

Markus Klein

***Zum Einfluss maximaler und submaximaler
Trainingsbelastungen auf die Veränderung
der Relativkraft und die Wiederholungszahl
bei submaximalen Lasten***

Diplomarbeit

- 1. Gutachter: Dr. phil. Franz Marschall**
- 2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. phil. Reinhard Daugs**

**Sportwissenschaftliches Institut
der Universität des Saarlandes**

Saarbrücken, 2000

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Aufbau der Arbeit	3
2	DIE WIRKUNG MAXIMALER UND SUBMAXIMALER TRAININGSBELASTUNGEN	5
2.1	Dimensionen des Kraftverhaltens.....	5
2.2	Besondere Bedeutung der Maximalkraft	9
2.2.1	Maximalkraft und Hypertrophie.....	15
2.2.2	Maximalkraft und intramuskuläre Koordination	19
2.2.3	Maximalkraft und intermuskuläre Koordination	22
2.2.4	Zur Abschätzung des Kraftdefizits	24
2.3	Methoden zur Verbesserung der Maximalkraft.....	25
2.3.1	Hypertrophiemethoden.....	26
2.3.2	IK-Methoden	28
2.4	Der Zusammenhang von Maximalkraft und Wiederholungs-zahlen bei submaximalen Intensitäten	31
2.4.1	Kritik an der Allgemeingültigkeit	32
2.4.2	Zur Auswirkung von Training auf das Verhältnis von Intensität und Wiederholungszahlen.....	35
3	ZUSAMMENFASSUNG UND ALLGEMEINE FORSCHUNGSHYPOTHESEN	40

4	EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG	42
4.1	Fragestellung und Arbeitshypothesen	42
4.2	Statistische Auswertung	44
4.3	Untersuchungsmethodik	44
4.3.1	Personenstichprobe	46
4.3.2	Variablenstichprobe	47
4.3.2.1	<i>Unabhängige Variablen</i>	<i>47</i>
4.3.2.2	<i>Abhängige Variablen</i>	<i>48</i>
4.3.2.3	<i>Moderator- und Kontrollvariablen</i>	<i>48</i>
4.3.3	Treatmentstichprobe	48
4.3.4	Testübung.....	49
4.3.5	Bestimmung der Maximalkraft	51
4.3.5.1	<i>Bestimmung der isometrischen Maximalkraft.....</i>	<i>51</i>
4.3.5.2	<i>Bestimmung der konzentrischen Maximalkraft.....</i>	<i>52</i>
4.3.6	Ablauf der Untersuchung	53
4.3.6.1	<i>Gewöhnungsprogramm.....</i>	<i>54</i>
4.3.6.2	<i>Vortest</i>	<i>55</i>
4.3.6.3	<i>Trainingsablauf.....</i>	<i>55</i>
4.3.6.4	<i>Nachtest.....</i>	<i>56</i>
5	ERGEBNISSE	58
5.1	Ergebnisse der konzentrischen Relativkraft	60
5.2	Ergebnisse der isometrischen Maximalkraft	63
5.3	Maximale Wiederholungszahlen bei 90% des 1-RM	65
5.4	Maximale Wiederholungszahlen bei 50% des 1-RM	68
6	DISKUSSION	70

7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	75
	LITERATURVERZEICHNIS	77
	SACHREGISTER	85
	ANHANG	VIII
	DANKSAGUNG	XVII
	ERKLÄRUNG	XVIII

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Struktur der motorischen Fähigkeit Kraft (modif. nach GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999, 224)</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 2: Kraftanstiegskurven (modif. nach BÜHRLE 1985, 88).....</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 3: Kraftanstiegsparemeter (modif. nach BÜHRLE 1985, 104).....</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 4: Leistungsbereiche des Menschen (modif. nach BIRBAUMER/SCHMIDT 1996, 284).....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 5: Mechanismus des Muskeldickenwachstums durch Training (modif. nach FUKUNAGA 1976, 265).....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 6: Beziehung zwischen Intensität und maximaler Wiederholungszahl (modif. nach ZATSIORSKY 1996, 247).....</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 7: Maximale isometrische Haltezeit in Abhängigkeit der Intensität (modif. nach ROHMERT 1960a, 131).....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 8: Phänomenorientiertes Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (ROHMERT 1984, 196).....</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 9: Verlauf der Beanspruchung des M. pectoralis major beim Bankdrücken (modif. nach POLLMANN/WILLIMCZIK 1995, 401)</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 10: Messposition</i>	<i>49</i>
<i>Abbildung 11: Anfangsposition der Testübung.....</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 12: Endposition der Testübung</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 13: Messapparatur zur Registrierung der isometrischen Maximalkraft</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 14: Überblick über den Untersuchungsablauf</i>	<i>57</i>
<i>Abbildung 15: Darstellung der Interaktion Messzeitpunkt × Gruppe zur Veränderung der konzentrischen Relativkraft a) Faktor Messzeitpunkt b) Faktor Gruppe</i>	<i>62</i>

*Abbildung 16: Darstellung der Interaktion Messzeitpunkt \times Gruppe zur
Veränderung der maximalen Wiederholungszahl auf der Intensitätsstufe
90% a) Faktor Messzeitpunkt b) Faktor Gruppe..... 67*

*Abbildung 17: Isometrisches Kraft-Winkel-Diagramm beim Bankdrücken (Winkel
zwischen Oberarm und Oberkörper in der Transversalebene) 72*

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Methoden der wiederholten submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung (modif. nach BÜHRLE 1985, 96).....</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 2: Methoden der maximalen Kontraktionen (modif. nach SCHMIDTBLEICHER 1987, 367)</i>	<i>29</i>
<i>Tabelle 3: Überblick über das Verhältnis zwischen Intensität und Wiederholungszahl bei verschiedenen Kraftübungen</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 4: Anthropometrische Daten der Probanden.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 5: Anthropometrische Daten der Treatment-Gruppe mit maximaler Trainingsbelastung (IK-Gruppe).....</i>	<i>47</i>
<i>Tabelle 6: Anthropometrische Daten der Treatment-Gruppe mit submaximaler Trainingsbelastung (Hyp-Gruppe).....</i>	<i>47</i>
<i>Tabelle 7: Überblick der Ergebnisse der LEVENE-Tests auf Varianzhomogenität der Messwerte der konzentrischen Maximalkraft, der isometrischen Maximalkraft, der maximalen Wiederholungszahl bei 90% sowie der maximalen Wiederholungszahl bei 50% der aktuellen konzentrischen Maximalkraft (Freiheitsgrade für alle F: 1,11)</i>	<i>59</i>
<i>Tabelle 8: Deskriptive Werte der konzentrischen Relativkraft (N/kg Körpergewicht). 60</i>	
<i>Tabelle 9: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Veränderung der konzentrischen Relativkraft mit den Faktoren 1=Gruppe und 2=Messwiederholung.. 61</i>	
<i>Tabelle 10: Deskriptive Werte der isometrischen Relativkraft (N/kg Körpergewicht). 63</i>	
<i>Tabelle 11: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Veränderung der isometrischen Relativkraft mit den Faktoren 1=Gruppe und 2=Messwiederholung.. 64</i>	
<i>Tabelle 12: Deskriptive Werte der maximalen Wiederholungszahlen bei einer Intensität von 90% der konzentrischen Maximalkraft.....</i>	<i>65</i>

<i>Tabelle 13: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Veränderung der maximalen Wiederholungszahl bei 90% mit den Faktoren 1=Gruppe und 2=Messwiederholung.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabelle 14: Deskriptive Werte der maximalen Wiederholungszahlen bei einer Intensität von 50% der konzentrischen Maximalkraft.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabelle 15: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Veränderung der maximalen Wiederholungszahl bei 50% mit den Faktoren 1=Gruppe und 2=Messwiederholung.....</i>	<i>69</i>

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Ein gewisses Niveau an Kraft spielt in nahezu jeder Sportart eine Rolle (vgl. WEINECK 1996, 245). Besonders deutlich ist dies in Sportarten, bei denen messbare Leistungen erbracht werden müssen (z.B. Leichtathletik, Gewichtheben usw.). Aber auch in technisch-kompositorischen Disziplinen (z.B. Gerätturnen, Sportgymnastik, Eiskunstlauf) sind neben den koordinativen Aspekten bestimmte Kraftleistungen notwendig, um die geforderten Bewegungsaufgaben zu realisieren. Für den Leistungssport spielt Kraft, im Zusammenwirken mit anderen Größen, eine zentrale Rolle im komplexen Gefüge der Einflussfaktoren sportlicher Leistung (SCHNABEL et al. 1994). Die Wichtigkeit der Entwicklung spezifischer Kraftfähigkeiten liegt somit auf der Hand. In Abhängigkeit der Anforderungen unterschiedlicher sportlicher Disziplinen kann eine Kraftsteigerung mit oder ohne Zunahme der Muskelmasse erfolgen. So ist in einigen Sportarten der Muskelzuwachs erwünscht (z.B. Bodybuilding, Gewichtheben), andere Sportarten dagegen verlangen eine möglichst hohe Kraft, bei vergleichsweise geringen Körpermasse (z.B. Turnen) (vgl. GÖHNER 1988). Methoden zur differenzierten Entwicklung einzelner Kraftkomponenten haben beispielsweise BÜHRLE (1985) und SCHMIDTBLEICHER (1987) ausführlich vorgestellt.

Doch nicht nur im Leistungssport spielt das Krafttraining eine wichtige Rolle. Der zunehmende technische Fortschritt unserer Umwelt, dessen Vorteil sicher nicht in Frage zu stellen ist, fordert den Preis eines rasanten Rückganges unserer körperlichen Bewegung. Die Folgen des zunehmenden Bewegungsmangels in unserer Gesellschaft wurden bereits in zahlreichen Publikationen angesprochen (vgl. BITTMANN 1995; BÖS et al. 1992; BÖS/BREHM 1998; KNOLL 1996; UNVERDORBEN et al. 1995; WYDRA 1996). Vor allem in Hinblick auf orthopädische Risiken ist dem Training der Kraft auch im freizeitlichen und gesundheitssportlichen Bereich eine zentrale Bedeutung zuzuschreiben (vgl. EHLENZ et al. 1995, 7). Gerade die komplexe Struktur der Wirbelsäule ist schon allein aus Gründen der Statik auf Kräfte der umgebenden Muskulatur angewiesen (DENNER 1998, 11). So können in diesem wirbelsäulenumgebenden Muskelkorsett Defizite einzelner Muskeln zu erheblichen Beschwerden und Funktionsstörungen führen. Für den freizeitsportlichen und gesundheitsorientierten Bereich empfiehlt man häufig Übungsprogramme aus der sogenannten Funktionsgymnastik, die ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Dehnungs- und Kräfti-

gungsübungen propagiert (KNEBEL 1992). In aktuelleren Beiträgen werden jedoch bereits Vorschläge für gesundheitsorientierte Krafttrainingsprogramme gemacht (BOECKH-BEHRENS/ BUSKIES 1998; BUSKIES 1999; BUSKIES et al. 1997).

Sowohl für den Leistungssport als auch für den freizeit- und gesundheitsbezogenen Bereich steht nun die Frage nach der Effizienz von Krafttraining und der optimalen Gestaltung im Vordergrund. Aufgrund der mehrdimensionalen Struktur der motorischen Fähigkeit *Kraft*, müssen ihre einzelne Komponenten mit unterschiedlichen Maßnahmen angesteuert werden (MARTIN et al. 1993; SCHNABEL et al. 1994). Es herrscht Konsens darüber, dass die Verbesserung der Maximalkraft, der Schnellkraft und der Kraftausdauer jeweils über unterschiedliche Trainingsreize zu erzielen sind (BÜHRLE 1985; SCHMIDTBLEICHER 1987, MARTIN et al. 1993). Auffällig ist jedoch die Diskrepanz der Meinungen bei Vorschlägen zur Dosierung, vor allem hinsichtlich der Belastungsintensität, der Wiederholungszahl und der Pausenlänge. Es wird daher zu überlegen sein, ob es überhaupt sinnvoll ist, weiterhin an den Belastungsgrößen Intensität (Prozentwert des 1-RM) *und* Wiederholungszahl festzuhalten, oder ob die Steuerung des Krafttrainings zusätzlich über andere Größen effektiver geschehen kann (vgl. HOEGER et al. 1987; MARSCHALL/FRÖHLICH 1999).

Den Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit bildet eine Untersuchung zur differenzierten Wirkungsweise zweier unterschiedlicher Krafttrainingsmethoden. Es handelt sich einmal um die *Methode mit kurzzeitigen maximalen Belastungen*, welche zur Verbesserung der intramuskulären Koordination (IK-Training) herangezogen wird. Die zweite Trainingsmethode stellt die *Methode wiederholter submaximaler Belastung bis zur Erschöpfung* (BÜHRLE 1985) dar, welche häufig mit dem Ziel des Muskeldickenwachstums (Hypertrophie) Anwendung findet. Eine *direkte* Bestimmung, ob die der jeweiligen Methode zugeschriebenen Ziele tatsächlich erreicht werden, ist in der Praxis in der Regel nicht möglich. Da Hypertrophie-Training jedoch neben der Kraftsteigerung eine Zunahme der Muskelmasse hervorruft, welche beim IK-Training ausbleibt, wird die auf das Körpergewicht bezogene *Relativkraft* als geeignete Größe angesehen, eine differenzierte Wirkung der beiden Methoden indirekt nachzuweisen. Eine weitere Fragestellung, die mit dieser Studie bearbeitet werden soll, betrifft das Verhältnis zwischen Intensität und maximaler Wiederholungszahl. Dass diese in der trainingswissenschaftlichen Literatur häufig als fest und allgemeingültig dargestellte Relation von zahlreichen Faktoren beeinflusst wird sowie interindividuell und in Abhängigkeit der beteiligten Muskulatur sehr unterschiedlich ist, wurde bereits mehrfach bestätigt (BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999; HOEGER et al. 1990; MARSCHALL/FRÖHLICH 1999). Die Untersuchung soll nun klä-

ren, ob dieses Verhältnis auch durch Training veränderbar ist und ob diese mögliche Veränderung bei unterschiedlichen Trainingmethoden von unterschiedlicher Ausprägung ist.

1.2 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit gliedert sich in zwei Teile, einen theoretischen Überblick (Kapitel zwei und drei) sowie einen experimentellen Teil (Kapitel vier bis sieben).

Kapitel zwei beschäftigt sich mit den theoretischen Grundlagen des Krafttrainings unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkung von maximalen und submaximalen Belastungen auf die Maximalkraft. Nach einleitenden Bemerkungen zur konditionellen Fähigkeit *Kraft* (2.1) erfolgt eine nähere Betrachtung der Dimension *Maximalkraft* (2.2). Während zunächst die besondere Bedeutung der Komponente Maximalkraft verdeutlicht wird, folgen im Anschluss Ausführungen über den Zusammenhang von *Maximalkraft und Hypertrophie* (2.2.1), über *Maximalkraft und intramuskulärer Koordination* (2.2.2) sowie über die Bedeutung der *intermuskulären Koordination* (2.2.3).

Der folgende Abschnitt (2.3) beschäftigt sich mit Methoden zur Verbesserung der Maximalkraft. Zunächst werden Methoden zur Vergrößerung des Muskelquerschnitts vorgestellt (2.3.1), im Anschluss daran Methoden zur Verbesserung der intramuskulären Koordination (2.3.2).

Abschnitt 2.4 behandelt den Zusammenhang zwischen submaximalen Intensitäten und maximalen Wiederholungszahlen. Nachdem eine kritische Betrachtung der Allgemeingültigkeit dieses Zusammenhanges erfolgt (2.4.1), wird auch auf die Veränderung dieses Verhältnisses durch Training eingegangen (2.4.2).

Kapitel drei fasst die geschilderten theoretischen Ausführungen zusammen und leitet aus den Befunden die allgemeinen Forschungshypothesen ab.

Kapitel vier beschreibt die experimentelle Untersuchung. Hierbei stehen die Methodik und die Beschreibung des Untersuchungsablaufes im Vordergrund. Die Ergebnisse werden in Kapitel fünf dargestellt und in Kapitel sechs ausführlich diskutiert. Weiterhin sollen methodische Schwierigkeiten angesprochen werden. Die gesamten Befunde werden schließlich in Kapitel sieben zusammengefasst. Darüber hinaus werden noch verbleibende ungeklärte Fragen angesprochen.

2 Die Wirkung maximaler und submaximaler Trainingsbelastungen

Bewegung kommt durch das Zusammenwirken des aktiven und passiven Bewegungsapparates zu Stande. Während die Knochen unseres Skeletts sowie die Bänder als passiver Bewegungsapparat bezeichnet werden, stellt die quergestreifte Skelettmuskulatur den Hauptbestandteil des aktiven Bewegungsapparates dar. Zum umfassenden Verständnis über die derzeitigen Erkenntnisse zur allgemeinen Funktionsweise der Muskeln, Kontraktionsmechanismen (z.B. „theory of sliding filaments“), anatomischen Grundlagen sowie Reflexmechanismen sei an dieser Stelle auf entsprechende Grundlagenliteratur verwiesen (BIRBAUMER/SCHMIDT 1996; ENGELHARTD/NEUMANN 1994; FALLER 1988; GHEZ/GORDON 1996; MARKWORTH 1989; PLATZER 1991; RÜEGG 1995; WIESENDANGER 1995). Im Folgenden soll die Auswirkung maximaler und submaximaler Trainingsbelastungen auf die Muskulatur und die Kraftfähigkeiten besprochen werden. Hierzu ist es zunächst erforderlich, das trainingswissenschaftliche Verständnis des Kraftbegriffes deutlich zu machen und ihn vom physikalischen Kraftbegriff abzugrenzen. Von besonderem Interesse ist die Komponente Maximalkraft und deren Zusammenhang mit Hypertrophie sowie intra- und intermuskulärer Koordination.

2.1 Dimensionen des Kraftverhaltens

In unserer Umgangssprache wird das Wort *Kraft* sehr vielfältig eingesetzt (HELLENTHAL 1988, 31). So spricht man beispielsweise in der Werbung von der „Waschkraft“ eines Waschmittels, um dessen Wirksamkeit zu beschreiben. Im physikalischen Verständnis ist *Kraft* jedoch eindeutig definiert. Etwas schwieriger fällt dagegen der Versuch, Kraft als eine Fähigkeit des Menschen zu erklären. Dass dies nicht eindeutig möglich ist, zeigt im Folgenden eine Zusammenstellung verschiedener Definitionsversuche aus dem Bereich der Trainingswissenschaft. Hierzu soll vom physikalischen Kraftverständnis ausgegangen werden.

Kraft ist im physikalischen Sinne ein Phänomen, das aufgrund seiner Wirkung beschrieben und gemessen werden kann. Kräfte bewirken einmal eine Änderung des Bewegungszustandes von Körpern (Beschleunigung, Verzögerung oder Richtungsänderung), zum anderen führen sie zur Verformung von Körpern. Dabei hat die Kraft die Eigenschaft eines *Vektors* und ist somit gekennzeichnet durch ihren *Betrag*, ihre *Richtung* im dreidimensionalen Raum sowie ihren

Angriffspunkt (vgl. PREIB 1996, 55). Nach dem ersten NEWTONSchen Axiom bleibt der Bewegungszustand eines Körpers unverändert (*Trägheitsprinzip* bzw. *Verharrungsvermögen*). Das zweite NEWTONSche Axiom besagt, dass die Wirkung einer äußeren Kraft F auf einen Körper der Masse m eine Beschleunigung (oder Verzögerung) a verursacht, so dass folgende Beziehung gilt:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Gleichung 1: Physikalische Beziehung der Kraft

Durch diesen Zusammenhang lässt sich anschaulich die Maßeinheit der Kraft erklären. Die SI-Einheit für Kraft ist *1 Newton* (N) und entspricht der Kraft, die einen ruhenden Körper der Masse 1kg in 1s auf eine Geschwindigkeit von 1ms^{-1} beschleunigt. Durch Trägheitseffekte entstehen in bewegten Systemen Zwangskräfte, was im dritten NEWTONSchen Axiom zum Ausdruck kommt. Dieses besagt, dass jede Kraft eine ihr entgegengerichtete Kraft gleichen Betrages erzeugt (*actio = reactio*) (HELLENTHAL 1988, 34).

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$$

Gleichung 2: Kraft und Gegenkraft

Bezogen auf den allgemeinen physikalisch-naturwissenschaftlichen Bereich lassen sich Kräfte einteilen in: *mechanische, elektrische und magnetische Kräfte*, weiterhin in *chemische Bindungskräfte* sowie *Kernkräfte* (HELLENTHAL 1988, 34). Im Sport sind hierbei vor allem die *mechanischen Kräfte* relevant. Die Biomechanik unterteilt Kräfte bei sportlichen Bewegungen in innere und äußere Kräfte. ZATSIORSKY beschreibt die *innere Kraft* als jene, die von einem Teil des menschlichen Körpers auf einen anderen wirkt (z.B. zwischen Sehnen und Knochen), während *äußere Kräfte* zwischen dem Körper des Sportlers und der Umwelt wirken (ZATSIORSKY 1996, 39).

Für die Erläuterung der Kraft als *konditionelle Fähigkeit* reicht die physikalische Zugangsweise jedoch nicht aus (MARTIN et al. 1993, 100). Im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch wird hierzu zwischen *force* (physikal. Kraftverständnis) und *strength* (wörtlich: Stärke, verstanden als Kraftfähigkeit) unterschieden.

Fähigkeit (ability) wird im Allgemeinen als eine relativ stabile personeninterne Bedingung oder Voraussetzung angesehen, die zum Vollzug einer Tätigkeit dient. Es ist davon auszugehen, dass der Ausprägungsgrad einer Fähigkeit zwar genetisch festgelegt, in bestimmten Maße aber durch Reize aus der Umwelt be-

einflussbar ist (CARL 1992, 158). *Motorische Fähigkeiten* kennzeichnen nun individuelle Differenzen im Niveau der Steuerungs- und Funktionsprozesse, die bewegungsübergreifend (im Gegensatz zu motorischen Fertigkeiten) von Bedeutung sind (ROTH 1999, 233). Die *Kraftfähigkeit* wird neben der *Ausdauerfähigkeit* und der *Schnelligkeit* den sogenannten *konditionellen Fähigkeiten* zugeordnet. Diese bilden nach SCHNABEL et al. die „... energetische Komponente sportlicher Leistungsfähigkeit.“ (SCHNABEL et al. 1994, 156). Weitere Autoren sehen auch die Beweglichkeit als konditionelle Fähigkeit an, wie aus der folgenden Definition zu ersehen ist:

„**Kondition** ist eine Komponente des Leistungszustandes. Sie basiert primär auf dem Zusammenwirken energetischer Prozesse des Organismus und der Muskulatur und zeigt sich als Kraft-, Schnelligkeits-, Ausdauerfähigkeit und Beweglichkeit im Zusammenhang mit den für diese Fähigkeiten erforderlichen psychischen Eigenschaften.“ (MARTIN et al. 1993, 87)

Um nun Kraft als motorische Fähigkeit des Menschen vom physikalisch-naturwissenschaftlichen Verständnis abzugrenzen, wird sie von SCHMIDTBLEICHER (1987, 356) als Fähigkeit des Muskels verstanden, sich ohne Längenänderung gegen einen Widerstand zu kontrahieren (*statische Arbeitsweise*), durch Verkürzung des Muskels einen Widerstand zu überwinden (*konzentrische Arbeitsweise*) oder einem Widerstand nachgebend entgegenzuwirken (*exzentrische Arbeitsweise*). Diese Argumentation ist auch in der biologischen Kraftdefinition von EHLENZ et al. (1995) zu erkennen:

„**Kraft im biologischen Sinne** ist die Fähigkeit des Nerv-Muskelsystems, durch Muskeltätigkeit (=Innervations- und Stoffwechselprozesse mit Muskelkontraktionen) Widerstände zu überwinden (konzentrische Kontraktion), ihnen entgegenzuwirken (exzentrische Kontraktion) bzw. sie zu halten (isometrische Kontraktion).“ (EHLENZ et al. 1995, 11)

Zur Problematik der Differenzierung in *Kraft* als physikalische Größe einerseits und *Kraft* als motorische Eigenschaft¹ andererseits weist SCHMIDTBLEICHER (1987, 356) darauf hin, dass die messbaren physikalischen Kraftwerte beim Menschen als Resultate der motorischen Fähigkeit zur Kraftentfaltung in Erscheinung treten (ebd.). Um nun die Kraftfähigkeiten von anderen Fähigkeiten abzugrenzen, schlägt BÜHRLE (1985, 82) vor, im trainingswissenschaftlichen

¹ Eine genaue Differenzierung der Begriffe *motorische Eigenschaft* und *motorische Fähigkeit* wird in den meisten Literaturstellen nicht deutlich. CARL (1996, 133) versteht diese Begriffe als Synonyme (vgl. auch MARTIN et al. 1993, 87)

Bereich nur dann von Kraftverhalten zu sprechen, wenn Krafteinsätze realisiert werden, die größer als ein Drittel des individuellen Leistungsvermögens sind. Er begründet dies unter Bezug auf HETTINGER (1964, 51 zit. nach BÜHRLE 1985) durch die Tatsache, dass die durchschnittliche Kraftbelastung bei etwa 30% der jeweils realisierbaren Maximalkraft liegt. MARTIN et al. (1993) akzeptieren diesen Vorschlag und formulieren daraus folgende Definition:

„**Kraftfähigkeit** ist die Basis für Muskelleistungen mit Krafteinsätzen, deren Werte über ca. 30% der jeweils individuell realisierbaren Maxima liegen.“ (MARTIN et al. 1993, 102)

WEINECK (1996) hält den Versuch, Kraft mit ihren physischen und psychischen Aspekten zu definieren als außerordentlich schwierig,

„... da die Arten der Kraft, der Muskelarbeit, der Muskelanspannung bzw. der differenzierte Charakter der Muskelanspannung, außerordentlich vielfältig sind und von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden.“ (WEINECK 1996, 236)

In gängigen Lehrbüchern wird Kraft unterteilt in *Maximalkraft*, *Schnellkraft* und *Kraftausdauer* (vgl. EHLENZ et al. 1995; MARTIN et al. 1993; SCHNABEL et al. 1994; WEINECK 1996). Während diese Komponenten jedoch häufig als gleichwertige Größen nebeneinander gestellt werden, versuchte BÜHRLE (1985) in seiner dimensionsanalytischen Betrachtung eine Hierarchie herzustellen. Dimensionen der Kraft stellen hierbei gegeneinander abgrenzbare, leistungsbestimmende Fähigkeiten kraftakzentuierter Bewegungsformen dar (BÜHRLE 1985, 83). Die Dimension Maximalkraft ist dabei eine entscheidende Voraussetzung zur Entwicklung der anderen Kraftdimensionen. Sie ist somit der Schnellkraft und der Kraftausdauer übergeordnet und stellt für diese eine Basisfähigkeit dar. Somit bewirkt eine trainingsbedingte Verbesserung der Maximalkraft in gewissem Umfang gleichzeitig eine Verbesserung der Schnellkraft- und der Kraftausdauerleistung (GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999, 224). Die Hierarchieebenen sind in Abbildung 1 grafisch dargestellt.

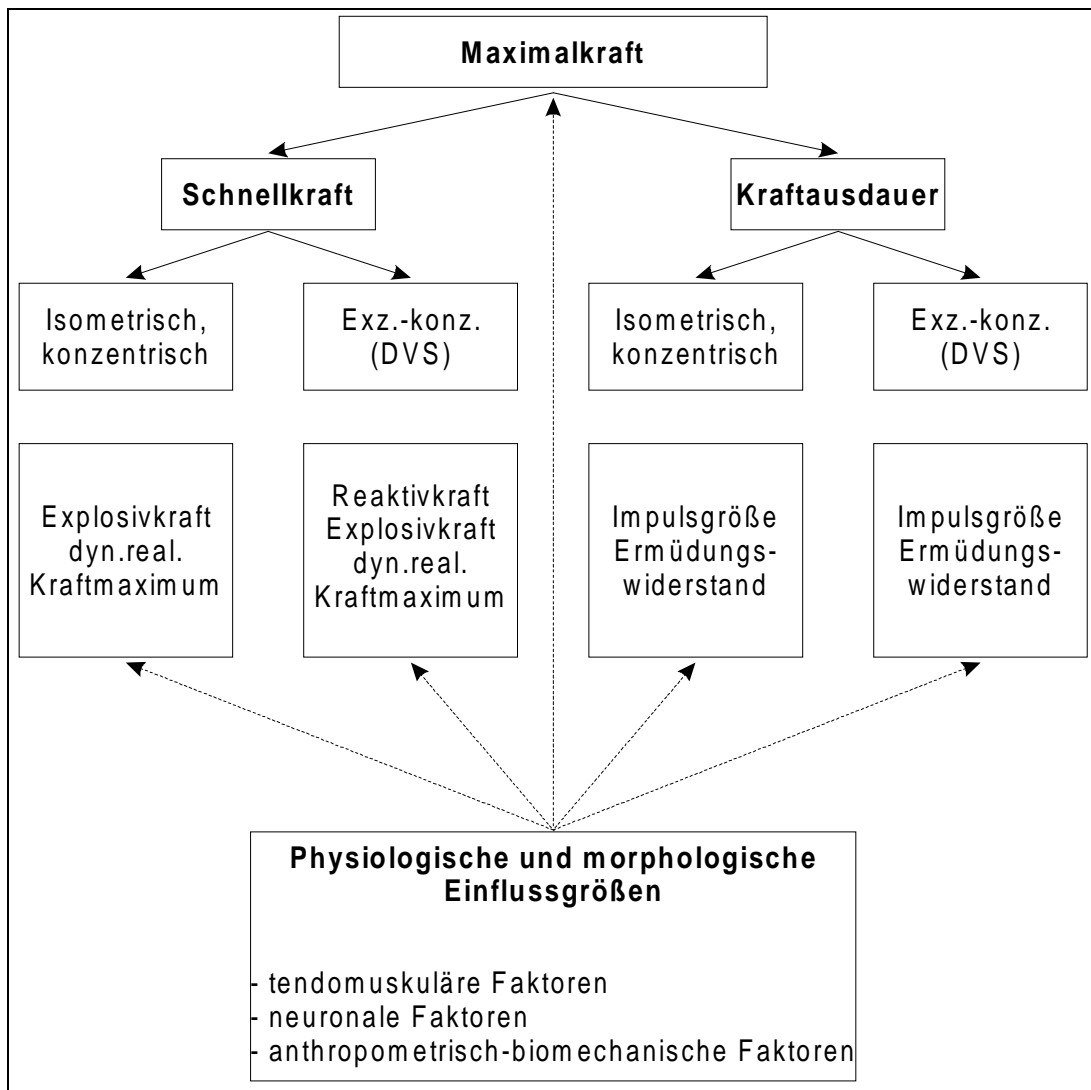


Abbildung 1: Struktur der motorischen Fähigkeit Kraft (modif. nach GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999, 224)

2.2 Besondere Bedeutung der Maximalkraft

SCHNABEL et al. (1994) sehen die *Maximalkraft* als grundlegende konditionelle Fähigkeit für die Mehrzahl sportlicher Leistungen. Daher definieren sie die Maximalkraftfähigkeit als

„... die Fähigkeit, die in der höchstmöglichen Muskelkraft bei willkürlicher Kontraktion gegen einen festen Widerstand bzw. beim Bewegen einer maximalen Last zum Ausdruck kommt.“ (SCHNABEL et al. 1994, 160)

Verschiedene Standardlehrbücher nehmen eine Differenzierung der Maximalkraft in eine *statische* und eine *dynamische* Maximalkraft vor (WEINECK 1996, 238). Man fasst somit die höchstmögliche Kraftentfaltung gegen unüberwindliche Widerstände als *statische Maximalkraft* auf, während man bei der höchsten Kraft bei willkürlicher Kontraktion des Muskels von *dynamischer Maximalkraft* spricht. Entsprechend der bereits vorgestellten Arbeitsweisen des Muskels (siehe 2.1) wäre auch eine weitere Differenzierung in *dynamisch-konzentrisch* und *dynamisch-exzentrisch* denkbar. Eine derartige Unterscheidung in statische Maximalkraft einerseits und dynamisch-konzentrische sowie dynamisch-exzentrische Maximalkraft andererseits bezeichnet BÜHRLE (1985, 87) als irreführend und lehnt sie mangels physiologischer Rechtfertigung ab. Sowohl bei dynamischer als auch bei statischer Kraftmessung läge das gleiche motorische Grundvermögen zu Grunde (ebd.). Hierbei müsse das isometrische Messverfahren als eine Grenzsituation des dynamischen Verfahrens angesehen werden.

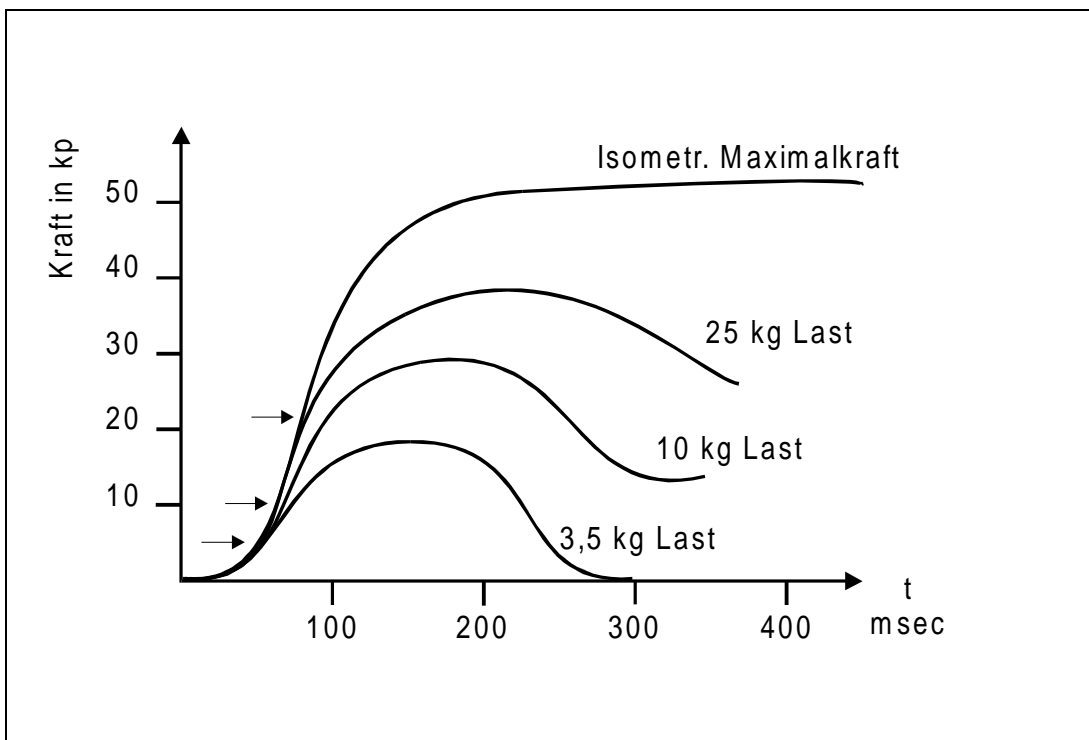


Abbildung 2: Kraftanstiegskurven (modif. nach BÜHRLE 1985, 88)

Am Beispiel des Anhebens einer Hantel wird diese Sichtweise verdeutlicht. Der Athlet beginnt bereits mit der Muskelarbeit, wenn die Hantel noch in der Halterung liegt. Dies geschieht zunächst isometrisch. Erst wenn die Hantel die Unterlage verlässt, beginnt der konzentrische Anteil der Bewegung. Die geschilderte Kombination aus isometrischer und konzentrischer Kontraktion wird von anderen Autoren als Unterstützungskontraktion bezeichnet (DE MARÉES

1996, 39). Wird nun das Gewicht der Hantel nach und nach erhöht, so wird es dem Probanden nach Überschreiten einer gewissen Grenzlast nicht mehr gelingen, die Hantel von der Unterlage zu heben. Die Darstellung in Abbildung 2 auf Seite 10 zeigt vier Kraftkurven, wobei der geschilderte Vorgang bei drei Kurven zu erkennen ist. Der Übergang von der isometrischen in die konzentrische Phase ist bei diesen drei Kurven mit einem Pfeil gekennzeichnet. Da das Gewicht bei der vierten Kurve die Grenzlast überschreitet, ist ein Anheben der Hantel nicht mehr möglich, wodurch die konzentrische Phase ausbleibt. Somit verlängert sich mit zunehmendem Gewicht die isometrische Phase und der Übergang in die konzentrische Phase verzögert sich bzw. bleibt nach Überschreiten der Grenzlast aus.

In der derzeitigen kraftorientierten Forschung wird der Begriff *Maximalkraft* sehr unterschiedlich gehandhabt. Das Phänomen einer maximalen Kraftentfaltung wurde teilweise stark differenziert, so dass zahlreiche neue Begriffe zur Beschreibung unterschiedlicher Betrachtungen eingeführt wurden. Die wichtigsten dieser Begriffe sollen im Folgenden angesprochen und erläutert werden.

„Unter *Absolutkraft* ist das gesamte Kraftpotential zu verstehen, das im Muskel oder in einer Synergistengruppe angelegt ist. Es kann mit Hilfe der Elektrostimulation gemessen oder durch die physiologischen Muskelquerschnittsflächen abgeschätzt werden.“ (BÜHRLE 1985, 93)

Somit ist nach BÜHRLE die Absolutkraft von der Maximalkraft begrifflich zu unterscheiden, und er nimmt eine Präzisierung seines Verständnisses von Maximalkraft vor:

„Die *Maximalkraft* wird als Anteil der Absolutkraft interpretiert, der willkürlich aktiviert werden kann. Sie ist also bestimmt durch die Absolutkraft und die willkürliche Aktivierungsfähigkeit. Die Maximalkraft wird am besten durch standardisierte isometrische Kraftmessung erfaßt.“ (BÜHRLE 1985, 93)

Diese Erklärung zieht die Notwendigkeit zur Erläuterung des Begriffes *willkürliche Aktivierungsfähigkeit* nach sich, welchen der Autor im Anschluss definiert:

„Die *willkürliche Aktivierungsfähigkeit* ist die Fähigkeit, einen möglichst hohen Anteil des morphologisch angelegten Kraftpotentials einsetzen zu können. Sie wird abgeschätzt über das Kraftdefizit.“ BÜHRLE 1985, 93

Da der Erläuterung des Begriffs Kraftdefizit der Abschnitt 2.2.4 gewidmet ist, soll an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden. Zunächst wird je-

doch noch der Zusammenhang von Maximalkraft und Schnellkraft besprochen (vgl. BÜHRLE 1985; SCHMIDTBLEICHER 1985).

„Unter Schnellkraft wird relativ einheitlich das Vermögen verstanden, möglichst hohe Kraftwerte pro Zeiteinheit zu realisieren. Bei der Abschätzung dieses Vermögens geht man von der Kraft-Zeit-Kurve aus und wählt einen Parameter der Form $\Delta K/\Delta t$.

Der Schnellkraftindex ist z.B. als Quotient aus dem Maximalkraftwert K_{\max} und der Zeit t_{\max} definiert, die notwendig ist, um diesen Maximalkraftwert zu erreichen.“ (BÜHRLE 1985, 99)

Der Zeitwert t_{\max} ist jedoch nur schwerlich präzise zu ermitteln, da die Kraft-Zeit-Kurve das Maximalkraftniveau approximativ erreicht (WANG 1999, 31). Man bestimmt daher die *Explosivkraft*, welche als Fähigkeit verstanden wird, einen möglichst steilen Kraftanstieg zu realisieren. Die Abschätzung erfolgt über den Kurvenabschnitt mit der steilsten Steigung (in der Regel die Tangentensteigung im Wendepunkt, vgl. ebd.).

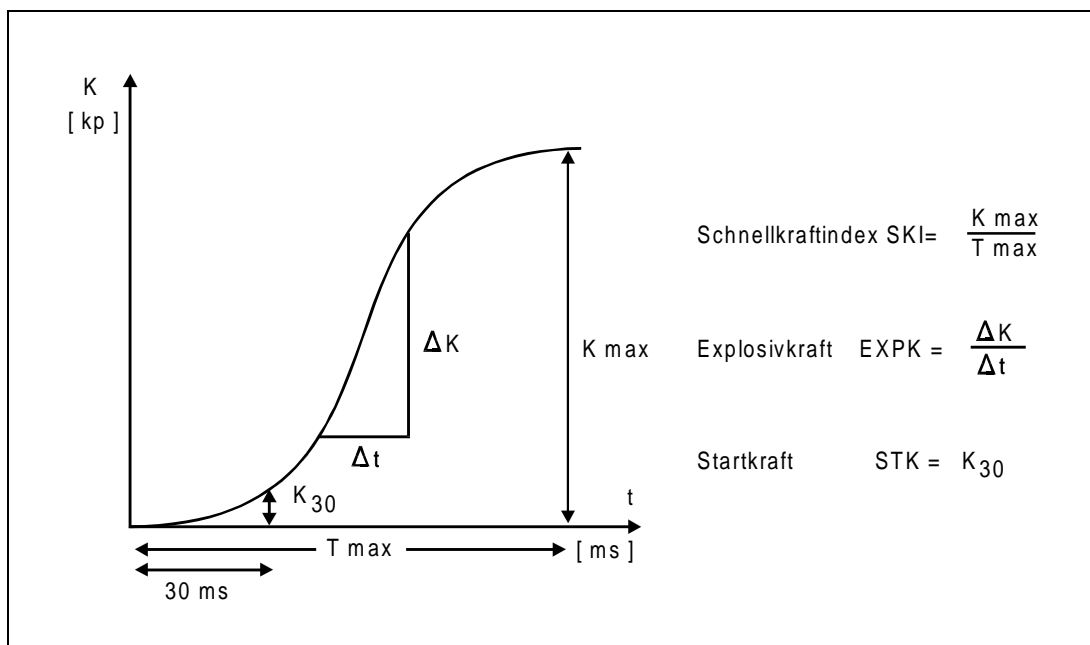


Abbildung 3: Kraftanstiegsparameter (modif. nach BÜHRLE 1985, 104)

Startkraft bezeichnet die Fähigkeit des Muskels, zu Beginn der Arbeitsspannung möglichst schnell effektive Kraft zu bilden (WERCHOSHANSKIJ/TATJAN 1975, 28). Sie wird über den maximalen Kraftanstieg nach den ersten 30 ms (BÜHRLE 1985, 104) bzw. nach den ersten 50 ms (WANG 1999, 32) abgeschätzt. Der Vergleich von Messungen mit explosiv durchgeführter Kraftentfaltung

zeigt, dass bei Beginn des Kraftanstieges, unabhängig von isometrischer oder dynamischer Kontraktion, die jeweiligen Kraft-Zeit-Kurven den gleichen Verlauf zeigen. Im Zusammenhang mit der Thematik *Maximalkraftfähigkeit* bedeutet dies, dass Maximalkraft der wichtigste Bedingungsfaktor für alle Schnellkraftleistungen darstellt. Somit kann Schnellkraftfähigkeit nicht gleichrangig neben Maximalkraft klassifiziert werden (BÜHRLE 1985, 104, vgl. auch Abbildung 1 auf Seite 9).

ZATSIORSKY (1996) versucht sich dem Phänomen *Maximalkraft* vor allem aus der physikalisch-naturwissenschaftlichen Sichtweise zu nähern. So geht er in seiner Argumentation zunächst von der physikalischen Beziehung von Leistung (P), Kraft (F) und Geschwindigkeit (v) aus. (siehe Gleichung 3)

$$P = \vec{F} \bullet \vec{v}$$

Gleichung 3: Physikalische Beziehung von Leistung

Die maximale Leistung (P_m) ist somit von der maximalen Kraft (F_m) und der maximalen Geschwindigkeit (v_m) abhängig. Zur Erklärung wird das Beispiel Kugelstoßen mit unterschiedlich schweren Kugeln herangezogen. Der Autor geht hierbei auf die inverse Beziehung von Kraft und Geschwindigkeit ein, d.h. je größer die maximal *realisierbare* Kraft ist (z.B. bei schwereren Kugeln) desto kleiner wird die maximal realisierbare Geschwindigkeit. Bei dieser Argumentation ist nachvollziehbar, dass die Maximalkraft (F_m) im Verständnis des Autors „parameterabhängig“ (Kugelgewicht, äußerer Widerstand usw.) ist. Da nun in Abhängigkeit veränderter Parameterbedingungen für die einzelnen Größen der Gleichung ein absoluter Maximalwert erreicht werden kann, ist auch hier eine weitere Steigerung der Begriffe Maximalleistung (P_m), Maximalkraft (F_m) und Maximalgeschwindigkeit (v_m) erforderlich. Es werden die Begriffe maximum-maximorum-Leistung (P_{mm}), maximum-maximorum-Kraft (F_{mm}) und maximum-maximorum-Geschwindigkeit (v_{mm}) vorgeschlagen, welche jeweils nur bei bestimmten Parameterbedingungen auftreten.

Die Auflistung unterschiedlicher Sichtweisen zum Komplex *Maximalkraft* ließe sich sicherlich noch endlos fortsetzen, jedoch würde dies den Rahmen dieser Arbeit überschreiten. Zum Verständnis der vorliegenden Studie soll für Maximalkraft folgende Definition gelten:

Maximalkraft ist die *momentan maximale willkürliche Kontraktionsfähigkeit* (vgl. *maximal voluntary contraction*, Abk. MVC., KROEMER/MARRAS, 1980) des untersuchten Muskels bzw. der untersuchten Muskelgruppe.

Diese kann sowohl dynamisch durch die Bestimmung des 1-RM als auch statisch (mittels piezoelektrischen Gebern) gemessen werden. Die Durchführung der Messungen ist unter 4.3.6.2 ausführlich erläutert. Um bessere Vergleichsmöglichkeiten zu erhalten, sollte der gemessene absolute Kraftwert in Relation zum Körpergewicht gesetzt werden, so dass man auch von *relativer Maximalkraft* oder einfacher von *Relativkraft* sprechen kann (SCHNABEL et al. 1994, 162). Diese Relativierung hat für den Fall einer Veränderungsstudie (Vor-test/Nachtest-Messung) zur Registrierung des Kraftzuwachses auch den Vorteil, dass eine Unterscheidung zwischen Hypertrophie-Effekt und IK-Effekt möglich sein könnte. Durch die Zunahme der Muskelmasse (Anstieg des Körpergewichtes) durch Hypertrophie-Training müsste demnach die Relativkraft weniger ansteigen als bei IK-Training, wenn die absoluten Zuwächse bei beiden Methoden gleich wären.

2.2.1 Maximalkraft und Hypertrophie

Maximalkraftleistungen sind in hohem Maße von der aktiven Muskelmasse abhängig (CHILIBECK et al. 1998, 170). So weisen beispielsweise Spitzengewichtheber aufgrund ihres vergleichsweise hohen Muskelanteils an der Körpermasse (ca. 50%) hohe Korrelationen (0,80 bis 0,93) zwischen ihren Leistungen und dem Körpergewicht auf (ZATSIORSKY 1996, 85). Aufgrund dieses Zusammenhangs ist es durchaus sinnvoll, Kraftwerte bei Maximalkraftmessungen zum besseren interindividuellen Vergleich in Relation zum Körpergewicht zu setzen (siehe oben). Somit erhält man die *Relativkraft* im Gegensatz zur *absoluten Maximalkraft*².

Kraft kann als eine Funktion des Muskelquerschnitts angesehen werden (APPEL 1983). Dabei wird die Krafthöhe mit etwa 40 bis 100 N pro cm² Muskelquerschnittsfläche angegeben (DE MARÉES 1996, WEINECK 1996). Die durchaus beachtliche Schwankung ist auf die Zusammensetzung des hierzu untersuchten Muskelgewebes zurückzuführen. So variieren an Präparaten zur Querschnittsbestimmung die Anteile von aktivem und passivem Gewebe (HOLLMANN/HETTINGER 1990). Andererseits ist aufgrund dieses Zusammenhangs verständlich, dass eine Zunahme der Muskelmasse und damit die Zunahme des Muskelquerschnitts zu einer Steigerung der Maximalkraft führt (APPEL 1983). Eine Querschnittsvergrößerung kann durch spezielle Trainingsmethoden gezielt angesteuert werden (BÜHRLE 1985, MARTIN et al. 1993; vgl. Kapitel 2.3.1).

² da der Ausdruck *Absolutkraft* bereits mit einer anderen Bedeutung verwendet wurde, sollte er in diesem Zusammenhang nicht benutzt werden.

Es wurde beobachtet, dass die verschiedenen Muskelfasertypen unterschiedlich auf Hypertrophiereize reagieren (MACDOUGALL 1994, 233). Diese Muskelfasertypen lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen. Die erste Kategorie beinhaltet die langsam kontrahierenden und eher ermüdungsresistenten Typ-I-Fasern, welche sich durch einen hohen Mitochondriengehalt und vergleichsweise niedrigen Glykogengehalt auszeichnen. Die zweite Kategorie stellen die schnell kontrahierenden, jedoch rasch ermüdenden Typ-II-Fasern dar (vgl. HOWALD 1985, 36). Diese Fasern bilden eine Gruppe, die sich weiter unterteilen lässt. Zunächst vermutete man lediglich die Existenz zweier Subtypen, nämlich Typ-IIA-Fasern und Typ-IIB-Fasern. Sie unterscheiden sich voneinander durch verschiedene Isoformen schwerer Myosinketten (myosin heavy chain, Abk.: MHC). Mittlerweile ist darüber hinaus ein dritter Subtyp bekannt, der als Typ-IID bezeichnet wird (vgl. PETTE 1999, 263). Die Verschiedenartigkeit der Myosinketten lässt sich durch die jeweilige ATP-ase-Aktivität nachweisen. Hierbei weisen die Typ-IIB-Fasern die höchste Aktivität auf. Etwas geringer ist sie bei den Typ-IID- und Typ-IIA-Fasern. Beträchtlich niedriger ist sie schließlich bei den Typ-I-Fasern. Seit jüngerer Zeit sind neben den sogenannten reinen Fasertypen, die jeweils nur eine einzige MHC-Isoform enthalten auch Übergangsfasern (Hybridfasern) bekannt. Sie enthalten zwei oder mehr MHC-Isoformen und stellen somit eine Art Zwischenstufe zwischen verschiedenen Fasertypen dar. Somit erstreckt sich ein annähernd fließender Übergang von den schnellsten Typ-IIB-Fasern zu den langsamsten Typ-I-Fasern. Untersuchungen an Tieren zeigten, dass die relative Verteilung der Fasern von der Körpergröße abhängt. Besonders häufig treten die schnellen Typ-IIB-Fasern bei kleinen Tieren (z.B. Maus, Ratte) auf, seltener bei größeren (z.B. Kaninchen). Nach aktuellen Befunden scheint die MHCIIb-Isoform (Isoform der Typ-IIB-Fasern) beim Menschen komplett zu fehlen (PETTE 1999, 239f).

Verschiedene Studien sprechen dafür, dass die Typ-II-Fasern einen deutlicheren Zuwachs erfahren als die Typ-I-Fasern (MACDOUGALL 1994, 233). Hierbei bewegen sich die Zuwachsraten der Querschnittsflächen bei den Typ-II-Fasern etwa zwischen 30 und 35%, bei den Typ-I-Fasern zwischen 14 und 27%. Während einige Autoren die Möglichkeit einer trainingsbedingten Umwandlung von einem Faser-Typ in einen anderen eher mit Skepsis betrachten (MACDOUGALL 1994, WANG 1999), wird sie von anderen durchaus in Erwägung gezogen (HOWALD 1985; PETTE 1999). Neuere Befunde scheinen eine derartige Umwandlung zu bestätigen. Als Ursachen werden hierbei Veränderungen des neuronalen Impulsmusters, der kontraktilen Aktivität, mechanische Be- und Entlastung sowie bestimmte Hormone angegeben (PETTE 1999, 264). Beispielsweise wird durch chronisch-niederfrequente Stimulation die Umwandlung von schnellen in langsame Fasern ausgelöst. Umgekehrt wurde auch die Umwandlung langsamer

in schnelle Fasern durch Stimulation mit phasisch-hochfrequenten Impulsmustern beobachtet (ebd.).

Weiterhin kommt es durch Hypertrophietraining zu einer geringfügigen Vermehrung des interstitiellen Bindegewebes, welche sich absolut gesehen jedoch nur unwesentlich auf die Querschnittsvergrößerung auswirkt (MACDOUGALL 1994, 233). Eine Veränderung des Verhältnisses von Kapillaren zu Muskelfasern wird durch Maximalkrafttraining in der Regel nicht hervorgerufen. Da auch die Anzahl der Mitochondrien keine Veränderung erfährt, nimmt aufgrund des wachsenden Muskelgewebes die relative Mitochondrienzahl signifikant ab.

Die eigentlichen Effekte des Muskelwachstums durch Training zeigen sich in einer Zunahme der Dicke und der Anzahl an Myofibrillen. Training bewirkt eine Anlagerung von Aktin- und Myosinfilamenten an die Myofibrillen. Teilweise wird hierbei eine mechanisch bedingte Längsaufspaltung der Myofibrillen vermutet, wenn das Ausmaß der Querschnittszunahme eine bestimmte kritische Grenze überschreitet.

Die Frage, ob es bei der morphologischen Anpassung des Muskelgewebes zu einer Vermehrung von Muskelzellen kommt (Hyperplasie) oder lediglich zu einem Dickenwachstum der vorhandenen Zellen (Hypertrophie) ist schon seit längerer Zeit Gegenstand kontroverser Diskussion (APPEL 1983). Der Aktivität der sogenannten Satellitenzellen, einer Art funktionsloser Reservezellen, die möglicherweise in der Embryonalgenese aus Myoblasten stammen, welche nicht zu Muskelschläuchen fusioniert sind (WHITE/ESSER 1989, zit. nach MACDOUGALL, 1994), wird neben der Unterstützung von Hypertrophieeffekten auch eine Unterstützung bei der Zellenvermehrung zugeschrieben.

„According to common concepts of regeneration and to a concept of adaptation to training of skeletal muscle proposed earlier, satellite cells as the stem cells of skeletal muscle tissue can contribute to hypertrophie as well as to hyperplasia“ (APPEL et al. 1988, 299)

Eine Umwandlung von Satellitenzellen in Myoblasten, welche zu Muskelschläuchen fusionieren, wird mit der Bildung neuer Muskelfasern in Verbindung gebracht (APPEL, 1986, 11)

„To our knowledge we are the first to present morphological evidence for the formation of myotubes and therefore presumably new muscle fibers in human muscle under training conditions. This supports the earlier contentions that true hyperplasia exists in skeletal muscle.“ (APPEL et al. 1988, 299)

MACDOUGALL (1994, 234) steht derartigen Sichtweisen kritisch gegenüber. Zur Argumentation werden verschiedene Beiträge zitiert, die einen Abschluss der Muskelfaservermehrung mit oder wenigstens kurz nach der Geburt belegen. Zwar kann die Annahme einer Hyperplasie aus verständlichen untersuchungsmethodischen Gesichtspunkten nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, doch unter Bezug auf eigene Studien hält der Autor an der Vorstellung einer reinen Hypertrophie fest. Hierbei wurden von den computertomografisch bestimmten Querschnittsflächen des m. biceps brachii von Spitzenbodybuildern, Bodybuildern mit mittlerem Trainingsniveau und gleichaltrigen untrainierten Personen durch Vergleich mit Ergebnissen aus Muskelbiopsien die Faseranzahl ermittelt. Ein statistisch signifikanter Unterschied der Muskelfaserzahl war zwischen den drei Gruppen jedoch nicht festzustellen. Die Ergebnisse von APPEL et al. (1988) werden zwar von MACDOUGALL nicht in Frage gestellt, doch wäre eine Interpretation dieser Beobachtungen auch im Sinne regenerativer Prozesse möglich. Hierbei führe die Aktivität der Satellitenzellen zu einer Faserneubildung als Ersatz geschädigter Muskelfasern. Somit besitzt also auch der Skelettmuskel des Erwachsenen grundsätzlich die Fähigkeit zur Faserneubildung, doch die Funktion dieses Mechanismus besteht wohl nach derzeitigen Kenntnissen hauptsächlich darin, untergegangene Muskelfasern zu ersetzen. Eine Zunahme der Muskelfaseranzahl, welche eine echte Hyperplasie bedeuten würde, ist aus diesem Grund auszuschließen (MACDOUGALL 1994, 237).

Der eigentliche Reiz, der die Prozesse zum Muskeldickenwachstum hervorruft, wird unter anderem sowohl in der durch die Kontraktion entwickelten mechanischen Spannung vermutet (*Reiz-Spannungs-Theorie*, vgl. HOLLMANN/HETTINGER, 1990), als auch in einem durch vermehrte Eiweißsynthese hervorgerufenen Mangel an ATP (*ATP-Mangel-Theorie*, vgl. LORENZ et al. 1995).

2.2.2 Maximalkraft und intramuskuläre Koordination

Neben dem Muskelquerschnitt ist die Kraft abhängig von der Innervation des Muskels. Die neuronale Regulation der Kraft im Muskel geschieht hauptsächlich über zwei Mechanismen, die im Folgenden kurz skizziert werden sollen:

Bei alltäglichen Bewegungen sind in der Regel nicht alle motorischen Einheiten eines Muskels aktiv. Zur Steigerung der Kontraktionskraft können nun nach und nach weitere motorische Einheiten hinzugezogen werden (*Rekrutierungsprinzip*). Die Reihenfolge der Rekrutierung ist festgelegt und richtet sich nach dem Typ der motorischen Einheit. In Hinblick auf die Kraftanstiegsgeschwindigkeit sowie der Ermüdungsgeschwindigkeit lassen sich drei Typen motorischer Einheiten klassifizieren. Diese sind:

1. FF-Typ (*fast fatigable*) = schnell ermüdbarer Typ, bei dem sich die Muskelfasern schnell kontrahieren und entspannen, bei wiederholter Reizung jedoch schnell ermüden. Sie erreichen die größte Kraft.
2. FR-Typ (*fatigue resistant*) = schneller, schwer ermüdbarer Typ. Sie nehmen eine Zwischenstellung ein. Die Kontraktion der Muskelfasern geschieht nur wenig langsamer als beim FF-Typ, sie sind aber fast ebenso ermüdungsresistent wie der S-Typ.
3. S-Typ (*slow*) = langsamer Typ, bei dem die Kontraktion der Muskelfasern deutlich mehr Zeit benötigt. Sie erreichen maximal 10% der Kraft des FF-Typs, sie sind jedoch sehr resistent gegenüber Ermüdung

Die drei genannten Typen unterscheiden sich anhand der Größe der Zellkörper der Motoneuronen. Hierbei besitzen die S-Typen die kleinsten Zellkörper, die FR-Typen haben etwas größere und die FF-Typen die größten Zellkörper. Bei der Muskelkontraktion werden zuerst die ausdauernden aber schwächeren S-Typen aktiv. Zur Kraftsteigerung schalten sich zunächst die FR-Typen hinzu, bei hohen Kräften schließlich werden auch die schnell ermüdbaren, sehr kräftigen FF-Typen hinzugezogen. Die Steuerung dieses Vorganges resultiert aus jeweils unterschiedlichen Rekrutierungsschwellen, deren Höhe mit zunehmender Zellkörpergröße zu steigen scheint (GHEZ/GORDON 1996, 517). Dieses Prinzip wird aufgrund der jeweiligen Zellgröße der Motoneuronen auch als *Größenprinzip* bezeichnet.

Das Größenprinzip bringt zwei wichtige funktionelle Konsequenzen mit sich. Erstens werden höhere Zentren von der Auswahl bestimmter Kombinationen von motorischen Einheiten entlastet und zweitens sind die am häufigsten be-

nutzten motorischen Einheiten auch gleichzeitig die ermüdungsresistenten, während die schnell ermüdbaren lediglich kurzzeitig bei hohen Kraftanforderungen zum Einsatz kommen (GHEZ/GORDON 1996). Man geht teilweise davon aus, dass bereits bei 20% der Maximalkraft 50% der motorischen Einheiten des entsprechenden Muskels rekrutiert sind (DIETZ 1985, 19)

Eine weitere Möglichkeit einer Kraftzunahme besteht darin, die Entladungsfrequenz der α -Motoneuronen zu erhöhen (*Frequenzierungsprinzip*). Eine tetanische Muskelkontraktion kommt in der Regel aufgrund einer Summation von Muskelzuckungen zu Stande (BIRBAUMER/SCHMIDT 1996; DE MARÉES 1996; GHEZ/GORDON 1996; RÜEGG 1996). Bei beginnender Aktivität ist eine Entladungsfrequenz von ca. 6 bis 8 Hz zu verzeichnen. Hierbei sind die Einzelkontraktionen noch weitgehend unverschmolzen (DIETZ 1985, 20). Eine Zunahme der Frequenz führt zu einem allmählichen Kraftanstieg mit zunehmender Fusion der Einzelkontraktionen zum Tetanus. Ab etwa 25 Hz führt eine weitere Frequenzerhöhung nur noch unwesentlich zu einem weiteren Ansteigen der Kraft. Frequenzen über 30 Hz sind eher selten (DIETZ 1985, GHEZ/GORDON 1996, DE MARÉES 1996) und dienen vorwiegend der Steigerung der Verkürzungsgeschwindigkeit (DE MARÉES 1996, 56). Dennoch treten bei motorischen Einheiten, welche die schnellen FT-Fasern versorgen, kurzzeitig Frequenzen von 50 Hz bis über 100 Hz auf (GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999).

Vor allem bei Schnellkraftleistungen kommt zu dem *Rekrutierungs-* und *Frequenzierungsprinzip* noch eine dritte Komponente hinzu. Neben der Fähigkeit, alle motorischen Einheiten mit möglichst hoher Impulsfrequenz einzusetzen, sollte der Einsatz auch nahezu gleichzeitig geschehen. In der Tat kommt es bei hochexplosiven ballistischen Bewegungen zu einer annähernd synchronen Aktivierung bei der Rekrutierung der motorischen Einheiten (WANG 1999, 27). Eine derartige *Synchronisierung* ist bedingt durch eine möglichst hochfrequente Anfangsinnervation aller Einheiten des gesamten Motoneuronenpools (MÜLLER 1987).

Die momentan maximal realisierbare Kraft ist folglich von der Fähigkeit des Muskels abhängig, maximal *viele* motorische Einheiten zu rekrutieren, welche schließlich mit möglichst *hoher Frequenz* und möglichst *synchron* aktiv sind.

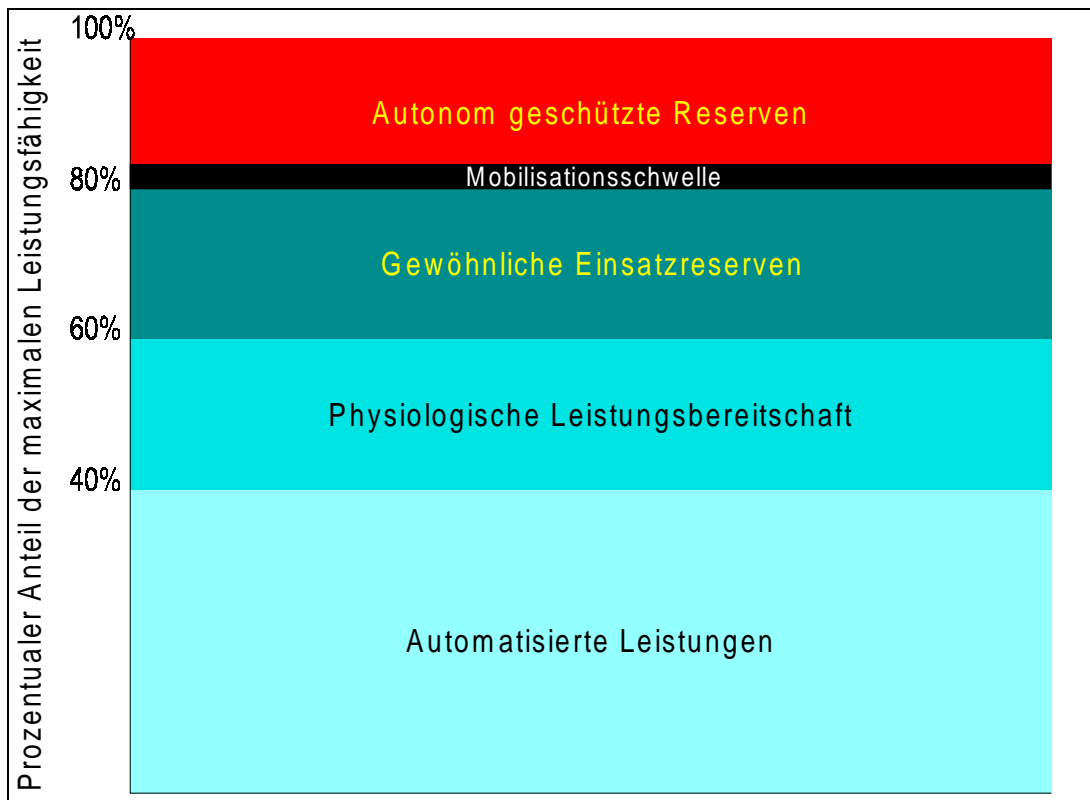


Abbildung 4: Leistungsbereiche des Menschen (modif. nach BIRBAUMER/SCHMIDT 1996, 284)

Durch künstliche hochfrequente Reizung lässt sich eine Muskelkraft erzeugen, die um ca. 30 Prozent über der willkürlichen Maximalkraft liegt (IKAI et al. 1967). Die Differenz zwischen den Höchstwerten bei künstlicher Stimulation und der maximalen willkürlichen Kontraktionen wird als *Kraftdefizit* bezeichnet. Der Begriff wurde bereits 1979 von MASSALGIN/USCHAKOW verwendet. Somit hat also jeder Mensch eine Kraftreserve, die vor willkürlichen Zugriffen geschützt ist.

In Anlehnung an GRAF (1961, zit. nach BIRBAUMER/SCHMIDT 1996, 283f) unterscheiden BIRBAUMER/SCHMIDT vier Leistungsbereiche des Menschen, die aufgrund des Willenseinsatzes voneinander abgegrenzt werden. So erfordert die sogenannte *automatisierte Leistung* nur bei Start und Stop den Einsatz des Willens. Die *physiologische Leistungsbereitschaft* bezeichnet Leistungen, die zwar ständigen Willenseinsatz erfordern, aber ohne Anstrengungsgefühl und Ermüdung vollzogen werden. Die *gewöhnlichen Einsatzreserven* erfordern stärkeren Willenseinsatz und führen zur Ermüdung. Die sogenannten *autonom geschützten Reserven* sind normalerweise auch mit starkem Willenseinsatz nicht zugänglich, sie stehen dem Organismus in Extremsituationen (z.B. Notfälle) zur Verfügung. Das Kraftdefizit könnte in dem Bereich der autonom geschützten

Reserven angesiedelt werden (MARTIN et al. 1993, 103). Einen Überblick über die genannten Leistungsbereiche zeigt Abbildung 4 auf Seite 21.

Man nimmt an, dass die Spanne des Kraftdefizits und somit ein Ausweiten der gewöhnlichen Reserven durch Verschieben der Mobilisationsschwelle bei gleichzeitigem Eindringen in ursprünglich geschützte Leistungsreserven durch spezielle Trainingsmethoden, beeinflussbar ist (BÜHRLE 1985, GÖHNER 1988, MARTIN et al. 1993). Von besonderer Bedeutung ist dies in Sportarten, bei denen der Sportler (Beweger) und das zu bewegendes Element (Movendum) übereinstimmen, wie dies z.B. im Gerätturnen oder in den leichtathletischen Sprungdisziplinen der Fall ist (GÖHNER 1988, 30). Der Kraftzuwachs ist hier vor allem auf eine verbesserte *intramuskuläre Koordination* zurückzuführen, und es wird kaum ein Hypertrophie-Effekt erzielt. Die entsprechenden Trainingsmethoden werden in Kapitel 2.3.2 vorgestellt und besprochen.

2.2.3 Maximalkraft und intermuskuläre Koordination

Gerade in Hinblick auf Kraftleistungen, die durch das Zusammenwirken mehrerer Muskeln zu Stande kommen (z.B. Strecksehne der Beine bei der Kniebeuge oder das Zusammenwirken von Brust-, Schulter- und Armmuskulatur beim Bankdrücken), ist der Einfluss der *intermuskulären Koordination* (d.h. die Koordination zwischen den *verschiedenen* Muskeln) nicht zu unterschätzen (SALE 1994; KIESER 1998). Vor allem bei Krafttrainingsanfängern ist der oftmals deutliche Kraftzuwachs innerhalb der ersten beiden Trainingswochen auf eine verbesserte intermuskuläre Koordination zurückzuführen (SALE 1994, 249; SCHMIDTBLEICHER 1987, 364).

Bewegungen werden durch komplexe Interaktionen verschiedener Muskelgruppen bewirkt. Eine Verbesserung der intermuskulären Koordination zeigt sich (in besonderer Weise bei mehrgelenkigen Bewegungen) in einem besser abgestimmten Einsatz der synergistischen Muskulatur und in einer reduzierten Bewegungshemmung durch die antagonistischen Muskeln. Häufig geht die Aktivierung eines Muskels mit einer gleichzeitigen Kontraktion der antagonistischen Muskulatur einher. Besonders deutlich ist dies bei Bewegungen, die sehr schnell und kräftig ausgeführt werden oder bei Bewegungen, die eine hohe Präzision erfordern, vor allem aber bei neu zu lernenden Bewegungen (SALE 1994, 261). Die Funktion dieser scheinbar kontraproduktiven antagonistischen Kontraktion wird in einer Stabilisierung und Präzisierung der eigentlichen Bewegung gesehen (ebd.). Die Ökonomisierung der simultanen Zusammenarbeit von Agonisten, Synergisten und Antagonisten stellt somit einen motorischen Lernprozess dar. Das bedeutet, dass das Training der Kraftfähigkeiten zunächst eine hohe koordinative Anpassung bewirkt. Dies erklärt auch die Bewegungsspezifi-

tät von Kraftleistungen (SALE 1994, 257; KIBELE 1998). So liefern Krafttests um so deutlichere Ergebnisse, je mehr die Testbewegung der Trainingsübung entspricht. Besteht beispielsweise das Krafttraining eines Athleten aus einem Beintraining durch Kniebeugen, so sind die ausgeprägtesten Ergebnisse durch einen konzentrischen Krafttest aus der Kniebeuge zu erzielen. Der Effekt fällt bei der Registrierung der isometrischen Kraft an der Beinpresse bereits deutlich geringer aus. Dies zeigt sich ebenso, wenn man den Test nur auf die Kniestrecke beschränkt (ebd.).

Hinsichtlich der intermuskulären Koordination stellen konzentrische und isometrische Kraftleistungen völlig unterschiedliche Anforderungen dar. Während bei einer konzentrischen Aufgabe eine koordinierte Bewegung ausgeführt wird, die das Zusammenwirken verschiedener Muskeln erfordert (Veränderung der Muskel-Gelenk-Einheiten, unterschiedliche Kraft-Längen-Relationen), verbleiben die beteiligten Gelenke bei einer isometrischen Aufgabe in nahezu unveränderten Positionen, wobei jeder beteiligte Muskel die für seine momentane Länge maximal mögliche Kraft entfaltet. Die Bedeutung der intermuskulären Koordination nimmt mit wachsender Anzahl der an der Bewegung beteiligten Freiheitsgrade erheblich zu. Auf die Bedeutung der isometrischen und konzentrischen Kraftmessung wies bereits Richard A. BERGER (1962) hin. In einer Studie zur Messung der unteren Rückenmuskulatur führten zwei Gruppen unterschiedliche Trainingsmethoden durch. Eine Gruppe trainierte rein isometrisch an einer Messvorrichtung, wobei definierte Gliedmaßenwinkel eingehalten wurden. Die andere Gruppe trainierte dynamisch mit der Hyperextensionsbewegung. Beide Gruppen führten einen Vortest vor der Trainingsprozedur und einen Nachtest zum Abschluss durch. Hierbei wurde jeweils sowohl isometrisch als auch konzentrisch getestet. Das Training wurde über zwölf Wochen mit wöchentlich je drei Terminen durchgeführt. Auch wenn in beiden Tests in beiden Gruppen signifikante Kraftzuwächse zu verzeichnen waren, so unterschieden sich die Zuwächse in Abhängigkeit des Trainings. Beispielsweise waren die dynamischen Kraftzuwächse (1-RM) bei der dynamisch trainierenden Gruppe signifikant höher als die isometrischen, dagegen waren bei der isometrisch trainierenden Gruppe die isometrischen Kraftzuwächse signifikant höher als die dynamischen. BERGER fasst seine Schlussfolgerung wie folgt zusammen:

- „1. A static strength test is not as accurate as a dynamic strength test in measuring changes in strength resulting from dynamic muscle training.
 2. A dynamic strength test is not as accurate as a static strength test in measuring changes in strength resulting from static muscle training.”
- (BERGER 1962b, 333)

Eine weitere, ebenfalls nicht zu unterschätzende Komponente ist der Einfluss von Muskelgruppen, die an der Bewegung zwar nicht direkt beteiligt sind, die aber stabilisierend und somit unterstützend wirken. Hierzu wurde von RUTHERFORD/JONES (1986) eine Untersuchung mit drei Trainingsgruppen durchgeführt. Die jeweiligen Treatments beinhalteten einen Vortest und einen Nachtest. Bei einigen Probanden wurde etwa 20 Wochen nach Trainingsabschluss ein weiterer Test durchgeführt, um Angaben über die Beständigkeit der Trainingswirkung zu erhalten. Das Training dauerte jeweils zwölf Wochen mit drei Trainingsterminen pro Woche. Die Versuchspersonen der ersten Gruppe trainierten auf einem Kraftmessstuhl ein Bein isometrisch, wobei ein Haltegurt und eine feste Rückenlehne für die Fixierung des Körpers sorgte. Das zweite Bein blieb passiv. Die Probanden der zweiten Gruppe trainierten ein Bein konzentrisch. Eine Rückenlehne sorgte für Halt, zusätzlich konnten sich die Probanden an Haltegriffen festhalten. Es gab keinen Haltegurt. Auch hier blieb das zweite Bein passiv. Die dritte Gruppe trainierte nun beidbeinig mit konzentrischen und exzentrischen Kontraktionen. Hierbei gab es keine Rückenlehne, jedoch konnten sich die Probanden an der Seite festhalten. Die Stabilisierung des Körpers erfolgte hierbei also aktiv mit Hilfe der Haltemuskulatur. Aus den Beschreibungen der Treatments ist erichtlich, dass der koordinative Anspruch von Gruppe eins bis zur Gruppe drei zunahm. Alle Gruppen wurden isometrisch getestet. Bei Gruppe zwei und drei wurde zusätzlich das 1-RM ermittelt. Es konnte gezeigt werden, dass bei der koordinativ anspruchsvollsten Prozedur die größten Vortest-Nachtest-Unterschiede ermittelt wurden. Die Veränderung wurde dabei hauptsächlich auf koordinative Anpassungen unter Beteiligung der Haltemuskulatur zurückgeführt (RUTHERFORD/JONES 1986, 104f). Somit wird auch hierbei ein Lernprozess vermutet, der das koordinative Zusammenspiel der Bewegungsmuskulatur mit der unterstützenden Haltemuskulatur betrifft.

2.2.4 Zur Abschätzung des Kraftdefizits

Die Kenntnis über die Ausprägung des Kraftdefizits in der Trainingspraxis könnte Informationen darüber liefern, in welchem Ausmaß eine weitere Kraftsteigerung auf neuromuskulärer Ebene ohne Hypertrophieeffekt und damit ohne Massenzunahme des Sportlers noch möglich ist (BÜHRLE 1985, 93). Die Abschätzung des Kraftdefizits stellt in der Praxis allerdings ein Problem dar. Eine Absolutkraftbestimmung im Rahmen einer sportpraktischen Diagnose durch künstliche Reizung (Elektrostimulation) vorzunehmen, ist schon rein aus ethischen Gründen nicht vertretbar (GÖHNER 1988, 30). Hierzu ist ferner anzumerken, dass die bekannten Versuche von IKAI et al. (1967) lediglich für die Daumenadduktoren durchgeführt wurden und eine Generalisierung der Befunde nur bedingt möglich ist. Die Autoren weisen selbst auf Abweichungen der Ergeb-

nisse verschiedener Studien durch jeweils unterschiedliches Positionieren der Reizelektroden hin, was die Generalisierbarkeit weiterhin einschränkt. Als Lösungsversuch für die Sportpraxis wurde die Messung der exzentrischen Maximalkraft bei Überlastaufgaben vorgeschlagen, wobei der Proband gegen eine zunächst fixierte Überlast bereits isometrisch versucht, seine Maximalkraft zu entwickeln. Das Maximum der nach Lösen der Überlast weiter ansteigenden Kraftkurve (exzentrische Muskelarbeit) stellt den exzentrischen Maximalkraftwert dar. Die Ausprägung des Kraftdefizits lässt sich nun über die Differenz zwischen der exzentrischen Maximalkraft und der zuvor erfassten isometrischen Maximalkraft abschätzen (GÖHNER 1988). Diese Vorgehensweise ist jedoch schon rein aus Gründen der Verletzungsgefahr für Krafttrainingsunerfahrene nicht zu empfehlen.

2.3 Methoden zur Verbesserung der Maximalkraft

In nahezu jeder Sportart ist Kraft im Rahmen der konditionellen Voraussetzungen in irgendeiner Form an der Leistungsfähigkeit beteiligt. Somit sind Methoden zur Verbesserung der Kraftfähigkeiten – generell und unabhängig von der betriebenen Sportart – von hohem Wert. Ähnlich der sportartenübergreifenden Forderung nach einer bestimmten Grundlagenausdauer sollte auch jeder Sportler, unabhängig von seiner betriebenen Disziplin, über ein Mindestmaß an Kraft verfügen. Die Grundlage im Krafttraining stellt die Verbesserung der Maximalkraft dar. Auf die hierarchische Struktur der einzelnen Kraftdimensionen wurde bereits hingewiesen (bgl. Abbildung 1 auf Seite 9)

Nicht nur im Leistungssport, sondern auch im Freizeit- und Gesundheitssport, spielt die Steigerung der Kraftleistungen eine wichtige Rolle. Gerade im Freizeitsport werden neben der eigentlichen Steigerung der Maximalkraft häufig aber auch weitere Ziele, beispielsweise das Erlangen einer ästhetischen und athletischen Figur angestrebt. In entsprechenden Zeitschriften und Ratgebern sind die jeweils als wirksamste und beste Methode angepriesenen Trainingsprogramme, häufig mit der Garantie, mit möglichst wenig Aufwand in kürzester Zeit die Traumfigur zu erhalten, kaum noch zu überblicken. Auf wissenschaftliche Grundlagen wird in derartigen Beiträgen jedoch in den seltensten Fällen eingegangen. Im Folgenden soll nun ein Überblick über die in der trainingswissenschaftlichen Literatur bekanntesten Methoden zum einen bezüglich Hypertrophietraining (2.3.1), zum anderen bezüglich Verbesserung der intramuskulären Koordination (2.3.2), erfolgen.

2.3.1 Hypertrophiemethoden

Das Wachstum des Muskels setzt nach allgemeiner Auffassung nicht mit Beginn des Trainings ein, sondern erst nach einer bestimmten Zeit (FUKUNAGA 1976, 265; MORITANI, 1994; SALE 1994).

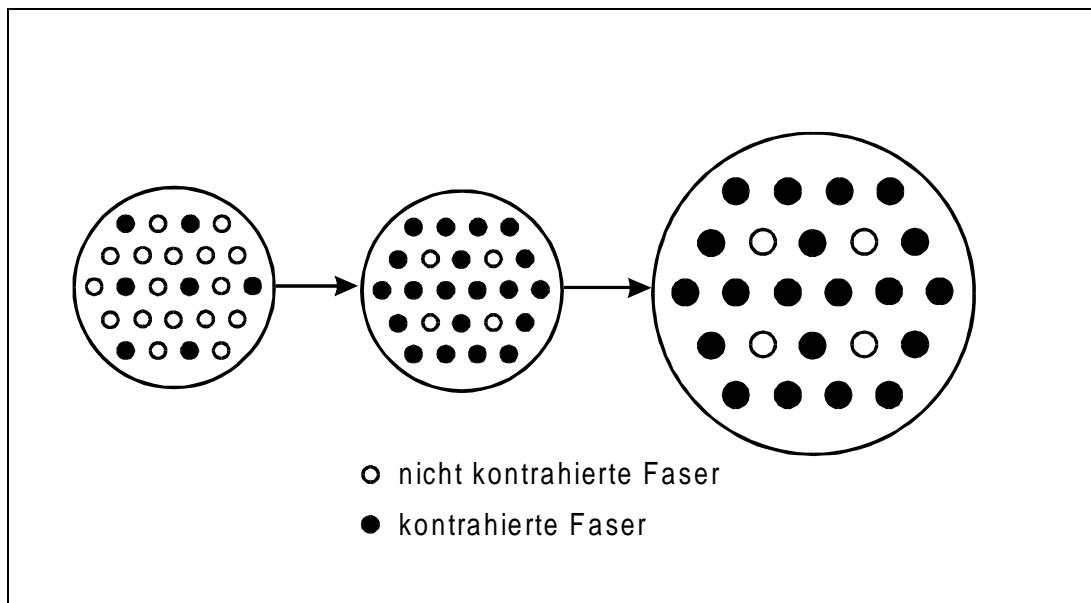


Abbildung 5: Mechanismus des Muskeldickenwachstums durch Training (modif. nach FUKUNAGA 1976, 265)

Auch im Hypertrophie-Training wird zunächst eine Erhöhung der neuronalen Aktivität angenommen (vgl. SALE 1994; SCHMIDTBLEICHER 1987; WEINECK 1996). Die Dauer der neuronalen Anpassung und der Zeitpunkt des Einsetzens der morphologischen Anpassung scheint mit der Komplexität der Bewegung zusammenzuhängen. So wird beispielsweise über eine längere Phase der neuronalen Adaptation und ein späteres Einsetzen von Hypertrophieeffekten beim Bankdrücken und der Beinpressbewegung im Vergleich zum eingelenkigen und koordinativ weniger anspruchsvollen Armcurl berichtet (CHILIBECK et al. 1998). Abbildung 5 stellt den Mechanismus schematisch dar.

Mechanismen, die ein Dickenwachstum des Muskels auslösen, wurden unter 2.2.1 bereits vorgestellt. Um den geforderten Spannungsreiz hervorzurufen, muss die Trainingslast ausreichend hoch sein. Andererseits muss durch die Belastungshöhe und die Belastungsdauer pro Serie eine Ausschöpfung der für die ATP-Resynthese verantwortlichen Kreatinphosphat-Speicher erreicht werden. Hierzu muss etwa 20 bis 30 Sekunden lang intensiv belastet werden. Bei zügigem Bewegungstempo sind somit, je nach Übung, zehn bis 20 Wiederholungen notwendig.

Trainingsmethoden, die diese Voraussetzungen erfüllen, sind die *Methoden der wiederholten submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung* (BÜHRLE 1985, 94). Bei dieser Methode sollte die entsprechende Muskelgruppe mit zehn bis 15 Wiederholungen je Serie bei zügigem Bewegungstempo ausbelastet werden. Ausbelastung bedeutet, dass nach der absolvierten Wiederholungszahl in einer Serie keine weitere Wiederholung mehr möglich ist (BERGER 1962a; BÜHRLE 1985, 94)

Tabelle 1: Methoden der wiederholten submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung (modif. nach BÜHRLE 1985, 96)

	Standard-Methode 1	Standard-Methode 2	Bodybuilding-Methode 1	Bodybuilding-Methode 2	Isokinetische Methode	Isometrische Methode
	Konstante Lasten	Progressiv ansteigend Lasten	Extensive Ausschöpfung	Intensive Ausschöpfung		
Arbeitsweise konzentrisch isometrisch exzentrisch	kon	kon	kon	kon	kon + exz	iso
Geschwindigkeit schnell zügig langsam	zügig	zügig	langsam	zügig	langsam	
Krafteinsatz explosiv kontinuierlich	explosiv	explosiv	kont.	explosiv	kont.	kont.
Belastungshöhe	80%	70-80-85-90%	60-70%	85-95%	50-60%	100%
Wiederholungen	8-10	10 10 7 5	15-20	5-8	15	1
Serien	3	1 1 1 1	3-5	3-5	3	3-5
Belastungsdauer						10-12s
Pausenlänge	3-5 min	3-5 min	2-3 min	3-5 min	3 min	3 min

Die Literatur unterscheidet sechs Methoden mit wiederholten submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung. Hierzu zählen die Standardmethode 1 mit

konstanten Lasten, die Standardmethode 2 mit progressiv ansteigenden Lasten, die Bodybuilding-Methode 1 mit exzessiver Ausschöpfung, die Bodybuilding-Methode 2 mit intensiver Ausschöpfung. Darüber hinaus gibt es die isokinetische Methode mit einer Kombination von konzentrischer und exzentrischer Arbeitsweise der Muskulatur sowie die isometrische Methode (vgl. BÜHRLE 1985, 96; MARTIN et al. 1993, 128; SCHNABEL et al. 1994, 328-332). Tabelle 1 auf Seite 27 zeigt die genannten Methoden im Überblick.

Durch das Muskeldickenwachstum kommt es neben der Erhöhung der willkürlich realisierbaren Maximalkraft auch zu einer Erhöhung der willkürlich nicht erreichbaren Absolutkraft (vgl. SCHNABEL et al. 1994, 328). Der Ausprägung des trainingsinduzierten Muskeldickenwachstums sind jedoch genetisch bedingte Grenzen gesetzt (SALE 1994, 250).

2.3.2 IK-Methoden

Ist das angestrebte Ziel die Steigerung der Maximalkraft ohne eine gleichzeitige Zunahme des Muskelquerschnitts und damit ohne Massenzunahme (vgl. 2.2.2), so kann dies nur über eine Steigerung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit erreicht werden. Hierbei kommt es zwangsläufig zur Reduktion des Kraftdefizits, da die morphologischen Strukturen (und somit auch die Absolutkraft) nur unwesentliche Veränderungen erfahren. Allgemein besteht Einigkeit darüber, dass dies nur über maximale Kontraktionen mit explosivem Krafteinsetz zu erreichen ist (BÜHRLE 1985, 97; EHLLENZ et al. 1995, 114; MARTIN et al. 1993, 130; SCHMIDTBLEICHER 1987, 367; SCHNABEL et al. 1994, 329; WEINECK 1996, 259; ZATSIORSKY 1996, 123). Hierzu stehen verschiedene *Methoden kurzzeitiger maximaler Kontraktionen* zur Verfügung. Der hauptsächliche Effekt dieser Methoden führt zu einer erhöhten Frequenzierung und Synchronisation der neuromuskulären Aktivität (IK-Methoden). Dies zeigt sich vor allem in einer Zunahme der Explosivkraft (vgl. 2.2) (SCHMIDTBLEICHER 1987, 367).

Allgemein wird die Ansicht vertreten, dass der Erfolg eines IK-Trainings von der Spanne des aktuellen Kraftdefizits abhängt. In der Literatur wird das Kraftdefizit mit 5% bis 40% des Leistungsvermögens angegeben (BÜHRLE 1985; SCHMIDTBLEICHER 1985). Das bedeutet, dass zwischen 5 – 40% des physiologisch angelegten Kraftpotentials ungenutzt bleiben. Ist das Kraftdefizit nun recht groß (z.B. 40%), so kann mit Hilfe der beschriebenen IK-Trainingsmethoden eine deutliche Steigerung der Maximalkraft ohne nennenswerte Zunahme der Muskelmasse erreicht werden. Umgekehrt folgt daraus, dass bei geringem Kraftdefizit, somit also bei einer hohen willkürlichen Aktivierungsfähigkeit, die Maximalkraft ohne Muskelquerschnittsvergrößerung nur noch unwesentlich gesteigert werden kann. Die Kenntnis der Ausprägung des

Kraftdefizits ist also eine notwendige Größe, um abzuschätzen, ob ein IK-Training sinnvoll ist oder nicht (BÜHRLE 1985, 93).

Tabelle 2: Methoden der maximalen Kontraktionen (modif. nach SCHMIDT- BLEICHER 1987, 367)

	Quasimaximale Kontraktionen	Maximale konzentrische Kontraktionen	Maximale isometrische Kontraktionen	Maximale exzentrische Kontraktionen	Konzentrisch-exzentrische Maximalkontraktionen
Intensität	90 95 97 100%	100%	100%	≤ 150%	70 – 90%
Wiederholungen	3 1 1 1+1	1	2	5	6 – 8
Serien	1. 2. 3. 4.+5.	5	5	3	3 -- 5
Belastungsdauer			5 – 6 s		
Pausenlänge	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min

SCHMIDTBLEICHER (1987, 364ff) unterscheidet fünf Methodenvarianten mit maximalen Kontraktionen. Zunächst beschreibt er die Methode mit *quasimaximalen Kontraktionen*, die in Form einer einseitigen Pyramide aufgebaut wird. Zu Beginn erfolgt eine Serie mit 90% der Maximalkraft und drei Wiederholungen. Nach entsprechender Pause folgt die zweite Serie mit 95% der Maximalkraft, wobei nur eine Wiederholung realisiert wird. Die dritte Serie erfolgt mit 97% der Maximalkraft und ebenfalls einer Wiederholung. Auch die vierte Serie mit einer Intensität von 100% erfolgt mit einer Wiederholung. In der fünften und letzten Serie soll nun der Versuch angestrebt werden, das Gewicht, welches der Intensität von 100% entspricht, um 1kg zu steigern. Die Serienpausen sollten jeweils etwa fünf Minuten betragen.

Maximale Kontraktionen können konzentrisch, isometrisch, exzentrisch und in Form einer Kombination aus exzentrischen und konzentrischen Arbeitsweisen durchgeführt werden. Bei der *Methode mit maximalen konzentrischen Kontraktionen* versucht man in fünf Serien jeweils einmal eine Gewichtslast zu bewältigen, die 100% der Maximalkraft entspricht. Die jeweiligen Serienpausen betragen fünf Minuten. Die *Methode mit maximalen isometrischen Kontraktionen* erfordert maximale Kontraktionen gegen einen unüberwindlichen äußeren

Widerstand. Auch hier werden fünf Serien mit jeweils zwei Kontraktionen durchgeführt, bei denen die jeweils maximale isometrische Kontraktion etwa fünf bis sechs Sekunden gehalten wird. Zwischen den Serien sind fünf Minuten Pause einzuhalten. Hierbei wird angemerkt, dass sich der Effekt negativ auf die intermuskuläre Koordination auswirken könnte und primär für den rehabilitativen Bereich vorgesehen ist (SCHMIDTBLEICHER 1987, 367). In der *Methode mit maximalen exzentrischen Kontraktionen* wird eine Last eingesetzt, die vom Trainierenden weder konzentrisch noch isometrisch bewältigt werden kann. Die Aufgabe besteht im Abbremsen einer Überlast. Hierbei wird als Obergrenze eine Intensität von 150% der Maximalkraft vorgeschlagen. Es werden drei Serien mit jeweils fünf exzentrischen Kontraktionen vorgeschlagen, wobei zwischen jeder Serie fünf Minuten Pause einzuhalten sind. Die *Methode mit konzentrisch-exzentrischen maximalen Kontraktionen* ist im Leistungssport weit verbreitet. Mit einer Intensität von 70 bis 90% wird das Gewicht nahezu frei fallend abgebremst (exzentrischer Anteil) und ohne Verzögerung wieder beschleunigt (konzentrischer Anteil). Hierbei werden drei bis fünf Serien mit sechs bis acht Wiederholungen empfohlen. Tabelle 2 auf Seite 29 stellt die Methoden in einer Übersicht dar. Es sei jedoch auch hierbei wiederum auf die Problematik der generalisierten Zuordnung von Intensitäten und Wiederholungszahlen hingewiesen. Um tatsächlich eine Verbesserung der intramuskulären Koordination zu erreichen, muss jede Kontraktion³ maximal explosiv mit maximalem Willenseinsatz erfolgen (SCHMIDTBLEICHER 1987, 367).

ZATSIORSKY (1996, 123) betont darüber hinaus auch die Auswirkung dieser Methoden auf die intermuskuläre Koordination (vor allem wenn die Trainingsbewegung der Wettkampfbewegung entspricht.). Hierbei kann man durchaus von einem – wenn auch unbewussten – Gewöhnungs- bzw. Lerneffekt sprechen (vgl. 2.2.3).

Gerade wenn kleinere Körperpartien angesprochen werden sollen, bzw. wenn möglicherweise Fettgewebe durch Muskelgewebe ersetzt wird, ist in der Praxis die Feststellung, ob die Kraftzunahme durch das absolvierte Trainingsprogramm eher auf ein Muskeldickenwachstum oder eher auf eine verbesserte intramuskuläre Koordination zurückzuführen ist, nicht mehr so einfach möglich. Weder die Registrierung des Körpergewichts noch die Umfangsmessung der beteiligten Muskelgruppen würden hierzu eine verwertbare Information liefern. Darüber hinaus sind direkte Bestimmungsmethoden, wie z.B. Biopsie oder CT in der Trainingspraxis nicht zu verantworten oder aber finanziell nicht tragbar.

³ nicht zu verwechseln mit der Bewegungsgeschwindigkeit, die sicherlich trotz explosiver Kontraktion als recht langsam empfunden wird.

Eventuelle unterschiedliche Auswirkungen verschiedener Trainingsprozeduren, beispielsweise auf das Verhältnis zwischen Intensität und Wiederholungszahl, könnten eine indirekte Bestimmung des Trainingseffektes zulassen. Unter anderem ist die Überprüfung einer trainingspezifisch unterschiedlichen Auswirkung auf dieses Verhältnis sowie eine unterschiedliche Ausprägung des Kraftzuwachses Gegenstand der vorliegenden Studie.

2.4 Der Zusammenhang von Maximalkraft und Wiederholungszahlen bei submaximalen Intensitäten

Die grundlegende Voraussetzung zur Auslösung spezifischer Adaptationen ist das Erreichen eines spezifischen Beanspruchungsniveaus der entsprechenden Körpersysteme. Beanspruchung ist als eine Folge von äußeren Belastungen zu sehen, so dass bei Kenntnis des Zusammenhanges von Belastung und Beanspruchung eine gezielte Beanspruchungssteuerung über die Belastung erreicht werden kann. Die Intensitätsbestimmung, wie sie in der gängigen Praxis des Krafttrainings üblich ist, stellt eine deduktive Form der Beanspruchungsermittlung dar (vgl. WILLIMCZIK et al. 1991, 19), d.h. eine bestimmte Maximalkraft wird einer Intensität von 100% gleichgesetzt. Die Angabe, beispielsweise eine Last von 80% zu bewältigen, bedeutet also, ein Gewicht zu wählen, welches 80% der festgestellten Maximalkraft entspricht. Es ist selbstverständlich, dass hierzu die Maximalkraft von 100% bekannt sein muss. Im Leistungssport ist dies in der Regel nicht schwer festzustellen. Jedoch ist die Maximalkraftbestimmung gerade im Breitensportlichen oder gesundheitsorientierten Krafttraining durchaus problematisch (hauptsächlich aus Gründen der Verletzungsgefahr, aber auch aus messtechnischen Gründen). Es wurde nun versucht, zwischen verschiedenen Intensitätsbereichen (in Prozent der Maximalkraft) und der maximal realisierbaren Wiederholungszahl eine Relation zu bestimmen (vgl. ZATSIORSKY 1996).

Eine derartige Beziehung zwischen Intensität und maximaler Wiederholungszahl wurde bereits 1965 von ZATSIORSKY und KULIK (zit. nach ZATSIORSKY 1996, 246f) bestimmt. Abbildung 6 stellt eine derartige Beziehung grafisch dar. Auf dieser Grundlage wurde nun versucht, ein Werkzeug bereitzustellen, mit dessen Hilfe, allein aufgrund der realisierten Wiederholungszahl, eine Bestimmung der Intensität möglich sein sollte. Dieses Konzept schien sich zunächst durchzusetzen, da es vielfach einfach übernommen und generalisiert wurde. Doch in aktueller Zeit wird zunehmend Kritik deutlich.

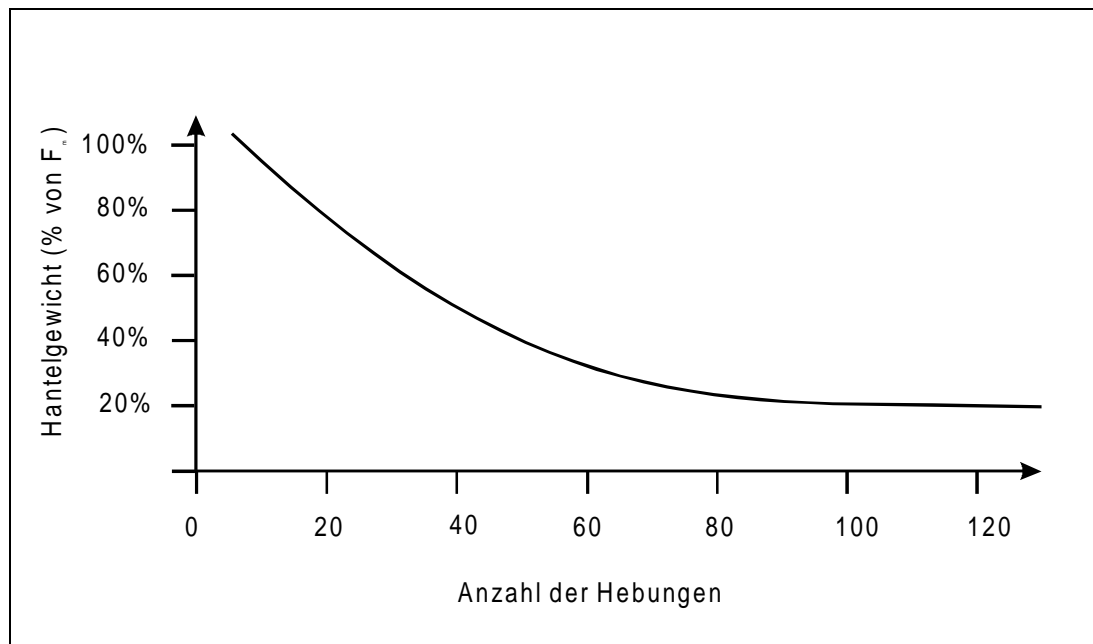


Abbildung 6: Beziehung zwischen Intensität und maximaler Wiederholungszahl (modif. nach ZATSIORSKY 1996, 247)

2.4.1 Kritik an der Allgemeingültigkeit

Hauptkritikpunkt der aktuellen Betrachtung ist der generelle Gültigkeitsanspruch der oben dargestellten Beziehung in der gegenwärtigen trainingswissenschaftlichen Literatur (z.B. BÜHRLE 1985; MARTIN et al. 1993; SCHMIDTBLEICHER 1987; SCHNABEL et al. 1994; WEINECK 1996). Eine derartige Generalisierung scheint ungerechtfertigt, da die Wiederholungszahlen in festgelegten Intensitätsstufen in verschiedenen Untersuchungen erhebliche Diskrepanzen aufweisen und auch innerhalb der jeweiligen Studien mit abnehmender Intensität immer mehr streuen (BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999; FRÖHLICH 1998; HOEGER et al. 1987; HOFMANN 1998). Ein Vergleich verschiedener Ergebnisse soll dies hervorheben. Während bei einer Studie zur unilateralen Beinextension schon bei einer Intensität von 90% des 1-RM die maximalen Wiederholungszahlen zwischen den Extremen sieben und 17 schwanken (FRÖHLICH 1998, 94), bewegt sich das Spektrum beispielsweise beim Latissimus-Ziehen zwischen vier und sieben, beim Bankdrücken zwischen vier und zehn und beim einarmigen Bizepscurl zwischen einer und acht Wiederholungen (BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999, 6). Besonders deutlich wird der Vergleich bei einer Intensität von 50%. Hierbei erstreckt sich das Spektrum der Wiederholungszahlen bei der unilateralen Beinextension zwischen den Extremen 29 und 102 (FRÖHLICH 1998, 94), beim Latissimus-Ziehen zwischen 29 und 51, beim Bankdrücken zwischen 22 und 41 und beim einarmigen Bizepscurl zwischen 15 und 35

(BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999, 6). Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse verschiedener Studien.

Tabelle 3: Überblick über das Verhältnis zwischen Intensität und Wiederholungszahl bei verschiedenen Kraftübungen

<i>Unilaterale Beinextension (FRÖHLICH 1998)</i>					
	90%	80%	70%	60%	50%
<i>x ± s</i>	10,4 ± 2,9	17,5 ± 5,3	25,3 ± 8,6	36,0 ± 14,9	53,2 ± 23,9
<i>Minimum</i>	7	12	17	23	29
<i>Maximum</i>	17	30	45	75	102
<i>Latissimus-Ziehen (HOFMANN 1999)</i>					
	90%	80%	70%	60%	50%
<i>x ± s</i>	6,0 ± 1,2	10,0 ± 1,4	15,0 ± 2,8	24,0 ± 7,0	33,0 ± 10,7
<i>Minimum</i>	4	7	9	16	21
<i>Maximum</i>	8	12	21	49	72
<i>Bankdrücken (BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999)</i>					
	90%	80%	70%	60%	50%
<i>x ± s</i>	5,5 ± 1,6	11,1 ± 1,7	16,9 ± 2,4	22,0 ± 3,3	31,4 ± 6,4
<i>Minimum</i>	4	8	13	18	22
<i>Maximum</i>	10	14	21	27	41
<i>Beidarmiges Trizepsdrücken (BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999)</i>					
	90%	80%	70%	60%	50%
<i>x ± s</i>	4,4 ± 3,2	17,6 ± 6,1	23,4 ± 5,7	38,7 ± 10,8	55,9 ± 16,4
<i>Minimum</i>	2	10	17	19	35
<i>Maximum</i>	19	35	40	59	89
<i>Einarmliger Bizepscurl (BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999)</i>					
	90%	80%	70%	60%	50%
<i>x ± s</i>	4,4 ± 2,1	7,6 ± 3,0	10,6 ± 4,8	16,5 ± 4,6	22,5 ± 3,5
<i>Minimum</i>	1	3	4	8	15
<i>Maximum</i>	8	12	26	28	35
<i>Sit-Up mit Gewicht auf der Brust (HOEGER et al. 1987)</i>					
	80%		60%		40%
<i>x ± s</i>	8,3 ± 4,1		15,0 ± 5,6		21,2 ± 7,5

Faktoren, die das Verhältnis beeinflussen, sind beispielsweise die untersuchte Muskelgruppe, die Übungsbewegung, der momentane Trainingszustand des Athleten, anthropometrische Voraussetzungen, das Geschlecht, das Alter sowie

zahlreiche andere individuelle Faktoren (BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999, 8). HOEGER et al. 1987 stellen hierzu fest:

„... that a given number of repetitions is not always associated with the same percentage of 1RM when performing different lifts. The prediction of the 1RM can not be generalized based on the number of repetitions performed.” (HOEGER et al. 1987, 11)

Darüber hinaus werden bei der Annahme einer festen Relation mögliche trainingsbedingte Veränderungen der Wiederholungszahl in vorgegebenen Intensitätsbereichen nicht berücksichtigt. Die Faktoren, die eine Begrenzung der maximalen Wiederholungszahl in verschiedenen submaximalen Intensitätsbereichen begrenzen, sind sicherlich in den physiologischen, energetischen und morphologischen Voraussetzungen sowie auch in psychischen Komponenten wie Motivation, Wille und Antrieb zu sehen. Da sich die genannten Faktoren durch Training verändern können, ist der Gedanke, dass sich das Verhältnis zwischen Wiederholungszahl und Intensität durch Training verändert, sicherlich nicht abwegig (vgl. Kapitel 2.4.2).

2.4.2 Zur Auswirkung von Training auf das Verhältnis von Intensität und Wiederholungszahlen

Die Anzahl empirischer Befunde bezüglich der Trainingswirkung auf das Verhältnis zwischen submaximalen Intensitätsbereichen und maximalen Wiederholungszahlen ist sehr spärlich (SCHMIDTBLEICHER, pers. Mitteilung). ANDERSON/KEARNEY untersuchten 1982 drei verschiedenen Trainingsprogramme im Bankdrücken. Es handelte sich dabei einmal um ein Training mit hohen Lasten und geringer Wiederholungszahl (*high resistance–low repetition training*), bei dem in drei Serien mit sechs bis acht Wiederholungen trainiert wurde. Die zweite Trainingsmethode wurde mit mittleren Lasten und mittleren Wiederholungszahlen (*medium resistance–medium repetition training*) absolviert, wobei zwei Serien mit jeweils 30 bis 40 Wiederholungen durchgeführt wurden. Bei der dritten Vorgehensweise wurden mit geringen Gewichten hohe Wiederholungszahlen realisiert (*low resistance–high repetition training*). Hierbei wurden in einer Serie 100 bis 150 Wiederholungen durchgeführt. Bei jeder Trainingsmethode wurde das Gewicht jeweils so angepasst, dass die geforderte Wiederholungszahl gerade bewältigt werden konnte. Es wurde jeweils ein Vortest und ein Nachtest durchgeführt, bei dem das *1-RM* erfasst wurde. Weiterhin hat man die *absolute Muskelausdauer* als maximal realisierte Wiederholungszahl gegen eine gleichbleibende Last, sowie die sogenannte *relative Muskelausdauer* als

maximal realisierbare Wiederholungszahl bei einer Intensität von 40% des jeweils aktuellen 1-RM ermittelt. Die Ergebnisse der Studie waren:

1. Die Maximalkraft nahm am stärksten beim high resistance–low repetition-Programm zu.
2. Die absolute Muskelausdauer stieg am stärksten beim low resistance–high repetition-Programm an.
3. Auch bei der relativen Muskelausdauer verzeichnete das low resistance–high repetition-Programm den größten Zuwachs, jedoch ging beim high resistance–low repetition-Training hierbei im Vergleich zum Vortest die Wiederholungszahl zurück.

Die beschriebene Studie bestätigt einen Sachverhalt, der bereits 1945 von DE LORME publiziert wurde. In seinem Beitrag, in dem er sich zur Kompensation verletzungsbedingter Muskelabschwächung bzw. -atrophie durch Krafttraining äußert, fordert er zu einer stärkeren Differenzierung von „Power-building“-Methoden einerseits und „Endurance-building“-Methoden andererseits auf. Hierbei wird unter „Power-building“ ein Training mit hohen Widerständen und geringen Wiederholungszahlen verstanden, während unter „Endurance-building“ ein Training mit geringen Widerständen und hohen Wiederholungszahlen zu verstehen ist (DE LORME 1945, 650f). In der Schlussfolgerung seines Beitrages formuliert er unter anderem, dass ein Training mit hohen Widerständen und geringen Wiederholungszahlen Kraft entwickelt, während ein Training mit geringen Lasten und hohen Wiederholungszahlen (Kraft-)Ausdauer entwickelt. Beide Trainingsmethoden seien untauglich, die Effekte der jeweils anderen Methode zu erzielen (DE LORME 1945, 666f).

Da Training möglicherweise generell eine Veränderung der maximalen Wiederholungszahl bewirkt und die Ausprägung dieser Veränderung darüber hinaus abhängig von der angewandten Trainingsmethode zu sein scheint (vgl. HOEGER 1990), muss zunächst über mögliche Kriterien gesprochen werden, welche die Anzahl der Wiederholungszahl begrenzen. Der Abbruch bei der Realisierung maximal möglicher Wiederholungszahlen auf verschiedenen Intensitätsstufen ist unter anderem auf lokale muskuläre Ermüdung zurückzuführen.

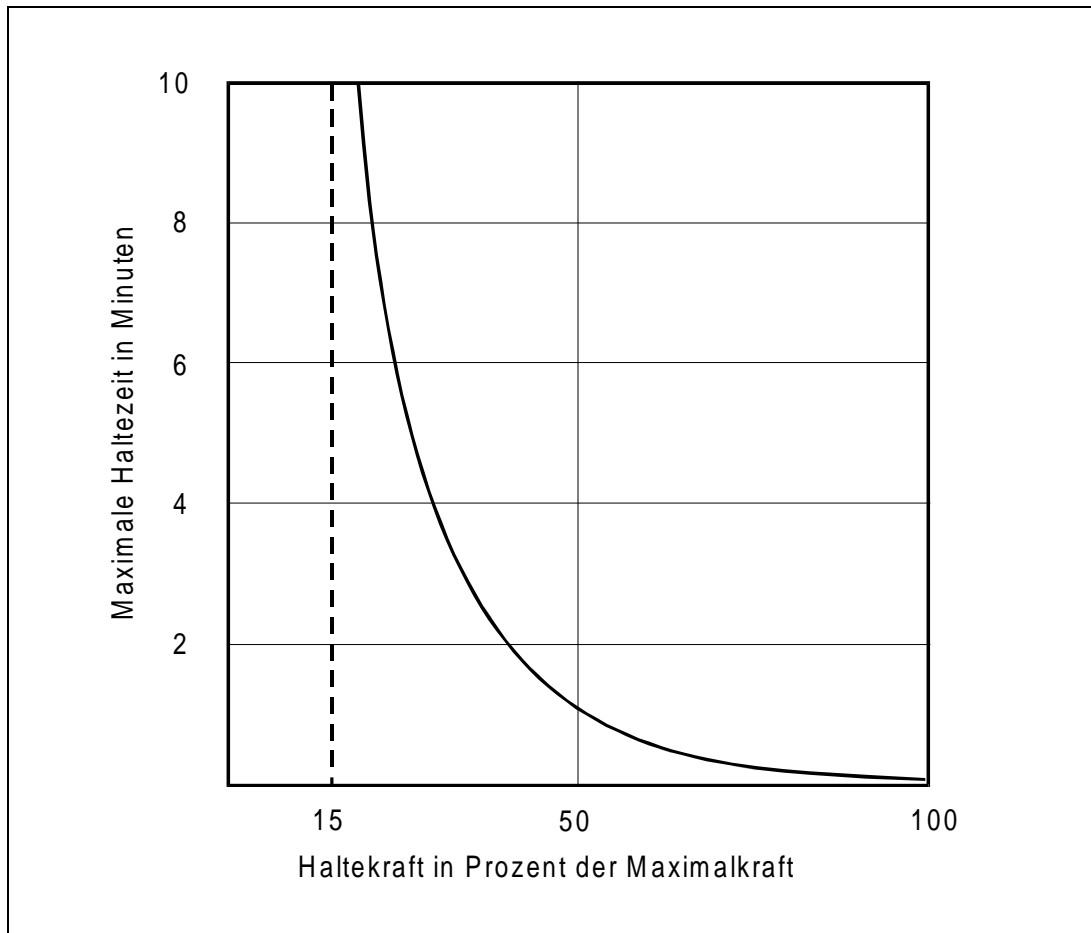


Abbildung 7: Maximale isometrische Haltezeit in Abhängigkeit der Intensität (modif. nach ROHMERT 1960a, 131)

In verschiedenen Studien konnte nachgewiesen werden, dass bei andauernden Belastungen (sowohl isometrisch als auch konzentrisch) die Kontraktionsstärke mit der Zeit abnahm (IKAI et al. 1967; NAGLE 1988; ROHMERT 1960a; b; SCHMIDTBLEICHER/FRICK 1992). Dieser ermüdungsbedingte Kraftabfall geschieht umso rascher, je höher der Kräfteinsatz ist (ROHMERT 1960a, 131; SCHMIDTBLEICHER/FRICK 1992, 292). Die Relation zwischen isometrischer Haltezeit und Intensität ist in Abbildung 7 grafisch dargestellt. Hierzu ist anzumerken, dass muskuläre Ermüdung (muscular-fatigue) als komplexer Prozess beim Ablauf einer Kette von Ereignissen zu verstehen ist (OLIVIER 1996, 64). Es werden beispielsweise bei BIGLAND-RITCHIE (1981, 131) bis zu acht Stellen im neuromuskulären System angegeben, die sowohl einzeln als auch in Wechselwirkung mit anderen eine Reduzierung der Muskelkraft bewirken können.

Der Erklärungswert des Konstrukts „Ermüdung“ beispielsweise zur Klärung von Fragen bezüglich konditioneller Belastungen wird aufgrund der komplexen Struktur und der daraus resultierenden Definitions- und Operationalisie-

rungsprobleme zunehmend in Frage gestellt (OLIVIER 1996, 39). Eine differenziertere Aufklärung verspricht man sich durch das „Belastungs-Beanspruchungs-Konzept“ (vgl. OLIVIER 1996; POLLMANN/WILLIMCZYK 1995; WILLIMCZYK et al. 1991), welches aus den Arbeitswissenschaften übernommen wurde (ROHMERT 1984) Beanspruchung ist hierbei als die Auswirkung einer äußeren Belastung auf den Menschen zu verstehen. In Abhängigkeit der Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten verschiedener Personen können diese Auswirkungen aufgrund gleicher äußerer Belastungen individuell sehr unterschiedlich ausgeprägt sein (ROHMERT 1984, 195). Da in den Arbeitswissenschaften im Belastungs-Beanspruchungskonzept verschiedene Phänomene analysiert bzw. gemessen werden können, bevorzugt es ROHMERT (1984, 196) von Teilbelastungen und Teilbeanspruchungen zu sprechen, die schließlich in ihrer Zusammensetzung, Art und Höhe (also ihrer Komposition) die Gesamtbelastung bzw. deren Auswirkung die Gesamtbeanspruchung ausmachen. Eine Zusammenstellung derartiger Teilbelastungen und -beanspruchungen ist in Abbildung zu sehen.

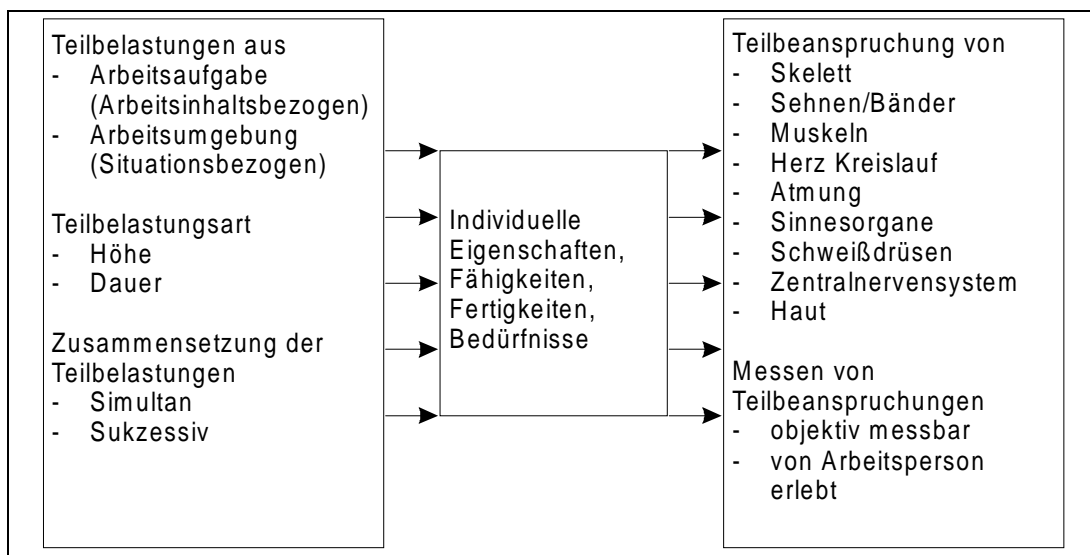


Abbildung 8: Phänomenorientiertes Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (ROHMERT 1984, 196)

Ein Beispiel für eine der oben erwähnten Teilbeanspruchungen im Sport ist die neuronale Aktivität bei der Muskelkontraktion gegen verschiedene äußere Lasten. Diese neuronale Aktivität lässt sich mittels EMG (wenn auch nur als ein Bruttokriterium muskulärer Ermüdung) messen (POLLMANN/WILLIMCZYK 1995, 293). In Studien zur Beanspruchungsanalyse im Krafttraining konnte mittels integriertem EMG gezeigt werden, dass bei dynamischer Arbeitsweise die Beanspruchung mit jeder einzelnen Wiederholung ansteigt (POLLMANN/WILLIMCZYK

1995, 399). Betrachtet man nun den Verlauf der Beanspruchung über mehrere Serien (z.B. fünf Serien à acht Wiederholungen und drei Minuten Pause zwischen den Serien im Bankdrücken) so erhält man ein charakteristisches „Sägezahnmuster“, wie es in Abbildung 9 auf dargestellt ist. Hierbei kommt es in jeder Einzelserie zu einer Zunahme der Beanspruchung des Muskels (POLLMANN/WILLIMCZIK 1995, 402).

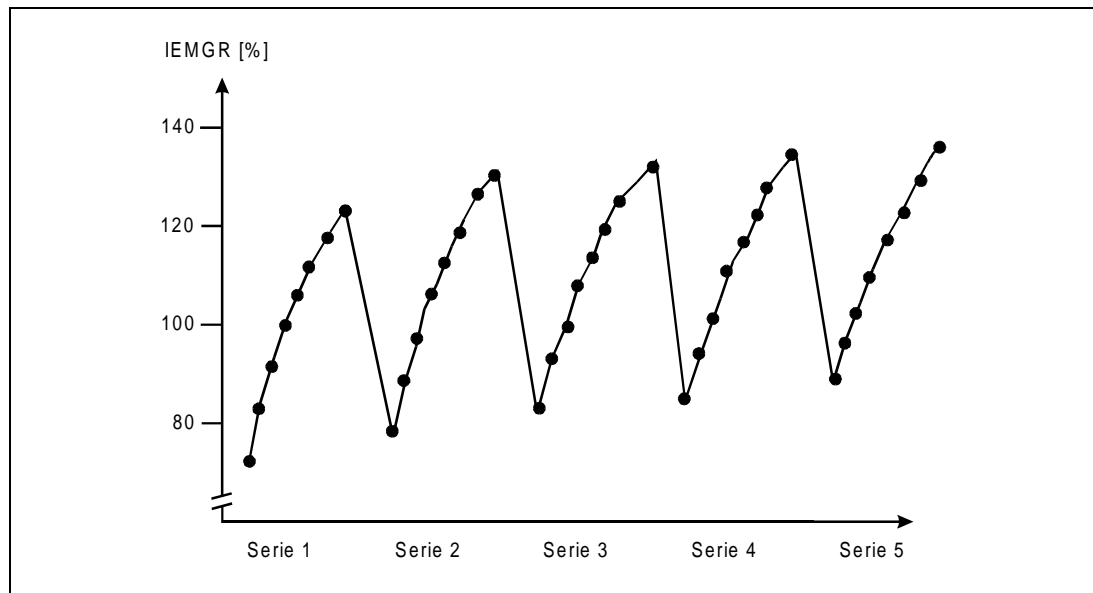


Abbildung 9: Verlauf der Beanspruchung des *M. pectoralis major* beim Bankdrücken (modif. nach POLLMANN/WILLIMCZIK 1995, 401)

Das Kriterium des Abbruchs bei Wiederholungstests auf verschiedenen Intensitätsstufen ist sicherlich im Zusammenwirken der verschiedenen leistungsbestimmenden Faktoren (metabolisch, neuromuskulär usw.) zu suchen. In Abhängigkeit der Lasthöhe wechselt hierbei der Einfluss unterschiedlicher leistungsbegrenzender Faktoren. So ist bei hohen Lasten sicherlich der neuronale Einfluss sehr groß, während bei niedrigeren Lasten und vielen Wiederholungen die energetische Komponente zunehmend begrenzend wirkt. Wie sich diese Teilsysteme nun genau durch Krafttraining verändern und somit eine Veränderung der maximalen Wiederholungszahl auf festgelegten relativen Intensitätsstufen bewirken, ist bisher kaum erforscht.

3 Zusammenfassung und allgemeine Forschungshypothesen

Durch die umfassende Darstellung des Kraftbegriffs im Verständnis einer Fähigkeit des Menschen (SCHMIDTBLEICHER 1987) konnte gezeigt werden, dass es sich hierbei um ein sehr komplexes Phänomen handelt, dessen Grundverständnis zwar in der physikalischen Betrachtung liegt, jedoch über diese weit hinausreicht (MARTIN et al. 1993, 100). Es wurde versucht, die mehrdimensionale Struktur der Fähigkeit *Kraft* zu verdeutlichen (BÜHRLE 1985; SCHMIDTBLEICHER 1987). Ein umfassendes Verständnis hierüber ist sicherlich als eine Voraussetzung anzusehen, eine gezielte und differenzierte Ansteuerung einzelner Kraftkomponenten zu gewährleisten.

Den Schwerpunkt dieses theoretischen Überblicks bildete die besondere Betrachtung der Komponente Maximalkraft. Zunächst wurde die Bedeutung dieser Kraftdimension für den praktischen Sport hervorgehoben (SCHNABEL et al. 1994, 160f), wobei auch auf hierarchische Zusammenhänge mit anderen Kraftkomponenten hingewiesen wurde (BÜHRLE 1985). Ferner wurden die neuronalen und morphologischen Determinanten der Maximalkraft besprochen. Dies betraf zunächst den Einfluss der Muskelquerschnittsfläche auf die Maximalkraftentfaltung aus morphologisch-struktureller Sicht (MACDOUGALL 1994; APPEL 1983), des Weiteren die Bedeutung der intra- und intermuskulären Koordination aus neuronaler Sicht (SALE 1994; MORITANI 1994). Hierbei wurde auch auf die trainingsinduzierten Adaptationen eingegangen. Neben der Darstellung des chronologischen Verlaufs der Trainingsadaptation (MORITANI 1994) wurde auch die differenzierte Ansteuerung der neuronalen Adaptation einerseits sowie der morphologisch-strukturellen Adaptation andererseits hervorgehoben und besprochen (BÜHRLE 1985; MARTIN et al. 1993; SCHMIDTBLEICHER 1987; SCHNABEL et al 1994).

Ergänzend wurde auf die Bedeutung koordinativer Einflüsse und des motorischen Lernens sowie deren Auswirkungen auf die Kraftentfaltung, besonders bei komplexeren Bewegungen, eingegangen (BERGER 1962b; RUTHERFORD/JONES 1986; SALE 1994). Hierbei konnte gezeigt werden, dass diese Einflüsse die Kraftentfaltung erheblich determinieren. In diesem Zusammenhang konnte auch auf die Problematik dynamischer und isometrischer Kraftmessverfahren und deren Nutzen für die Sportpraxis hingewiesen werden (BERGER 1962b). Schließlich runden Ausführungen zum Verhältnis von Intensität und maximaler Wiederholungszahl den theoretischen Überblick ab. Zur genaueren Betrachtung wurden aktuelle Befunde herangezogen, die das für die Sportpra-

xis sicherlich nicht unbekanntes Konzept der Intensitätssteuerung aufgrund der maximalen Wiederholungszahl in Frage stellen (BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999; MARSCHALL/FRÖHLICH 1999). In der Beschreibung der Untersuchung von ANDERSON/KEARNEY (1982) wurde gezeigt, dass Training einen Einfluss auf das Verhältnis zwischen submaximaler Intensität und maximaler Wiederholungszahl haben kann. Die bereits 1945 von DE LORME formulierte Annahme, dass geringe Lasten mit vielen Wiederholungen die relative Muskelausdauer steigern (Zunahme der Wiederholungszahl), während hohe Lasten die Maximalkraft steigern (zu Lasten der relativen Muskelausdauer, erkennbar an der Reduktion der Wiederholungszahl auf geringen Intensitätsstufen) konnte in dem genannten Experiment bestätigt werden. Als Fortsetzung dieser Überlegung kann die Vermutung geäußert werden, dass bei verschiedenen Maximalkraftmethoden mit zunehmender Gewichtslast (und weniger Wiederholungen) die maximale Wiederholungszahl auf definierten submaximalen Intensitätsstufen in stärkerem Maße abnimmt.

Auf der Grundlage der erläuterten Befunde und Zusammenhänge lassen sich bezüglich der Auswirkungen eines Trainings mit maximalen Lasten (zur Verbesserung der intramuskulären Koordination) sowie eines Trainings mit wiederholten submaximalen Lasten bis zur Erschöpfung (Muskelquerschnittsvergrößerung) folgende *allgemeine Forschungshypothesen* formulieren:

- *Sowohl das Training mit maximalen Lasten als auch das Training mit submaximalen Lasten führt zu einer Verbesserung der relativen Maximalkraft.*
- *Die Ausprägung des relativen Kraftzuwachses beim Training mit maximalen Lasten unterscheidet sich vom Training mit submaximalen Lasten.*
- *Die beiden Trainingsprozeduren bewirken eine Reduktion der maximalen Wiederholungszahlen in submaximalen Intensitätsbereichen.*
- *Die Ausprägung dieser Reduktion ist bei beiden Trainingsprozeduren unterschiedlich.*

4 Empirische Untersuchung

In der folgenden Untersuchung „zum Einfluss maximaler und submaximaler Trainingsbelastungen auf die Veränderung der Relativkraft und die Wiederholungszahl bei submaximalen Lasten“ sollen die Auswirkungen der beiden Trainingsmethoden IK-Training und Hypertrophietraining im Prä-/Postverfahren untersucht werden. Zur Beurteilung der Trainingseffekte wurde die Maximalkraft gemessen sowie die Wiederholungszahl in zwei festgelegten submaximalen Intensitätsbereichen bestimmt. Wie in Kapitel 2.1 bereits ausgeführt wurde, soll Maximalkraft als die *momentan maximale willkürliche Kontraktionsfähigkeit* des untersuchten Muskels bzw. der untersuchten Muskelgruppe definiert werden. Da der gemessene Wert in Relation zum Körpergewicht gesetzt wird, spricht man auch von *relativer Maximalkraft* oder kurz *Relativkraft*.

Der Studie liegt zur Klärung der Fragestellung ein zweifaktorielles Design zugrunde. Hierbei interessiert einmal der Haupteffekt „Veränderung“ (Messwiederholung mit Vortest und Nachtest) und der Interaktionseffekt „Trainingsmethode“ (IK-Training vs. Hypertrophietraining). Die zu erwartende Veränderung bezieht sich sowohl auf die Zunahme der relativen konzentrischen und isometrischen Maximalkraft, als auch auf die Abnahme der maximalen Wiederholungszahl in den Intensitätsbereichen 90% und 50% der konzentrischen Maximalkraft. Der negative Zusammenhang zwischen Belastungsintensität und maximal realisierbarer Wiederholungszahl wurde bereits in Abschnitt 2.4 angesprochen und mehrfach bestätigt (BUSKIES/BOECKH-BEHRENS 1999; FRÖHLICH 1998; HOFMANN 1998; ZATSIORSKY 1996). In dieser Studie interessiert unter anderem die Veränderung der maximalen Wiederholungszahl auf derselben Intensitätsstufe durch Training.

4.1 Fragestellung und Arbeitshypothesen

Nach den allgemeinen Forschungshypothesen (vgl. Kapitel 3) wird erwartet, dass sich bei gleichzeitiger Erhöhung der absoluten und relativen Maximalkraft bei der mit maximalen Lasten (IK) trainierenden Gruppe die Relativkraft deutlicher erhöht und die auf den zwei Intensitätsstufen realisierten Wiederholungszahlen deutlicher reduzieren als bei der submaximal (Hypertrophie) trainierenden Gruppe (Haupteffekt „Veränderung“ und Interaktionseffekt „Treatment“). Zur inferenzstatistischen Prüfung sollen nun folgende statistischen Hypothesen formuliert werden:

H1.1 Das Training führt zu einer Verbesserung der konzentrischen Relativkraft von mindestens 10%.

H1.2 Das Training führt zu einer Verbesserung der isometrischen Relativkraft von mindestens 10%.

H1.3 Das Training führt zur Reduktion der maximalen Wiederholungszahlen auf der Intensitätsstufe 90% der konzentrischen Maximalkraft.

H1.4 Das Training führt zur Reduktion der maximalen Wiederholungszahlen auf der Intensitätsstufe 50% der konzentrischen Maximalkraft.

H2.1 Das Training mit explosiven, maximalen Kontraktionen führt zu einer deutlicheren Verbesserung der konzentrischen Relativkraft als das Training mit wiederholten submaximalen Krafteinsätzen.

H2.2 Das Training mit explosiven, maximalen Kontraktionen führt zu einer deutlicheren Verbesserung der isometrischen Relativkraft als das Training mit wiederholten submaximalen Krafteinsätzen.

H2.3 Das Training mit explosiven, maximalen Kontraktionen führt zu einer deutlicheren Reduktion der Wiederholungszahlen auf der Intensitätsstufe 50% als das Training mit wiederholten submaximalen Krafteinsätzen.

H2.4 Das Training mit explosiven, maximalen Kontraktionen führt zu einer deutlicheren Reduktion der Wiederholungszahlen auf der Intensitätsstufe 90% als das Training mit wiederholten submaximalen Krafteinsätzen.

Die aufgeführten Hypothesen gliedern sich in zwei Hypothesenkomplexe, wobei in Hypothesenkomplex H1 gruppenunabhängige Veränderungen durch die Trainingsprozedur angenommen werden, während in Hypothesenkomplex H2 gruppenspezifische Interaktionseffekte vermutet werden. Aufgrund der Befunde von BERGER (1962) sowie RUTHERFORD/JONES (1986) wurde eine separate Prüfung der konzentrischen und isometrischen Relativkraft durch unterschiedliche Hypothesen (H1.1 und H1.2 sowie H2.1 und H2.2) vorgenommen. Dies berücksichtigt die besondere Bedeutung der intermuskulären Koordination (vgl. 2.2.3) sowie die unterschiedliche Messung dieser Kraftkomponenten (vgl. 4.3.5).

Den Hypothesen H1.3 und H1.4 sowie H2.3 und H2.4 liegt folgende Annahme zugrunde:

Da durch das Training mit maximalen Lasten (mit dem Ziel der Verbesserung der intramuskulären Koordination) lediglich neuronale Adaptationen ausgelöst werden (BÜHRLE 1985; MARTIN et al. 1993; SCHMIDTBLEICHER 1987; SCHNA-

BEL et al. 1994) und die strukturell-morphologischen und energetischen Anpassungen aufgrund der geringen Wiederholungszahlen im Vergleich zum Hypertrophie-Training oder Kraftausdauertraining eher unbedeutend sind, müsste durch den Trainingseffekt die maximal realisierbare Wiederholungszahl auf festgelegten submaximalen Intensitätsstufen (welche absolut gesehen höher sind als vor der Trainingsprozedur) abnehmen. Diese Reduktion der Wiederholungszahl wäre somit als eine Reduktion des Kraftdefizits zu deuten, da lediglich eine höhere willkürliche Aktivierungsfähigkeit der vorhandenen Kraftreserven erfolgt (vgl. 2.2.2 und 2.3.2).

4.2 Statistische Auswertung

Es handelt sich bei sämtlichen Hypothesen um Unterschiedshypothesen. Neben den allgemeinen deskriptiven Verfahren (Mittelwert, Streuung, Minimum, Maximum usw.) wurden zweifaktorielle, univariate Varianzanalysen mit Messwiederholungsfaktoren durchgeführt (vgl. BORTZ/DÖRING 1995, 512ff). Die Berechnung erfolgte mit dem Statistikpaket STATISTICA Version 5.1 der Firma StatSoft mit dem Analyseverfahren ANOVA/MANOVA für Messwiederholungsdesigns.

Zur Durchführung von Varianzanalysen müssen mehrere Voraussetzungen erfüllt sein. Unter anderem sind dies eine Normalverteilung sowie eine Homogenität der Varianzen der Fehlerkomponenten in den jeweiligen Grundgesamtheiten, denen die Stichproben entnommen wurden (vgl. BORTZ 1999, 274). Die Forderung nach Unabhängigkeit der Fehlerkomponenten in den jeweiligen Stichproben kann durch den Faktor Messwiederholung nur eingeschränkt erfüllt werden (BORTZ 1999, 339). Jedoch wird zusätzlich gefordert, dass zwischen den Faktorstufen die Korrelationen homogen sein müssen.

Die genannten Voraussetzungen konnten inferenzstatistisch geprüft und abgesichert werden. Die Ergebnisse sind in Kapitel 5 dargestellt.

4.3 Untersuchungsmethodik

Im Folgenden wird die empirische Untersuchung im Detail geschildert. Zunächst werden Angaben zur Personenstichprobe gemacht, im Anschluss erfolgt die Beschreibung der Variablen und der Treatments. Darüber hinaus werden die Verfahren der Kraftbestimmung erläutert. Schließlich folgt die genaue Beschreibung des Untersuchungsablaufes.

4.3.1 Personenstichprobe

Insgesamt nahmen an der Untersuchung 13 Versuchspersonen teil. Davon waren zehn männlich und drei weiblich. Die Teilnahme war auf freiwilliger Basis, ohne Vergütung. Die Rekrutierung erfolgte teilweise durch persönlichen Kontakt, darüber hinaus auch über Aushang sowie über Anschreiben via Email. Sieben der Teilnehmer waren Sportstudenten bzw. Sportstudentinnen (männlich: $n=6$, weiblich: $n=1$), fünf kamen aus anderen Fachbereichen (männlich $n=2$, weiblich $n=2$) einer kam nicht aus dem Umfeld der Universität. Fast alle der Probanden betreiben regelmäßig Sport, jedoch gab der Großteil der Gruppe an, speziell im Bereich Krafttraining unerfahren zu sein.

Die Gruppe der 13 Probanden wies ein mittleres Alter von $30,5 \pm 7,6$ Jahren auf. Das mittlere Gewicht betrug $74,5 \pm 11,2$ kg, die mittlere Körpergröße betrug $175,2 \pm 9,1$ cm.

Tabelle 4: Anthropometrische Daten der Probanden

	<i>Mittelwert</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Std.Abw.</i>
<i>Alter [a]</i>	30,5	23,0	50,0	7,6
<i>Gewicht [kg]</i>	74,5	52,0	85,0	11,2
<i>Größe [cm]</i>	175,2	158,0	187,0	9,1

Da an der Untersuchung die zwei Treatments *maximale Belastung (IK-Training)* und *submaximale Belastung (Hypertrophie-Training)* durchgeführt wurden, war es notwendig, die Probanden in zwei Gruppen einzuteilen. Die Zuteilung erfolgte in Form einer Blockbildung (nach SARRIS 1992, 99 für kleine Gruppen empfohlen), so dass hinsichtlich der anthropometrischen Voraussetzungen sowie der im Vortest ermittelten Kraftwerte etwa gleichartige Gruppen gebildet werden konnten. Nach der Zuteilung befanden sich sechs Probanden in der *Versuchsgruppe IK-Training* (im Folgenden einfach *IK-Gruppe*), in der das mittlere Alter $29,8 \pm 10,1$ Jahre betrug. Das mittlere Körpergewicht war $73,7 \pm 11,3$ kg, die mittlere Körpergröße betrug $172,2 \pm 9,9$ cm.

Tabelle 5: Anthropometrische Daten der Treatment-Gruppe mit maximaler Trainingsbelastung (IK-Gruppe)

	<i>Mittelwert</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Std.Abw.</i>
<i>Alter [a]</i>	29,8	23,0	50,0	10,1
<i>Gewicht [kg]</i>	73,7	55,0	85,0	11,3
<i>Größe [cm]</i>	172,2	158,0	182,0	9,9

Die restlichen sieben Probanden waren in der *Versuchsgruppe Hypertrophie-Training* (im Folgenden einfach *Hyp-Gruppe*). Hier war das mittlere Alter $31,0 \pm 5,4$ Jahre, das mittlere Gewicht war $75,1 \pm 12,0$ kg und die mittlere Körpergröße betrug $177,7 \pm 8,1$ cm.

Tabelle 6: Anthropometrische Daten der Treatment-Gruppe mit submaximaler Trainingsbelastung (Hyp-Gruppe)

	<i>Mittelwert</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Std.Abw.</i>
<i>Alter [a]</i>	31,0	25,0	39,0	5,4
<i>Gewicht [kg]</i>	75,1	52,0	85,0	12,0
<i>Größe [cm]</i>	177,7	162,0	187,0	8,1

4.3.2 Variablenstichprobe

Im Rahmen der Studie wurden verschiedene unabhängige und abhängige Variablen erhoben. Im Folgenden werden deren Zuordnung und Erfassung näher erläutert.

4.3.2.1 Unabhängige Variablen

Als unabhängige Variable ist das Treatment zu betrachten, welches zweifach gestuft als IK-Training (maximale Belastung) und Hypertrophie-Training (submaximale Belastung) vorliegt. Weiterhin stellt auch die Intensität, die zweifach gestuft als 90% und 50% der konzentrischen Maximalkraft vorliegt, eine unabhängige Variable dar.

4.3.2.2 Abhängige Variablen

Die Veränderung der Maximalkraft, die durch das Treatment bewirkt wird, stellt eine abhängige Variable dar. Die Maximalkraft wird sowohl isometrisch mit Hilfe eines piezoelektrischen Gebers (IsoMax), als auch konzentrisch durch das Einwiederholungsmaximum⁴ (1-RM) bestimmt. Die Veränderung ergibt sich aus dem Unterschied zwischen Vortest und Nachtest. Darüber hinaus sind die maximal realisierbaren Wiederholungszahlen in den festgelegten Intensitätsbereichen ebenfalls als abhängige Variablen zu verstehen. Auch hierbei interessiert ein Vortest-Nachtest-Unterschied

4.3.2.3 Moderator- und Kontrollvariablen

Moderatorvariablen sind einmal die anthropometrischen Voraussetzungen wie Körpergröße, Gewicht und Alter, weiterhin die sportliche, vor allem kraftbezogene Vorerfahrung sowie die vor der Treatment-Einwirkung bereits vorhandene isometrische und konzentrische Maximalkraft. Da alle genannten Moderatorvariablen erfasst wurden, können diese als Kontrollvariablen angesehen werden (vgl. BORTZ/DÖRING 1995, 5f).

4.3.3 Treatmentstichprobe

Im Rahmen der Studie wurden zwei Treatments eingesetzt. Es handelt sich einmal um das Training mit maximalen Lasten, bekannt als *Methode der kurzfristigen maximalen Kontraktionen*⁵ (IK-Training, vgl. BÜHRLE, 1985b) sowie um das Training mit submaximalen Lasten, auch bekannt als *Methode der wiederholten submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung*⁶ (Hypertrophietraining, vgl. BÜHRLE, 1985b). Die vermuteten Auswirkungen dieser Treatments wurde unter 2.3 bereits theoretisch erläutert. Beide Gruppen trainierten nach dem Vortest an elf Terminen, die über vier Wochen verteilt wurden und absolvierten dann den Nachtest. Bei drei Trainingsterminen pro Woche ergab sich somit ein vierwöchiges Training. An jedem Trainingstermin wurden von beiden Gruppen fünf Serien mit der jeweils für die spezifische Trainingsmethode relevanten maximalen Wiederholungszahl realisiert. Dabei sollten die Probanden der IK-Gruppe ein Gewicht wählen, welches sie in jeder Serie maximal zwei bis dreimal bewältigen konnten. Wurden mehr Wiederholungen rea-

⁴ Zur genauen Durchführung vgl. Kap. 4.3.5.2

⁵ vgl. auch Kap. 2.3.2

⁶ vgl. auch Kap. 2.3.1

lisiert, so wurde für die nächste Serie das Gewicht erhöht. Erfolgte nur eine Wiederholung, so wurde Gewicht reduziert.

Die Probanden der Hyp-Gruppe wurden aufgefordert, ein Gewicht zu wählen, welches sie maximal 15 mal bewältigen konnten. Auch hierbei wurde das Gewicht jeweils so angepasst, dass die Wiederholungszahl möglichst konstant blieb.

4.3.4 Testübung

Bei der Testübung handelte es sich um die Krafttrainingsübung *Bankdrücken*, welche an einer handelsüblichen Multipresse durchgeführt wurde. Die Versuchsperson sollte sich so auf die Bank legen, dass sie mit dem gesamten Rücken inkl. Lendenwirbelsäule auflag. Zur Unterstützung wurden die Unterschenkel auf einer erhöhten Beinstütze so abgelegt, dass sowohl Hüftgelenk als auch Kniegelenk 90° angewinkelt waren. Die senkrechte Projektion der Hantelstange sollte zur Mitte des Brustbeines verlaufen. Zunächst wurde die Griffbreite ermittelt und protokolliert. Dabei sollten bei einem 180° -Winkel der Oberarme zur Schulterebene (Transversalansicht) die Ellenbogenwinkel 90° betragen, so dass die Unterarme parallel zueinander standen (siehe Abbildung 10). In dieser Haltung wurde auch die isometrische Messung durchgeführt.

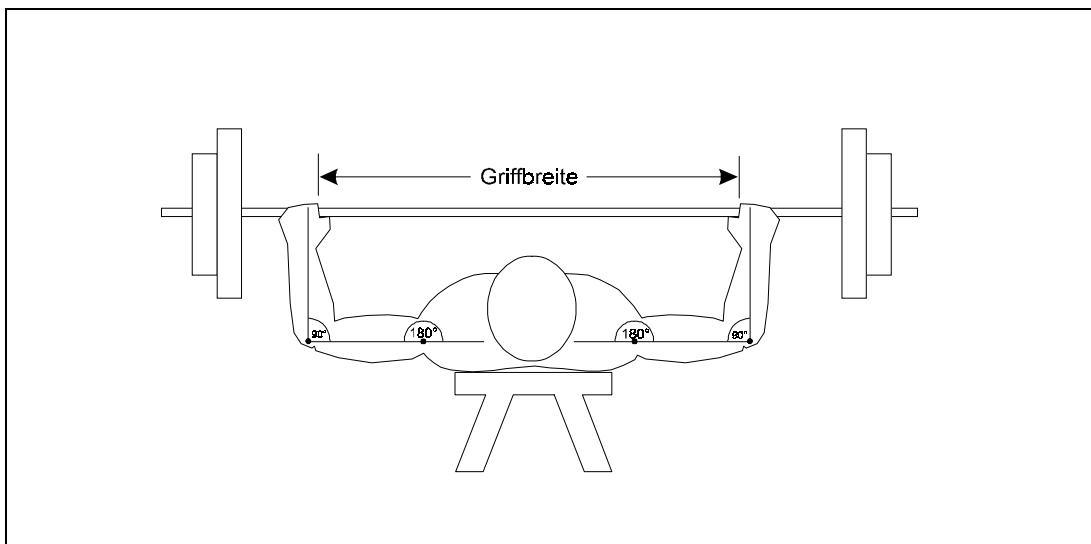


Abbildung 10: Messposition

Die Bewegungsaufgabe bestand darin, die Hantel mit der entsprechend festgelegten Griffbreite zum Brustbein zu senken (siehe Abbildung 11) und ohne Verzögerung wieder bis zur Streckung der Ellbogen anzuheben (siehe

Abbildung 12). Wie allgemein im Krafttraining üblich, sollte mit dem Anheben der Hantel ausgeatmet werden, während beim Absenken eingeatmet wurde.

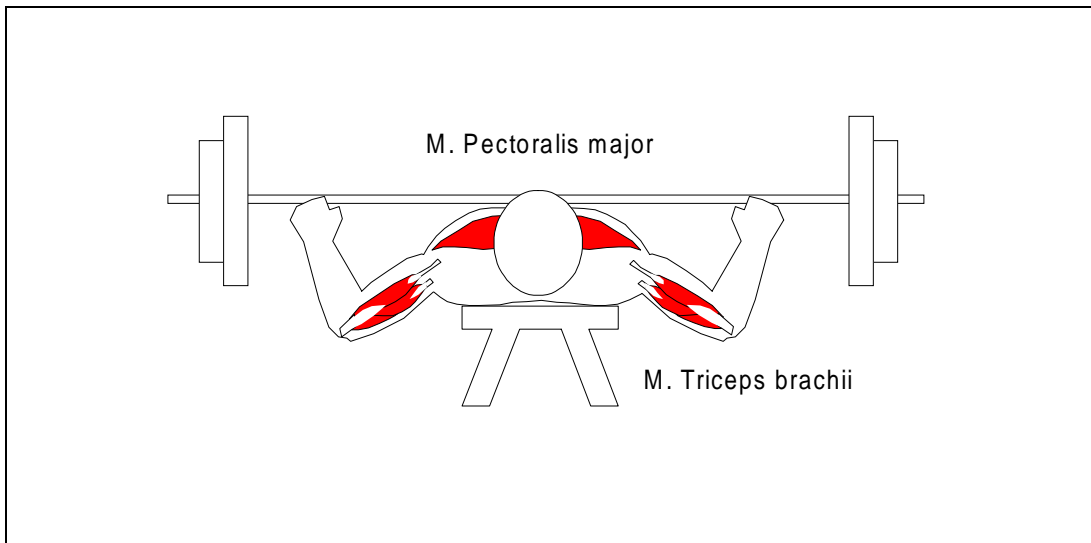


Abbildung 11: Anfangsposition der Testübung

Die Vorgabe hinsichtlich des Bewegungstempos war für die Hypertrophie-Gruppe zügig, jedoch nicht schnellkräftig, die IK-Gruppe sollte versuchen, die Kraft explosiv zu entfalten und die Hantel explosiv nach oben zu drücken. Die Wiederholungen sollten ohne Unterbrechung erfolgen.

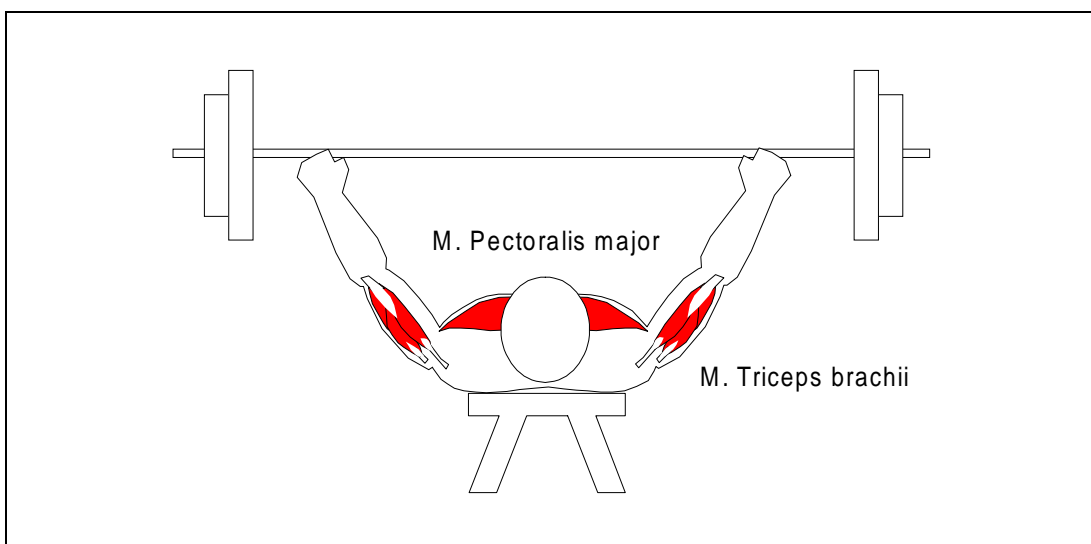


Abbildung 12: Endposition der Testübung

Zur Konstanthaltung der Bedingungen im Training und zu den Messzeitpunkten wurden sämtliche Angaben zur genauen individuellen Positionierung (Bankposition, Griffbreite usw.) protokolliert.

4.3.5 Bestimmung der Maximalkraft

In der Biomechanik werden Kräfte in der Regel mit Hilfe dynamometrischer Verfahren registriert. Hierbei macht man sich vor allem die verformende Wirkung von Kräften auf Körper (vgl.2.1) zu Nutze (BAUMANN/PREIß 1996, 97). Um diese Wirkung zu messen muss die mechanische Verformung in elektrische Größen umgewandelt werden. Hierzu stehen hauptsächlich zwei Verfahren zur Verfügung, nämlich einmal das Verwenden von Widerstandsgebern, zum Zweiten die Benutzung piezoelektrischer Geber. Das Prinzip des *Widerstandsgebers* (*Dehnungsmessstreifen*, Abk. DMS) beruht auf der Veränderung des elektrischen Widerstandes eines auf Zug beanspruchten Drahtes. Die Widerstandsänderung ist proportional zur Längenänderung des Drahtes. Der *Piezoeffekt* zeigt sich bei Kristallen (z.B. Quarz), die man auf Druck beansprucht. Hierbei tritt an definierten Flächen des Kristalls eine elektrische Ladung auf, die der Ausprägung der Verformung proportional ist.

Bezogen auf die Arbeitsweise des Muskels untergliedern sich die momentan praktizierten Verfahren einmal in statische (isometrische) und dynamische Verfahren. Bei Letzteren kann eine weitere Einteilung in konzentrische, exzentrische und isokinetische Verfahren vorgenommen werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll auf die exzentrischen und die isokinetischen Diagnoseverfahren nicht näher eingegangen werden. Von besonderer Bedeutung sind die isometrischen sowie die konzentrischen Methoden der Kraftmessung.

4.3.5.1 Bestimmung der isometrischen Maximalkraft

In der vorliegenden Studie wurde zur Registrierung der isometrischen Maximalkraft ein piezoelektrischer Geber verwendet. Hierzu wurde an der Hantelstange eine Kette mit eingehängtem Messumformer befestigt, die an einer Öse des Geräteraumens befestigt wurde (vgl. Abbildung 13). Der DMS war über einen Analog-Digital-Wandler (DIGI MAX der MECHA TRONIC GmbH Hamm) an einen Computer angeschlossen, so dass neben dem gemessenen Newton-Wert auch die Kraft-Zeit-Kurve registriert werden konnte (mit Hilfe der Anwendung WINDIGI Version 7.76, der Mess- und Auswertsoftware der MECHA TRONIC GmbH Hamm). Gemessen wurde am tiefsten Punkt der Kraft-Längenrelation der beteiligten Muskelkette, was etwa der Haltung in Abbildung 10 entsprach. Es wurden drei Messungen in derselben Winkelstellung durchgeführt. Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, die Kraft progressiv anstei-

gen zu lassen, so dass sie in zwei bis vier Sekunden das Kraftmaximum erreichen sollte (vgl. KROEMER/MARRAS 1980, 4).

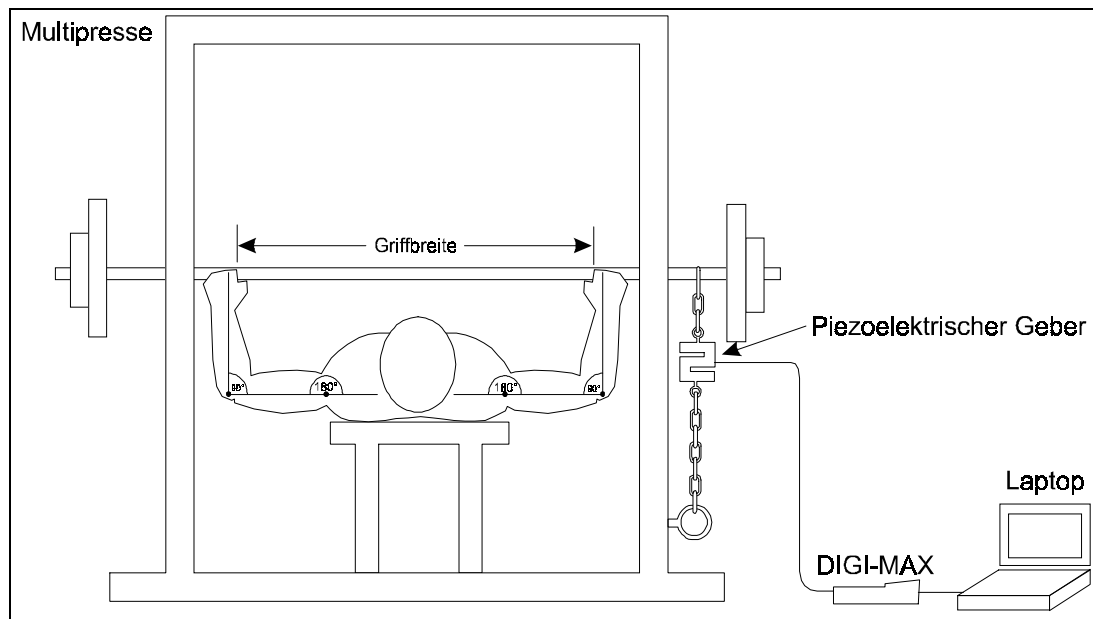


Abbildung 13: Messapparatur zur Registrierung der isometrischen Maximalkraft

Sämtliche Angaben zur Positionierung sowie die Anzahl der Kettenglieder zwischen der Öse und dem DMS wurden zur Konstanthaltung der Testbedingungen an den verschiedenen Testterminen protokolliert.

4.3.5.2 Bestimmung der konzentrischen Maximalkraft

Die wohl derzeit auch für den praktischen Sport bekannteste Methode zur Bestimmung der konzentrischen Maximalkraft ist die Bestimmung des Einwiederholungsmaximums (1 Repetition Maximum = 1-RM). Dabei wird bei einer entsprechenden Kraftübung diejenige Gewichtslast bestimmt, mit welcher der Proband gerade eben eine vollständige Bewegung realisieren kann (SCHLUMBERGER/SCHMIDTBLEICHER 1998, 34). Je nach Zielsetzung kann es aber durchaus sinnvoll sein, Mehrwiederholungsmaxima zu bestimmen. Hierbei wird ein Gewicht ermittelt, welches mit einer festgelegten Anzahl an Wiederholungen bewältigt werden soll. Vor allem für Krafttrainingsunerfahrene stellt das 1-RM eine äußerst hohe Belastung dar, welche möglicherweise auch ein gewisses Verletzungsrisiko in sich birgt. Unabhängig davon, welches RM realisiert werden soll, besteht doch Einigkeit darüber, dass dieses nur nach der Versuch- und Irrtum-Methode eingegrenzt werden kann (BERGER 1962b, 329; ZATSIORSKY 1996, 108). Dies kann auf verschiedenen Wegen geschehen. Eine Möglichkeit

besteht darin, dem Probanden eine Last aufzulegen, die dieser schätzungsweise einmal bewältigen kann. Man fordert ihn dabei auf, die Testübung einmal auszuführen und nähert sich schrittweise dem tatsächlichen Wert. Sinnvoll ist hierbei, dass auch mindestens einmal eine Last ausprobiert wird, die über dem ermittelten Wert liegt. Wird hierbei die geforderte Wiederholungszahl nicht mehr realisiert, so kann der zuvor ermittelte Wert als entsprechendes Wiederholungsmaximum bestätigt werden. Eine zweite Möglichkeit besteht darin, dem Probanden die Aufgabe zu stellen, eine Wiederholung mehr, als das geforderte n -RM zu realisieren. Will man beispielsweise das 1-RM bestimmen, fordert man die Versuchsperson auf, zwei Wiederholungen auszuführen. Hierbei wird solange die Last gesteigert, bis die zweite Wiederholung nicht mehr gelingt (vgl. ANDERSON/KEARNEY 1982, 2). Da diese Variante erfahrungsgemäß bei gleichem Resultat weniger zeitaufwendig ist als die erste Methode, wurde sie für die vorliegende Studie herangezogen. Der ermittelte kg-Wert wurde zur besseren Vergleichbarkeit mit den isometrischen Werten in Newton umgerechnet.

4.3.6 Ablauf der Untersuchung

Die Studie fand im Rahmen des Forschungsprojektes „*Beanspruchung im Krafttraining*“ des sportwissenschaftlichen Instituts der Universität des Saarlandes im Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft statt. Zur Durchführung wurden die Räumlichkeiten des Hochschulsport-Studios „Uni-Fit“ genutzt.

Bis auf das Treatment war der Untersuchungsablauf für beide Gruppen gleich. Um den Kraftzuwachs registrieren zu können, wurde ein Vortest durchgeführt, danach folgte das Treatment und zum Abschluss ein Nachtest. Da die Teilnehmer im Bereich Krafttraining als unerfahren einzustufen waren, wurde vor dem Vortest ein zweiwöchiges Gewöhnungsprogramm durchgeführt (vgl. KRAEMER/FRY 1995).

Die Versuchspersonen wurden zunächst über Zweck und Durchführung der Studie informiert (standardisiert über ein Informationsblatt, siehe Anhang). Danach wurde ein Fragebogen zur Erfassung von personenspezifischen Variablen (siehe Anhang) ausgefüllt. Anthropometrische Daten (Körpergröße, Gewicht) wurden vor Ort bestimmt. Nach dem Aufwärmtraining (siehe unten) wurden die Probanden vor Durchführung der Testübung (vgl.4.3.4) positioniert und die entsprechenden Daten (Griffbreite, Bankposition usw.) protokolliert.

Jeder Gewöhnungs-, Trainings- und Testtermin begann mit einem standardisierten Aufwärmtraining. Dieses begannen die Probanden mit einer fünfminüti-

gen Belastung auf dem Cross-Trainer. Danach folgte ein Aufwärmatz der Testübung *Bankdrücken* mit einer Gewichtslast, die bei Männern 20%, bei Frauen dagegen 10% des Körpergewichts entsprach. Hierbei wurden in zügigem, aber nicht explosiven Tempo 25 Wiederholungen ausgeführt. Die Unterscheidung der Belastung bei männlichen und weiblichen Probanden war notwendig, da bei den ersten Untersuchungsterminen beobachtet wurde, dass 25 Wiederholungen mit 20% des Körpergewichts bei Frauen bereits eine erhebliche Beanspruchung darstellte. Der weitere Verlauf hing von der Zielsetzung der jeweiligen Termine ab. Die ersten drei Termine dienten der Gewöhnung an die Testbewegung und der Eingrenzung des Einerwiederholungsmaximums (1-RM). Durch das Vorschalten der Gewöhnungsphase sollte einer Fehlinterpretation der Testwerte vorgebeugt werden. Ohne eine derartige Gewöhnung könnte zu Beginn der Trainingsphase die Steigerung der Maximalkraft alleine aufgrund einer effektiveren Bewegungstechnik zu Stande kommen, womit der Rückschluss auf eine Kraftadaptation eine Fehlinterpretation der ermittelten Werte wäre (LETZELTER et al. 1990, 46). Um dies zu berücksichtigen, wurde der Vortest erst *nach* der Gewöhnungsphase durchgeführt (vgl. KRAEMER/FRY 1995, 118). Der Zeitraum von zwei Wochen berücksichtigte Angaben zu Anpassungserscheinungen auf der Ebene der *intermuskulären Koordination* (SCHMIDTBLEICHER 1987, 364). Am vierten Termin wurde der Vortest durchgeführt, danach folgten elf Trainingstermine, die innerhalb der jeweiligen Gruppe bis auf das Anpassen der Gewichtslast, unverändert blieben. Schließlich folgte der Abschlusstest, der in der Durchführung dem Vortest entsprach. Im Folgenden werden die einzelnen Phasen der Studie genau geschildert.

4.3.6.1 Gewöhnungsprogramm

Am ersten Termin versuchten, nachdem das oben erläuterte Aufwärmtraining durchlaufen war, die männlichen Teilnehmer mit 40%, die weiblichen mit 30% ihres Körpergewichts zehn Wiederholungen zu realisieren. Auch hierbei war aufgrund von Beobachtungen einiger vorangegangener Probemessungen eine Unterscheidung zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern notwendig, da die Maximalkraft der beteiligten Frauen bei etwa 40 bis 60% des eigenen Körpergewichts lag, bei Männern dagegen bei 80 bis 100%. Nach einer Pause von zwei Minuten wurde das Gewicht um jeweils weitere 10% des Körpergewichts gesteigert. Es wurden wiederum zehn Wiederholungen angestrebt. Nach dieser Serie wurden die Probanden aufgefordert, nach subjektiver Einschätzung anzugeben, wie viele weitere Wiederholungen sie in dieser Serie hätten realisieren können.

Am zweiten Termin versuchte man nach dem Aufwärmprogramm in der ersten Serie, aufgrund der subjektiven Einschätzung beim ersten Termin, das Zehnerwiederholungsmaximum (10-RM) zu realisieren. Die zweite Serie, die nach einer Pause von zwei Minuten folgte, diente dazu, sich dem Fünferwiederholungsmaximum (5-RM) zu nähern.

Der dritte Termin diente zur Eingrenzung des Zweiwiederholungsmaximums (2-RM). Zunächst wurde, ausgehend vom vorangegangenen Termin, das Fünferwiederholungsmaximum noch einmal bestätigt. Nach einer Pause von zwei Minuten versuchte man eine Last zu ermitteln, die der Proband maximal zweimal anheben konnte.

4.3.6.2 Vortest

Am vierten Termin wurde der Vortest durchgeführt. Nach dem Aufwärmtraining folgte die Bestätigung des beim dritten Termin ermittelten Zweiwiederholungsmaximums. Nach einer Pause von zwei Minuten folgte der konzentrische Maximalkrafttest als Einwiederholungsmaximum (1-RM). Die Versuchspersonen wurden hierzu aufgefordert, zwei Wiederholungen zu realisieren. War dies gelungen, so wurde das Gewicht entsprechend erhöht. Das 1-RM wurde als ermittelt angesehen, wenn es der Versuchsperson gelang, die erste Wiederholung durchzuführen, die zweite aber nicht mehr realisieren konnte. Wurde gar keine Wiederholung realisiert, so wurde das Gewicht wieder etwas reduziert. Die jeweiligen Pausen zwischen den Versuchen betragen zwei Minuten. Im Anschluss wurde die isometrische Maximalkraft bestimmt (vgl. 4.3.5.1).

Nach einer zehnminütigen Pause erfolgte ein Test zur Bestimmung der maximalen Wiederholungszahl bei einer Gewichtslast, die 90% der konzentrischen Maximalkraft entsprach. Nach einer weiteren Pause von zehn Minuten wurde die maximale Wiederholungszahl für 50% der konzentrischen Maximalkraft bestimmt. Durch die zehnminütigen Erholungspausen wurde versucht, mögliche Verfälschungen durch Ermüdungserscheinungen weitgehend auszuschließen.

4.3.6.3 Trainingsablauf

Von Termin fünf bis 15 fand das eigentliche Training statt. Nach dem Aufwärmen führten die beiden Experimentalgruppen das jeweilige Trainingsprogramm durch (vgl.4.3.3). Die Prozedur der elf Trainingstermine blieb unverändert, lediglich die Gewichtslast wurde so angepasst, dass bei jeder Serie ausbelastet wurde. Die Serienpausen betragen in beiden Gruppen zwei Minuten. Dies geschah einmal aus zeitökonomischen Gründen, zum andern zur Konstanthaltung

der Bedingungen in beiden Gruppen, so dass sich nur die Trainingslast der Gruppen unterschied. Dass die Pausenlänge auch für die IK-Gruppe ausreichend war, zeigte sich darin, dass sich die Trainingslast an den jeweiligen Terminen von Serie zu Serie nicht wesentlich reduzierte. Es wurde unter 4.3.3 bereits darauf hingewiesen, dass die Anpassung der Last in jeder Serie anhand der realisierten Wiederholungszahl abgeschätzt wurde. Bei der IK-Gruppe sollten unter Ausbelastung maximal zwei Wiederholungen pro Serie realisiert werden können (obere Grenze drei Wiederholungen, untere Grenze eine Wiederholungen), die Hypertrophie-Gruppe sollte mindestens zwölf, maximal 15 Wiederholungen pro Serie realisieren können.

4.3.6.4 Nachtest

Am 16. Termin wurde der Nachtest durchgeführt. Der Ablauf war mit dem des Vortestes identisch (vgl. 4.3.6.2). Nach dem bekannten Aufwärmprogramm erfolgte zunächst die Realisierung des 2-RM, nach zwei Minuten Pause die Bestimmung 1-RM als konzentrischen Maximalkraftwert. Es folgte die isometrische Maximalkraftmessung sowie nach zehn Minuten Pause die Bestimmung des Wiederholungsmaximums bei 90% der aktuellen konzentrischen Maximalkraft. Nach einer weiteren zehnminütigen Pause folgte die Bestimmung des Wiederholungsmaximums bei 50% der aktuellen konzentrischen Maximalkraft.

	Termin	IK-Gruppe	Termin	Hyp-Gruppe
Gewöhnung	1	5 min Cross-Trainer 2 min Pause 25 Wdh. mit 10%/20% Körpergewicht 2 min Pause 10 Wdh. mit 30%/40% Körpergewicht 2 min Pause 10 Wdh. mit 30%/40% Körpergewicht	1	5 min Cross-Trainer 2 min Pause 25 Wdh. Mit 30%/40% Körpergewicht 2 min Pause 10 Wdh. mit 30%/40% Körpergewicht 2 min Pause 10 Wdh. mit 30%/40% Körpergewicht
	2	5 min Cross-Trainer 2 min Pause 25 Wdh. mit 10%/20% Körpergewicht 2 min Pause 10 Wdh.-Maximum (10-RM) 2 min Pause 5 Wdh.-Maximum (5-RM)	2	5 min Cross-Trainer 2 min Pause 25 Wdh. mit 10%/20% Körpergewicht 2 min Pause 10 Wdh.-Maximum (10-RM) 2 min Pause 5 Wdh.-Maximum (5-RM)
	3	5 min Cross-Trainer 2 min Pause 25 Wdh. mit 10%/20% Körpergewicht 2 min Pause 5 Wdh.-Maximum (5-RM) 2 min Pause 2 Wdh.-Maximum (2-RM)	3	5 min Cross-Trainer 2 min Pause 25 Wdh. mit 10%/20% Körpergewicht 2 min Pause 5 Wdh.-Maximum (5-RM) 2 min Pause 2 Wdh.-Maximum (2-RM)
Vortest	4	5 min Cross-Trainer 2 min Pause 25 Wdh. mit 10%/20% Körpergewicht 2 min Pause 2 Wdh.-Maximum (2-RM) 2 min Pause 1 Wdh.-Maximum (1-RM=konMax) 2 min Pause IsoMax-Bestimmung (DMS) 10 min Pause RM bei 90% konMax 10 min Pause RM bei 50% konMax	4	5 min Cross-Trainer 2 min Pause 25 Wdh. mit 10%/20% Körpergewicht 2 min Pause 2 Wdh.-Maximum (2-RM) 2 min Pause 1 Wdh.-Maximum (1-RM=konMax) 2 min Pause IsoMax-Bestimmung (DMS) 10 min Pause RM bei 90% konMax 10 min Pause RM bei 50% konMax
Training	5-15	5 min Cross-Trainer 2 min Pause 25 Wdh. mit 10%/20% Körpergewicht 2 min Pause intramuskuläres Koordinationstraining (5 Serien, jeweils 2-RM und 2 min Pause)	5-15	5 min Cross-Trainer 2 min Pause 25 Wdh. mit 10%/20% Körpergewicht 2 min Pause Hypertrophietraining (5 Serien, jeweils 12-15-RM und 2 min Pause)
Nachtest	16	5 min Cross-Trainer 2 min Pause 25 Wdh. mit 10%/20% Körpergewicht 2 min Pause 2 Wdh.-Maximum (2-RM) 2 min Pause 1 Wdh.-Maximum (1-RM=konMax) 2 min Pause IsoMax-Bestimmung (DMS) 10 min Pause RM bei 90% konMax 10 min Pause RM bei 50% konMax	16	5 min Cross-Trainer 2 min Pause 25 Wdh. mit 10%/20% Körpergewicht 2 min Pause 2 Wdh.-Maximum (2-RM) 2 min Pause 1 Wdh.-Maximum (1-RM=konMax) 2 min Pause IsoMax-Bestimmung (DMS) 10 min Pause RM bei 90% konMax 10 min Pause RM bei 50% konMax

Abbildung 14: Überblick über den Untersuchungsablauf

5 Ergebnisse

Der Untersuchung liegt ein zweifaktorielles Design zugrunde, welches SARRIS (1992, 93) als Hauptdesign WW-(p x q)N bezeichnet. Der Faktor 1, in der Untersuchung repräsentiert durch die Gruppe, war zweifach gestuft (A=Hyp-Gruppe; B= IK-Gruppe), der Faktor 2, repräsentiert als Messwiederholung, war ebenfalls zweifach gestuft in eine Vortest-Messung (VT) und eine Nachtest-Messung (NT). Zur Prüfung der formulierten Hypothesen wurde eine zweifaktorielle, univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung (vgl. 4.2) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ gerechnet.

Die Teilhypothesen der Hypothese H1 gingen von unspezifischen Veränderungen durch die Trainingsprozedur aus. Die Teilhypothesen der Hypothese H2 gingen dagegen von gruppenspezifisch unterschiedlichen Ausprägungen der trainingsbedingten Veränderungen (Interaktion Gruppe x Trainingseffekt) aus. Somit konnte jeweils ein Hypothesenpaar (H1.X und H2.X) mit einer Varianzanalyse geprüft werden (BORTZ/DÖRING 1995, 495; BORTZ 1999, 279; LIP-PITSCH/MÖLLER 1999), so dass dieses Verfahren viermal zum Einsatz kam.

Wie unter 4.2 bereits angedeutet wurde, müssen zur Durchführung einer Varianzanalyse mehrere Voraussetzungen gegeben sein, die vorher zu prüfen sind. Dies betrifft unter anderem die Normalverteilung von Fehlerkomponenten, welche als Abweichungen des Messwertes vom jeweiligen Stichprobenmittel zu verstehen ist (BORTZ 1999, 274). Diese Prüfung auf Normalverteilung als Voraussetzung für ANOVA/MANOVA erfolgte in der verwendeten Software mit dem KOLMOGOROFF-SMIRNOV-Test (vgl. FLEISCHER 1999, 316). Diese Voraussetzung konnte abgesichert werden (mit $p \geq 0,20$), da kein signifikanter Unterschied zwischen Stichprobenwerten und Normalverteilung erkennbar war.

Eine weitere Voraussetzung stellt die Homogenität der Fehlervarianzen dar. Nach BORTZ wird die Schätzung der Fehlervarianzen additiv aus den unter den einzelnen Treatmentstufen beobachteten Varianzen zusammengesetzt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Stichproben aus Grundgesamtheiten stammen, in denen die Messwerte die gleiche Varianz aufweisen. Daher dürfen sich die Varianzen innerhalb der Stichproben nicht signifikant unterscheiden (BORTZ 1999, 274). Um dies zu überprüfen, wurde mit der verwendeten Software der LEVENE-Test durchgeführt, der im Vergleich zu anderen Varianzhomogenitätstests relativ unempfindlich gegenüber Voraussetzungsverletzungen reagiert (ebd.).

Die Ergebnisse der LEVENE-Tests sind in Tabelle 7 im Überblick dargestellt. Es ist zu Erkennen, dass die Voraussetzung der Varianzhomogenität erfüllt ist.

Tabelle 7: Überblick der Ergebnisse der LEVENE-Tests auf Varianzhomogenität der Messwerte der konzentrischen Maximalkraft, der isometrischen Maximalkraft, der maximalen Wiederholungszahl bei 90% sowie der maximalen Wiederholungszahl bei 50% der aktuellen konzentrischen Maximalkraft (Freiheitsgrade für alle F: 1,11)

		MQ	MQ		
		Effekt	Fehler	F	p-Wert
konzentrische Maximalkraft	Vortest	,58866	1,39860	,420893	,529803
	Nachtest	,66240	1,50408	,440400	,520595
isometrische Maximalkraft	Vortest	,39160	2,50853	,156106	,700321
	Nachtest	,60220	1,35211	,445374	,518295
Wiederholungen bei 90%	Vortest	,08374	,98583	,084945	,776128
	Nachtest	,36387	,59756	,608934	,451655
Wiederholungen bei 50%	Vortest	10,44658	10,05289	1,039162	,329913
	Nachtest	4,79047	2,97994	1,607569	,231014

5.1 Ergebnisse der konzentrischen Relativkraft

Die ermittelten Messwerte der konzentrischen Relativkraft (gehobene Last in N^7 dividiert durch das Körpergewicht in kg) von Vortest und Nachtest sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Deskriptive Werte der konzentrischen Relativkraft (N/kg Körpergewicht)

<i>Vortest</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>insgesamt</i>	13	7,56	2,00	4,34	10,39	6,05
<i>IK-Gruppe</i>	6	7,32	2,27	4,64	10,39	5,75
<i>Hyp-Gruppe</i>	7	7,77	1,90	4,34	10,19	5,85
<i>Nachtest</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>insgesamt</i>	13	8,56	2,11	4,91	11,54	6,64
<i>IK-Gruppe</i>	6	8,54	2,38	5,53	11,54	6,01
<i>Hyp-Gruppe</i>	7	8,58	2,04	4,91	11,08	6,18
<i>Prozentualer Zuwachs</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>insgesamt</i>	13	13,95	5,47	4,00	25,71	21,71
<i>IK-Gruppe</i>	6	17,85	4,73	11,11	25,71	14,60
<i>Hyp-Gruppe</i>	7	10,60	3,58	4,00	13,43	9,43

Die Ergebnisse der Varianzanalyse zur Prüfung des Hypothesenpaares H1.1 und H2.1 sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 9: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Veränderung der konzentrischen Relativkraft mit den Faktoren 1=Gruppe und 2=Messwiederholung

Übersicht aller Effekte						
1-GRUPPE, 2-MESSWIEDERHOLUNG						
	FG Effekt	MQ Effekt	FG Fehler	MQ Fehler	F	p-Wert
1	1	,30	11	9,12	,04	,841
2	1	6,67	11	,035	192,50*	,000*
12	1	,29	11	,035	8,29*	,015*

Hinsichtlich des Faktors Gruppe (Faktor 1 in der Tabelle) besteht bei einem α -Niveau von 5% mit einem F-Wert von 0,04 mit $p=0,841$ kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

Im Gegensatz hierzu ist ein deutlicher signifikanter Unterschied ($F=192,50$; $p=0,000$) zwischen den beiden Messzeitpunkten Vortest und Nachtest zu verzeichnen. Betrachtet man den durchschnittlichen prozentualen Zuwachs aller Teilnehmer ($n=13$), so beträgt dieser 13,95% ($\pm 5,47$) (vgl. Tabelle 8). Bei separater Betrachtung beider Gruppen ergibt sich ein durchschnittlicher Zuwachs von 10,60% ($\pm 3,58\%$) für die Hyp-Gruppe sowie ein Zuwachs von 17,85% ($\pm 4,73\%$) für die IK-Gruppe. Somit ist H1.1 anzunehmen und das Training führt zu einem Zuwachs der Relativkraft von mindestens 10%.

Weiterhin ist eine signifikante Interaktion (Gruppe x Messwiederholung) erkennbar. Dieser Interaktionseffekt ($F=8,29$; $p=0,015$) bestätigt Hypothese H2.1. Es besteht somit bezüglich der *Ausprägung* des Kraftzuwachses (also der Differenz zwischen Nachtest und Vortestwerten) ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen. Der Zuwachs in der IK-Gruppe ist deutlicher als in der Hyp-Gruppe. In Abbildung 15 ist die Interaktion grafisch dargestellt.

⁷ Der kg-Wert des gehobenen Gewichts wurde hierzu in N umgerechnet

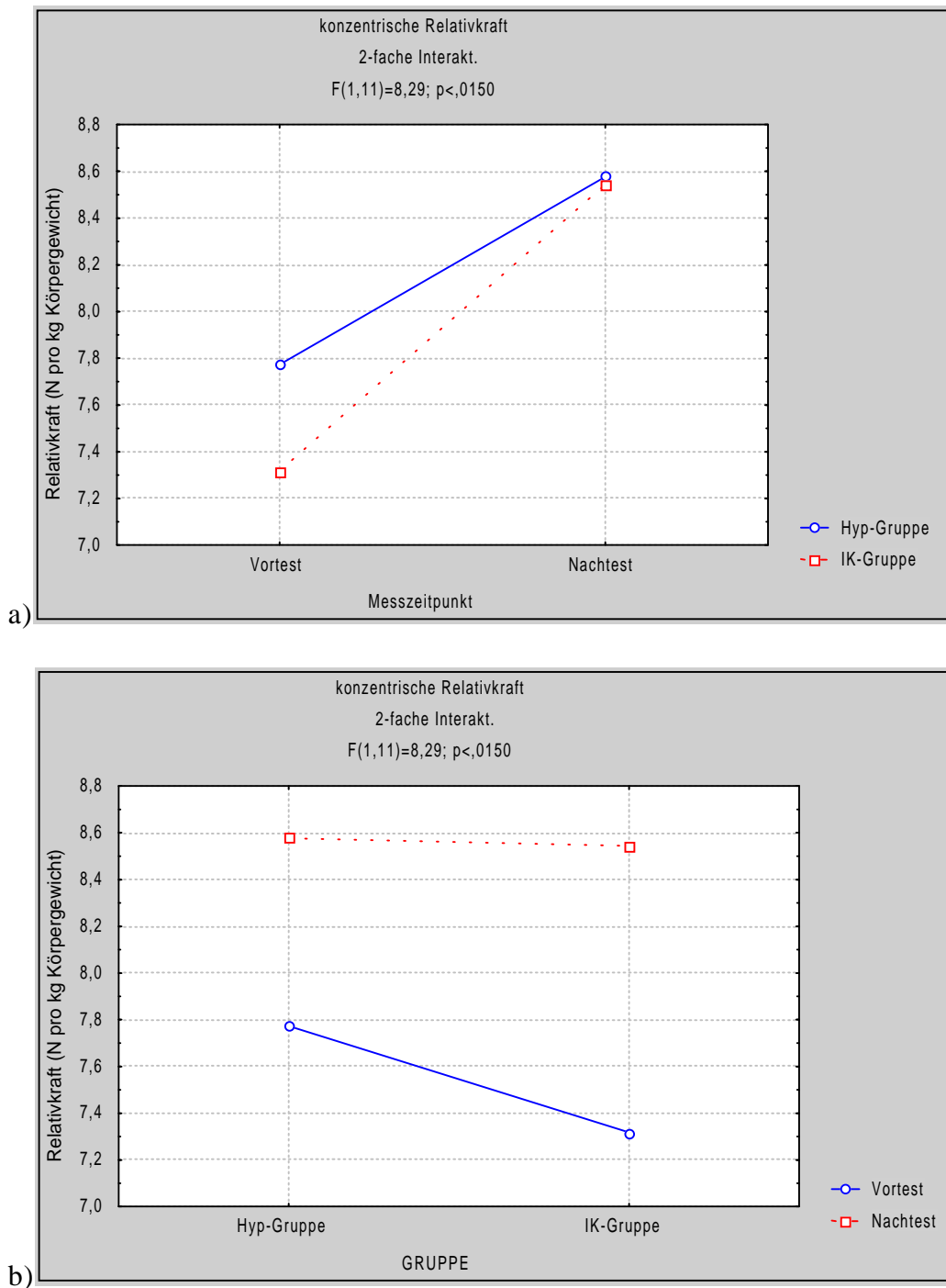


Abbildung 15: Darstellung der Interaktion Messzeitpunkt \times Gruppe zur Veränderung der konzentrischen Relativkraft a) Faktor Messzeitpunkt b) Faktor Gruppe

5.2 Ergebnisse der isometrischen Maximalkraft

Die ermittelten Messwerte von Vortest und Nachtest der isometrischen Relativkraft (realisierter Kraftwert in definierter Gelenkwinkelstellung in N dividiert durch das Körpergewicht in kg) sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Deskriptive Werte der isometrischen Relativkraft (N/kg Körpergewicht)

<i>Vortest</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>insgesamt</i>	13	8,68	2,60	4,51	12,30	7,79
<i>IK-Gruppe</i>	6	8,31	2,90	4,96	12,30	7,34
<i>Hyp-Gruppe</i>	7	9,0	2,50	4,51	11,58	7,07
<i>Nachtest</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>insgesamt</i>	13	8,74	2,15	4,68	11,18	6,50
<i>IK-Gruppe</i>	6	8,74	2,40	5,63	11,18	5,55
<i>Hyp-Gruppe</i>	7	8,75	2,10	4,68	10,99	6,32
<i>Prozentualer Zuwachs</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>insgesamt</i>	13	2,71	10,17	-14,06	19,36	33,41
<i>IK-Gruppe</i>	6	7,68	11,02	-9,09	19,36	28,45
<i>Hyp-Gruppe</i>	7	-1,55	7,73	-14,06	4,55	18,61

Die Hypothesen H1.2 und H2.2 wurden ebenfalls mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse geprüft. Die ermittelten Werte bei der isometrischen Relativkraft führten zu keinen signifikanten Ergebnissen. Folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Varianzanalyse zusammen.

Tabelle 11: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Veränderung der isometrischen Relativkraft mit den Faktoren 1=Gruppe und 2=Messwiederholung

<i>Übersicht aller Effekte</i>						
1-GRUPPE, 2- MESSWIEDERHOLUNG						
	FG Effekt	MQ Effekt	FG Fehler	MQ Fehler	F	p-Wert
1	1	,81	11	11,87	,07	,799
2	1	,05	11	,37	,14	,716
12	1	,75	11	,37	2,01	,184

Aufgrund der Ergebnisse der Varianzanalyse (vgl. Tabelle 11) ist zu erkennen, dass weder beim Faktor Gruppe ($F=0,07$; $p=0,799$) noch beim Faktor Messzeitpunkt ($F=0,14$; $p=0,716$) ein signifikanter Unterschied auftritt. Hypothese H1.2 kann daher nicht bestätigt werden. Das Training führt somit zu keiner Veränderung der isometrischen Maximalkraft. Weiterhin kann auch Hypothese H2.2 nicht bestätigt werden, da keine signifikante Interaktion ($F=2,01$; $p=0,184$) auftritt. Es besteht also hinsichtlich der Ausprägung der Veränderung der isometrischen Maximalkraft kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen. Die reine Betrachtung der Mittelwerte ergäbe für die Hyp-Gruppe sogar eine durchschnittliche Abnahme der isometrischen Relativkraft vom Vortest zum Nachtest um 1,55% (vgl. Tabelle 10).

5.3 Maximale Wiederholungszahlen bei 90% des 1-RM

Tabelle 12 gibt einen Überblick über die maximal realisierten Wiederholungszahlen bei einer Intensität von 90% der konzentrischen Maximalkraft.

Tabelle 12: Deskriptive Werte der maximalen Wiederholungszahlen bei einer Intensität von 90% der konzentrischen Maximalkraft

<i>Vortest</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>insgesamt</i>	13	3,54	1,56	1,0	6,0	5,0
<i>IK-Gruppe</i>	6	3,17	1,60	2,0	6,0	4,0
<i>Hyp-Gruppe</i>	7	3,86	1,57	1,0	6,0	5,0
<i>Nachtest</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>insgesamt</i>	13	3,54	1,45	1,0	7,0	6,0
<i>IK-Gruppe</i>	6	4,33	1,51	3,0	7,0	4,0
<i>Hyp-Gruppe</i>	7	2,86	1,07	1,0	4,0	3,0
<i>Differenz Vortest - Nachtest</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>insgesamt</i>	13	0,0	1,78	-3,0	3,0	6,0
<i>IK-Gruppe</i>	6	1,17	1,72	-2,0	3,0	5,0
<i>Hyp-Gruppe</i>	7	-1,0	1,15	-3,0	0,0	3,0

Hinsichtlich der in der Forschungshypothese angenommenen Veränderungseffekte bezüglich der maximalen Wiederholungszahlen, bei einer Intensität von 90% der konzentrischen Maximalkraft, konnten keine signifikanten Effekte festgestellt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Veränderung der maximalen Wiederholungszahl bei 90% mit den Faktoren 1=Gruppe und 2=Messwiederholung

<i>Übersicht aller Effekte</i>						
1-GRUPPE, 2- MESSWIEDERHOLUNG						
	FG Effekt	MQ Effekt	FG Fehler	MQ Fehler	F	p-Wert
1	1	1,00	11	3,13	,32	,584
2	1	,04	11	1,04	,04	,839
12	1	7,58	11	1,04*	7,31*	,021*

Weder der Faktor Gruppe ($F=0,32$; $p=0,584$) noch der Faktor Messzeitpunkt ($F=0,04$; $p=0,839$) zeigt signifikante Unterschiede. Hypothese H1.3 kann somit nicht bestätigt werden. Das Training führt nicht zu einer gruppenunabhängigen Reduktion der maximalen Wiederholungszahl auf der Intensitätsstufe 90% der konzentrischen Maximalkraft. Etwas überraschend ist der Interaktionseffekt. Die grafische Darstellung in Abbildung 16 zeigt eine signifikante disordinale Interaktion ($F=7,31$; $p=0,021$), welche bedeuten würde, dass die Wiederholungszahl in der IK-Gruppe zunehmen müsste, während sie in der Hyp-Gruppe abnimmt. Dies entspricht dem genauen Gegenteil der ursprünglichen Annahme.

Da Hypothese H2.3 mit der Annahme einer stärkeren Reduktion der Wiederholungszahl auf der Intensitätsstufe 90% in der IK-Gruppe im Vergleich zur Hyp-Gruppe gerichtet war, kann sie aufgrund der ermittelten Interaktion nicht bestätigt werden.

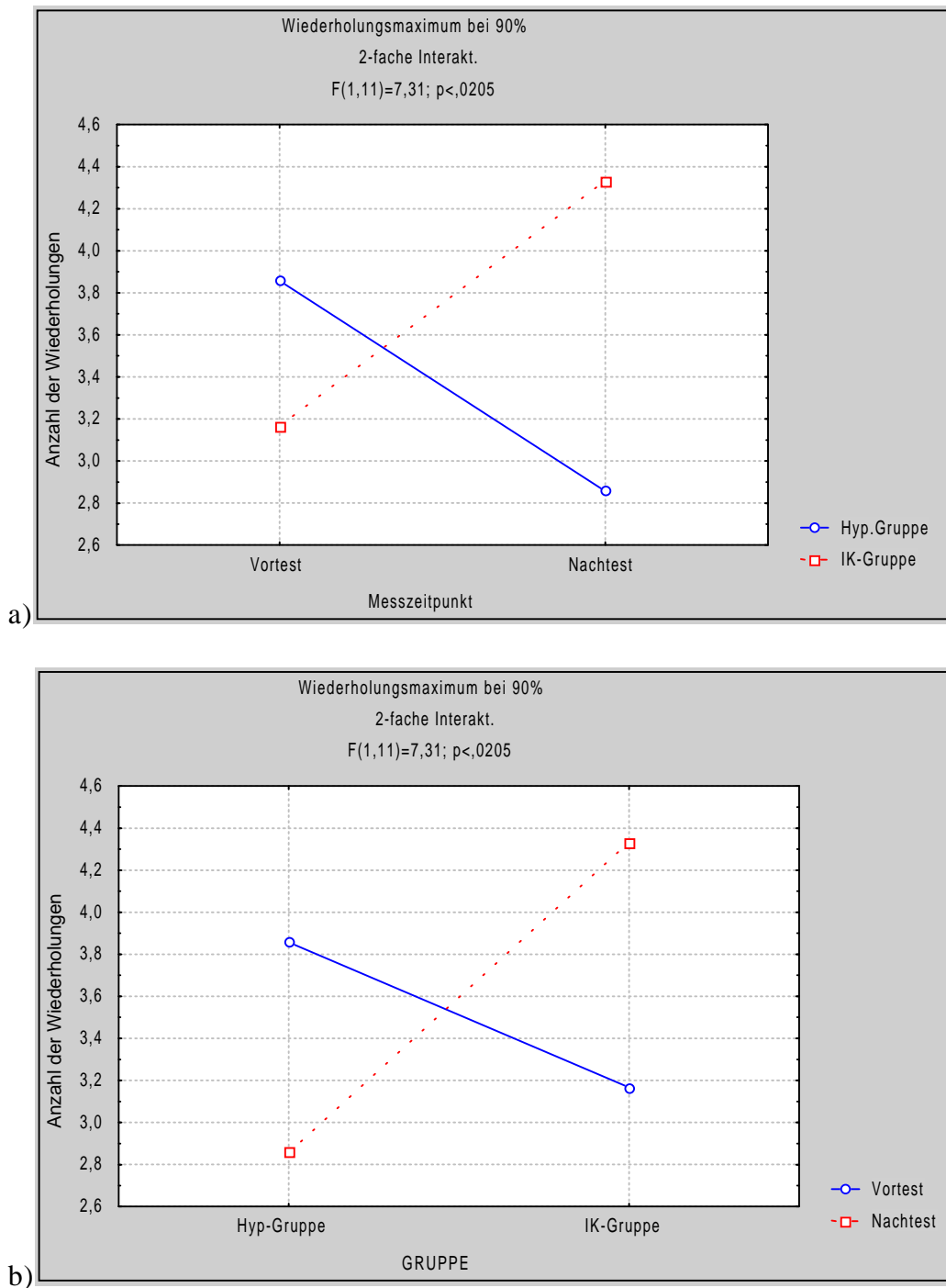


Abbildung 16: Darstellung der Interaktion Messzeitpunkt \times Gruppe zur Veränderung der maximalen Wiederholungszahl auf der Intensitätsstufe 90% a) Faktor Messzeitpunkt b) Faktor Gruppe

5.4 Maximale Wiederholungszahlen bei 50% des 1-RM

Die ermittelten Vortest- und Nachtestwerte der maximalen Wiederholungszahlen bei einer Intensität von 50% der konzentrischen Maximalkraft sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

Tabelle 14: Deskriptive Werte der maximalen Wiederholungszahlen bei einer Intensität von 50% der konzentrischen Maximalkraft

<i>Vortest</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>insgesamt</i>	13	25,38	5,11	17,0	37,0	20,0
<i>IK-Gruppe</i>	6	24,83	6,77	17,0	37,0	20,0
<i>Hyp-Gruppe</i>	7	25,86	3,67	21,0	31,0	10,0
<i>Nachtest</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>insgesamt</i>	13	26,85	3,60	21,0	33,0	12,0
<i>IK-Gruppe</i>	6	27,0	4,24	21,0	31,0	10,0
<i>Hyp-Gruppe</i>	7	26,71	3,30	23,0	33,0	10,0
<i>Differenz Vortest - Nachtest</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>insgesamt</i>	13	1,46	4,14	-6,0	7,0	13,0
<i>IK-Gruppe</i>	6	2,17	4,40	-6,0	7,0	13,0
<i>Hyp-Gruppe</i>	7	0,86	4,14	-6,0	6,0	12,0

Die Prüfung der Veränderungen bezüglich der maximalen Wiederholungszahlen bei der Intensitätsstufe 50% führt zu keinen signifikanten Ergebnissen.

Tabelle 15: Ergebnisse der Varianzanalyse zur Veränderung der maximalen Wiederholungszahl bei 50% mit den Faktoren 1=Gruppe und 2=Messwiederholung

<i>Übersicht aller Effekte</i>						
1-GRUPPE, 2- MESSWIEDERHOLUNG						
	FG Effekt	MQ Effekt	FG Fehler	MQ Fehler	F	p-Wert
1	1	,88	11	33,21	,03	,874
2	1	14,77	11	9,08	1,63	,228
12	1	2,77	11	9,08	,31	,592

Aufgrund der Ergebnisse der Varianzanalyse (vgl. Tabelle 15) ist erkennbar, dass weder im Faktor Gruppe ($F=0,03$; $p=0,874$) noch im Faktor Messzeitpunkt ($F=1,63$; $p=0,228$) signifikante Unterschiede auftreten. Hypothese H1.4 kann daher nicht bestätigt werden. Das Training bewirkt keine gruppenunabhängige Reduktion der maximalen Wiederholungszahl auf der Intensitätsstufe 50% der konzentrischen Maximalkraft. Auch die Interaktion liefert keine signifikanten Ergebnisse ($F=0,31$; $p=0,592$), daher kann auch Hypothese H2.4 nicht bestätigt werden. Somit ist hinsichtlich der Ausprägung der Abnahme der maximalen Wiederholungszahlen auf der genannten Intensitätsstufe kein Unterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen feststellbar.

6 Diskussion

Wie den Darstellungen der Ergebnisse zu entnehmen ist, führt sowohl ein *Training mit wiederholter submaximaler Kontraktion bis zu Erschöpfung* (Hypertrophie-Training) als auch ein *Training mit maximalen explosiven Kontraktionen* (IK-Training vgl. GÜLLICH/SCHMIDTBLEICHER 1999) bei wöchentlich drei Trainingsterminen bereits nach einer Zeit von vier Wochen zu einer signifikanten Zunahme der konzentrischen Maximalkraft. Insgesamt stieg die relative konzentrische Maximalkraft von 7,56 ($\pm 2,00$) N pro kg Körpergewicht im Vortest auf 8,56 ($\pm 2,11$) N pro kg Körpergewicht im Nachtest an. Die absoluten Vortestwerte betragen 575,77 ($\pm 197,76$) N, im Nachtest betragen sie 650,48 ($\pm 210,80$) N. Der prozentuale Zuwachs ergab im Durchschnitt 13,95 % ($\pm 5,47$ %). Betrachtet man nun die beiden Gruppen separat, so ergab sich für die Hypertrophiegruppe ein relativer konzentrischer Kraftanstieg von 7,77 ($\pm 1,90$) N pro kg Körpergewicht im Vortest auf 8,58 ($\pm 2,04$) N pro kg Körpergewicht im Nachtest. Hier waren die absoluten Werte im Vortest 594,21 ($\pm 181,49$) N, im Nachtest 654,47 ($\pm 192,80$) N. Der konzentrische Kraftzuwachs betrug bei der Hypertrophie-Gruppe 10,60 % ($\pm 3,58$ %). Bei der IK-Gruppe stiegen die relativen konzentrischen Kraftwerte von 7,32 ($\pm 2,27$) N pro kg Körpergewicht im Vortest auf 8,54 ($\pm 2,38$) N pro kg Körpergewicht im Nachtest an. Hier betragen die absoluten Vortestwerte 554,27 ($\pm 230,88$) N, im Nachtest dagegen 645,83 ($\pm 248,98$) N. Vergleicht man die Werte mit der Literatur, so fallen sie vergleichsweise niedrig aus. Dort finden sich häufig Angaben über Zuwächse von ca. 20 % (BERGER 1967; ANDERSON/KEARNEY 1982; SCHMIDTBLEICHER/HEMMLING 1994). Hierzu ist jedoch anzumerken, dass diese Studien in der Regel einen bedeutend längeren Trainingsprozess verfolgen. So lief beispielsweise die Studie von BERGER (1967) über zwölf Wochen, bei ANDERSON/KEARNEY (1982) dauerte das Training neun Wochen, bei SCHMIDTBLEICHER/HEMMLING (1994) waren es sechs Wochen. CHILIBECK et al. (1998) berichten über einen Kraftzuwachs von 50 % bei einem zwanzigwöchigen Bizeps-training. Ist der Zuwachs der Kraftentfaltung zusätzlich in hohem Maße abhängig von einer ökonomischen Bewegungsausführung (somit also technikabhängig), so kann der Kraftzuwachs weit über 200 % ansteigen. Dies wird beispielsweise in einer Studie von RUTHERFORD und JONES (1986) zu koordinativen Einflüssen auf das Kraftverhalten nachgewiesen.

Ein weiterer sehr wesentlicher Aspekt der vorliegenden Studie, gerade in Bezug auf koordinative Einflüsse der Kraft, war das Vorschalten einer zweiwöchigen Gewöhnungsprozedur. Es handelte sich dabei um vier Termine, wobei

jedoch der letzte Termin schon als Vortest diente (vgl. 4.3.6.1). Unter anderem wurde hierbei versucht, das 1-RM einzugrenzen. Die Versuchspersonen konnten sich hierbei an die Testbewegung gewöhnen. Eine derartige Gewöhnungsphase wurde in Krafttrainingsstudien bisher selten eingesetzt. Dies verwundert vor allem deshalb, da die koordinativen Einflüsse auf die Kraftentfaltung seit längerer Zeit bekannt sind (RUTHERFORD/JONES 1986; SALE/MACDOUGALL 1981; 1994). Neben dem bereits genannten Aspekt der Laufzeit der Untersuchung begründet auch dies den vergleichsweise geringen Kraftzuwachs (ca. 10 %) in der vorliegenden Studie.

Der Interaktionseffekt besagt, dass zumindest in dieser Untersuchung die Ausprägung des konzentrischen Relativkraftanstieges von der Trainingsmethode abhängt. Hierbei bewirkt ein IK-Training innerhalb von vier Wochen bei dreimaligem wöchentlichem Training eine größere konzentrische Relativkraftzunahme als Hypertrophie-Training. Dieser Effekt sollte jedoch nicht überbewertet werden, da in beiden Gruppen ein unterschiedliches Ausgangsniveau zu verzeichnen war. Somit hätte auch beim Hypertrophie-Training ein stärkerer Kraftzuwachs auftreten können, wenn auch dort eine niedrigere Relativkraft im Vortest vorhanden gewesen wäre. Im Nachtest sind beide Gruppen nahezu auf dem gleichen Niveau. Darüber hinaus wurde kein merklicher Unterschied im Körpergewicht zwischen Vortest und Nachtest bei der Hypertrophiegruppe festgestellt, so dass mit einer Muskelmassenzunahme nicht argumentiert werden kann.

Die Ergebnisse zur Entwicklung der isometrischen Maximalkraft liefern einige interessante Erkenntnisse. Weder in der IK-Gruppe noch in der Hypertrophie-Gruppe lässt sich ein signifikanter Zuwachs feststellen. Insgesamt wurde die durchschnittliche isometrische Relativkraft im Vortest mit $8,68 (\pm 2,60)$ N pro kg Körpergewicht registriert. Im Nachtest konnten $8,74 (\pm 2,15)$ N pro kg Körpergewicht gemessen werden. Der prozentuale Zuwachs betrug $2,71\% (\pm 10,17\%)$, ist jedoch nicht signifikant. Bei isolierter Betrachtung der IK-Gruppe ergab sich ein Zuwachs von $7,68\% (\pm 11,02\%)$, der ebenfalls nicht signifikant ist. Bei der Hypertrophiegruppe ging die isometrische Kraft um $1,55\% (\pm 7,73\%)$ zurück, jedoch ist auch dies keine signifikante Veränderung. Diese nicht signifikanten Tendenzen könnten jedoch auch hierbei auf koordinative Adaptationen hinweisen, da der Anteil isometrischer Arbeitsweise bei hohen Gewichten (IK-Training) deutlich höher ist als bei geringeren Lasten (Hypertrophie-Training) (vgl. Abbildung 2 auf Seite 10). Vergleicht man nun diese Effekte mit den Auswirkungen auf die konzentrische Maximalkraft, so ist doch zumindest für das Bankdrücken erkennbar, dass der Trainingseffekt einer dynamischen Kraftübung durch eine isometrische Kraftmessung nicht festgestellt

werden kann (BERGER 1967). Dies relativiert die Aussage von BÜHRLE (1985, 87), dass die isometrische Kraftmessung eine Grenzsituation der dynamischen sei. In diesem Falle müsste die isometrische Kraft generell größer als die konzentrische sein. Dies mag auch sicherlich stimmen, solange keine bzw. nur geringe koordinative Einflüsse vorliegen. Jedoch zeigen zahlreiche eigene Beobachtungen, dass nicht selten die konzentrische Kraft die isometrische übertrifft. Während in der vorliegenden Studie die isometrische Maximalkraft im Vortest bei allen Versuchspersonen größer war als die konzentrische, waren im Nachtest nur noch geringe Unterschiede zu erkennen, wobei bei vier Probanden (davon drei aus der Hyp-Gruppe) die konzentrische Kraft über der isometrischen lag. Die Ergebnisse erhärten somit die Schlussfolgerung der Studie von BERGER (1962). Bereits dort wird darauf hingewiesen, dass die Anwendung dynamischer Messverfahren (z.B. in der vorliegenden Studie das 1-RM) zur Registrierung eines Kraftzuwachses, der durch dynamisches Muskeltraining erzielt wurde, besser geeignet sind, als die Benutzung isometrische Verfahren (BERGER 1962b, 333).

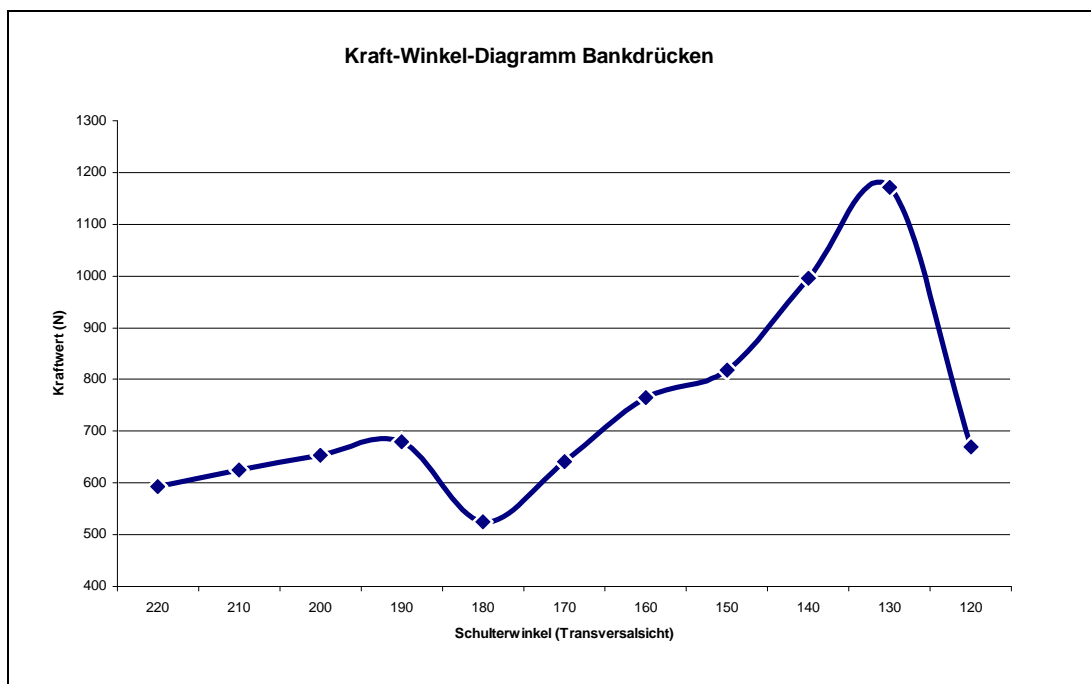


Abbildung 17: Isometrisches Kraft-Winkel-Diagramm beim Bankdrücken (Winkel zwischen Oberarm und Oberkörper in der Transversalebene)

Zur Vorgehensweise der isometrischen Kraftmessung (vgl.4.3.5.1) sind noch einige kritische Anmerkungen zu machen. Die Festlegung der Winkelpositionen von Schulter- und Ellbogengelenk erfolgte aufgrund von Erfahrungswerten.

Es sollte die Position gewählt werden, in welcher der geringste Kraftwert im Kraft-Winkel-Diagramm auftrat. Dieser zeigte sich in der Regel, wenn die Winkel zwischen Oberarm und Oberkörper aus der Transversalsicht betrachtet 180° betragen. In dieser Stellung betrug der Ellbogenwinkel etwa 90° (vgl. Abbildung 13 in Abschnitt 4.3.5.1). Trotz des Bemühens um eine genaue Positionierung der Versuchspersonen ist es wohl eher unwahrscheinlich, dass bei der Durchführung von zwei Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten die jeweiligen Messpositionen identisch sind. Zu bedenken ist hierbei jedoch, dass eine geringe Veränderung der Gelenkwinkelstellung einen ausgeprägten Messfehler bewirken kann. Das Kraft-Winkel-Diagramm (bezogen auf den Schulterwinkel in der Transversalsicht) ist in Abbildung 17 auf Seite 72 dargestellt.

Des Weiteren ist zu überprüfen, ob die angenommene Kraft-Winkel-Kurve allgemein gültig ist. Sie ist unter anderem sicherlich vom relativen Kraftanteil des *M. pectoralis major*, des *M. triceps brachii* sowie des *M. deltoideus* (vor allem Pars clavicularis) abhängig. Sicherlich ist die Annahme berechtigt, dass das Verhältnis der einzelnen Muskeln zueinander interindividuell unterschiedlich ist und somit diese Kraftkurven variieren. Darüber hinaus ist nicht auszuschließen, dass sich dieses Verhältnis bei einem Individuum durch Training verändert. Das würde jedoch bedeuten, dass sich die Messpositionen in Vortest und Nachtest unterscheiden könnten, wenn das Kriterium gilt, dass die Messung in den Gelenkwinkelstellungen durchgeführt wird, die in der aktuellen Kraft-Längen-Kurve die niedrigsten Kraftwerte aufweisen⁸.

Die erfassten Wiederholungszahlen der Intensitätsstufen 90% und 50% der konzentrischen Maximalkraft sind mit den Werten aktueller Publikationen vergleichbar. Im Durchschnitt wurden bei 90% des 1-RM drei bis vier Wiederholungen realisiert ($3,54 \pm 1,48$). BUSKIES/BEOCKH-BEHRENS (1999, 6) geben $5,5 \pm 1,6$ Wiederholungen an. Bei der Intensität 50% wurden im Durchschnitt 26 bis 27 Wiederholungen realisiert ($26,12 \pm 4,39$), im Vergleich hierzu ermittelten die beiden erwähnten Autoren $31,4 \pm 6,4$ Wiederholungen. Die tendenziell höheren Werte bei der genannten Studie sind sicherlich unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Probanden bei BUSKIES/BEOCKH-BEHRENS ausschließlich Sportstudenten waren, die mindestens sechs Monate regelmäßig Krafttraining an entsprechenden Trainingsmaschinen betrieben hatten. Es sei an dieser Stelle nochmals betont, dass das Verhältnis von Intensität und maximaler Wiederholungszahl nicht generalisierbar ist.

⁸ vgl. hierzu die Festlegung in Kap. 4.3.5.1

Dass dieses Verhältnis durch Training veränderbar ist, sollte durch eine Vortest/Nachtest-Messung demonstriert werden. Nach der allgemeinen Forschungshypothese sollten die maximal realisierbaren Wiederholungszahlen auf beiden Intensitätsstufen durch die beiden Trainingsprozeduren abnehmen. Die Überprüfung der Werte fiel jedoch zumindest für die Intensität 90% überraschend aus. Während sowohl gruppenspezifisch als auch zwischen Vortest und Nachtest keine signifikanten Veränderungen auftraten, ergab die Varianzanalyse eine signifikante disordinale Interaktion. Dies würde bedeuten, dass die Wiederholungszahlen bei einer Intensität von 90% durch Hypertrophie-Training abnehmen würden, während sie durch IK-Training zunehmen würden. Dieses Ergebnis widerspricht somit der ursprünglichen Annahme. Als Konsequenz hieraus kann derzeit eine Einschätzung über die Ausprägung des Kraftdefizits auf Grundlage einer Veränderung der maximalen Wiederholungszahl in submaximalen Intensitätsbereichen nicht erfolgen. Dies deckt sich mit der Schlussfolgerung einer nicht veröffentlichten Studie der Universität Frankfurt (SCHMIDTBLEICHER, pers. Mitteilung). Hinsichtlich der Bedeutung koordinativer Einflüsse wäre der Effekt jedoch durch die Tatsache erklärbar, dass die IK-Gruppe ständig mit Gewichten zwischen 90% und 100% der konzentrischen Maximalkraft trainiert hat, während die Lasten bei der Hypertrophie-Gruppe deutlich geringer waren. Ob dies jedoch tatsächlich zu einer Zunahme der Wiederholungszahl führt, kann derzeit lediglich spekulativ betrachtet werden und bedarf weiterer Absicherung. Im Gegensatz zur Intensität 90% treten bei 50% keine signifikanten Veränderungen auf. Tendenziell nimmt die Wiederholungszahl auf dieser Intensitätsstufe in beiden Gruppen zu (Vortest 25,38, Nachtest 26,85), wobei dies in der IK-Gruppe etwas stärker ausgeprägt ist. Jedoch ist auch hierbei der Vortestwert der IK-Gruppe (24,83) etwas geringer als bei der Hyp-Gruppe (Vortest 25,85).

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Forschungshypothese ging neben der Veränderung der Relativkraft auch von einer differenzierten Ausprägung dieser Veränderung in Abhängigkeit von der Trainingsmethode aus. Die Überlegung hierbei ging von einer vergleichbaren Absolutkraftzunahme beider Methoden aus, welche in Relation zum Körpergewicht (Relativkraft) durch die Zunahme der Muskelmasse beim Hypertrophie-Training geringer ausfallen müsste. Darüber hinaus wurde eine Veränderung der maximalen Wiederholungszahl auf definierten submaximalen Intensitätsstufen vermutet. Diese Annahme stützt sich auf die Ergebnisse der Studie von ANDERSON/KEARNEY (1982), in der bei einer geringen Intensität (40%) eine Reduktion der Wiederholungszahl bei hohen Lasten festgestellt wurde. Es konnte gezeigt werden, dass beide Trainingmethode eine Zunahme der relativen Maximalkraft bewirkten. Die Ausprägung des Zuwachses schien zwar methodenspezifisch unterschiedlich zu sein, jedoch ist hierbei zu beachten, dass die Relativkraftwerte der Gruppen im Vortest unterschiedlich waren. Der stärkere Zuwachs bei der IK-Gruppe könnte also auch auf das niedrigere Ausgangsniveau zurückgeführt werden. Darüber hinaus konnte die unterschiedliche Ausprägung nicht mit einer Muskelmassenzunahme in Verbindung gebracht werden, da sich die Körpermasse der Probanden in beiden Gruppen kaum veränderte. Somit unterschieden sich also bereits die Absolutkraftzuwächse der Gruppen voneinander. Die Veränderungen bei den Wiederholungszahlen stehen zwar im Widerspruch zur ursprünglichen Annahme, sie könnten jedoch auf die Bedeutung koordinativer Adaptationen hinweisen. Somit nahm die Wiederholungszahl bei der Intensität 90% in der IK-Gruppe zu, während sie bei der Hypertrophie-Gruppe abnahm. Hierbei ist festzuhalten, dass 90% der konzentrischen Maximalkraft in etwa dem Trainingsgewicht der IK-Gruppe entsprach, wohingegen die Hypertrophie-Gruppe mit einer geringeren Intensität trainierte. Diese Intensität wurde in den Tests nicht berücksichtigt, da sie in der ursprünglichen Fragestellung⁹ von untergeordneter Bedeutung war.

Die vorliegende Studie lässt aufgrund ihrer Ergebnisse Anknüpfungsmöglichkeiten zur weiteren Erforschung des bearbeiteten Themenkomplexes zu. Da sich bisher nur sehr wenige Untersuchungen mit einer *Veränderung von Wiederholungszahlen* durch Training beschäftigt haben, besteht in dieser Thematik weiterhin Aufklärungsbedarf. Dabei interessieren vor allem auch diejenigen Sachverhalte, die den Abbruch bei Wiederholungstests bewirken (bspw. meta-

⁹ vgl. die allgemeinen Forschungshypothesen in Kap. 3

bolische, neuromuskuläre, kognitive Faktoren und Persönlichkeitseigenschaften). Aufgrund der Erkenntnisse bezüglich der intensitätsabhängigen Ausschöpfung unterschiedlicher Energiebereitstellungssysteme im Bereich des Ausdauertrainings, ist auch im Krafttraining zu vermuten, dass ein Abbruch bei derartigen Wiederholungstests in unterschiedlichen submaximalen Intensitätsbereichen auf die Ausschöpfung unterschiedlicher Ressourcen zurückzuführen ist. Darüber hinaus wäre es interessant, neurophysiologische Aspekte der Ermüdung zu erforschen (vgl. OLIVIER 1996)

Von hohem Interesse sind ebenso weiterführende Untersuchungen zur Bedeutung koordinativer Adaptationen für das Kraftverhalten. Dass Anpassungen auf dieser Ebene erhebliche Auswirkungen haben können, wurde mehrfach nachgewiesen (KIBELE 1998; RUTHERFORD/JONES 1986; SALE 1994). Inwieweit diese Anpassungen allerdings das Verhältnis zwischen Intensität und Wiederholungszahl beeinflussen könnten, wird in den genannten Studien nicht deutlich. In der vorliegenden Untersuchung wäre hinsichtlich dieser Frage ein Vortest-Nachtest-Vergleich zur maximalen Wiederholungszahl im Intensitätsbereich des durchgeführten Hypertrophie-Trainings aufschlussreich gewesen.

Im Rahmen einer weiteren Studie könnte dieser Vorschlag berücksichtigt werden. Beispielsweise könnte das Design der vorliegenden Untersuchung übernommen werden, wobei jedoch bei den Tests zusätzlich der Intensitätsbereich des Hypertrophie-Trainings (etwa 70 – 75% der konzentrischen Maximalkraft) überprüft wird. Würde hierbei die maximale Wiederholungszahl in der Hypertrophie-Gruppe zunehmen und in der IK-Gruppe unverändert bleiben bzw. abnehmen, so wäre dies eventuell ein Beleg für eine mögliche koordinative Adaptation. Um diesen Beleg zu erhärten, könnte man in einer solchen Studie eine weitere Experimentalgruppe hinzuziehen, welche ein Kraftausdauer-Training (d.h. deutlich geringere Intensitäten und höhere Wiederholungszahlen) absolviert. Man hätte somit drei Experimentalgruppen (IK-Gruppe, Hypertrophie-Gruppe, Kraftausdauer-Gruppe), die jeweils unterschiedliche Trainingsprogramme absolvieren, die aber denselben Vortest und Nachtest durchliefen. Es würde genügen, wenn in diesen Tests neben der Maximalkraft die Intensitätsbereiche der drei Experimentalgruppen überprüft werden. Das vermutete Ergebnis wäre nun, dass die maximale Wiederholungszahl im trainingsspezifischen Intensitätsbereich zunehmen würde, während in den beiden übrigen Intensitätsbereichen keine nennenswerte Veränderung (möglicherweise sogar eine Abnahme) auftreten würde.

Literaturverzeichnis

- ANDERSON, T./KEARNEY, J. T.: Effects of Three Resistance Training Programs on Muscular Strength and Absolute and Relative Endurance. In: Research Quarterly for Exercise and Sport 53 (1982) 1, 1-7
- APPEL, H. J.: Mechanismen und Grenzen des Muskelwachstums. In: DECKER, W./LÄMMER, M. (Red.): Kölner Beiträge zur Sportwissenschaft 12, Jahrbuch der DSHS Köln. Hofmann, Schorndorf 1983, 7-18
- APPEL, H. J.: Morphology of Immobilized Skeletal Muscle and the Effects of a Pre- and Postimmobilized Training Programm. In: International Journal of Sports Medicine 7 (1986) 1, 6-12
- APPEL, H. J./FORSBERG, S./HOLLMANN, W.: Satellite Cell Activation in Human Skeletal Muscle After Training: Evidence for Muscle Fiber Neoformation. In: International Journal of Sports Medicine 9 (1988) 4, 297-299
- BALLREICH, R./BAUMANN, W.: Grundlagen der Biomechanik des Sports. Probleme, Methoden, Modelle. Enke, Stuttgart 1996²
- BAUMANN, W./PREIB, R.: Biomechanische Meßverfahren. In: BALLREICH, R./BAUMANN, W.: Grundlagen der Biomechanik des Sports. Probleme, Methoden, Modelle. Enke, Stuttgart 1996², 75-102
- BERGER, R. A.: Effects of Varied Training Programs on Strength. In: Research Quarterly 33 (1962a) 2, 168-181
- BERGER, R. A.: Comparison of Static and Dynamic Strength Increases. In: Research Quarterly 33 (1962b) 3, 329-333
- BIRBAUMER N./SCHMIDT, R. F.: Biologische Psychologie. Springer, Berlin 1996³
- BORTZ, J.: Statistik für Sozialwissenschaftler. Springer, Berlin 1999⁵
- BORTZ, J./DÖRING, N.: Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler. Springer, Berlin 1995²
- BITTMANN, F. (Hrsg.): Körperschule. Rowohlt, Reinbek 1995
- BOECKH-BEHRENS, W.-U./BUSKIES, W.: Kraft, Haltung und Körperform. In: BÖS, K./BREHM, W. (Hrsg.): Gesundheitssport. Ein Handbuch. Hofmann, Schorndorf 1998, 160-166

- BÖS, K./WYDRA, G./KARISCH, G.: Gesundheitsförderung durch Bewegung Spiel und Sport. Ziele und Methoden des Gesundheitssports in der Klinik. perimed, Erlangen 1992
- BÖS, K./BREHM, W. (Hrsg.): Gesundheitssport. Ein Handbuch. Hofmann, Schorndorf 1998
- BUSKIES, W.: Sanftes Krafttraining. Unter besonderer Berücksichtigung des subjektiven Belastungsempfindens. Sport und Buch Strauß, Köln 1999
- BUSKIES, W./BOECKH-BEHRENS, W.-U./ZIESCHANG, K.: Möglichkeiten der Intensitätssteuerung im gesundheitsorientierten Krafttraining. In: Sportwissenschaft 26 (1996) 2, 170-183
- BUSKIES, W./BOECKH-BEHRENS, W.-U.: Probleme bei der Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining auf der Basis von Maximalkrafttests. In: Leistungssport 29 (1999) 3, 4-8
- BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 56. Hofmann, Schorndorf 1985a
- BÜHRLE, M.: Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifische Trainingsmethoden. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 56. Hofmann, Schorndorf 1985b, 82-111
- CARL, K. Eigenschaft, motorische. In: RÖTHIG, P./BECKER, H./CARL, K./KAYSER, D./PROHL, R.: Sportwissenschaftliches Lexikon. Hofmann, Schorndorf 1992⁶, 133
- CARL, K. Fähigkeit. In: RÖTHIG, P./BECKER, H./CARL, K./KAYSER, D./PROHL, R.: Sportwissenschaftliches Lexikon. Hofmann, Schorndorf 1992⁶, 158
- CARL, K./MECHLING, H./QUADE, K./STEHLE, P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, 7/92. Sport und Buch Strauß, Köln 1992
- CHILIBECK, P. D./CALDER, A. W./SALE, D. G./WEBBER, C. E: A Comparison of Strength an Muscle Mass Increases during Resistance Training in Young Women. In: European Journal of Applied Physiology, 77 (1998) 1, 170-175
- DE LORME, T. L. : Restoration of Muscle Power by Heavy-Resistance Exercises. In: Journal of Bone and Joint Surgery 27 (1947) 4, 645-667
- DE MAREES, H.: Sportphysiologie. Sport & Buch Strauß, Köln 1996⁸

- DENNER, A.: Analyse und Training der wirbelsäulenumgebenden Muskulatur. Springer, Berlin/Heidelberg 1998
- DIETZ, V.: Neurophysiologische Grundlagen des Kraftverhaltens. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 56. Hofmann, Schorndorf 1985, 16-32
- EHLENZ, H./GROSSER, M./ ZIMMERMANN, E./ ZINTL, F.: Krafttraining. Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme. BLV, München 1995⁵
- ENGELHARDT, M./NEUMANN, G.: Sportmedizin. Grundlagen für alle Sportarten. BLV, München 1994
- FALLER, A.: Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion. Thieme, Stuttgart 1988¹¹
- FLEISCHER H.: Grundlagen nichtparametrischer Testverfahren. In: STRAUB, B./HAAG, H./KOLB, M.: Datenanalyse in der Sportwissenschaft. Hofmann, Schorndorf 1999, 309-336
- FRÖHLICH, M.: Zum Verhältnis von konzentrischer Maximalkraftmessung und der Wiederholungszahl bei einbeiniger Ausführung der Beinpressbewegung in unterschiedlichen submaximalen Intensitätsbereichen. Unveröff. Diplomarbeit. Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes 1998
- FUKUNAGA, T.: Die absolute Muskelkraft und das Muskelkrafttraining. In: Sportarzt und Sportmedizin 27 (1976), 255-265
- GHEZ, C./GORDON, J.: Muskeln und Muskelrezeptoren. In: KANDEL, E. R./SCHWARTZ, J. H./JESSEL, T. M. (Hrsg.): Neurowissenschaften. Eine Einführung. Spektrum, Heidelberg 1996
- GÖHNER, U.: Experimentelle Befunde zur exzentrisch orientierten Kraftdefizit-Bestimmung. In: Sportwissenschaft 18 (1988) 1, 29-39
- GÜLLICH, A./SCHMIDTBLEICHER, D.: Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 50 (1999) 7+8, 223-234
- HELLENTHAL, W.: Physik und ihre Anwendung in der Praxis für Pharmazeuten, Mediziner und Biologen. Thieme, Stuttgart 1988⁴
- HOEGER, W. W. K./BARETTE, S. L./HALE, D. F./HOPKINS, D. R.: Relationship between Repetitions and Selected Percentages of One Repetition Maximum. In: Journal of Applied Sport Science Research. 1 (1987) 1, 11-13

- HOEGER, W. W. K./HOPKINS, D. R./BARETTE, S. L./HALE, D. F.: Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. In: *Journal of Applied Sport Science Research* 4 (1990) 2, 47-54
- HOFMANN, H.: Exemplarische Untersuchung zur Bestimmung der maximalen Wiederholungszahl in Abhängigkeit von der konzentrischen Maximalkraft bei einer ausgewählten Übung. Unveröff. Examensarbeit. Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes 1998
- 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. Hofmann, Schorndorf 1985, 35-52
- IKAI, M./YABE, K./ISCHIJ, K.: Muskelkraft und muskuläre Ermüdung bei willkürlicher Anspannung und elektrischer Reizung des Muskels. In: *Sportarzt und Sportmedizin* 18 (1967), 257-197-204
- KANDEL, E. R./SCHWARTZ, J. H./JESSEL, T. M. (Hrsg.): *Neurowissenschaften. Eine Einführung*. Spektrum, Heidelberg 1996
- KIBELE, A.: Maximalkraftzuwachs ohne Leistungsgewinn? In: *Leistungssport* 28 (1998) 3, 45-49
- KRAEMER, W. J./FRY, A. C.: Strenth Testing: Development and Evaluation of Methodology. In: MAUD, P. J./FOSTER, C.: *Physiological Assessment of Human Fitness*. Human Kinetics, Champaign/Ill. 1995, 115-138
- KROEMER, K. H. E./MARRAS, W. S.: Towards an Objective Assesment of the „Maximal Voluntary Contraction“ Component in Routine Muscle Strenth Measuerement. In: *European Journal of Applied Physiology* 45 (1980) 1-9
- KNEBEL, K. P.: *Funktionsgymnastik, Dehnen, Kräftigen, Entspannen*. Rowohlt, Reinbek 1992
- KNOLL, M.: *Sporttreiben und Gesundheit. Eine kritische Analyse vorliegender Befunde*. Hofmann, Schorndorf 1997
- LETZELTER, H./LETZELTER, M./STEINMANN, W.: Meßfehler in der Kraftdiagnostik. In: *Leistungssport* 20 (1990) 2, 46-52
- LIPPITSCH, S./MÖLLER, J.: Varianzanalyse. In: STRAUß, B./HAAG, H./KOLB, M.: *Datenanalyse in der Sportwissenschaft*. Hofmann, Schorndorf 1999, 277-308
- LORENZ, R./HAUSDORF, J. J./JESCHKE, D./TUSKER, F.: Wirkung von isometrischer Maximalkraftbelastung mit unterschiedlicher Pausendauer und Wiederholungszahl auf den Muskel. In: CARL, K./QUADE, K./STEHLE, P.

- (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Sport und Buch Strauß, Köln 1995, 126-142
- MACDOUGALL, J. D.: Hypertrophie und/oder Hyperplasie. In: KOMI, P. V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1994, 232-239
- MARKWORTH, P.: Sportmedizin 1. Rowohlt, Reinbek 1989
- MARSCHALL, F./FRÖHLICH, M.: Überprüfung des Zusammenhangs von Maximalkraft und maximaler Wiederholungszahl bei deduzierten submaximalen Intensitäten. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 50 (1999) 19, 311-315
- MARTIN, D./CARL, K./LEHNERTZ, K.: Handbuch Trainingslehre. Hofmann, Schorndorf 1993²
- MASSALGIN, N. A./USCHAKOW, I. W.: Anwendbarkeit der Elektromyografie zur Beurteilung des Entwicklungsniveaus zentral-nervaler Faktoren, die die Effektivität der Schnellkraftbewegungen beeinflussen. In: Medizin und Sport 19 (1979) 12, 364-366
- MORITANI, T.: Die zeitliche Abfolge der Trainingsanpassungen im Verlaufe eines Krafttrainings. In: KOMI, P. V. (Hrsg.) : Kraft und Schnellkraft im Sport. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1994, 266-276
- MÜLLER, K. J.: Statische und dynamische Muskelkraft. Beiträge zur Sportwissenschaft, Bd. 7. Deutsch, Frankfurt 1987
- NAGLE, F. J./SEALS, D. R./HANSON, P.: Time to Fatigue During Isometric Exercise Using Different Muscle Masses. In: International Journal of Sports Medicine 9 (1988) 5, 313-315
- OLIVIER, N.: Techniktraining unter konditioneller Belastung. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 83. Hofmann, Schorndorf 1996
- PETTE, D.: Das adaptative Potential des Skelettmuskels. In.: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 50 (1999) 9, 262-271
- PLATZER, W.: dtv-Atlas der Anatomie, Tafeln und Texte, Band 1 Bewegungsapparat. dtv, München 1991⁶
- POLLMANN, D./WILLIMCZIK, K.: Beanspruchung im Mikrozyklus des Krafttrainings. In: CARL, K./QUADE, K./STEHLE, P.: Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft. Sport und Buch Strauß, Köln 1995, 393-426

- PREIß, R.: Biomechanisch Merkmale. In: BALLREICH, R./BAUMANN, W.: Grundlagen der Biomechanik des Sports. Probleme, Methoden, Modelle. Enke, Stuttgart 1996², 55-74
- RITZDORF, W./BRÜGGEMANN, G. P./MESTER, J./NEIMAIER, A./THOMANN, I.: Ausgewählte Aspekte der Kraftdiagnostik im Hochleistungssport. In: CARL, K./MECHLING, H./QUADE, K./STEHLE, P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, 7/92. Sport und Buch Strauß, Köln 1992, 14-36
- ROHMERT, W.: Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Menschen. In: Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie, einschließlich Arbeitsphysiologie 18 (1960a), 123-164
- ROHMERT, W.: Zur Theorie der Erholungspausen bei dynamischer Arbeit. In: Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie, einschließlich Arbeitsphysiologie 18 (1960b), 191-212
- ROHMERT, W.: Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 38 (1984) 4, 193-200
- RÖTHIG, P./BECKER, H./CARL, K./KAYSER, D./PROHL, R.: Sportwissenschaftliches Lexikon. Hofmann, Schorndorf 1992⁶
- ROTH, K.: Die fähigkeitsorientierte Betrachtungsweise (Differentielle Motorikforschung). In: ROTH, K./WILLIMCZIK, K.: Bewegungswissenschaft. Rowohlt, Reinbek 1999, 227-287
- RÜEGG, J. C.: Muskel. In: SCHMIDT, R. F./THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Springer, Berlin 1996²⁶, 67-87
- RUTHERFORD, O. M./JONES, D. A.: The Role of Learning and Coordination in Strength Training. In: European Journal of Applied Physiology 55 (1986), 100-105
- SALE, D. G.: Neuronale Adaptation im Verlaufe eines Krafttrainings. In: KOMI, P. V. (Hrsg.) : Kraft und Schnellkraft im Sport. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1994, 249-265
- SALE, D. G./MACDOUGALL, D.: Specificity in Strength Training: A Review For The Coach and Athlete. In: Canadian Journal of Applied Sport Science 6 (1981) 1, 87-92)
- SCHLUMBERGER, A./SCHMIDTBLEICHER, D.: Zeitlich verzögerte Effekte beim Krafttraining. In: Leistungssport 28 (1998) 3, 33-38

- SCHMIDT, R. F./THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Springer, Berlin 1996²⁶
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Persönliche Mitteilung (Email vom 29.02.2000)
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Motorische Beanspruchungsform Kraft. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 38 (1987) 9, 365-377
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Diagnose des Maximal- und Schnellkraftverhaltens. In BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 56. Hofmann, Schorndorf 1985, 112-120
- SCHMIDTBLEICHER, D./FRICK, U.: Das Ermüdungsverhalten des neuromuskulären Systems im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus bei Kraftausdauerbeanspruchungen. In: CARL, K./MECHLING, H./QUADE, K./STEHLE, P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, 7/92. Sport und Buch Strauß, Köln 1992, 290-296
- SCHNABEL, G./HARRE, D./BORDE, A.: Trainingswissenschaft. Leistung, Training, Wettkampf. Sportverlag, Berlin 1994
- UNVERDORBEN, M./BRUSIS, O. A./ROST, R. (Hrsg.): Kardiologische Prävention und Rehabilitation. Lehrbuch für Ärzte in Herzgruppen. Deutscher Ärzte-Verlag, 1995
- WANG, Q.: Methodologische Probleme bei der diagnostischen Erfassung der Maximal- und Schnellkraftfähigkeit. Sport und Buch Strauß, Köln 1999
- WEINECK, J.: Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings. perimed, Erlangen 1996⁹
- WERCHOSHANSKIJ, J. W./TATJAN, W. W.: Komponenten und funktionelle Struktur der Explosivkraft des Menschen. In: Leistungssport 5 (1975) 5, 25-31
- WIESENDANGER, M.: Motorische Systeme. In: SCHMIDT, R. F./THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Springer, Berlin 1996²⁶, 91-126
- WYDRA, G.: Gesundheitsförderung durch sportliches Handeln. Hofmann, Schorndorf 1996
- WILLIMCZIK, K./DAUGS, R./OLIVIER, N.: Belastung und Beanspruchung als Einflußgrößen der Sportmotorik. In: OLIVIER, N./DAUGS, R. (Hrsg.): Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung. dvs-Protokoll 44, Clausthal-Zellerfeld 1991, 6-28

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

Sachregister

A

Absolutkraft	10
Adaptation, neuronale.....	24
Aktin.....	15
Angriffspunkt.....	5
Antrieb.....	32
Arbeitswissenschaften	35
ATP	16
ATP-ase-Aktivität	14
ATP-Mangel-Theorie.....	16
ATP-Resynthese	24
Ausdauerfähigkeit	6
automatisierte Leistung.....	19
autonom geschützten Reserven	19

B

Bankdrücken	45
Beanspruchung	29
Beinextension.....	30
Belastung	29
Belastungs-Beanspruchungs-Konzept	35
Betrag	4
Beweger	20
Bewegungsapparat.....	4
Bewegungsaufgaben	1
Bewegungsmangel.....	1
Biomechanik	5, 47
Bizepscurl	30
Bodybuilding-Methode 1	26
Bodybuilding-Methode 2	26

D

Dickenwachstum	15
----------------------	----

E

Eiskunstlauf.....	1
Elektrostimulation	10, 22
Endurance-building	33
Ermüdung, muskuläre	33
Ermüdungsgeschwindigkeit	17
Explosivkraft.....	11

F

Fähigkeit	5
Faserneubeildung.....	16
FF-Typ	17
Frequenzierungsprinzip	18
FR-Typ.....	17
Funktionsgymnastik.....	1

G

Gerätturnen.....	1
Gesundheitssport	2
Gewichtheben	1
gewöhnlichen Einsatzreserven	19
Gewöhnungsprogramm	49, 50
Glykogengehalt.....	14
Griffbreite	45
Größenprinzip	17
Grundgesamtheiten	41

H

Homogenität der Varianzen	41
Hybridfasern.....	14
Hyperplasie	15
Hypertrophie-Training	24
Hypothese, allgemeine	38

Hypothesen, statistische..... 39

I

IK-Methoden 26

IK-Trainings..... 26

Innervation 17

intermuskulären Koordination 20

intramuskuläre Koordination 20

Isoformen 14

isokinetische Methode 26

isometrischen Methode..... 26

K

Kapillaren 15

konditionelle Fähigkeit..... 5, 6

Kraft... 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 17, 46,
47

Kraftanstiegsgeschwindigkeit 17

Kraftausdauer 7

Kraftdefizit..... 11, 19, 20, 22, 23

Kraftfähigkeit..... 6

Kraftreserve..... 19

Krafttraining..... 2, 42, 45, 49

Kraftverhalten 7

Kraft-Winkel-Diagramm..... 69

Kreatinphosphat-Speicher..... 24

L

Längsaufspaltung..... 15

Latissimus-Ziehen 30

Leichtathletik 1

Leistung 12

Leistungsbereiche..... 19

Leistungssport 1

Lernen..... 37

M

Maximalgeschwindigkeit 12

Maximalkraft..... 7, 9, 12, 43, 44

Maximalkraft, dynamisch 9

Maximalkraft, exzentrisch 23

Maximalkraft, statisch 9

Maximalleistung..... 12

maximum-maximorum-Geschwindigkeit
..... 12

maximum-maximorum-Kraft 12

maximum-maximorum-Leistung 12

mechanische Kräfte 5

Messwiederholungsfaktor 41

MHC-Isoform 14

Mitochondrien 14, 15

Motivation..... 32

Motoneuron 17

Movendum 20

muscular-fatigue 34

Muskelausdauer, absolute 32

Muskelausdauer, relative 33

Muskelfasertypen..... 14

Muskelquerschnitt 13

Muskelschläuchen 16

Myoblasten 16

Myofibrillen 15

Myosinfilament 15

Myosinketten..... 14

N

Nachttest 52

NEWTONsches Axiom..... 5

Normalverteilung..... 41

O

orthopädische Risiken..... 1

P

Parameterbedingungen..... 12

physiologische Leistungsbereitschaft 19

Power-building 33

Q

quasimaximalen Kontraktionen..... 27

R

Reiz-Spannungs-Theorie..... 16

Rekrutierungsprinzip 17

Relativkraft 13, 39, 40

Richtung..... 4

S

Satellitenzellen 15

Schnelligkeit..... 6

Schnellkraft 7, 11

Schnellkraftindex 11

SI-Einheit 5

Sportgymnastik..... 1

Standardmethode 1 26

Standardmethode 2 26

Startkraft 11

Stimulation, chronisch-niederfrequente
..... 15

Stimulation, phasisch-hochfrequente 15

S-Typ 17

Synchronisierung..... 18

Synergistengruppe 10

T

Teilbeanspruchungen 35

Tetanus..... 18

Trainingsprozedur..... 51

Typ-I-Fasern 14

Typ-IIA-Fasern 14

Typ-IIB-Fasern 14

Typ-IID 14

Typ-II-Fasern..... 14

Ü

Übergangsfasern 14

Überlast..... 23

Überlastaufgaben 23

U

Unterschiedshypothesen..... 41

Unterstützungskontraktion 9

Untersuchung 39

Untersuchungsablauf 41

V

Varianzanalyse 41

Vektor 4

Vortest 51

W

Wiederholungszahl 29

Wille 32

willkürliche Aktivierungsfähigkeit... 10

Wirbelsäule 1

Wirkung 4

Anhang

<i>Anhang A: Informationsblatt</i>	<i>IX</i>
<i>Anhang B: Personenangaben und Gewöhnungsphase.....</i>	<i>X</i>
<i>Anhang C: Formular für das Trainingsprotokoll.....</i>	<i>XI</i>
<i>Anhang D: Ausgewählte Daten im Überblick</i>	<i>XII</i>
<i>Anhang E: Überblick der Rohdaten</i>	<i>XIII</i>
<i>Anhang F: Deskriptive Statistik aller Daten.....</i>	<i>XIV</i>
<i>Anhang G: Deskriptive Statistik der Hyp-Gruppe.....</i>	<i>XV</i>
<i>Anhang H: Deskriptive Statistik der IK-Gruppe</i>	<i>XVI</i>

Anhang A: Informationsblatt

Liebe Versuchsteilnehmer,

mit Ihrer Hilfe wollen wir untersuchen, ob die Reduktion des Kraftdefizits durch ein spezifisches intramuskuläres Koordinationstraining zu einer Verminderung der jeweiligen Wiederholungsmaxima auf den Intensitätsstufen 90 % und 50 % führt. Dazu ist es erforderlich, die isometrische und konzentrische Maximalkraft zu bestimmen.

Da die Maximalkraft sehr stark von der Motivation und der individuellen Einstellung der Versuchspersonen, sich maximal anzustrengen, abhängig ist, möchten wir Sie bitten, speziell bei den Maximalkrafttests all Ihre Kräfte zu mobilisieren.

Durch Zufallsauswahl wurden Sie in eine IK-Trainingsgruppe (5 mal 2 Wiederholungen mit jeweils 2 Minuten Pause) bzw. in eine Hypertrophietrainingsgruppe (5 mal 12 Wiederholungen mit jeweils 2 Minuten Pause) eingeteilt.

An jedem Untersuchungstermin wird vor der eigentlichen Test- bzw. Treatmentphase ein standardisiertes Aufwärmprogramm durchlaufen.

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

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

*Anhang C: Formular für das Trainingsprotokoll***IK-Trainingsstudie**

Satz 1: _____ kg Satz 2: _____ kg Satz 3: _____ kg Satz 4: _____ kg Satz 5: _____ kg

Satz 1: _____ kg Satz 2: _____ kg Satz 3: _____ kg Satz 4: _____ kg Satz 5: _____ kg

Satz 1: _____ kg Satz 2: _____ kg Satz 3: _____ kg Satz 4: _____ kg Satz 5: _____ kg

Satz 1: _____ kg Satz 2: _____ kg Satz 3: _____ kg Satz 4: _____ kg Satz 5: _____ kg

Satz 1: _____ kg Satz 2: _____ kg Satz 3: _____ kg Satz 4: _____ kg Satz 5: _____ kg

Satz 1: _____ kg Satz 2: _____ kg Satz 3: _____ kg Satz 4: _____ kg Satz 5: _____ kg

Satz 1: _____ kg Satz 2: _____ kg Satz 3: _____ kg Satz 4: _____ kg Satz 5: _____ kg

Satz 1: _____ kg Satz 2: _____ kg Satz 3: _____ kg Satz 4: _____ kg Satz 5: _____ kg

Satz 1: _____ kg Satz 2: _____ kg Satz 3: _____ kg Satz 4: _____ kg Satz 5: _____ kg

Satz 1: _____ kg Satz 2: _____ kg Satz 3: _____ kg Satz 4: _____ kg Satz 5: _____ kg

Anmerkungen zu den einzelnen Terminen:

Körpergewicht: _____ kg Triceps: _____ cm Brust: _____ cm

Nachtest:

25 Wdh. mit 10 %/20 % Körpergewicht: _____ kg

10 Wdh. mit submaximalem Gewicht: _____ kg

2 Wdh. mit quasi-maximal Gewicht: _____ kg

1 Repetition-Maximum: _____ kg (1-RM)

MVC-Messung: _____ kg (explosiv) Kette: _____

90 % des 1-RM: _____ Wdh.

50 % des 1-RM: _____ Wdh.

BORG-Skala: _____ Wert

Anhang D: Ausgewählte Daten im Überblick

Deskriptive Statistiken

<i>Deskriptive Statistik (alle Daten)</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>Rel. F_{kMax} VT</i>	13	7,56	2,0	4,34	10,39	6,05
<i>Rel. F_{kMax} NT</i>	13	8,56	2,11	4,91	11,54	6,64
<i>Zuwachs F_{kMax} (%)</i>	13	13,95	5,47	4,0	25,71	21,71
<i>Rel. F_{isoMax} VT</i>	13	8,68	2,60	4,51	12,30	7,79
<i>Rel. F_{isoMax} NT</i>	13	8,74	2,15	4,68	11,18	6,50
<i>Zuwachs F_{kMax} (%)</i>	13	2,71	10,17	-14,06	19,36	33,41
<i>RM bei 90% F_{kMax} VT</i>	13	3,54	1,56	1,0	6,0	5,0
<i>RM bei 50% F_{kMax} VT</i>	13	25,38	5,11	17,0	37,0	20,0
<i>RM bei 90% F_{kMax} NT</i>	13	3,54	1,45	1,0	7,0	6,0
<i>RM bei 50% F_{kMax} NT</i>	13	26,85	3,60	21,0	33,0	12,0

<i>Deskriptive Statistik (Hyp-Gruppe=Gruppe1)</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>Rel. F_{kMax} VT</i>	7	7,77	1,90	4,34	10,19	5,85
<i>Rel. F_{kMax} NT</i>	7	8,58	2,04	4,91	11,08	6,18
<i>Zuwachs F_{kMax} (%)</i>	7	10,60	3,58	4,0	13,43	9,43
<i>Rel. F_{isoMax} VT</i>	7	9,0	2,50	4,51	11,58	7,07
<i>Rel. F_{isoMax} NT</i>	7	8,75	2,10	4,68	10,99	6,32
<i>Zuwachs F_{kMax} (%)</i>	7	-1,55	7,73	-14,06	4,55	18,61
<i>RM bei 90% F_{kMax} VT</i>	7	3,86	1,57	1,0	6,0	5,0
<i>RM bei 50% F_{kMax} VT</i>	7	25,86	3,67	21,0	31,0	10,0
<i>RM bei 90% F_{kMax} NT</i>	7	2,86	1,07	1,0	4,0	3,0
<i>RM bei 50% F_{kMax} NT</i>	7	26,71	3,30	23,0	33,0	10,0

<i>Deskriptive Statistik (IK-Gruppe=Gruppe2)</i>						
	<i>n</i>	<i>Mittelw.</i>	<i>Std.Abw.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Spannw.</i>
<i>Rel. F_{kMax} VT</i>	6	7,32	2,27	4,64	10,39	5,75
<i>Rel. F_{kMax} NT</i>	6	8,54	2,38	5,53	11,54	6,01
<i>Zuwachs F_{kMax} (%)</i>	6	17,85	4,73	11,11	25,71	14,60
<i>Rel. F_{isoMax} VT</i>	6	8,31	2,90	4,96	12,30	7,34
<i>Rel. F_{isoMax} NT</i>	6	8,74	2,40	5,63	11,18	5,55
<i>Zuwachs F_{kMax} (%)</i>	6	7,68	11,02	-9,09	19,36	28,45
<i>RM bei 90% F_{kMax} VT</i>	6	3,17	1,60	2,0	6,0	4,0
<i>RM bei 50% F_{kMax} VT</i>	6	24,83	6,77	17,0	37,0	20,0
<i>RM bei 90% F_{kMax} NT</i>	6	4,33	1,51	3,0	7,0	4,0
<i>RM bei 50% F_{kMax} NT</i>	6	27,0	4,24	21,0	31,0	10,0

Anhang E: Überblick der Rohdaten

Vpn.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1	39	77	180	588,6	7,64	667,1	8,66	1,13	13,33
2	1	27	52	162	225,6	4,34	255,1	4,91	1,13	13,04
3	1	28	67	177	608,2	9,08	686,7	10,25	1,13	12,90
4	1	31	77	177	784,8	10,19	853,5	11,08	1,09	8,75
5	1	25	85	185	559,2	6,58	608,2	7,16	1,09	8,77
6	1	38	85	187	735,8	8,66	765,2	9,00	1,04	4,00
7	1	29	83	176	657,3	7,92	745,6	8,98	1,13	13,43
8	2	28	55	158	255,1	4,64	304,1	5,53	1,19	19,23
9	2	24	67	180	519,9	7,76	608,2	9,08	1,17	16,98
10	2	27	84	182	667,1	7,94	784,8	9,34	1,18	17,65
11	2	23	74	163	343,4	4,64	431,6	5,83	1,26	25,71
12	2	50	85	171	882,9	10,39	981,0	11,54	1,11	11,11
13	2	27	77	179	657,3	8,54	765,2	9,94	1,16	16,42

Vpn.	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	694,5	9,02	726,1	9,43	1,05	4,55	4	23	4	29	0	6
2	234,5	4,51	243,3	4,68	1,04	3,75	3	21	3	26	0	5
3	627,8	9,37	654,3	9,77	1,04	4,22	4	31	2	25	-2	-6
4	878,0	11,40	846,6	11,00	0,96	-3,58	4	25	3	25	-1	0
5	603,3	7,10	627,8	7,39	1,04	4,06	6	30	3	33	-3	3
6	983,9	11,56	845,6	9,95	0,86	-14,06	1	24	1	23	0	-1
7	832,1	10,03	750,5	9,04	0,90	-9,81	5	27	4	26	-1	-1
8	272,7	4,96	323,7	5,89	1,19	18,70	2	23	3	30	1	7
9	565,1	8,43	608,2	9,08	1,08	7,63	4	27	7	31	3	4
10	877,8	10,45	875,1	10,42	1,00	-0,31	2	17	4	21	2	4
11	379,6	5,13	416,9	5,63	1,10	9,83	3	23	5	25	2	2
12	1045,7	12,30	950,6	11,18	0,91	-9,09	6	37	4	31	-2	-6
13	659,2	8,56	786,8	10,22	1,19	19,36	2	22	3	24	1	2

Bezeichnungen der Spalten

Bezeichnung		Bezeichnung	
A	Gruppe (1=Hyp; 2=IK)	L	Rel. isometr. Maximalkraft (N) Vortest
B	Alter	M	Abs. isometr. Maximalkraft (N) Nachtest
C	Gewicht (kg)	N	Rel. isometr. Maximalkraft (N) Nachtest
D	Größe (cm)	O	Quotient Nachtest : Vortest (iso. Max)
E	Abs. konz. Maximalkraft (N) Vortest	P	Zuw. Vortest zu Nachtest (%)iso. Max
F	Rel. konz. Maximalkraft (N) Vortest	Q	Wiederholungsmaximum bei 90% Vortest
G	Abs. konz. Maximalkraft (N) Nachtest	R	Wiederholungsmaximum bei 50% Vortest
H	Rel. konz. Maximalkraft (N) Nachtest	S	Wiederholungsmaximum bei 90% Nachtest
I	Quotient Nachtest : Vortest (kon. Max)	T	Wiederholungsmaximum bei 50% Nachtest
J	Zuw. Vortest zu Nachtest (%)kon. Max	U	Diff. Wdh.-Max 90% (Vortest – Nachtest)
K	Abs. isometr. Maximalkraft (N) Vortest	V	Diff. Wdh.-Max 50% (Vortest – Nachtest)

Anhang F: Deskriptive Statistik aller Daten

	Gült. N	Mittelw.	Minimum	Maximum	Spannw.	Std.Abw.
B	13	30,46	23,00	50,00	27,00	7,58
C	13	74,46	52,00	85,00	33,00	11,22
D	13	175,15	158,00	187,00	29,00	9,06
E	13	575,77	225,63	882,90	657,27	197,76
F	13	7,56	4,34	10,39	6,05	2,00
G	13	650,48	255,06	981,00	725,94	210,80
H	13	8,56	4,91	11,54	6,64	2,11
I	13	1,14	1,04	1,26	,22	,05
J	13	13,95	4,00	25,71	21,71	5,47
K	13	665,71	234,50	1045,70	811,20	258,51
L	13	8,68	4,51	12,30	7,79	2,60
M	13	665,81	243,30	950,60	707,30	219,43
N	13	8,74	4,68	11,18	6,50	2,15
O	13	1,03	,86	1,19	,33	,10
P	13	2,71	-14,06	19,36	33,41	10,17
Q	13	3,54	1,00	6,00	5,00	1,56
R	13	25,38	17,00	37,00	20,00	5,11
S	13	3,54	1,00	7,00	6,00	1,45
T	13	26,85	21,00	33,00	12,00	3,60
U	13	0,00	-3,00	3,00	6,00	1,78
V	13	1,46	-6,00	7,00	13,00	4,14

Bezeichnungen der Spalten

Bezeichnung		Bezeichnung	
A	Gruppe (1=Hyp; 2=IK)	L	Rel. isometr. Maximalkraft (N) Vortest
B	Alter	M	Abs. isometr. Maximalkraft (N) Nachtest
C	Gewicht (kg)	N	Rel. isometr. Maximalkraft (N) Nachtest
D	Größe (cm)	O	Quotient Nachtest : Vortest (iso. Max)
E	Abs. konz. Maximalkraft (N) Vortest	P	Zuw. Vortest zu Nachtest (%)iso. Max
F	Rel. konz. Maximalkraft (N) Vortest	Q	Wiederholungsmaximum bei 90% Vortest
G	Abs. konz. Maximalkraft (N) Nachtest	R	Wiederholungsmaximum bei 50% Vortest
H	Rel. konz. Maximalkraft (N) Nachtest	S	Wiederholungsmaximum bei 90% Nachtest
I	Quotient Nachtest : Vortest (kon. Max)	T	Wiederholungsmaximum bei 50% Nachtest
J	Zuw. Vortest zu Nachtest (%)kon. Max	U	Diff. Wdh.-Max 90% (Vortest – Nachtest)
K	Abs. isometr. Maximalkraft (N) Vortest	V	Diff. Wdh.-Max 50% (Vortest – Nachtest)

Anhang G: Deskriptive Statistik der Hyp-Gruppe

	Gült. N	Mittelw.	Minimum	Maximum	Spannw.	Std.Abw.
B	7	31,00	25,00	39,00	14,00	5,45
C	7	75,14	52,00	85,00	33,00	12,01
D	7	177,71	162,00	187,00	25,00	8,12
E	7	594,21	225,63	784,80	559,17	181,49
F	7	7,77	4,34	10,19	5,85	1,90
G	7	654,47	255,06	853,47	598,41	192,80
H	7	8,58	4,91	11,08	6,18	2,04
I	7	1,11	1,04	1,13	,09	,04
J	7	10,60	4,00	13,43	9,43	3,58
K	7	693,44	234,50	983,90	749,40	245,19
L	7	9,00	4,51	11,58	7,07	2,50
M	7	670,60	243,30	846,60	603,30	206,46
N	7	8,75	4,68	10,99	6,32	2,10
O	7	,98	,86	1,05	,19	,08
P	7	-1,55	-14,06	4,55	18,61	7,73
Q	7	3,86	1,00	6,00	5,00	1,57
R	7	25,86	21,00	31,00	10,00	3,67
S	7	2,86	1,00	4,00	3,00	1,07
T	7	26,71	23,00	33,00	10,00	3,30
U	7	-1,00	-3,00	0,00	3,00	1,15
V	7	,86	-6,00	6,00	12,00	4,14

Bezeichnungen der Spalten

Bezeichnung		Bezeichnung	
A	Gruppe (1=Hyp; 2=IK)	L	Rel. isometr. Maximalkraft (N) Vortest
B	Alter	M	Abs. isometr. Maximalkraft (N) Nachttest
C	Gewicht (kg)	N	Rel. isometr. Maximalkraft (N) Nachttest
D	Größe (cm)	O	Quotient Nachttest : Vortest (iso. Max)
E	Abs. konz. Maximalkraft (N) Vortest	P	Zuw. Vortest zu Nachttest (%)iso. Max
F	Rel. konz. Maximalkraft (N) Vortest	Q	Wiederholungsmaximum bei 90% Vortest
G	Abs. konz. Maximalkraft (N) Nachttest	R	Wiederholungsmaximum bei 50% Vortest
H	Rel. konz. Maximalkraft (N) Nachttest	S	Wiederholungsmaximum bei 90% Nachttest
I	Quotient Nachttest : Vortest (kon. Max)	T	Wiederholungsmaximum bei 50% Nachttest
J	Zuw. Vortest zu Nachttest (%)kon. Max	U	Diff. Wdh.-Max 90% (Vortest – Nachttest)
K	Abs. isometr. Maximalkraft (N) Vortest	V	Diff. Wdh.-Max 50% (Vortest – Nachttest)

Anhang H: Deskriptive Statistik der IK-Gruppe

	Gült. N	Mittelw.	Minimum	Maximum	Spannw.	Std.Abw.
B	6	29,83	23,00	50,00	27,00	10,07
C	6	73,67	55,00	85,00	30,00	11,31
D	6	172,17	158,00	182,00	24,00	9,91
E	6	554,27	255,06	882,90	627,84	230,88
F	6	7,32	4,64	10,39	5,75	2,27
G	6	645,83	304,11	981,00	676,89	248,98
H	6	8,54	5,53	11,54	6,01	2,38
I	6	1,18	1,11	1,26	,15	,05
J	6	17,85	11,11	25,71	14,60	4,73
K	6	633,35	272,70	1045,70	773,00	293,11
L	6	8,31	4,96	12,30	7,34	2,90
M	6	660,22	323,70	950,60	626,90	253,64
N	6	8,74	5,63	11,18	5,55	2,40
O	6	1,08	,91	1,19	,28	,11
P	6	7,68	-9,09	19,36	28,45	11,02
Q	6	3,17	2,00	6,00	4,00	1,60
R	6	24,83	17,00	37,00	20,00	6,77
S	6	4,33	3,00	7,00	4,00	1,51
T	6	27,00	21,00	31,00	10,00	4,24
U	6	1,17	-2,00	3,00	5,00	1,72
V	6	2,17	-6,00	7,00	13,00	4,40

Bezeichnungen der Spalten

Bezeichnung		Bezeichnung	
A	Gruppe (1=Hyp; 2=IK)	L	Rel. isometr. Maximalkraft (N) Vortest
B	Alter	M	Abs. isometr. Maximalkraft (N) Nachttest
C	Gewicht (kg)	N	Rel. isometr. Maximalkraft (N) Nachttest
D	Größe (cm)	O	Quotient Nachttest : Vortest (iso. Max)
E	Abs. konz. Maximalkraft (N) Vortest	P	Zuw. Vortest zu Nachttest (%)iso. Max
F	Rel. konz. Maximalkraft (N) Vortest	Q	Wiederholungsmaximum bei 90% Vortest
G	Abs. konz. Maximalkraft (N) Nachttest	R	Wiederholungsmaximum bei 50% Vortest
H	Rel. konz. Maximalkraft (N) Nachttest	S	Wiederholungsmaximum bei 90% Nachttest
I	Quotient Nachttest : Vortest (kon. Max)	T	Wiederholungsmaximum bei 50% Nachttest
J	Zuw. Vortest zu Nachttest (%)kon. Max	U	Diff. Wdh.-Max 90% (Vortest – Nachttest)
K	Abs. isometr. Maximalkraft (N) Vortest	V	Diff. Wdh.-Max 50% (Vortest – Nachttest)

Danksagung

Für die Hilfe und Unterstützung bei der Erstellung der vorliegenden Diplomarbeit möchte ich mich bei Herrn Dr. Franz Marschall ganz herzlich bedanken.

Ein besonderes Dankeschön und ein großes Lob gilt den Versuchspersonen, die sich mit gewissenhaftem Einsatz und großem Engagement für die Datenaufnahme zur Verfügung gestellt haben.

Bedanken möchte ich mich weiterhin beim Hochschulsport-Beauftragten der Universität des Saarlandes, Herrn Dipl.-Sportlehrer Rolf Schlicher, sowie den Mitarbeitern des „Uni-Fit“ für die Möglichkeit, die Räumlichkeiten und die Trainingsgeräte zur Datenaufnahme zu nutzen.

Ein großer Dank gilt auch den Freunden und Bekannten, besonders Frau Eva Schwarz und Herrn Dr. Richard Eder, die mir mit konstruktiver Kritik wertvolle Hinweise zur vorliegenden Arbeit gaben. Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Sportlehrer Michael Fröhlich bedanken, der mir sowohl bei der Datenaufnahme als auch bei der Auswertung mit großem Engagement zur Seite stand.

Ich danke meiner Frau, Sabine Klein, die mir während des gesamten Studiums und besonders während den Prüfungsphasen immer besonderen Rückhalt gab und großes Verständnis entgegen brachte.

Ich möchte mich in besonderem Maße ganz herzlich bei meinen Eltern, Maria und Hans Klein, bedanken, die mir die Möglichkeit gegeben haben, dieses Studium zu absolvieren.

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die Arbeit

ZUM EINFLUSS MAXIMALER UND SUBMAXIMALER TRAININGSBELASTUNGEN AUF DIE VERÄNDERUNG DER RELATIVKRAFT UND DIE WIEDERHOLUNGSZAHL BEI SUBMAXIMALEN LASTEN

von mir selbst und ohne jede unerlaubte Hilfe angefertigt wurde, dass sie noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegen hat. Die Stellen der Arbeit, einschließlich der Tabellen und Abbildungen, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Fall kenntlich gemacht und die Herkunft nachgewiesen.

.....

Datum und Unterschrift