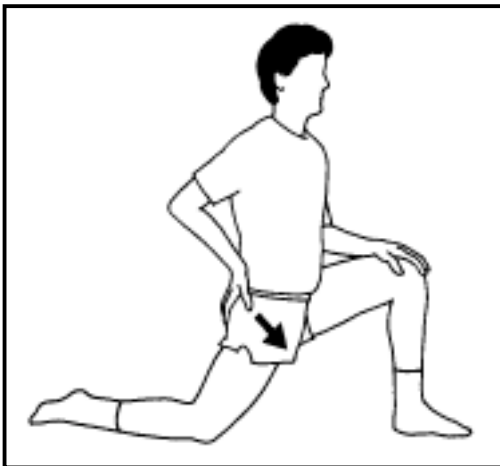


Abb. 3: Hüftbeugemuskulatur

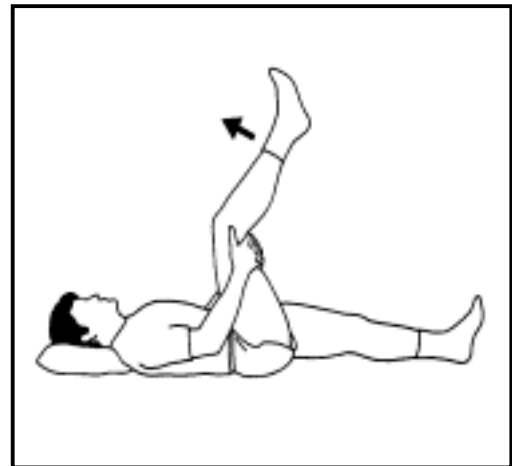


Abb. 4: Hintere Oberschenkelmuskulatur

(aus SPRING u.a.: Dehn- und Kräftigungsgymnastik 1988)

**3. Spezielle Erwärmung**

Zehn Beuge- und Streckbewegungen mit einfacher Körpergewichtslast

---

**Anhang 4: 2. Fragebogen zur Erfassung personenspezifischer Variablen**

Name: \_\_\_\_\_ Vorname: \_\_\_\_\_ geboren am: \_\_\_\_\_ VpNr: \_\_\_\_\_

1. Wann haben Sie das letzte Mal Sport getrieben?

- heute  
 gestern  
 vorgestern
- 

2. Welche Sportart(en) haben Sie zuletzt ausgeübt? \_\_\_\_\_

3. Wie hoch war die subjektive körperliche Beanspruchung bei dieser Trainingseinheit?

- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| sehr klein               | klein                    | mittel                   | groß                     | sehr groß                |

4. Wie fühlen Sie sich heute?

- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| sehr gut                 | gut                      | mittelmäßig              | schlecht                 | sehr schlecht            |

5. Haben Sie Muskelkater? Nein  Ja

## Anhang 5: Unilateraler Versuchsablauf (1. Termin)

1. Termin					
Information	Erwärmung				
- Information zum folgenden Test und dessen Bewandnis	- Erwärmung am Fahrradergometer, 4 Min. mit 2W/kg Körpergewicht				
- Fragebogen ausfüllen	- Dehnen der beanspruchten Muskulatur (siehe Anweisungsblatt)				
- Individuelle Einstellung der 60° und 90° Kniewinkelposition	- Anlegen des Oberflächen EMG an den präparierten Stellen				
- Segmentlängenbestimmung von Fuß, Unterschenkel, Oberschenkel	- Zehn beidbeinige Wdh. am Gerät mit dem Körpergewicht in kg				
- Entfernen der Beinbehaarung	- Eine Minute Pause bis zum eigentlichen Test				
- Hinweis zur Kraftentfaltung, sowie zur maximalen Anspannung	- Noch einmal Hinweis zur Kraftentfaltung bei iso. max. F-Test				
Eigentlicher Test					
Test	Max. Kraftentfaltung	Anspannungszeit	Seitenbeginn	Pause zw. den Seiten	Pause zw. den Tests
<b>T1</b> iso. max. F 60°	kontinuierlich	1-2 sec.	rechts	1 Min.	5 Min.
<b>T2</b> iso. max. F 90°	kontinuierlich	1-2 sec.	links	1 Min.	5 Min.
<b>T3</b> kon. max. F 90°	kontinuierlich	Metronom	rechts	1 Min.	5 Min.
<b>T4</b> kon. max. F 90°	kontinuierlich	Metronom	links	1 Min.	10 Min.
<b>T5</b> 70% kon. max. F	kontinuierlich	Metronom	rechts	3 Min.	Ende

## Anhang 6: Unilateraler Versuchsablauf (2. Termin)

2. Termin					
Information			Erwärmung		
-	Information zum folgenden Test und dessen Bewandnis	-	Erwärmung am Fahrradergometer, 4 Min. mit 2W/kg Körpergewicht		
-	Fragebogen ausfüllen	-	Dehnen der beanspruchten Muskulatur (siehe Anweisungsblatt)		
-	Individuelle Einstellung der 60° und 90° Kniewinkelposition	-	Anlegen des Oberflächen EMG an den präparierten Stellen		
-	Segmentlängenbestimmung von Fuß, Unterschenkel, Oberschenkel	-	Zehn beidbeinige Wdh. am Gerät mit dem Körpergewicht in kg		
-	Entfernen der Beinbehaarung	-	Eine Minute Pause bis zum eigentlichen Test		
-	Hinweis zur Kraftentfaltung, sowie zur maximalen Anspannung	-	Noch einmal Hinweis zur Kraftentfaltung bei iso. max. F-Test		
Eigentlicher Test					
Test	Max. Kraftentfaltung	Anspannungszeit	Seitenbeginn	Pause zw. den Seiten	Pause zw. den Tests
<b>T6</b> iso. max. F 60°	kontinuierlich	1-2 sec.	links	1 Min.	5 Min.
<b>T7</b> iso. max. F 90°	kontinuierlich	1-2 sec.	rechts	1 Min.	5 Min.
<b>T8</b> kon. max. F 90°	kontinuierlich	Metronom	links	1 Min.	5 Min.
<b>T9</b> 90% kon. max. F	kontinuierlich	Metronom	rechts	3 Min.	10 Min.
<b>T 10</b> 60% kon. max. F	kontinuierlich	Metronom	links	3 Min.	Ende

## Anhang 7: Unilateraler Versuchsablauf (3. Termin)

3. Termin					
Information		Erwärmung			
-	Information zum folgenden Test und dessen Bewandnis	-	Erwärmung am Fahrradergometer, 4 Min. mit 2W/kg Körpergewicht		
-	Fragebogen ausfüllen	-	Dehnen der beanspruchten Muskulatur (siehe Anweisungsblatt)		
-	Individuelle Einstellung der 60° und 90° Kniewinkelposition	-	Anlegen des Oberflächen EMG an den präparierten Stellen		
-	Segmentlängenbestimmung von Fuß, Unterschenkel, Oberschenkel	-	Zehn beidbeinige Wdh. am Gerät mit dem Körpergewicht in kg		
-	Entfernen der Beinbehaarung	-	Eine Minute Pause bis zum eigentlichen Test		
-	Hinweis zur Kraftentfaltung, sowie zur maximalen Anspannung	-	Noch einmal Hinweis zur Kraftentfaltung bei iso. max. F-Test		
Eigentlicher Test					
Test	Max. Kraftentfaltung	Anspannungszeit	Seitenbeginn	Pause zw. den Seiten	Pause zw. den Tests
<b>T11</b> iso. max. F 60°	kontinuierlich	1-2 sec.	rechts	1 Min.	5 Min.
<b>T12</b> iso. max. F 90°	kontinuierlich	1-2 sec.	links	1 Min.	5 Min.
<b>T13</b> kon. max. F 90°	kontinuierlich	Metronom	rechts	1 Min.	5 Min.
<b>T14</b> 80% kon. max. F	kontinuierlich	Metronom	links	3 Min.	10 Min.
<b>T15</b> 50% kon. max. F	kontinuierlich	Metronom	rechts	3 Min.	Ende

## Anhang 8: Rohwerte der Wiederholungszahlen

Vp	Wiederholungszahlen linke Seite					Wiederholungszahlen rechte Seite				
	50%	60%	70%	80%	90%	50%	60%	70%	80%	90%
1.	81	74	41	10	6	101	77	50	15	8
2.	89	46	36	9	8	68	44	22	16	11
3.	34	21	19	17	13	32	27	23	20	17
4.	31	22	26	12	10	35	26	27	18	16
5.	58	38	17	20	6	47	30	23	17	10
6.	116	57	30	32	14	89	50	24	29	12
7.	64	65	49	34	20	99	41	37	16	14
8.	46	33	26	23	12	35	25	17	19	7
9.	32	23	18	13	10	29	24	18	14	8
10.	34	25	17	19	13	29	23	18	16	9
11.	31	25	20	11	9	28	24	16	13	7
12.	38	33	25	19	9	52	40	31	23	11
13.	59	44	27	20	10	44	29	23	5	6
14.	40	21	20	12	10	46	33	23	17	11
15.	60	31	19	18	7	48	30	17	18	7

$\bar{x}$	54,20	37,20	26,00	17,93	10,47	52,13	34,87	24,60	17,07	10,27
s	25,12	16,84	9,52	7,46	3,60	25,34	14,27	9,02	5,15	3,37
Mini	31	21	17	9	6	28	23	16	5	6
Maxi	116	74	49	34	20	101	77	50	29	17

K-S Z	0,700	0,769	0,784	0,739	0,845	0,912	0,904	1,006	0,625	0,579
2-sei. p	0,711	0,596	0,570	0,645	0,473	0,377	0,387	0,263	0,829	0,891

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht und in der üblichen Weise in den laufenden Text integriert. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

St. Ingbert, im November 1998

---

Michael Fröhlich