

Inhaltsverzeichnis:

DANKSAGUNG	4
1. VORWORT	5
2. EINLEITUNG	6
3. GLIEDERUNG DER ARBEIT	8
4. DIE MOTORISCHEN GRUNDEIGENSCHAFTEN	8
4.1. AUSDAUER	9
4.2. SCHNELLIGKEIT	12
4.3. BEWEGLICHKEIT	13
4.4. KRAFT	14
4.4.1. <i>Kraft im physikalischen Sinne</i>	14
4.4.2. <i>Kraft im biologischen Sinne</i>	17
4.4.3. <i>Muskelleistungsschwelle</i>	18
5. ANATOMISCHE UND PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN DER MUSKELARBEIT	19
5.1. MUSKELSTRUKTUR	19
5.2. AKTIVIERUNG MOTORISCHER EINHEITEN BEI WILLKÜRLICHER MUSKELKONTRAKTION	22
5.3. MUSKELFASERSPEKTRUM	23
5.4. ENERGIESTOFFWECHSEL DES SKELETTMUSKELS	24
5.4.1. <i>Energieträger für Muskelstoffwechsel</i>	25
5.5. KONTRAKTIONSFORMEN UND ARBEITSWEISEN DER MUSKULATUR	27
5.6. MUSKELARBEIT	29
6. ERSCHEINUNGSFORMEN DER KRAFT	30
6.1.1. <i>Maximalkraft</i>	31
6.1.2. <i>Kraftdefizit</i>	34
6.1.3. <i>Absolutkraft</i>	34
6.1.4. <i>Relative Kraft</i>	35
6.2. KRAFTAUSDAUER	35
6.3. SCHNELLKRAFT	36
6.3.1. <i>Explosivkraft</i>	37
6.3.2. <i>Startkraft</i>	38
6.4. ENDKRAFT	39
6.5. REAKTIVE KRAFT	39
7. EINFLUSSFAKTOREN DER MAXIMALKRAFT	39
7.1. MORPHOLOGISCH- BIOMECHANISCHE FAKTOREN DER MAXIMALKRAFT	40
7.1.1. <i>Muskelfasserquerschnitt</i>	40
7.1.2. <i>Muskelfaserverteilung</i>	42
7.2. INTRAMUSKULÄRE KOORDINATION	45
7.2.1. <i>Rekrutierung</i>	45
7.2.2. <i>Synchronisation</i>	47
7.2.3. <i>Frequenzierung</i>	48
7.3. ENERGETISCHE EINFLUSSFAKTOREN	48
7.4. MOTIVATIONALE EINFLUSSFAKTOREN	48
8. WEITERE ZU BERÜCKSICHTIGENDE FAKTOREN DER MUSKELKRAFT UND MUSKELLEISTUNG	49

8.1.	WINKELSTELLUNG DES GELENKES	49
8.2.	BEWEGUNGSGESCHWINDIGKEIT BZW. KONTRAKTIONSGESCHWINDIGKEIT/AUFLAST	50
8.3.	TEMPERATUR	51
9.	KRAFTTRAINING	51
9.1.	ALLGEMEINE ZIELE DES KRAFTTRAININGS	52
9.2.	MAXIMALKRAFTTRAINING	54
9.2.1.	<i>Ziele des Maximalkrafttrainings</i>	55
9.3.	MAXIMALKRAFTTRAINING ZUR VERGRÖßERUNG DES MUSKELQUERSCHNITTES	55
9.3.1.	<i>Maximalkrafttrainingsmethoden zur Verbesserung der Innervationsfähigkeit der Muskulatur</i>	58
9.4.	METHODEN DES SCHNELLKRAFTTRAININGS	62
10.	LEISTUNGSDIAGNOSTISCHE METHODEN FÜR BESTIMMUNG DER KRAFTFÄHIGKEITEN	64
10.1.	AUFGABEN VON TESTVERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER KRAFTFÄHIGKEITEN	64
10.2.	TESTGÜTEKRITERIEN	65
10.2.1.	<i>Objektivität</i>	66
10.2.2.	<i>Reliabilität</i>	66
10.2.3.	<i>Validität</i>	66
10.3.	TESTVERFAHREN ZUR ERMITTLUNG DER KRAFT UND BELASTUNGSINTENSITÄT	67
10.3.1.	<i>Objektive Messmethoden</i>	68
10.3.2.	<i>Semiobjektive Messmethoden</i>	69
10.3.3.	<i>Subjektive Messmethoden</i>	70
10.4.	ISOMETRISCHE TESTMETHODEN	71
10.5.	DYNAMISCHE TESTVERFAHREN ZUR ERMITTLUNG DER MAXIMALKRAFT	72
10.6.	BESTIMMUNG DER MUSKELLEISTUNGSSCHWELLE	74
10.7.	BESTIMMUNG DER KRAFTFÄHIGKEITEN MIT HILFE VON KRAFT- ZEIT- KURVEN	76
11.	HAUPTTEIL	78
11.1.	WISSENSCHAFTLICHE FRAGESTELLUNGEN UND ARBEITSHYPOTHESEN	78
11.2.	WISSENSCHAFTLICHE AUSEINANDERSETZUNG DER BEZIEHUNG ZWISCHEN KRAFT UND GESCHWINDIGKEIT	79
12.	ZUSAMMENFASSUNG	88
13.	ABSTRACT	89
	LITERATURVERZEICHNIS	90
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	94
	TABELLENVERZEICHNIS	96
	LEBENS LAUF	97
	EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG	98

Danksagung

Da ich bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit beziehungsweise bei der vorangegangenen Ausbildung helfend unterstützt wurde, möchte ich mich an dieser Stelle besonders bei jenen Personen bedanken, welche mir zur Seite gestanden haben, da mir ohne deren Unterstützung der bisherige Weg wohl nicht möglich gewesen wäre.

Zuerst möchte ich mich im Zuge meiner Danksagung bei Gott für diese Chance den Abschluss einer fundierten Ausbildung zu erreichen, bedanken. Weiters gilt mein Dank meinen liebevollen Eltern, meiner großartigen Frau, meinen wunderbaren Kindern, meiner tollen Schwester, meinem beispielhaften Cousin und allen die mir unterstützend zur Seite gestanden haben. Auch sollen alle meine Freunde, Bekannte und alle Anderen die mir wertvoll sind hier erwähnt werden.

Weiters gilt mein besonderer Dank Herrn Dr. Harald Tschan, der mir als überaus hilfsbereiter Betreuer bei der Erstellung dieser Arbeit eine große Stütze war und von dem man in Sachen Menschlichkeit viel lernen kann – Danke Harry!

1. Vorwort

Durch meine große Liebe zu Sport habe ich mich für das Studium der Sportwissenschaften entschieden. Meine sportlichen Tätigkeiten einerseits, sowie ein großes Interesse am Sportgeschehen andererseits führten dazu, dass Begriffe wie beispielsweise Kraft, Leistung und Training schon seit längerer Zeit für mich eine eminente Bedeutung haben. Diese Tatsache brachte mich dazu, das Phänomen Sport in mein Leben sowohl beruflich wie privat fest zu integrieren.

Mein Studium der Sportwissenschaft hat es mir ermöglicht, meinen Wissensstand aus den verschiedensten Bereichen der Wissenschaft wie beispielsweise der Trainingslehre, Anatomie, Physiologie, Psychologie, Biomechanik, sportspezifische Informatik und Statistik sowie natürlich auch Pädagogik und vielen andere, sowohl theoretische, als auch praktische Fächer auf ein höheres Kompetenzniveau anzuheben.

Viele Fächer aus den erwähnten Wissensbereichen brachten mir einen umfassenden Einblick in die körperliche Leistungsfähigkeit und effiziente, physiologische Möglichkeiten dieselben zu steigern.

Aus all den oben genannten Themenbereichen haben mich allerdings von Anfang an zwei Themenbereiche besonders interessiert die letztlich auch die Wahl meines Diplomarbeitsthemas beeinflusst haben – es sind dies die Bereiche Trainingslehre und Physiologie.

Die Muskelkraft stellt eine der wichtigsten konditionellen bzw. energetisch-determinierenden Fähigkeiten dar und bildet die Voraussetzung für beinahe alle sportlichen Fertigkeiten. Die Entstehung der Muskelkraft ist aber ein sehr komplexer Prozess. Um diesen Prozess tatsächlich zu verstehen wird eine umfassende Auseinandersetzung mit den biologischen Grundlagen der Muskelkraft notwendig. Um es aber zu verstehen wie die verschiedenen Arten der Muskelkraft erfasst werden können, ist ein Einblick in die Welt der Messtechnik erforderlich. Derzeit gibt es mehrere standardisierte Messmethoden für die Messung der Muskelkraft und der Muskelleistung. Für viele davon ist eine verhältnismäßig starke subjektive Komponente charakteristisch, bzw. die Ergebnisse der Messung sind in hohem Masse von der subjektiven Beurteilung des Testers abhängig.

Für objektivere Messmethoden sind spezielle Voraussetzungen notwendig. Durch aufwendige, komplizierte und teilweise sperrige Technik ist ein zurückgreifen auf solche

Systeme unter Wettkampfbedingungen leider nur in den seltensten Fällen möglich. Solche Leistungsdiagnostische Tests finden daher fast ausschließlich im Kraftlabor statt.

2. Einleitung

„Es gibt keinen größeren Ruhm für einen Mann, solange er lebt, als das, was er mit seinen Armen und Beinen vollbringt.“ (Sarkowitz 1996, S. 9)

Dieser bekannte Satz aus der Homers „Odyssee“ wurde vor etwa 2700 Jahren niedergeschrieben, hat aber heute von seiner Gültigkeit nichts verloren. Aus heutiger Sicht würde allerdings eine Erweiterung dieses Satzes auf beide Geschlechter eine notwendige Veränderung darstellen. Höher, schneller, stärker...! Verfolgt man die Medien gelangt man zu der Ansicht, dass die Helden der heutigen Zeit nicht Politiker oder Computerwissenschaftler zu sein scheinen, sondern Spitzensportler, die heute wie in der Antike im wesentlichen nichts anderes tun als Sport zu betreiben. (vgl. Sarkowitz 1996, 9)

Alle körperlichen Aktivitäten des Menschen erfordern ein Mindestmaß an Kraft. Sportliche Leistungen als besondere Art der körperlichen Tätigkeiten können nur durch bestimmte Einwirkung der motorischen Kraft erbracht werden. (vgl. Ehlenz, Grosser & Zimmermann 1983, S. 10; Grosser, Starischka & Zimmermann 2000, S.40)

Wie den obigen Aussagen zu entnehmen ist, ist die Bedeutung der Muskelkraft sowohl im Alltagsleben wie im Sport eminent hoch. Auch wenn im Berufsleben die Rolle der Muskularbeit durch den Einsatz von Maschinen in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung verloren hat, spielt Kraft und Muskularbeit auch heute noch eine nicht zu unterschätzende Rolle bei allen beruflichen Tätigkeiten unabhängig davon, ob diese Arbeit oder Muskelleistung bei Bauarbeiten, im Einzelhandel oder im Haushalt verrichtet wird. (vgl. Tomasits & Haber 2008, S. 29)

Die Phänomene „Kraft“ und „Leistung“ waren und bleiben eines der faszinierendsten Phänomene der Menschheit. In allen Lebensbereichen geht es fast immer um Steigerung der „Kraft“ und „Leistungsfähigkeit“, unabhängig davon ob sich dabei um Industrie, soziale Umwelt, materielle Umstände oder Sport handelt.

Kenntnisse über Körperkräfte des Menschen sind für viele wissenschaftliche Arbeitsbereiche von essenzieller Bedeutung. Durch Einsatz von dynamometrischen Laboruntersuchungen ist es möglich viele wichtige Einflussfaktoren der menschlichen Leistungsfähigkeit zu ermitteln und aufzuhellen. (vgl. Rühmann & Schmidtke 1992, S.13)

Erfahrungen des täglichen Lebens zeigen, dass beim Heben von schweren Gegenständen die Geschwindigkeit langsamer ist, als wenn es gilt, leichte Objekte zu heben. Intuitiv kennt somit jeder Mensch den Zusammenhang zwischen Kraft und Geschwindigkeit. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, diese Beziehung zwischen Kraft und Geschwindigkeit sowie Kraft und Leistung aus sportwissenschaftlicher (physiologischer und biomechanischer und trainingswissenschaftlicher) Sicht näher zu beleuchten. Konkret soll mittels hermeneutischer Methoden untersucht werden in welchem Verhältnis zwischen Kraft und Geschwindigkeit von körperlichen Bewegungen die höchste Muskelleistung produziert wird. Dies ist deshalb von entscheidender Bedeutung, weil gerade in Schnell- und Explosivkraftsportarten die optimale bzw. maximale Muskelleistung das Leistungsbestimmende Kriterium schlechthin darstellt. Untersuchungen der letzten Jahre machen aber auch deutlich, dass es für Tätigkeiten des täglichen Lebens beispielsweise im Seniorenalter entscheidend ist muskuläre Leistungen schnell und effizient erbringen zu können. Darüber hinaus soll untersucht werden, welche Trainingsmethoden angewendet werden müssen um dieses Kriterium der Muskelleistung zu optimieren.

In der vorliegenden Arbeit gilt es vor allem den aktuellen Informationsstand bezüglich dem Zusammenhang zwischen Muskelkraft und Bewegungsgeschwindigkeit bei komplexen (mehrgelenkigen) Bewegungen zu untersuchen und speziell die damit zusammenhängende Muskelleistung zu analysieren. Bevor auf diese komplexen Zusammenhänge eingegangen wird, soll zum besseren Verständnis zunächst das Zusammenspiel von Kraft, Geschwindigkeit und Leistung der Muskulatur mit den anderen Modellen beschrieben werden. Die sogenannten klassischen Studien gehen auf A. V. Hill und dessen Mitarbeiter zurück, welche erstmals in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts die Kraft- Geschwindigkeitsbeziehung an Froschmuskeln klar definierten und feststellten dass mit zunehmendem Widerstand welcher der Muskulatur entgegengebracht wird die Kontraktionsgeschwindigkeit in einer bestimmaren, nichtlinearen, konkaven Kurvenform abnimmt.

Die inzwischen berühmte Formel welche die Hill'sche Kurve beschreibt lautet:

$$(V + b) (F + a) = (F_0 + a)b = \text{konstant}$$

F stellt dabei die externe Kraft dar die auf den Muskel wirkt

V beschreibt die Verkürzungsgeschwindigkeit

F_0 ist die isometrische Spannung

a und b sind Konstante. (vgl. Wick 2005, S. 175)

3. Gliederung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Teile:

Im ersten Teil, liegt der Schwerpunkt in der Vorstellung theoretischer Grundlagen die für das Verständnis dieser Arbeit von essentieller Bedeutung sind. Nach einer umfangreichen Darstellung und Abgrenzung der arbeitsrelevanten Begriffe wie unter anderem Kraft, Leistung und Arbeit werden die biologischen Grundlagen der Muskelkraft näher durchleuchtet. Für die trainingswissenschaftliche Praxis wichtiger Einblick in die Trainingsmethoden zur Steigerung der Maximal- und Schnellkraftfähigkeiten einerseits, sowie die Darstellung dessen leistungsdiagnostischer Methoden bilden zwei wesentliche Teile des darauf folgenden Kapitels.

Anschließend findet im Hauptteil dieser Arbeit nochmals eine Hypothesenbildung statt. In einer ausführlichen Diskussion werden die relevanten aber allemal widersprüchlichen Theorien und Aussagen sowie Ergebnisse von neueren wissenschaftlichen Studien dargestellt und verglichen. Schlussendlich finden im letzten Kapitel die Hypothesenprüfung, sowie eine kritische Bewertung der Ergebnisse statt.

4. Die motorischen Grundeigenschaften

Das funktionelle Niveau der fünf motorischen Grundeigenschaften bestimmen in wesentlichen die Fähigkeit sich zu bewegen, anders ausgedrückt die Fähigkeit zur aktiven Ortsveränderung durch Muskelarbeit und der allgemeinen körperlichen Leistungsfähigkeit. Die Ausdauer, Kraft, Koordination, Schnelligkeit und Flexibilität bilden den Rahmen für viele spezielle motorische Eigenschaften die als komplexe Kombinationen von verschiedenen Grundeigenschaften anzusehen sind, und deren Ausprägung vom Ausmaß der speziellen Beanspruchung abhängt. Die Explosivkraft gehört zu den speziellen motorischen Eigenschaften und ist in ihrer Entwicklung durch das funktionelle

Niveau der motorischen Grundeigenschaft Kraft limitiert. Daher bildet ein umfangreiches Krafttraining die Basis für Entwicklung der Explosivkraft. (vgl. Haber 2005, S. 139)

Folgende Abbildung aus Hegner (2006, S. 20) gibt einen Überblick über motorischen Eigenschaften, sowie deren gegenseitiger Beeinflussung.

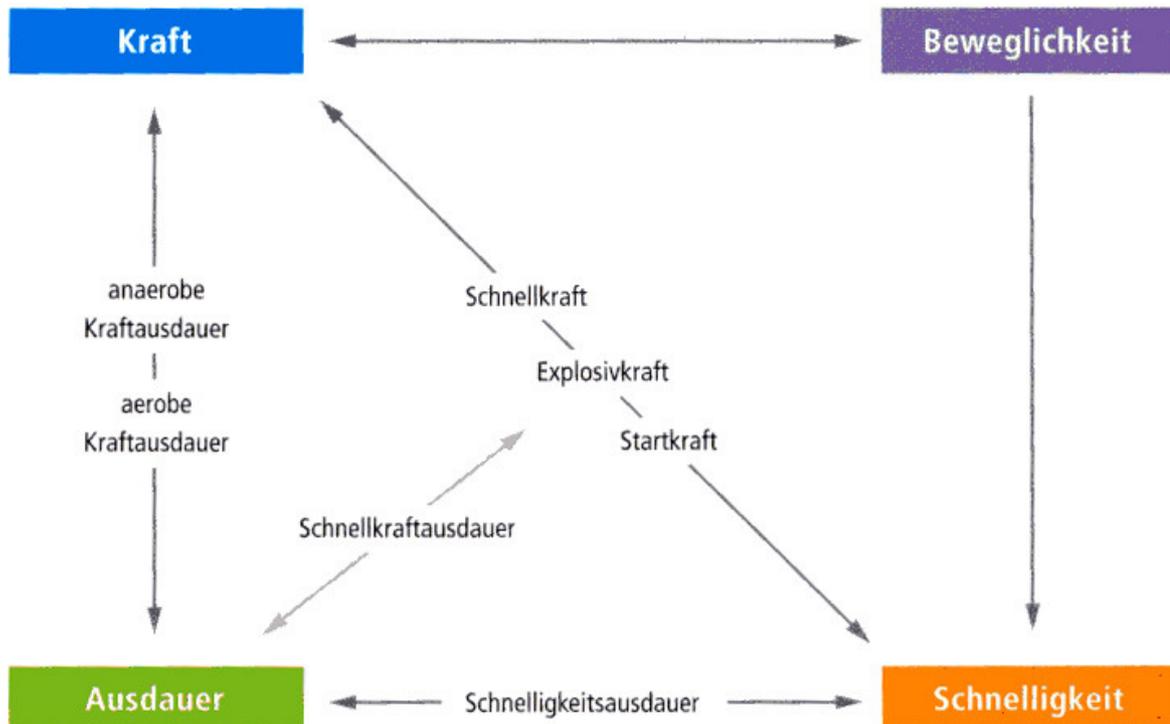


Abbildung 1: motorische Eigenschaften (Hegner 2006, S. 20)

4.1. Ausdauer

Ausdauer als motorisch- konditionelle Fähigkeit gehört genauso wie die Kraft zu den Grundvoraussetzungen für viele Sportarten. Grosser et al. (1993) definieren Ausdauer als komplexe motorisch- konditionelle Fähigkeit bzw.:

„als Fähigkeit, einer sportlichen Belastung physisch und physisch möglichst lange widerstehen zu können (d. h. eine bestimmte Leistung über einen möglichst langen Zeitraum aufrecht erhalten zu können) und/oder sich nach sportlichen (psychophysischen) Belastungen möglichst rasch zu erholen.“ Verkürzt:

„Ausdauer = Ermüdungswiderstandsfähigkeit + schnelle Erholungsfähigkeit.“ (Grosser, Starischka, Zimmermann & Zintl 1993, S. 97)

In Anlehnung an Hegner (2006) bedeutet die Ausdauer „ psycho- physische Ermüdungsresistenz bei mentaler, sensorischer, sensomotorischer, emotionaler und physischer Belastung“, wobei die Ermüdung als eine reversible und vorübergehende Herabsetzung der Leistungsfähigkeit zu verstehen ist. (Hegner 2006, S. 182)

Nach Tomasits & Haber (2008) lautet die physiologische Definition der Ausdauer wie folgt:
„ Ausdauer ist die Fähigkeit der Muskelzelle bei Belastung verbrauchtes ATP zu resynthetisieren.“ (Tomasits & Haber 2008, S. 23)

An wieder anderer Stelle wird die Ausdauer wie folgt definiert:

„...Konditionelle Fähigkeit die auf der Basis des individuellen Niveaus der Kraft- und Schnelligkeitsfähigkeiten die zuverlässige Dauerbeanspruchung des Nerv- Muskel- Systems auf einer möglichst hohen Intensitätsstufe gewährleistet und sporttechnische sowie taktische Präzisionshandlungen auf dem erarbeiteten Qualitätsniveau über die geförderte Belastungsdauer (Strecke-, Spiel- und Kampfdauer, Bewegungswiederholungen usw.) im Wettkampf und Training sichert. Sie begrenzt die ermüdungsbedingte Leistungsminderung.“ (Schnabel, Harre & Borde 1994, S. 183)

Pahlke (1999) spricht von physischer Ausdauer und definiert sie als „die Gesamtheit von Voraussetzungen und Vorgängen, die bei hohen, umfassenden körperlichen Belastungen das Gleichgewicht der biologischen Prozesse möglichst lange sichern.“ (Badtke 1999, S. 370)

Weiteres fügt er hinzu dass es eine Wechselwirkung der Ausdauer mit den Fähigkeiten Kraft und Schnelligkeit gibt. Daraus resultierend ergeben sich spezielle Ausprägungen dieser Fähigkeiten in Form von Schnellkraft, Kraftausdauer und Schnelligkeitsausdauer.

Folgende Abbildung zeigt das Beziehungssystem der konditionellen Fähigkeiten am Beispiel der Sportarten:

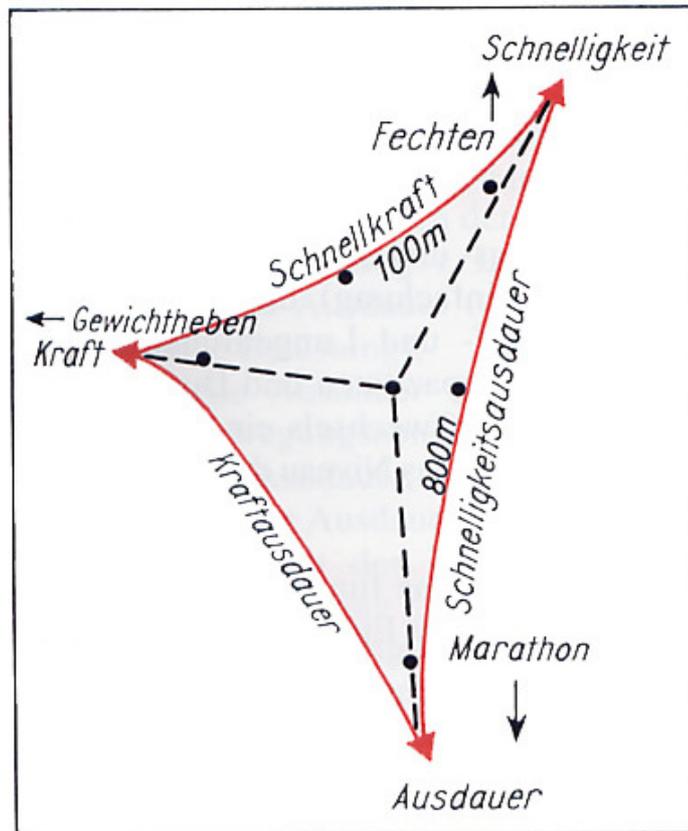


Abbildung 2: Beziehungssystem der konditionellen Fähigkeiten und Sportarten nach Gundlach & Ikai, (Badtke 1985, S. 371)

Eine Strukturierung der Ausdauer erfolgt nach unterschiedlichen Kriterien.

Allgemeinen werden dabei folgende Kriterien berücksichtigt:

1) Größe der beanspruchten Muskulatur:

- allgemeine Ausdauer
- lokale Ausdauer

2) Art der Energiebereitstellung:

- aerob
- anaerob laktazid
- anaerob alaktazid

3) Art der Muskelbeanspruchung:

- dynamisch
- statisch

Für genauere Informationen über Ausdauerfähigkeit wird auf Badtke (1999); Martin, Carl & Lehnertz (1993); Hollmann & Hettinger (2000) verwiesen, da sie nicht den Hauptinhalt der vorliegenden Diplomarbeit darstellen.

4.2. Schnelligkeit

In Anlehnung an Martin, Carl & Lehnertz (1993, S. 147) ist die Schnelligkeit nur bedingt energetisch determinierenden, bzw. konditionellen Fähigkeiten zuzuordnen. Die zentralnervösen Steuerungsprozesse bestimmen die Schnelligkeit maßgeblich. Die Schnelligkeit wird von gleichen Autoren wie folgt definiert:

„Schnelligkeit bei sportlichen Bewegungen ist die Fähigkeit, auf einen Reiz bzw. ein Signal hin schnellstmöglich zu reagieren und/oder Bewegungen bei geringen Widerständen mit höchster Geschwindigkeit durchzuführen.“ (Martin et al. 1993, S. 147)

In Anlehnung an Hofmann (2004) wird Schnelligkeit als Fähigkeit verstanden auf Grund der Prozesse des Nerv- Muskel- Systems, der Beweglichkeit und muskulären Kraftentwicklungsvermögens motorische Aktionen unter minimalen Zeitabschnitt zu absolvieren. (vgl. Pokan et al. 2004, S. 158)

Nach Nöcker (1980, S. 62) wird unter Schnelligkeit das Ergebnis der Einwirkung bestimmter Kraft auf eine bestimmte Masse verstanden.

An anderer Stelle wird die Schnelligkeit wie folgt definiert:

„Koordinativ- konditionell determinierte Leistungsvoraussetzung, um in kürzester Zeit auf Reize zu reagieren bzw. Informationen zu verarbeiten sowie Bewegungen oder motorische Handlungen unter erleichterten und/oder sportartspezifischen Bedingungen mit maximaler Bewegungsintensität ausführen zu können, wobei durch eine sehr kurze Belastungsdauer eine Leistungslimitierung durch Ermüdung ausgeschlossen wird.“ (Schnabel et al. 1994, S. 169)

Nach Fetz und Ballreich wird Schnelligkeit durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Die motorische Reaktionsschnelligkeit- hängt vom Nervensystem ab und ist kaum trainierbar.
- Die motorische Aktionsschnelligkeit- ist von der Bewegungskoordination abhängig und durchaus trainierbar.

- Die motorische Kraftschnelligkeit- ist charakteristisch für Sportarten wo eine Masse plötzlich bewegt wird und kann durch das Schnellkrafttraining verbessert werden. (vgl. Nöcker 1980, S. 62, 63)

Für ausführliche Informationen über Schnelligkeit wird unter anderem auf Martin et al. (1993) & Grosser et al. (1993) verwiesen.

4.3. Beweglichkeit

Nach Hollman & Hettinger (2000, S. 152) wird die Beweglichkeit unter dem Synonym Flexibilität als eine der motorischen Hauptbeanspruchungsformen angeführt und wie folgt definiert: „Wir definieren Flexibilität oder Gelenkigkeit als den willkürlich möglichen Bewegungsbereich in einem oder mehreren Gelenken“. Abhängig ist Beweglichkeit dabei laut den oben genannter Autoren von der Gelenkstruktur, vom Umfang der Muskelmasse, von der Dehnungsfähigkeit des Muskels, sowie von der Dehnungsfähigkeit der Sehnen, Bänder, Gelenkscapseln und der Haut (Hollman & Hettinger 2000, S. 152)

Beweglichkeit stellt eine komplexe Fähigkeit dar, die aus den Komponenten Biagsamkeit oder Gelenkigkeit (auf Gelenksstruktur bezogen), und Dehnungsfähigkeit (auf Muskeln, Sehnen, Bänder und Kapselapparate bezogen) besteht. (nach Frey 1977, 351 aus Weineck 2004, S. 316)

„Beweglichkeit ist die Fähigkeit, Bewegungen willkürlich und gezielt mit der erforderlichen bzw. optimalen Schwingungsweite der beteiligten Gelenke ausführen zu können.“ (Martin et al.1993, 214)

Martin et al. (1993) stellen auch klar, dass die Tageszeit, die Körpertemperatur sowie die Ermüdung wichtige Determinanten der Beweglichkeit darstellen.

		Nach 10 min Aufenthalt im Freien (nackt) bei 10° C	Nach 10 min Aufenthalt im warmen Wasser bei 10° C	Nach 20 min Aufwärmtraining	Nach ermüdenden Training
8 h	12 h	12 h	12 h	12 h	12 h
-14	+35	-35	+78	+89	-35 (mm)

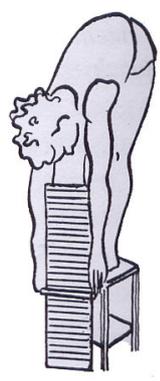


Abbildung 3: Determinanten der Beweglichkeit nach Zaciorskij (Martin et al. 1993, S. 214)

Für die weiteren Informationen zur Beweglichkeit wird hier auf Hollman & Hettinger (2000) verwiesen.

4.4. Kraft

Für die „Kraft“ als Oberbegriff, die sowohl physikalische als auch physiologische Aspekte in sich trägt, ist keine einheitliche Definition möglich. In der Physik wird die Kraft (englisch force) ziemlich klar und relativ eindeutig definiert. Ganz anders sieht es aber bei der Betrachtung der „Kraft“ (englisch strength) aus biologischer Perspektive aus. Hierbei müssen bei präziser Definition der „Kraft“ vielerlei Aspekte berücksichtigt werden, wie unter anderem die Art der Muskelarbeit, die Spannungsentwicklung oder der Energiestoffwechsel. Diese, sowie andere Parameter können nicht mit physikalischen Methoden in präzise mathematische Beziehungen gebracht werden. (Ehlenz et al. 1983, S. 11)

Der nächste Abschnitt dieser Arbeit beschäftigt sich mit einer genaueren Explikation beider Perspektiven des Kraftbegriffs.

4.4.1. Kraft im physikalischen Sinne

Neumeier (1983, S. 60) stellt folgendes fest:

„Aus physikalischer Sicht ergibt sich jede Bewegung und Haltung im Sport als ein Wirkungsgefüge von Kräften. „Innere Kräfte“, die von der Skelettmuskulatur erzeugt werden, wirken dabei „äußeren Kräften“ (z. B. Schwerkraft, Reibungswiderstände, Trägheitskräfte), aber auch „aktiven Widerständen“ von Gegnern usw. entgegen.“ (Neumeier 1983, S. 60)

In Anlehnung an Grosser, Starischka & Zimmermann (2000, S. 40) ist die „physikalische Gesetzmäßigkeit, nämlich Kraft als Produkt aus Masse und Beschleunigung ($F = m \times a$)“ als Basis für alle Betrachtungsweisen der Kraft zu verstehen.

Betrachtet man die Kraft aus rein physikalischer Perspektive, dann beschreibt die abgeleitete Größe Kraft die Wechselwirkung zwischen Körpern welche entweder verformender oder beschleunigender Natur sind. (vgl. Radlinger et al. 1998, S7)

Physikalisch betrachtet strebt eine Masse (beispielsweise ein Körper oder ein Sportgerät) nach dem Trägheitsgesetz, entweder danach einen bestehenden Ruhezustand oder eine begonnene Bewegung zu erhalten. Diesen Zustand kann durch Kräfteeinwirkung verändert werden. Dies bedeutet „dass:

- Nach dem ersten Newtonschen Gesetz eine äußere Kraft notwendig ist, um den Zustand der Ruhe oder Bewegung zu ändern; und dass
- Nach dem zweiten Newtonschen Gesetz eine Proportionalität besteht zwischen der Zustandsänderung (d.h. die auf die Zeiteinheit bezogene Änderung der Bewegungsgröße) und der einwirkenden äußeren Kraft; und dass
- Nach dem dritten Newtonschen Gesetz >actio = reactio< eine einwirkende Kraft eine gleiche und entsprechend entgegengesetzt gerichtete Kraft auslöst.“(Ehlenz et al. 1983, S. 11)

Ursprünglich lauten die Newtonsche Gesetze von 1687 wie folgt:

- „Jeder Körper beharrt in seinem Zustand des Ruhens oder des gleichförmig geradlinig Bewegteins, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.
- Die Änderung des Impulses ist proportional der eingedrückt bewegenden Kraft und sie geschieht in Richtung der Geraden, in der die Kraft eingedrückt wird.
- Die Wirkung ist stets der Gegenwirkung gleich, oder die Wirkungen zweier Körper aufeinander sind stets gleich und von entgegen gesetzter Richtung.“ (Linhard 2002, S. 42, 43)

Die Maßeinheit der Kraft ist das Kilopond (kp) oder als SI- Einheit ein Newton (N). Eine Kraft, die eine Masse von einem kg auf 1 m/s beschleunigt entspricht dabei einem Newton. (Tomasits & Haber 2008, S. 107)

4.4.1.1. Arbeit

Komi (1994, S. 11) definiert Arbeit als „Kraft multipliziert mit der Wegstrecke über der sie wirkt, ohne den Zeitfaktor zu berücksichtigen.“ Ein Joule gilt als Standardeinheit für Arbeit. $1 \text{ Joule} = 1 \text{ Meter} \times 1 \text{ Newton}$ (Komi 1994, S. 11)

Physikalisch gesehen sind Energie und Arbeit dasselbe, wobei die Einheit der Energie Kalorie bzw. Joule ist. Daher ist es möglich Energie mittels des mechanischen Wärmeäquivalents umzurechnen. Somit gilt: $1 \text{ kcal} = 4,2 \text{ J}$. (vgl. Tomasits & Haber 2008, S. 107)

4.4.1.2. Leistung

Aus Sicht der Naturwissenschaften, der Biomechanik sowie weitgehend auch der Sportmedizin bedeutet Leistung Arbeit pro Zeiteinheit und wird zumeist in Watt gemessen. (vgl. Hollmann & Hettinger 1990, S. 117)

„Leistung ist physikalisch gesehen der Quotient aus Arbeit und der für die Arbeit benötigten Zeit: $\text{Leistung} = \text{Arbeit} / \text{Zeit}$; $P = W/t$; Da Arbeit = Kraft mal Weg ist, ergibt sich: $P = F \times s / t$ und da $s/t = v$ ist, ergibt sich: $\text{Leistung} = \text{Kraft} \times \text{Geschwindigkeit}$, $P = F \times v$

($W = \text{Arbeit}$; $P = \text{Leistung}$; $F = \text{Kraft}$, $t = \text{Zeit}$; $v = \text{Geschwindigkeit}$)“

(Radlinger et al. 1998, S. 7)

Leistung ist physiologisch gesehen der Energieumsatz pro Zeiteinheit (vgl. Ehlenz et al. 1991, S. 12), wobei die Leistung „auch als die Geschwindigkeit der Umformung von biochemischer Energie in mechanische Arbeit bzw. Wärme“ definiert werden kann. (Komi 1994, S. 11)

Aus der psychologischen Perspektive betrachtet bedeutet die Leistung das klassifizierbare Bewältigen vorgegebener Testaufgaben bzw. das Erreichen spezieller kognitiver, affektiver und psychomotorischer Fähigkeiten. Anders ausgedrückt, die Menge in einer bestimmten Zeit richtig gelösten Aufgaben, oder die Menge und Güte der gegebenen Antworten. (vgl. Martin et al. 1993, S. 23)

4.4.2. Kraft im biologischen Sinne

Wie bereits angeführt sind die physikalischen Aussagen über die Kraft nicht ohne weiteres in den biologischen Bereich übertragbar. (vgl. Hollmann & Hettinger 1990, S. 176)

Eine allgemeine Definition unter dem physiologischen Gesichtspunkt lautet: „Kraft ist die Fähigkeit des Muskels Spannung zu entwickeln.“ (Haber 2000, 120).

Weineck (2004, S. 236) stellt fest dass: „...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.“ Dementsprechend unterscheidet derselbe Autor zwischen einer allgemeinen und einer speziellen Kraft, wobei die allgemeine Kraft sportartunspezifisch ist und alle Muskelgruppen betrifft. Spezielle Kraft ist dagegen eine sportartabhängige, und auf bestimmte Muskelgruppen beschränkte Kraft. (Weineck 2004, S. 236)

Nach Hartmann & Tünnemann (1988, S.10) wird die Kraft als „ die Fähigkeit, des Nerv-Muskel-Systems, durch Muskeltätigkeit äußere Kräfte und Widerstände zu überwinden, zu halten oder ihnen entgegenzuwirken“ verstanden.

Die Kraftfähigkeit ist damit als energetische Voraussetzung für viele sportliche Leistungen zu verstehen, wobei die Gültigkeit des Begriffes auf ein Bereich der Muskelleistung von mindestens 30% der maximal möglichen Kraft beanspruchter Muskulatur begrenzt ist. (vgl. Bührle 1985, S. 82)

"Kraft im Sport ist die Fähigkeit des Nerv- Muskel- Systems, durch Innervations- und Stoffwechselprozesse mit Muskelkontraktionen Widerstände zu überwinden (konzentrische Arbeit), ihnen entgegenzuwirken (exzentrische Arbeit) oder sie zu halten (statische Arbeit)." (Grosser & Starischka 1998, S. 40)

Der Begriff Muskelkraft wird von Hettinger (1983) wie folgt definiert:

„Allgemeine Bezeichnung für die Kraft eines Muskels. Meistens wird darunter die bei einer willkürlichen isometrischen maximalen Muskelanspannung aufwendbare Kraft, teilweise aber auch die bei einer willkürlich isotonischen maximalen Muskelspannung entwickelte Kraft verstanden.“ (Rühmann& Schmidtke, 1992, S. 143)

Bührle (1985) stellt fest dass die Dimensionen des Kraftverhaltens bei kraftakzentuierten Bewegungen als leistungsbestimmende Fähigkeiten anzusehen sind, wobei die einzelnen Dimensionen durch spezifische morphologische und funktionelle Anpassungen

charakterisiert sind. Diese Tatsache ermöglicht eine systematische autonome Entwicklung aller Dimensionen der Muskelkraft (vgl. Bührlé 1985, S. 83)

4.4.3. Muskelleistungsschwelle

Die maximale Muskelleistung gilt als entscheidende Leistungskomponente bei Kräfteinsätzen im Rahmen verschiedenen sportlichen Techniken, „den die Leistung ist das Maß für die Geschwindigkeit mit der eine Kraft Arbeit verrichtet.“ (Martin et al. 1993, S. 118)

Die maximale Muskelleistung wird dann erreicht wenn das Verhältnis von der Geschwindigkeit der bewegten Last und von zu bewältigender Last optimal ist. Die Muskelleistungsschwelle ist der Kulminationspunkt in der Leistungs- Last- Kurve. Als Schwellenlast, oder anders formuliert Schwellengewicht wird die Last verstanden mit der das Leistungsmaximum erreicht wird. (vgl. Martin et al. 1993, S. 119)

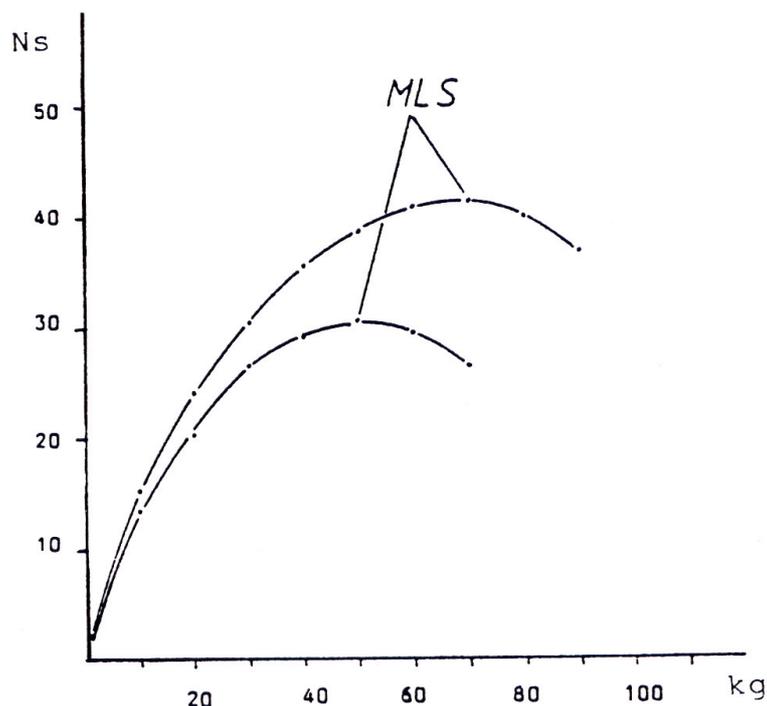


Abbildung 4: Die Muskelleistungskurve beim Bankziehen, Charakteristik der Muskelleistungskurve die über den Impuls der beschleunigten Masse ermittelt wurde. (Martin et al. 1993, S. 119)

Der Muskel produziert bei seiner Kontraktion Kraft. (vgl. Komi 1994, S. 11). Aus dieser einfachen Beziehung ist ersichtlich, dass für die Entstehung der Muskelkraft, bzw. auch für die verschiedenen Arten der Muskelkraft und Muskelarbeit, eine Umwandlung von chemischer Energie in mechanische Leistung notwendig ist. Für ein besseres Verständnis ist dazu ein Einblick in die anatomische und physiologische Grundlagen der Muskelkontraktion notwendig. Das nächste Kapitel dieser Arbeit widmet sich dieser Thematik.

5. Anatomische und physiologische Grundlagen der Muskelarbeit

Ziel der folgenden Abschnitte ist es, ein grundlegendes Verständnis des neuromuskulären Systems, sowie dessen Anpassungseigenschaften bei körperlicher Aktivität zu vermitteln.

5.1. Muskelstruktur

Ein Muskel ist aus insgesamt vier grundlegenden Gewebearten zusammengesetzt. Auf das Muskelgewebe entfallen dabei etwa 90 % des Muskels. Weiteres ist eine Gewebshülle (Faszie) aus Bindegewebe, sowie das Nerven- und Gefäßgewebe zu unterscheiden. Die Faszie umgibt wie eine Hülle jeden einzelnen Muskel aber auch jede einzelne Muskelfaser. Das Gefäßgewebe ist für die Durchblutung des Muskels verantwortlich. (vgl. Nöcker 1989, S. 25)

aktiven Muskels, genauer gesagt Relaxation oder exzentrische muskuläre Aktionen desselben Muskels können nur durch äußere Kräfte erfolgen. (vgl. Komi 1994, S. 51)

Der Kontraktionsvorgang ist nach Huxley (1945) (Rühmann & Schmidtke, 1992) durch die von ihm aufgestellte Gleitfilamenttheorie zu erklären. Diese Theorie wurde bis heute laufend erweitert bzw. in Teilaspekten revidiert.

Nach dieser Theorie werden bei einer Kontraktion des Muskels die Aktinfilamente in die Myosingruppe hineingezogen bzw. bei der Dehnung verlängert. Die Kraft für den Vorgang des Hineinziehens der Aktinfäden in die Myosinzwischenräume wird durch eine sogenannte Querbrückenbildung bei schnell ablaufendem Greif- Loslass- Zyklus erzeugt.

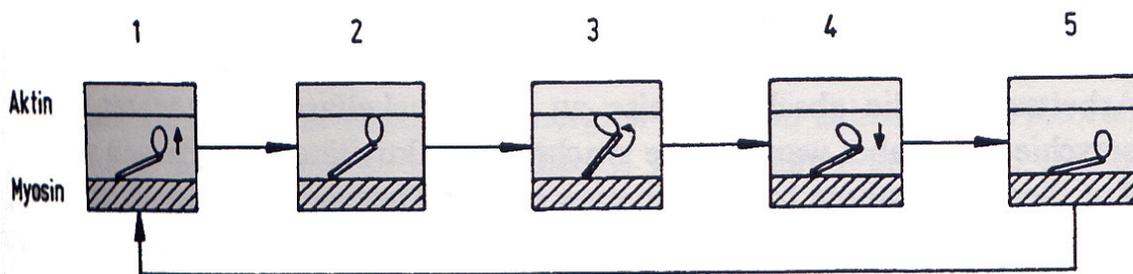


Abbildung 6: Greif- Loslass- Effekt bei der Muskelkontraktion (nach Huxley, 1945; aus Rühmann & Schmidtke 1992, S. 149)

Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass sich die Myosinköpfe mit den Aktinfilamenten verbinden (1), dadurch entstehen Querbrücken zum Aktin (2). Anschließend legen sich dann die Myosinköpfe ca. 45° Grad um (3) wodurch der dehnbare Myosinhals gespannt wird. Dies führt zu einem Ineinandergleiten der beiden Filamente bei dem sich die Muskelfaser etwa 8- 12nm verkürzt. Der Myosinkopf löst sich danach sehr schnell (nach ca. 10- 100ms) wieder vom Aktinfilament. (4) Die Sarkomere sind in der Myofibrille in Serie geschaltet. Dadurch werden diese minimalen Einzelverkürzungen addiert und es entsteht eine makroskopisch sichtbare Bewegung. Diese Theorie der Entstehung von Muskelkontraktion gilt als allgemein anerkannt. (vgl. Rühmann & Schmidtke 1992, S. 149,150)

Die motorische Einheit stellt die elementare Funktionseinheit für alle Arten der Muskelarbeit dar. Sie setzt sich aus dem Alpha Motoneuron, seinem Neurit, sowie den Muskelfasern und den motorischen Endplatten zusammen, die vom Alphamotoneuron innerviert werden. Motorische Neuronen leiten Befehle über langen Nervenendigungen (Neurit) zu den Muskeln (motorische Endplatte). (vgl. Hollmann & Hettinger 2000, S. 31)

Für eine genauere Beschreibung der motorischen Einheit wird auf Hollmann & Hettinger (2000) verwiesen.

5.2. Aktivierung motorischer Einheiten bei willkürlicher Muskelkontraktion

Die kontraktile Substanz des Muskels bildet die Basis für die Muskelkraft. Sie wird durch die Aktivität des zentralen und peripheren Nervensystems zu Kontraktion angeregt. (vgl. Grosser et al. 2000, S. 54)

Durch die Impulse des 1. Motoneurons in der motorischen Hirnrinde wird das 2. Motoneuron im Vorderhorn des Rückenmarks erregt. Das Axon des 2. Motoneurons führt über die periphere Nervenfasern zum Muskel. Nach dem das 2. Neuron aktiviert ist, läuft ein elektrischer Impuls mit einer Geschwindigkeit von 50- 60 Millisekunden zum Muskel. Dabei muss der Impuls eine Strecke passieren die von der Entfernung des Muskels zum Rückenmark abhängt. Im Muskel kommt es dann zur Teilung der peripheren Nervenfasern bzw. des Axons in seine Endverzweigungen. Motorische Endplatten einzelner Muskelfasern stehen in Verbindung mit diesen Endverzweigungen. Je nach Muskel variiert auch die Anzahl dieser Endverzweigungen. Dadurch ist gesichert, dass es bei einem Impuls des motorischen Neurons zu einer gleichzeitigen Kontraktion von vielen Muskelfasern kommt. In Handmuskeln sind dies beispielsweise etwa 100 und im Gastrocnemius ca.1000- 2000 Muskelfasern die gleichzeitig angesprochen werden. Die Entladung des motorischen Neurons führt zu einer Depolarisation der Muskelfasermembranen, was schließlich nach einer Verzögerung von 4- 5 Millisekunden zur Kontraktion dieser Muskelfasern führt. Die Dauer des Aktionspotentials beträgt ca. 8 Millisekunden und das Kontraktionsmaximum wird nach etwa 60-70 Millisekunden erreicht. (vgl. Bührle 1985, S.16, 17) Kurz gefasst sind für jede Muskelaktion als Voraussetzung neuronale Erregungsprozesse (Innervationen) notwendig. Diese entstehen im Zentralnervensystem und werden über Nervenbahnen als elektrische Signale übertragen. Diese Impulse sind als Aktionspotentiale bekannt und werden von Motoneuronen über Nervenfasern (Axone) an die Muskelfaser übertragen. (vgl. Martin et al. 1993, 116).

„Je nach der Höhe der Erregungsfrequenz (= Impulse/s) des so entstandenen Erregungsmusters sprechen weniger, oder mehr Alpha- Motoneurone (motorische Einheiten) an und senden ein Erregungsmuster an alle zugehörigen Muskelfasern. Die Abstufung der Impulsfrequenz wird als Frequenzierung bezeichnet, das Erfassen einer bestimmten Zahl von motorischen Einheiten als Rekrutierung. Beides zusammen macht die intramuskuläre Koordination aus.“ (Grosser et al. 2000, S.55)

5.3. Muskelfaserspektrum

Die gesamte quergestreifte Muskulatur unseres Körpers hat eine gemeinsame Grundstruktur. Grundsätzlich sind dabei drei Fasertypen zu unterscheiden die aufgrund der Unterschiede in ihrer Funktion Bedeutung für die diversen körperlichen Fähigkeiten (Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit) haben.

Fast- twitch Fasern sind hell und schnell reagierend. Sie kontrahieren schneller besitzen höhere Erregbarkeit, sowie ein höheres Ruhemembranpotential. Weiteres ist im Zytoplasma solcher Fasern eine bessere glykolytische Enzymausstattung vorzufinden was der anaeroben Kapazität zugute kommt. Die Myosin und ATP-ase – Aktivität sind erhöht und der Myoglobingehalt, sowie die Phospho- Creatinkonzentration vermindert. Slow- twitch Fasern sind dunkel und langsam reagierend. Aufgrund der mitochondrialen Enzyme sind sie besonders gut für aerobe Stoffwechselfvorgänge geeignet. Der Myoglobingehalt ist um das Fünffache höher als bei fast – twitch Fasern. Die Erregbarkeit und Kontraktionszeit liegt dagegen etwas niedriger als beim schnellen Fasern. Als dritte Form der Muskelfasern wird ein Intermediärtyp unterschieden, welcher in seinen Eigenschaften als Zwischenform der beiden erstgenannten Fasertypen agiert. (vgl. Nöcker 1989, S. 22)

Rüegg (1987) geht von zwei wesentlichen Unterschieden zwischen schnellen und langsamen Muskelfasern aus, erstens setzt das Myosin der schnellen Fasern schneller das ATP um als das Myosin in den langsamen Muskelfasern und zweitens ist ein stärkeres und regelmäßigeres sarkoplasmatische Retikulum für schnelle Fasern charakteristisch. Dadurch werden die Ca- Ionen um 5- bis 6-mal schneller aufgenommen was zu einer schnelleren mechanischen Rekrutierung und einer kürzeren Erschlaffungszeit der schnellen Fasern führt. Für den Sportler selbst spielt diese Unterteilung eine große Rolle weil Menschen mit dominant schneller Muskelfaserzusammensetzung eine bessere Prädisposition für Schnelligkeitsübungen aufweisen und jene Athleten die überwiegend langsamere Muskelfasern aufweisen besser für Ausdauersportarten prädestiniert sind. Ein spezifisches Training kann dabei in gewissem Ausmaß entweder zu Änderung der Fasertypen, oder zu einer Verstärkung der intermediären Formen führen. Armstrong (zit in Nöcker, 1989) bestätigte diese Annahme am Beispiel von Ausdauertraining. Durch spezifische Trainingsmaßnahmen im Bereich

der Ausdauer kam es bei diesem Experiment zu einer Vermehrung der langsamen Muskelfasern, sowie einer Vermehrung der Mitochondrien. Dies führte zu einer signifikanten Verbesserung der aeroben Ausdauerfähigkeit. (vgl. Nöcker 1989, S. 22)

Innerhalb der schnellen Muskelfasern (FT) gibt es Unterschiede hinsichtlich des Gehaltes an Mitochondrien, der oxydativen Enzymsysteme und der Ermüdbarkeit. Die erwähnten Unterschiede führen zu eine weitere Unterteilung in einen ermüdbaren, schnellen Fasertyp (FF = fast twitch fatiguable bzw. FG = fast twitch glycolytic) und einen ermüdungsresistenteren schnellen Fasertyp (FR = fast twitch fatigue resistant bzw. FOG = fast twitch oxydative glycolytic). (Küchler 1983, 44 f.)

Roter Muskel	Weißer Muskel	
tonisch	phasisch	
langsam kontrahierend slow twitch (ST) oxidativ (aerob)	schnell kontrahierend fast twitch (FT)	
ST (Faser)	oxidativ aerob FTO (Faser)	glykolytisch anaerob FTG (Faser)
Typ I	Typ II A	Typ II B

Abbildung 7: Verschiedene Benennungen der Muskelfasertypen (BADTKE et al. 1999, S. 26)

5.4. Energiestoffwechsel des Skelettmuskels

Unsere Skelettmuskulatur stellt das größte Organsystem unseres Körpers dar. Charakterisiert ist die Skelettmuskulatur durch einen ausgeprägten Stoffwechsel, der in Ruhe etwa 20% des Gesamtstoffwechsels ausmacht und während der Belastung auf über 80% des Gesamtstoffwechsels ansteigen kann. Der Stoffwechsel kann aber nur dann funktionieren, wenn ausreichend Energie dafür vorhanden ist. Die Muskelzelle der

Skelettmuskulatur gewinnt diese Energie durch den Abbau von bestimmten Energielieferanten. (vgl. Badtke 1999, S. 47)

5.4.1. Energieträger für Muskelstoffwechsel

Unter anderem findet sich auch bei Weineck (2004, S.88) dass die wichtigsten Energielieferanten für die Muskelzelle die Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße darstellen. Die Kohlenhydrate decken im Normalfall in etwa zwei Drittel des Energiebedarfs, Fette in etwa das restliche Drittel des Energiebedarfs. Eiweiße spielen dagegen bei Energiegewinnungsprozessen der Skelettmuskelzelle eine untergeordnete Rolle.

Als Basis für die Energiefreisetzung in menschlichen Körper gilt die sogenannte biologische Oxidation, bzw. die Bindung von Wasserstoff und Sauerstoff, die auch unter dem Namen Knallgasreaktion bekannt ist. (Formel= $2 \text{ H}_2 + \text{ O}_2 = 2 \text{ H}_2\text{O}$). Durch diese Reaktion wird die Energie in Portionen abgegeben, die durch den Abbau eines Energiesubstrats (Kohlenhydrate, Fette, etc.) entsteht. (vgl. Badtke 1999, S. 47)

Die entstandene Energie wird dazu benutzt um energiereiche Verbindungen aufzubauen. Für die Energiebereitstellung der Skelettmuskulatur wichtige energiereiche Verbindungen sind dabei Phosphatverbindungen, die so genannte Phosphagene:

- Adenosintriphosphat (ATP)
- Adenosindiphosphat (ADP)
- Kreatinphosphat (CP)

Bei jeder Leistung der Muskelzelle die Energie benötigt, wird ein Phosphatrest vom ATP abgespalten. (vgl. Badtke 1999, S. 48)

Die Resynthese von ATP erfolgt mit Hilfe der Energie welche durch die Abspaltung von allen Phosphatverbindungen außer ATP, sowie durch den Abbau von Kohlenhydraten, Fetten und Eiweißen entsteht. ATP selbst ist in geringer Menge in der Nähe von Sarkomeren gespeichert. Alle anderen Phosphagene, die für die Resynthese von ATP notwendig sind, vor allem das Kreatinphosphat, sind in der Muskelzelle eingelagert. Das ATP wird bei einer Muskelaktion (Kontraktion oder Erschlaffung) zur Energiefreisetzung gespalten. Anschließend kommt es zu einer Rephosphorylierung bzw. zu dem Wiederaufbau des ATP. (vgl. Badtke 1999, S. 49)

Das regelmäßige sportliche Training führt einerseits zu einem geringen Anstieg der ATP Konzentration in der Muskelzelle, und andererseits zu einer Steigerung der Aktivität der

Myosin- ATPase, (Biokatalysator, bzw. Enzym dessen Konzentration und Aktivität die Schnelligkeit der ATP Spaltung bestimmt). (vgl. Badtke 1999, S. 48, 49)

Die Energiebereitstellung aus Phosphagenen erfolgt entweder unmittelbar beim ATP Einsatz, oder mittelbar, wenn der ATP aufgebaut wird (z. B. CrP + ADP = ATP + Cr). Diese Art der Energiebereitstellung führt zu keiner Laktatbildung (Milchsäurebildung) und läuft ohne Sauerstoffverbrauch ab. Deshalb bezeichnet man sie auch als anaerob- alaktazide Energiebereitstellung. Bei maximalen Anforderungen an unsere Skelettmuskulatur werden die in der Muskelzelle gespeicherten phosphatreichen Substrate in einem Zeitraum von 3 bis 7 Sekunden aufgebraucht. Ein gewisses Potenzial an ATP in der Muskelzelle ist lebensnotwendig und sinkt auch in Ausnahmesituationen nur geringfügig. Der Spiegel des CrP kann dagegen extrem stark absinken. Eine Vergrößerung des Vorrats an CrP wird durch spezifische Schnellkraft- und Schnelligkeitstrainingsmethoden angestrebt. Trainierte Personen zeigen sowohl größere Umwandlungsgeschwindigkeit $\text{CrP} + \text{ADP} = \text{ATP} + \text{Cr}$ (erfolgt durch ein Enzym, der sogenannten Kreatinkinase), wie auch durch größere Vorräte an Cr die durch den Wechsel zwischen starker Ausschöpfung und Wiederauffüllung des CrP- Speichers entstehen. (vgl. Badtke 1999, S. 50)

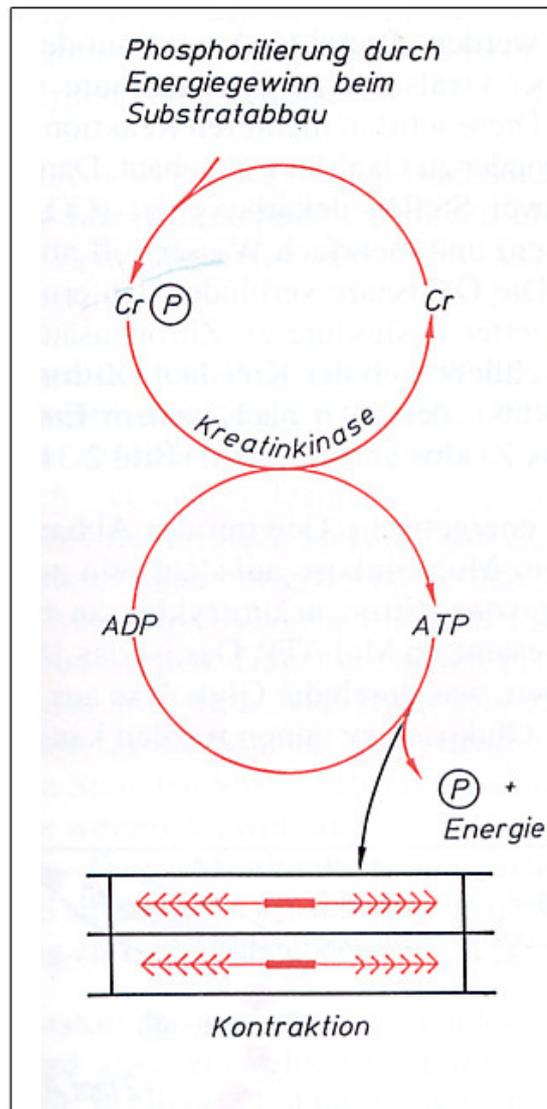


Abbildung 8: Zusammenfassende Darstellung der Energiebereitstellung aus Phosphagenen (Badtke 1999, S. 51)

Für genauere Informationen über die Arten der Energiebereitstellung wird unter anderem auf NÖCKER (1980), HOLLMANN/ HETTINGER (1990) verwiesen.

5.5. Kontraktionsformen und Arbeitsweisen der Muskulatur

Von außen sichtbare Bewegungen zwischen Ursprung und Ansatz der Muskulatur nennt man muskuläre Arbeitsweisen. Ansatz und Ursprung eines Muskels sind die Punkte an denen die einzelnen Muskeln am Knochen entspringen bzw. ansetzen. Diese Verbindung

wird über die Sehnen bewerkstelligt. Bei einer dynamisch konzentrischen Arbeitsweise bewegen sich Ansatz und Ursprung aufeinander zu, bei exzentrischer Arbeitsweise entfernen sie sich voneinander. Von einer statischer Arbeitsweise wird gesprochen wenn die Muskellänge trotz Kontraktion gleich bleibt. Die Kontraktionsformen kennzeichnen somit die Spannungs- und Längenänderungen der Muskulatur. Konzentrische und exzentrische muskuläre Aktionsformen liegen wie gesagt einer dynamischen Arbeitsweise zugrunde. Für die statische Arbeitsweise ist dagegen eine isometrische Aktionsform charakteristisch. (Grosser et al. 2000, 48)

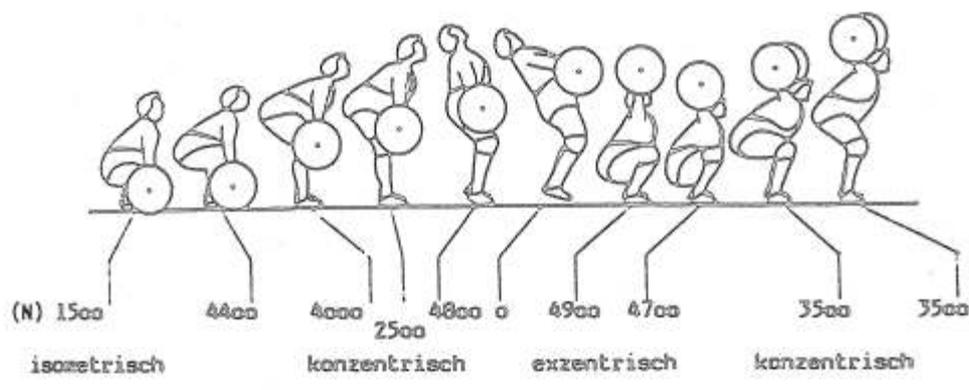


Abbildung 9: Kontraktionscharakteristik und Kraftwerte beim Reißen (nach Baumann 1989, aus Martin et al. 1993, S. 111)

Tomasits & Haber (2008, S. 40) unterscheiden 5 Kontraktionsformen bzw. muskuläre Aktionsformen:

- Isometrisch = trotz steigender Muskelspannung bleibt die Muskellänge gleich (z.B. bei unüberwindlichem Widerstand)
- Isotonisch = bei Verkürzung des kontraktiven Elementes bleibt die Muskelspannung gleich. (kommt in physiologischer Weise in dieser Form nicht vor)
- Unterstützungszuckung = eine Kombination aus isometrischen und isotonischen Kontraktionsformen, z. B. beim Gewichtheben Anfangs nimmt die Muskelspannung zu, ohne dass die Muskellänge verkürzt wird (isometrische Kontraktion), bis zum Moment bei welchem die Spannung groß genug ist um das Gewicht zu heben. Beim Heben des Gewichtes kommt es zu einer weiteren isotonischen Kontraktion und zu einer Muskelverkürzung. Eine ähnliche Kontraktionsform, nämlich die isokinetische, ist nur mit Hilfe von speziellen

Geräten zu bewerkstelligen. Charakteristisch für diese Kontraktionsweise ist eine Muskelverkürzung (oder Verlängerung) bei konstanter Winkelgeschwindigkeit unabhängig vom Krafteinsatz.

- Anschlagszuckung = typische Abfolge von isotonischer und isometrischer Kontraktion beim Boxerschlag. Am Anfang entspricht der Schlag einer isotonischen Kontraktion „bis dieser auf ein unüberwindliches Hindernis stößt“ und eine isometrische Spannungszunahme stattfindet.
- Auxotonisch = ist durch eine gleichzeitige Änderung der Muskelspannung und Muskellänge charakterisiert. Diese Form der Muskelkontraktion findet fast bei allen Körperbewegungen statt.

5.6. Muskularbeit

Für die Sportpraxis ist die Erklärung von verschiedenen Arten der Muskularbeit und Muskelspannung von essenzieller Bedeutung.

In Weineck (2004) wird von 4 Arten der Muskularbeit gesprochen:

- Die überwindende Muskularbeit = ermöglicht durch Muskelverkürzung das Überwinden von Widerständen bzw. von Fremdgewichten, überwindende Muskularbeit ermöglicht es auch, das eigene Körpergewicht zu bewegen.
- Die nachgebende Muskularbeit = ist für die Ausführung von Auftaktbewegungen bzw. für das Abfangen von Sprüngen bedeutend. Sie zeichnet sich durch die Zunahme der Muskellänge bei einer aktiven Gegenbewegung aus.
- Die verharrende Muskularbeit = entsteht bei Muskelkontraktionen ohne Muskelverkürzung und ist für die Fixierung des Körpers bzw. von Körperteilen verantwortlich.
- Die kombinierte Muskularbeit = ist eine Kombination aus der überwindender, nachgebender und verharrender Muskularbeit. (vgl. Weineck 2004, S. 244)

An anderer Stelle sind bei Hollmann & Hettinger (2000, 158) synonyme, anderslautende Begriffe der 4 Formen der Muskularbeit zu finden.

- Statische oder isometrische Beanspruchung
- Dynamisch- positive oder konzentrische Beanspruchung

- Dynamisch- negative oder exzentrische Beanspruchung
- Dehnungs- Verkürzungs- Zyklus

Die Bewegungen während sportlicher Aktivität erfordern zumeist sogenannte auxotone Kontraktion (Längen- und Spannungsänderung des Muskels) bei dynamischer Arbeitsweise der Muskulatur. (vgl. Grosser 2000, S. 48, 49)

6. Erscheinungsformen der Kraft

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es unterschiedliche Aspekte der Kraft gibt, ist es notwendig einen Überblick, sowie eine scharfe Abgrenzung zwischen den verschiedenen Kraftarten zu treffen.

Je nach Zielsetzung empfehlen verschiedene Autoren eine unterschiedliche Einteilung der Krafterscheinungsformen.

In Anlehnung an Hollmann & Hettinger (1990, S. 177) werden aus Sicht der muskulären Arbeitsweise folgende Arten der Muskelkraft unterschieden:

- Haltekraft, welche für statische oder isometrische Formen der Beanspruchung charakteristisch ist. (Muskellänge bleibt dabei gleich)
- Überwindende Kraft, die bei einer konzentrischen Beanspruchung vorkommt. (Muskellänge wird kürzer- dynamisch positiv)
- Nachgebende Kraft bzw. Bremskraft bei einer Muskelverlängerung. (exzentrische Beanspruchung- dynamisch negativ)

Bührle (1985) teilt die Kraft in komplexe Fähigkeiten wie Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer. Letzelter (1981) unterscheidet darüber hinaus zwischen Wurf-, Stoß-, Sprungkraft, usw. (vgl. Bührle 1985, S. 82)

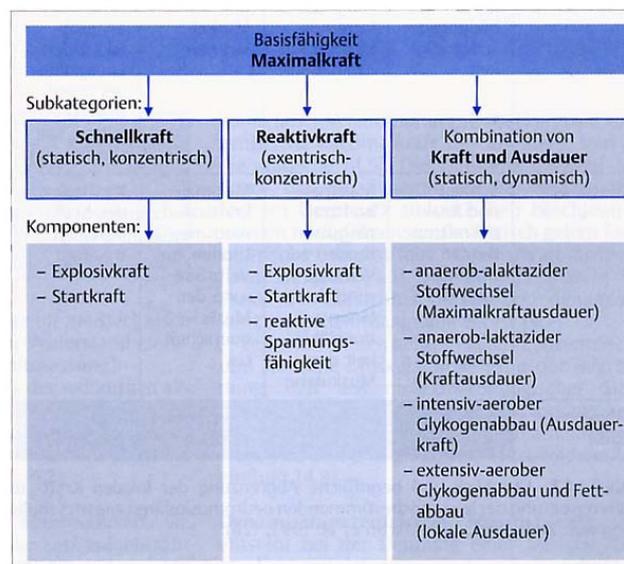
Für die Trainingslehre und Trainingspraxis sind die Ergebnisse der Muskeltätigkeiten bei sportlichen Bewegungen mit den Begriffen Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer zu beschreiben, wobei seit den Untersuchungen zur Bedeutung der Maximalkraft von Schmidtbleicher (1980) die Maximalkraft als wichtigste Kraftart und die anderen Kraftarten als ihre Subkategorien anzusehen sind. (vgl. Grosser et al. 2000, S. 41)

Letzelter & Letzelter (1986, S 65. f) unterscheiden drei Ebenen der Krafft ahigkeit:

- Die Ebene der Kraft
- Die Ebene der Krafft ahigkeiten - Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer
- sowie eine Ebene der Erscheinungsweisen, wie beispielsweise Sprint-, Sprung-, Wurfkraft als dynamische Formen, sowie Zug-, und Haltekraft als statische Form.

In diesen Zusammenhang scheint folgende Abbildung der hierarchischen Gliederung der Kraft in die verschiedenen Kraftarten und Kraftkomponenten sehr einleuchtend zu sein:

Tabelle 1: Gliederung der Kraft



Quelle: Modifiziert nach Bührle/ Schmidtbleicher 1981, (Radlinger et al. 1998, S. 21)

„Die Fähigkeit, situationsadäquat Kräfte explosiv, maximal und auch wiederholt zu entfalten gehört zu den fundamentalen Eigenschaften des menschlichen Organismus und stellt eine wichtige Voraussetzung für die Bewältigung verschiedenster motorischer Aufgaben in Beruf, Freizeit und Sport dar.“ (vgl. Banzer, Pfeifer & Vogt 2004, S. 88)

6.1.1. Maximalkraft

„Die Maximalkraft wird definiert als die Fähigkeit des Nerv- Muskel- Systems willkürlich die größtmögliche Kraft gegen einen Widerstand auszuüben. Sie tritt sowohl in

isometrischen als auch in dynamisch- konzentrischen und –exzentrischen maximalen Muskelaktionen auf.“ (vgl. Radlinger et al. 1998, S. 23)

Gegen diese Teilung sind Bührle (1985) und Schmidtbleicher (1984) mit folgenden Argumenten:

„wenn eine Person eine Gewichtslast nahe ihrer individuellen Grenzlast gerade noch heben kann, muss sie zuerst eine Gegenkraft gegen diesen Widerstand entwickeln. Dabei arbeitet die Muskulatur isometrisch; dann kann die Last nur sehr langsam angehoben werden. Das heißt für die Beschleunigung kann nur noch ein geringer Kraftbetrag verwendet werden. Dabei nähert sich die konzentrische Maximalkraft der isometrischen an.“ (Martin et al., 1993, S. 102)

Martin et al. (1993) findet die Gleichsetzung von konzentrischer und isometrischer Maximalkraft als nicht sinnvoll. Als Grund für diese Annahme wird die molekularmechanische Sicht genannt. Nach Lehnertz (1984) liegen bei Bewegungsarbeit andere energetische Bedingungen vor als bei der Haltearbeit. Während dem Halten einer Kraft kommt es zu keinem Gleitvorgang zwischen Aktin und Myosin, was sowohl die Kraftbildung, wie auch den Energieumsatzes beeinflusst (vgl. Martin et al. 1993, 103)

Die Ausbildung der Maximalkraft stellt die systematische Grundlage für sämtliche Formen der Kraftentwicklungen in jeder Sportart dar. Die Maximalkraft ist sehr gut zu entwickeln und kann durch einen passenden Trainingsprozess um mehr als das zweifache gesteigert werden. (vgl. Haber 2001, S. 122)

6.1.1.1. Isometrische Maximalkraft

Kroemer (1977) bezeichnet die isometrische Maximalkraft als „die Fähigkeit, in einer isometrischen, willentlichen Muskelspannung ein Moment oder eine Kraft zu erzeugen“ (vgl. Rühmann & Schmidtke 1992, S.143)

Grosser et al. (1993) fügen hinzu, dass die isometrische bzw. statische Maximalkraft um 5 – 20% größer als die konzentrische Maximalkraft ist. Als Grund dafür wird der Kraftbetrag der für die Beschleunigung der Gewichtslast bei der konzentrischen Maximalkraft benötigt wird angegeben. (vgl. Grosser, Starischka, Zimmermann & Zintl 1993, S. 36)

Nach Hollmann & Hettinger (1990, S. 184) wird unter statischer Maximalkraft „...diejenige Spannung, die ein Muskel oder eine Muskelgruppe in einer bestimmten Position willkürlich gegen einen fixierten Widerstand auszuüben vermag“ verstanden. Die statische Maximalkraft ist für Sportarten wie beispielsweise Ringen, Gewichtheben von großer Bedeutung und ist von Querschnitt und der Anzahl der Muskelfasern, von der Struktur und

Läge der Muskelfasern sowie von Zugwinkel, Koordination und Motivation abhängig. (vgl. Hollman & Hettinger 1990, S. 184)

Für genauere und ausführlichere Informationen über statische Maximalkraft wird an dieser Stelle unter andern auf die Übersicht bei Hollmann & Hettinger (1990) verwiesen.

6.1.1.2. Dynamisch- konzentrische Maximalkraft

In Anlehnung an Banzer et al. (2004) handelt sich bei einer konzentrischen Maximalkraft um „jene Kraft die unter dynamisch- konzentrischen Bedingungen entsteht“, bzw. um das „Gewicht, das bei einer bestimmten Bewegung gerade einmal bewegt werden kann.“ (vgl. Banzer et al. 2004, S. 90)

Wie schon bei der Erklärung der isometrischen Maximalkraft erwähnt, liegt die dynamisch- konzentrische Maximalkraft tiefer als die isometrische Maximalkraft wobei diese beiden Kräfte dimensionsanalytisch als identische Fähigkeiten angesehen werden (vgl. Banzer 2004, S. 90).

Nach Lehnertz (1984) sind diese beiden Ausprägungen der Muskelkraft jedoch von einander zu trennen. Als Begründung dafür wird der molekularbiologische Aspekt genannt, nachdem beim Halten einer Kraft kein Gleitvorgang zwischen dicken und dünnen Myofilamenten erfolgt, was den Energieumsatz entscheidend beeinflusst. (vgl. Lehnertz 1984, S. 30)

6.1.1.3. Dynamisch- exzentrische Maximalkraft

Diese Form der Maximalkraft entsteht bei der Dehnung eines Muskels. Der Muskel kann dabei maximal statisch vorkontrahiert sein. Die Werte liegen je nach Trainingszustand und beanspruchter Muskulatur bis zu 45 % höher, als die der statischen Maximalkraft. Als Erklärung für diese Differenz dient die typische Speicherung von Energie in den passiven elastischen Strukturen des tendomuskularen Systems während der exzentrischen Phase, sowie deren Freisetzung in der anschließenden konzentrischen Phase der Muskelaktion. Zusätzlich ist auch der Muskelspindelreflex für die Erhöhung des Maximalkraftoutputs mitverantwortlich. (vgl. Bührle 1985, S. 89)

Rühmann & Schmidtke (1992) definieren die exzentrische Kraft als nachgebende, dynamisch- negative Muskelkraft. Der aktiv kontrahierende Muskel wird durch außen

angreifende Kräfte gedehnt, das bedeutet, dass sich Muskelansatz und Muskelursprung voneinander entfernen es also zu einer Verlängerung des Muskels kommt. (vgl. Rühmann & Schmidtke, 1992, S. 143)

6.1.2. Kraftdefizit

Die prozentuelle Differenz zwischen exzentrischer und statischer Maximalkraft wird als Kraftdefizit bezeichnet. Das Kraftdefizit schwankt in Abhängigkeit von Art der Messung, beanspruchter Muskulatur, Trainingsniveau und Berechnungsart und kann zwischen 5 und 40% variieren. Kraftdefizite werden je nach Muskelgruppe für untrainierte Personen für die Beinmuskulatur mit Werten zwischen 10 – 25%, für Armstrecker mit 25 – 40%, für Kniestrecker mit 5–30% und für Kniebeuger oft mit unter 10% angegeben. (vgl. Grosser et al. 2000, S. 42)

In Anlehnung an Bührle (1985) kann durch ein explosiv ausgeführtes Maximalkrafttraining eine Reduzierung des Kraftdefizits auf 10% - 5% erreicht werden.

An anderer Stelle wird das Kraftdefizit als Differenz zwischen Absolutkraft und Maximalkraft definiert. Die Maximalwerte können je nach Trainingszustand zwischen 30% bei Untrainierten und 10% bei Trainierten variieren. (vgl. Weineck 2004, S. 237)

6.1.3. Absolutkraft

Die Absolutkraft stellt das höchstmögliche Kraftpotenzial dar, das ein Muskel aufgrund seines physiologischen Querschnittes und seiner Qualität zur Verfügung hat. Die Absolutkraft setzt sich aus der willkürlich zu entwickelnden statischen Maximalkraft und der willkürlich nicht erfassbaren Kraftreserve zusammen. Eine Erfassung der Absolutkraft erfolgt messtechnisch durch die Erfassung der exzentrischen Maximalkraft, oder durch Elektrostimulation. (vgl. Grosser et al.1994, S. 37)

Normalpersonen können nur in etwa 70% des absoluten Kraftpotenzials willkürlich einsetzen. Die restlichen 30% dieses Kraftpotenzials werden als autonom geschützte Reserve bezeichnet, und der willkürlich erreichbarer Kraftgrenzwert ist auch als Mobilisationsschwelle bekannt. (vgl. Bührle et al. 1985, S. 90)

Die maximale willkürliche Kraft plus die Leistungsreserve die durch die psychische Komponente freisetzbare ist bildet die Absolutkraft welche vom Körpergewicht unabhängig ist. (vgl. Weineck 2004, S. 244)

Hollmann & Hettinger (2000, S. 162) sprechen in diesem Zusammenhang von einer physiologischen Grenzkraft, welche nur durch Doping, Stress oder Hypnose freisetzbare ist.

6.1.4. Relative Kraft

Um die Kraft von verschiedenen Personen zu vergleichen wird die sogenannte Relativkraft verwendet. Sie ergibt sich aus der Formel „Relativkraft = Absolutkraft dividiert durch das Körpergewicht.“ (Tomasits & Haber 2008, S. 28)

Nach Hollmann und Hettinger (2000, S. 162) wird unter relativer Maximalkraft die bei willkürlicher statischer Muskelspannung aufwendbare Kraft verstanden welche mit der statischen Maximalkraft gleichzusetzen ist. Als Relativkraft bezeichnen die beiden Autoren das Verhältnis von Grenzkraft (am Ende eines Trainingsprozesses) zur Ausgangskraft (zu Beginn eines Trainingsprozesses) – es handelt sich dabei um einen Prozentwert.

6.2. Kraftausdauer

Nach Banzer et al. (2004, S. 88) wird die „Kraftausdauer als die Fähigkeit bezeichnet, eine möglichst große Impulssumme gegen höhere Lasten (mehr als 50 % der Maximalkraft) zu produzieren.“

Eine andere Definition von Martin et al. (1993) lautet wie folgt:

"Kraftausdauer ist die Fähigkeit bei einer bestimmten Wiederholungszahl von Kraftstößen innerhalb eines definierten Zeitraumes die Verringerung der Krafthöhen möglichst gering zu halten." (Martin et al. 1993, S. 109)

6.3. Schnellkraft

Nach Grosser et al. (1993, S. 36) ist die Schnellkraft als Kraftanstieg pro Zeiteinheit (Kraftgradient) zu verstehen.

In Abhängigkeit von der Muskularbeitsweise kann die Schnellkraft noch in eine statische und eine dynamische Schnellkraft unterteilt werden. Die statische Schnellkraft beschreibt den mittleren Anstieg bis zum statischen Maximalkraftwert, und die dynamische Schnellkraft ist als Kraft x Geschwindigkeit, bzw. Muskelarbeit die in der verfügbaren Zeit gegen einem beweglichen Widerstand wirkt zu verstehen. (vgl. Radlinger et al. 1998, S. 25)

Hollmann & Hettinger (2000, S. 182) stellen bezüglich der Charakteristik von Schnellkraft fest: „dynamische Kraft in Form von Schnellkraft ist charakterisiert durch das Bestreben, eine Masse möglichst explosiv bewegen zu können.“ Sie definieren die Schnellkraft als „dynamische Kraft pro Zeiteinheit.“ (Hollmann & Hettinger 2000, S. 182)

Martin et al. (1993, S. 106) bezeichnen die Schnellkraft als die Fähigkeit „aufgabenorientiert optimal schnell Kraft zu bilden.“

Die Schnellkraft wird nach einem Schnellkraftindex (SKI) berechnet. Für die Berechnung wichtige Parameter sind die Maximalkraft (F_{max} in N) und die Zeit, die für das Erreichen des Maximalkraftwertes notwendig ist (t_{max} in ms). $SKI = F_{max} / T_{max}$ (vgl. Bührle 1985, S. 104)

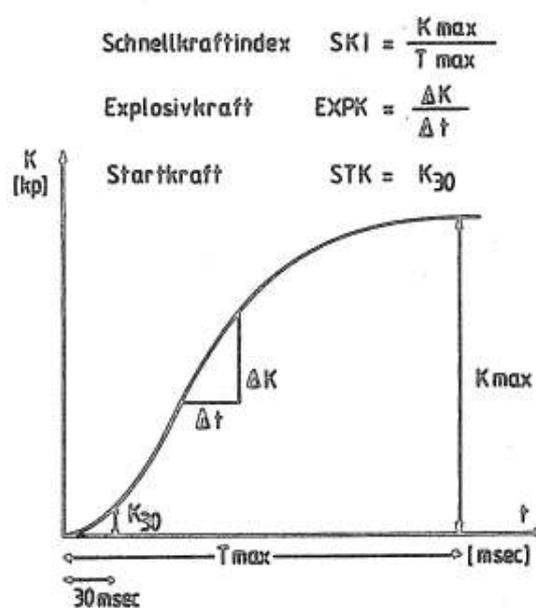


Abbildung 10: Parameter der Schnellkraft (Bührle 1985, S. 104)

Der gleiche Autor leitet aus der Schnellkraft zwei weitere Kenngrößen ab:

- die Explosivkraft
- die Startkraft

Diese beiden Komponenten der Schnellkraft sind für Schnellkraftbewegungen (z.B. Absprung beim Hoch- und Weitsprung) die in kürzester Zeit ausgeführt werden müssen von größter Bedeutung. (vgl. Radlinger et al. 1998, S. 25)

6.3.1. Explosivkraft

In Anlehnung an Hollmann & Hettinger (2000, S. 162) bedeutet die Explosivkraft „maximale Kraftentwicklung/ Zeiteinheit.“

Nach Hollmann & Hettinger (1990, S. 184) bedeutet die Explosivkraft maximale Schnellkraft.

Unter anderen definiert der Bühle (1985) die Explosivkraft als „...den steilsten Anstieg der Kraft, der auf dem Weg zum Kraftmaximum erreicht wird, bzw. als Fähigkeit möglichst viel Kraft pro Zeiteinheit zu entwickeln.“ Entsprechend leitet derselbe Autor die Quantifizierung der Explosivkraft (als eine Schnellkraftkomponente), von Kraft- Zeit Kurven bzw. aus ihren Steigungswerten ab. (vgl. Martin et al. 1993, S. 104)

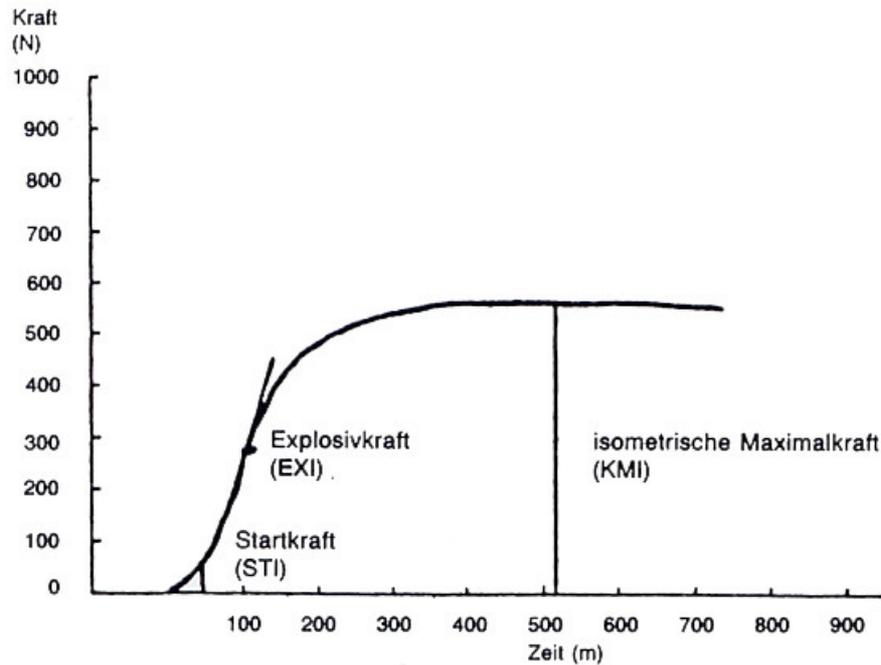


Abbildung 11: Start- und Explosivkraftabschnitte in einer isometrischen Kraft- Zeit- Kurve. (nach Gollhofer 1987, 119; aus Martin et al. 1993, 122)

Radlinger et al. (1998) definieren die Explosivkraft als maximalen Kraftanstieg innerhalb der Kraft- Zeit- Kurve, anders ausgedrückt ist die Explosivkraft der höchste Kraftanstieg während der schnellen Kraftgenerierung. (vgl. Radlinger et al. 1998, S. 25)

6.3.2. Startkraft

Die Startkraft bzw. Startkraftfähigkeit wurde als Begriff vom Verchosanskij (1971) eingeführt und wird als Fähigkeit einen hohen Kraftanstieg in der Anfangsphase der Muskelspannung produzieren zu können definiert. Bührle (1985) bezeichnet die Startkraft als eine Realisation eines hohen Kraftanstieges in den ersten 30 ms. nach dem Kontraktionsbeginn. (vgl. Bührle 1985, S. 102 ff.)

Nach Radlinger et al. (1998, S. 25) ist der Kraftwert, der 50 ms nach Kontraktionsbeginn erreicht wird, als Startkraft zu bezeichnen.

6.4. Endkraft

In Anlehnung an Hollmann & Hettinger (1990, S. 183) wird diese Kraft als Grenzkraft bezeichnet. Sie ist diejenige Kraft, die trotz der Trainingsmaßnahmen mit überschwelliger Muskelanspannung zu keiner weiteren Kraftzunahme führt.

6.5. Reaktive Kraft

Grosser & Starischka (1998, S. 44) definieren die Reaktivkraft als „die exzentrisch-konzentrische Schnellkraft bei kürzest möglicher Kopplung (< 200 ms) bei der Arbeitsphase, also in einem Dehnungs- Verkürzungszyklus. Anders ausgedrückt: „Reaktivkraft ist die Fähigkeit, einen Impuls im Dehnungs- Verkürzungszyklus zu erzeugen.“ (Grosser & Starischka 1998, S. 44)

In Anlehnung an Radlinger et al. (1998, S. 26), besteht der Dehnungs- Verkürzungs-Zyklus aus einer Dehnung bzw. exzentrische Phase, und einer Verkürzung bzw. konzentrische Phase. Solche Zyklen können in zwei Arten vorkommen, nämlich einer langsamen Art, die durch lange exzentrische Phase und niedrige Kraftentwicklung charakteristisch ist (Dauer > 250 ms), sowie einer schnellen Art (Dauer < 250 ms), charakterisiert durch höherer Kraftgenerierung und geringerem Bewegungsausmaß. (vgl. Radlinger et al. 1998, S. 27)

Hegner (2006, S. 130) führt aus, dass die Reaktivkraft unter anderem vom so genannten reaktiv-elastischen Potenzial (der Stiffness) beeinflusst wird. Stiffness wird laut Hegner, als „Fähigkeit eines Muskel- Sehnen Komplexes verstanden, die auf ihn wirkenden Zugkräfte zu absorbieren, diese Energie kurz zu speichern und anschließend wieder freisetzen zu können“. (Hegner 2006, S. 130)

7. Einflussfaktoren der Maximalkraft

Ehlenz et al. (1995) teilen die hauptsächlichsten Einflussfaktoren der Maximalkraft in vier Gruppen auf:

- Morphologisch- biomechanisch

- Nerval
- Energetisch
- Motivational (vgl. Ehlenz et al. 1995, S. 62 f)

Weineck (2004, S. 210) nennt den physiologischen Muskelquerschnitt, inter- und intramuskuläre Koordination als Determinanten der Maximalkraft. Durch Verbesserung jeder dieser drei Komponenten kann eine Steigerung der Maximalkraft erreicht werden.

7.1. Morphologisch- biomechanische Faktoren der Maximalkraft

7.1.1. Muskelfasserquerschnitt

Die Funktionstüchtigkeit eines Muskels hängt von der Anordnung seiner Fasern ab. Von einem spindelförmigen Muskel spricht man, wenn seine Fasern in Zugrichtung verlaufen. Bei einem einfach- oder doppelt gefiederten Muskel greifen die Fasern in einem starken oder weniger starken Winkel, ein- oder beidseitig an der Sehne an. Durch die Anordnung der Fasern ergibt sich für gefiederte Muskeln eine optimale Möglichkeit mehr Fasern mittels Sehne am Knochen anzusetzen. Dadurch entwickeln die gefiederten Muskeln mehr Kraft als die spindelförmigen. Bei der Abschätzung der Muskelkraft muss der Beitrag aller beteiligten Myofibrillen berücksichtigt werden. Dies geschieht durch Bestimmung des sogenannten physiologischen Querschnittes des Muskels. Bei der Bestimmung wird jede einzelne Muskelfaser senkrecht zu ihrem Verlauf gemessen und in die Berechnung des physiologischen Querschnittes miteinbezogen. (vgl. Ehlenz et al. 1983; S. 31,32)

Der physiologische Muskelquerschnitt ist entscheidend für die Ausprägung der Maximalkraft. Die gesamte Querschnittsfläche die senkrecht zu den einzelnen Faserbündeln steht wird als physiologischer Muskelquerschnitt bezeichnet. (vgl. Grosser et al. 2000, S. 49)

Tomasits & Haber (2008, S. 27) sprechen von einem funktionellem Muskelquerschnitt der durch alle Muskelfasern geht. Dieser Auffassung nach sind schwere Personen kräftiger als leichte (bei vergleichbarem Trainingszustand). Um aber die Kraft verschiedener Personen vergleichen zu können, wird die Relativkraft und nicht die Absolutkraft verwendet. (Relativkraft = Absolutkraft/ Körpergewicht; siehe Kapitel Kraft in biologischem Sinne) (vgl. Tomasits & Haber 2008, S. 28)

Ein Muskel kann pro Flächeneinheit nur eine bestimmte Kraftgröße erzeugen. Die Angaben darüber in der Literatur sind unterschiedlich und variieren zwischen 4 und 10 kg/cm², wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen Männern und Frauen bestehen. (vgl. Hollmann & Hettinger 1990, S. 185)

Der Muskelquerschnitt hängt von seinen Anteilen an folgenden Gewebsstrukturen ab:

- Myofibrillen
- Sarkoplasma
- Interstitiellem Bindegewebe
- Fett (vgl. Weineck 2004, S. 275)

Als weitere Größe im Bezug auf den Muskelquerschnitt ist der anatomische Querschnitt zu nennen. Er berücksichtigt den Muskelfaserverlauf nicht und misst nur den Querschnitt an der dicksten Stelle des Muskelumfanges. (vgl. Ehlenz et al. 1983; S. 32)

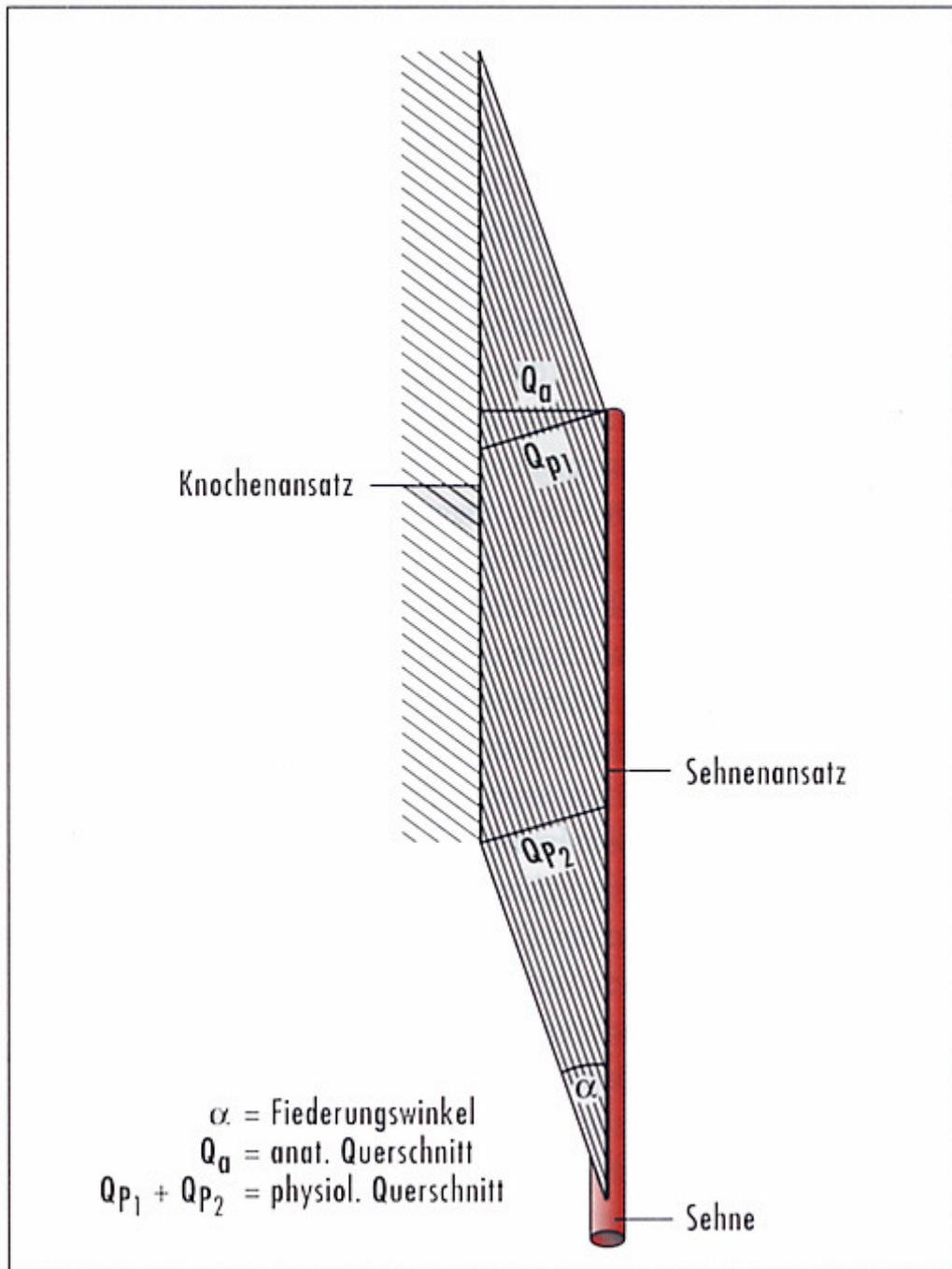


Abbildung 12: Physiologischer und Anatomischer Muskelquerschnitt (Hollmann & Hettinger 2000, S. 165)

7.1.2. Muskelfaserverteilung

Nach Badtke (1999) ist es immer noch nicht ganz klar, ob der Mensch aufgrund seines genetischen Programms mit schon vorbestimmten Anteilen an ST und FT- Fasern

geboren wird, oder ob eine Veränderungen des Faserspektrums in den ersten Lebensjahren durch Umwelteinflüsse stattfindet. Badtke, (1999) schreibt auch es sei von großer Bedeutung für die Sportwissenschaft dass sich FT- Fasern nicht in die ST- Fasern umwandeln lassen. Dies geschieht nur unter extremen Experimentalbedingungen. Die Konsequenzen dieser Tatsache betrifft das trainingsmethodische Vorgehen und kann in bestimmten Fällen für die Eignungsbeurteilung bei der Auswahl einer Sportart genutzt werden. (vgl. Badtke 1999, S. 28)

Mit Hilfe einer Dauerelektrostimulation mit Frequenz von 10 Impulsen pro Sekunde lassen sich FT Fasern innerhalb kürzeren Zeit in ST Fasern umwandeln (nach einigen Wochen). Nach dem Aussetzen von Elektroimpulsen erlangen die FT Fasern ihre ursprünglichen Eigenschaften zurück. (vgl. Bührle 1985, S. 43)

Tomasits & Haber (2008) fügen hinzu, dass eine Umwandlung von FT zu ST- Fasern durch ein gezieltes Ausdauertraining möglich ist, jedoch eine Umwandlung von ST- in FT- Fasern bis jetzt nicht nachgewiesen werden konnte.

Sachverhalt u.a. Bührle (1985)

„In der Normalverteilung der Bevölkerung (vom Kind bis Greis) sind, bei weiter individueller Streubreite, Mittelwerte der Faserverteilungen von 50 – 60% ST- Fasern und 40 – 50% FT – Fasern gefunden worden. (davon jeweils 60% FTO- und 40% FTG- Muskelfasern).“ (Badtke 1999, S. 30)

Das Erreichen von Weltspitzenleistungen hängt im Wesentlichen von dieser Muskelfaserverteilung ab. Die folgende Abbildung stellt eine schematische Darstellung der Korrelation von Sportart und Muskelfaserverteilung dar:

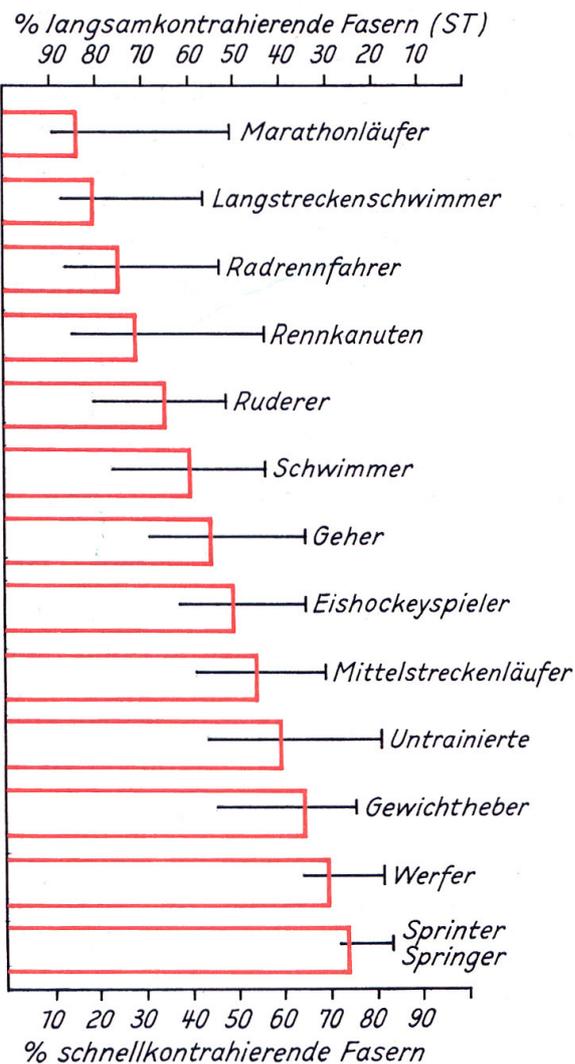


Abbildung 13: Faserverteilung und Sportart. (nach Burke et al., 1977; Costill et al., 1972; Komi et al., 1977; Thorstensson et a., 1977) aus Badtke 1999, S. 30

Bei den meisten Alltagsbewegungen werden zuerst langsame motorische Einheiten aktiviert. Die Steigerung der Belastungsintensität führt zu einer vermehrten Aktivierung schneller motorischen Einheiten. Der Unterschied zwischen trainiertem und untrainiertem Muskel ist im Prozentsatz der rekrutierten motorischen Einheiten bei einer willkürlichen Kontraktion beobachtbar. Dieser ist bei der trainierten Muskulatur höher. (vgl. Komi 1994, S. 63)

Sehr hohe Kraftanforderungen während der Ausführung von schnellen Bewegungen (z. B. beim Sprint) beanspruchen primär die FTG Fasern. Umfangreiche Ausdauerleistungen und mittlere Kräfteinsätze (Langzeitausdauerdisziplinen) laufen hingegen durch die primäre Beanspruchung von ST- Fasern ab. Bei Kräfteinsätzen im submaximalen Bereich in Verbindung mit Ausdauerbeanspruchungen (z.B. Rudern) werden ST-Fasern in

höherem Maße beansprucht, als die FTO- Fasern. Bei maximalen Kraftanforderungen (z.B. Gewichtheber) werden alle Muskelfasertypen beansprucht vorrangig aber FTG-Fasern. (vgl. Schnabel, Harre & Borde 1994, S. 165)

7.2. Intramuskuläre Koordination

In Anlehnung an Sale (1993) kann eine muskuläre Leistungssteigerung durch eine verbesserte Innervation der Arbeitsmuskulatur erreicht werden, welche wiederum durch die neuromuskuläre Prozesse der:

- Rekrutierung,
- Synchronisation und
- Frequenzierung

verbessert werden kann. (vgl. Allerheilige et al. 1993 S.9)

7.2.1. Rekrutierung

Die gebildete Kraft eines Muskels ist die Summe der Kraftwerte der einzelnen motorischen Einheiten. Die Regelung der Kontraktionskraft einzelner Einheiten läuft über die Entladungsfrequenz des Motoneurons ab. Diese beiden Mechanismen zur Regulierung der Muskelkraft werden als neuronale Rekrutierung bezeichnet. (vgl. Martin et al. 1993, S. 116)

„Neuronale Rekrutierung bedeutet die fortlaufende Einbeziehung von neuen bis dahin nicht aktiven Einheiten in den muskulären Arbeitsprozess.“ (Martin et al. 1993, S. 116)

SALE (1994) versteht unter Rekrutierung die Fähigkeit möglichst viele motorische Einheiten willkürlich zu aktivieren, wodurch der Muskel seine Kraft optimal entwickeln kann. (vgl. Komi et al. 1994, S. 249)

Hennemann et al. (1965) stellt fest, dass für die Aktivierung der motorischen Einheiten deren Rekrutierungsschwelle ausschlaggebend ist. Es besteht ein prinzipieller Zusammenhang zwischen Rekrutierungsschwelle, Fasertypus und Rekrutierungsbeitrag. Bei der Rekrutierungsreihenfolge werden immer (bei statischer, dynamischer, explosiver Kraftentfaltung) zuerst langsame Muskelfasern mit kleinen motorischen Einheiten und

einer niedrigen Erregungsschwelle erfasst. Wenn die Kraftanforderungen steigen kommt es in Folge zuerst zu einer Aktivierung von schwächeren schnellen Fasern bis schließlich auch die große motorische Einheiten mit hoher Erregungsschwelle aktiviert werden. Für die explosive Muskelarbeit ist eine fast gleichzeitige Aktivierung von allen motorischen Einheiten (Synchronisation) charakteristisch. Wird dabei gegen eine kleine Last gearbeitet so wird der Anteil an kontrahierenden ST Fasern gering und von FT Fasern groß (der Grund ist die größere Verkürzungsgeschwindigkeit der FT Fasern im Vergleich zu ST Fasern). Die langsamen Fasern werden größtenteils bei der Bewältigung von höheren und höchsten Lasten mit langsamer Bewegung beansprucht. Eine Veränderung in der Rekrutierungsreihenfolge der motorischen Einheiten ist nicht möglich. (vgl. Grosser et al. 2000, S. 55)

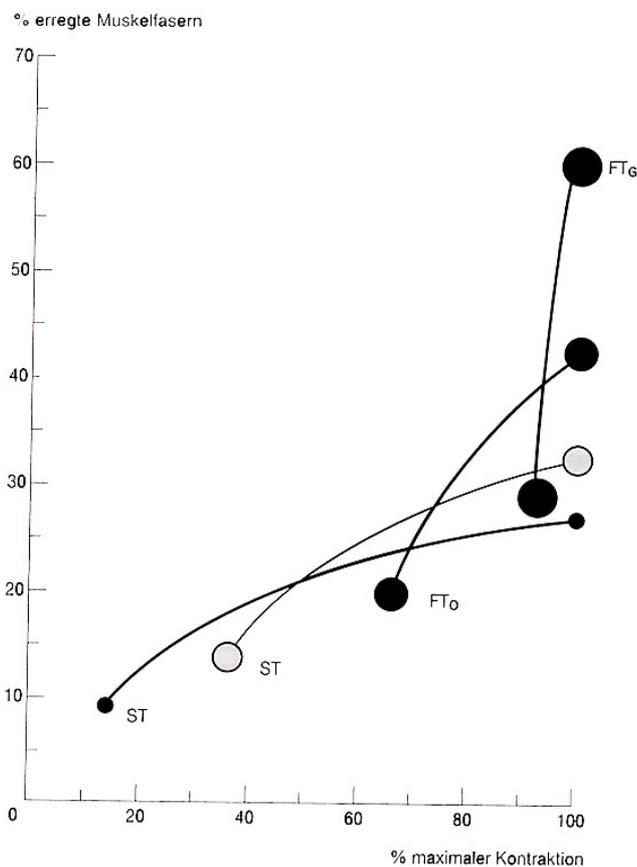


Abbildung 14: Rekrutierungsprinzip. 4 verschiedene motorische Einheiten mit unterschiedlicher Rekrutierungsschwelle. ST = Slow- Twitch- Fasern; FT₀ = oxidativ ausgestattete Fast- Twitch- Faser, FT_G = glykolytisch ausgestattete Fast- Twitch- Faser. FT- Einheiten mit großen Motorneuronen und höheren Rekrutierungsschwellen (Grosser et al. 2001, S. 56)

Allerheilige (1993, S. 9) ist im Bezug auf die Rekrutierung motorischen Einheiten ganz anderer Meinung. Er gibt an, dass die Rekrutierung motorischer Einheiten von einer Muskelfaser nach dem „Alle oder Keine“ Gesetz erfolgt. Sobald eine motorische Einheit rekrutiert wird werden nach Meinung dieses Autors auch alle anderen dazugehörigen motorischen Einheiten rekrutiert.

Westcott (1993) bezeichnet die Rekrutierung als eine von beiden ausschlaggebenden limitierenden Faktoren der Kraft. Frequenzierung gilt für ihn als zweite wichtige Größe in der Kraftgenerierung, bzw. als der Schlüssel für eine kraftvolle, lange und gleichmäßige Muskelkontraktion (S. 15) (vgl. Allerheilige et al. 1993, S. 10, 15)

Vermeil & Hayman (1993) stellen fest dass ein untrainierter Muskel im Bezug auf die Rekrutierung motorischer Einheiten eingeschränkt ist, und gar nicht im Stande ist viele motorische Einheiten bei einer Muskelkontraktion zu rekrutieren. Passende Trainingseinwirkung führt zu Verbesserung der Rekrutierung was mit einer Involvierung von mehr motorischen Einheiten bei der höheren Kraftgenerierung verbunden ist. (vgl. Allerheilige et al. 1993, S. 13)

7.2.2. Synchronisation

Tomasits & Haber (2008, 43) stellen fest das bei Erzielung maximaler Beschleunigung z. B. bei Wurf-, Stoß-, und Sprungbewegungen, eine maximal schnelle Synchronisation der motorischen Einheiten stattfinden muss. „Diese Fähigkeit zur raschen Rekrutierung sowie das Erreichen der maximalen Synchronisation in möglichst kurzer Zeit wird intramuskuläre Synchronisation genannt.“ (Tomasits & Haber 2008, S. 43)

Nach dem Rekrutierungsprinzip von Hennemann (1965) läuft die Rekrutierungsreihenfolge der motorischen Einheiten immer gleich ab. Bei niedrigen Kraftanforderungen sind nur die kleinen, langsamen Einheiten tätig. Für stärkere Kontraktionen werden zunehmend auch größere, schnellere und kräftigere Einheiten in dem Arbeitsprozess miteinbezogen. (vgl. Martin et al. 1993, S. 116)

Kuc (1993) mein, dass eine synchrone Rekrutierung von möglichst vielen motorischen Einheiten zu einem Zeitpunkt in einer stärkeren Muskelkontraktion resultiert. Dies geschieht durch die Summierung der Kraftproduktion jeder einzelnen motorischen Einheit. (vgl. Allerheilige et al. 1993, S. 14)

Neben der optimalen Rekrutierung der motorischen Einheiten hängt die Maximalkraft auch von einer Optimierung der Entladungsfrequenz der Aktionspotentiale ab.

7.2.3. Frequenzierung

Sale (1994) definiert die Frequenzierung als Fähigkeit, motorische Einheiten durch unterschiedliche Entladungsfrequenzen zu stimulieren, wobei die Entladungsfrequenz als Anzahl der neuronalen Impulse die über ein Neuron zu Muskelfasern einer motorischen Einheit gelangen, zu verstehen ist. (vgl. Komi 1994, S. 249)

Allerheilige (1993, S16) spricht von einer Frequenzbreite von 5 – 90 Impulsen/s. Bei einer leichten Bewegung werden wenige Impulse gebraucht, bei kraftvollen Bewegungen wiederum sind höhere Frequenzen nötig. Die Frequenzhöhe hängt von der statischen Muskellänge und vom Muskeltonus ab.

7.3. Energetische Einflussfaktoren

Sowohl Maximalkraft, wie auch Schnell- und Reaktivkraft sind über den Energiefluss pro Zeiteinheit determiniert. Anders ausgedrückt spielen die ATP Spaltung sowie die Phosphatspeichergröße bei solchen Krafteinsätzen eine wesentliche Rolle. Eine Vergrößerung des ATP- und KrP Speichers (40- 50%, bzw. 75%) findet nach entsprechenden Trainingsbelastungen statt. (vgl. Grosser et al. 1993, S. 54)

Nach Badtke (vgl. 1999, S. 46) sind sowohl Substratspeicherung, wie auch der Enzymbesatz die bestimmenden Faktoren des Energiedurchsatzes während der Muskelkontraktion.

7.4. Motivationale Einflussfaktoren

Radlinger et al. (1998, S. 24) sprechen von Willenstoßkraft und von einer Ausschaltung hemmender Faktoren. Die Willenstoßkraft bedeutet einen Willenseinsatz für kurzzeitige maximale Anstrengungen und mit hemmenden Faktoren sind hemmende Reflexe aus unangenehmen Gefühlen gemeint. (vgl. Grosser et al. 1993, S. 57) Auf diese Faktoren wird nicht näher eingegangen.

8. Weitere zu berücksichtigende Faktoren der Muskelkraft und Muskelleistung

8.1. Winkelstellung des Gelenkes

Die Entwicklung von Muskelkraft hängt in gewisser Weise auch von den Längen der Last- und Krafthebel ab. Dadurch, dass es bei sportlichen Bewegungen um Gelenksstellungen und Gelenksbewegungen geht, ist die gewonnene Größe das Drehmoment (Muskelkraft mal Hebelarm). Die Kraftmomente hängen dabei vom Gelenkbereich ab, wobei es für jedes Gelenk einen optimalen Winkelbereich gibt, in welchem das größte Kraftmoment generiert werden kann. (vgl. Grosser et al. 1993, S. 45)

Das maximale Drehmoment in gesamten Bewegungsbereich wird englisch maximum peak torque bezeichnet und die Maßeinheit dafür ist ein Newtonmeter (Nm). (vgl. Banzer et al. 2004, S. 109) Es gilt: $M = F \times r$ wobei F (Kraft), r (Hebelarm) und M (das Drehmoment) ist. (vgl. Banzer et al. 2004, S. 109)

Hay (1994) stellt fest, dass die Maximalkraft eines Muskels eine Funktion seiner Länge bzw. seiner Kraft/ Längenrelation ist. (Komi 1994)

Die angesprochene Abhängigkeit der entwickelten Kraftmomente vom Gelenkwinkel ist aus folgender Abbildung ersichtlich.

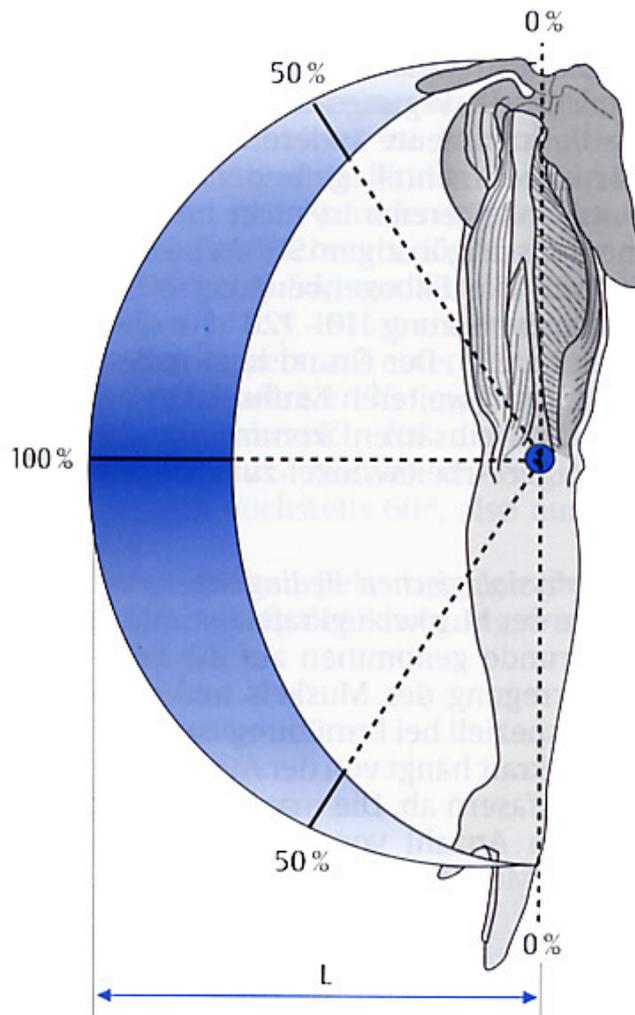


Abbildung 15: Abhängigkeit der Muskelkraft vom Gelenkwinkel während einer Armbeugung (Radlinger et al. 1998, S.15)

8.2. Bewegungsgeschwindigkeit bzw. Kontraktionsgeschwindigkeit/Auflast

Die Kraftentwicklung bei dynamischen Bewegungen hängt von der Verkürzungsgeschwindigkeit ab. Aus der Hillschen Kurve ist ersichtlich dass die Kontraktionsgeschwindigkeit von der Größe der Kraft abhängt, die für Beförderung der Last notwendig ist.

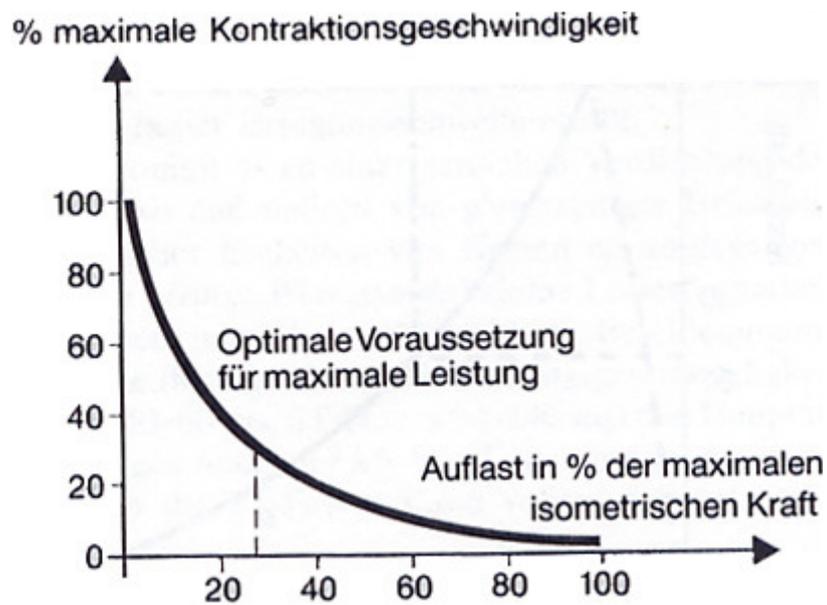


Abbildung 16: Geschwindigkeit/ Last Beziehung (Grosser et al. 1993, S. 47)

Badtke (1999, S. 44) stellt fest, dass die größte Kraft pro Zeiteinheit, also die größte Leistung, bei etwa einem Drittel der höchstmöglichen Bewegungsgeschwindigkeit (mit Auflast) erreicht wird.

8.3. Temperatur

In Anlehnung an Badtke (1999, S. 45, 46) brauchen die Eiweiße der kontraktiven Elementen Actin und Myosin eine Arbeitstemperatur die höher liegt als jene der Ruhetemperatur um geschmeidiger zu kontrahieren wodurch ein größerer Umsatz an Energie pro Zeiteinheit erreicht werden kann.

9. Krafttraining

Grundsätzlich unterscheiden wir je nach der Arbeitsweise der beanspruchter Muskulatur 5 Typen von Muskelkrafttraining: ein statisches-, ein konzentrisches- bzw. ein dynamisch positives, ein exzentrisches- bzw. dynamisch negatives, ein isokinetisches sowie ein Krafttraining im Dehnungs- Verkürzungs- Zyklus. (vgl. Hollmann & Hettinger 2000, S. 201)

Unter der isokinetischen Variante wird ein Training verstanden, bei welchem die Bewegungsgeschwindigkeit über die ganze Bewegungsamplitude (englisch range of motion (ROM) apparativ konstant gehalten wird. (vgl. Grosser et al. 1993, S. 62)

Allgemein sollten alle fünf Formen des Trainings zur Vergrößerung der Muskelkraft kombiniert werden, wobei sich das individuelle Trainingsprogramm nach dem Trainingszustand, der Sportart und der Konstitution des Athleten richten soll. (vgl. Hollman & Hettinger 2000, S. 218)

9.1. Allgemeine Ziele des Krafttrainings

Allgemeine Trainingsziele sowie alle schon erwähnten Kraftformen werden durch bestimmte Trainingsmethoden ausgebildet. Je nach übergeordneten Zielsetzungen unterscheidet man:

- Eine komplexe Kraftentwicklung (ein sogenanntes Basistraining) welches angewandt wird um damit Ziele im Gesundheits- und Fitnessbereich, in der Prävention und Rehabilitation, im Kinder- und Jugendbereich im Anfänger und Fortgeschrittenentraining zu realisieren.
- Eine differenzierte Kraftentwicklung bestimmter Krafterrscheinungsformen wie z.B. der Maximalkraft sowohl sportartspezifisch als auch sportartunspezifisch.
- Ein spezielles Krafttraining mit Ausrichtung auf den Hochleistungssport. (vgl. Grosser et al. 2000, 62)

Im Gegensatz dazu nennen Ehlenz et al. (1983, S. 7,8) folgende zu realisierende allgemeine Ziele des Krafttrainings:

- Krafttraining als sportartspezifische Trainingsmaßnahme in Bereichen Leistung- und Hochleistungssport wobei spezielle Zielstellungen zu befolgen sind wie beispielsweise eine Steigerung der Kraft ohne Gewichtszunahme charakteristisch für Sportarten mit Gewichtsklassen oder aber mit Körpergewichtszunahme bei sportlichen Disziplinen bei welchen die Körpermaße keine Nachteile mit sich bringt.
- Krafttraining als Basistraining um typischen muskulären Schwächen in Bereichen Schul-, Breiten-, Leistungs- und Hochleistungssport entgegenzuwirken.

- Krafttraining als Fitnesstraining mit speziellen Zielstellungen wie Fettabbau oder Körpergewichtszunahme.
- Krafttraining zu Rehabilitations- bzw. Regenerationszwecken.

In Anlehnung an Martin et al. (1993, S.125, 126) gibt es dagegen lediglich zwei Ziele die mit einem allgemeinen Krafttraining zu verfolgen sind:

- Die Verbesserung der Innervationsfähigkeit der Muskulatur, die von einer Verbesserung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit der Muskulatur, und von der Kraftbildungsgeschwindigkeit abhängt, sowie
- Die Erweiterung des Energiepotentials der Muskulatur die vor allem durch eine Verbesserung der Kraftausdauer, und durch eine Vergrößerung des Muskelquerschnittes zustande kommen kann.

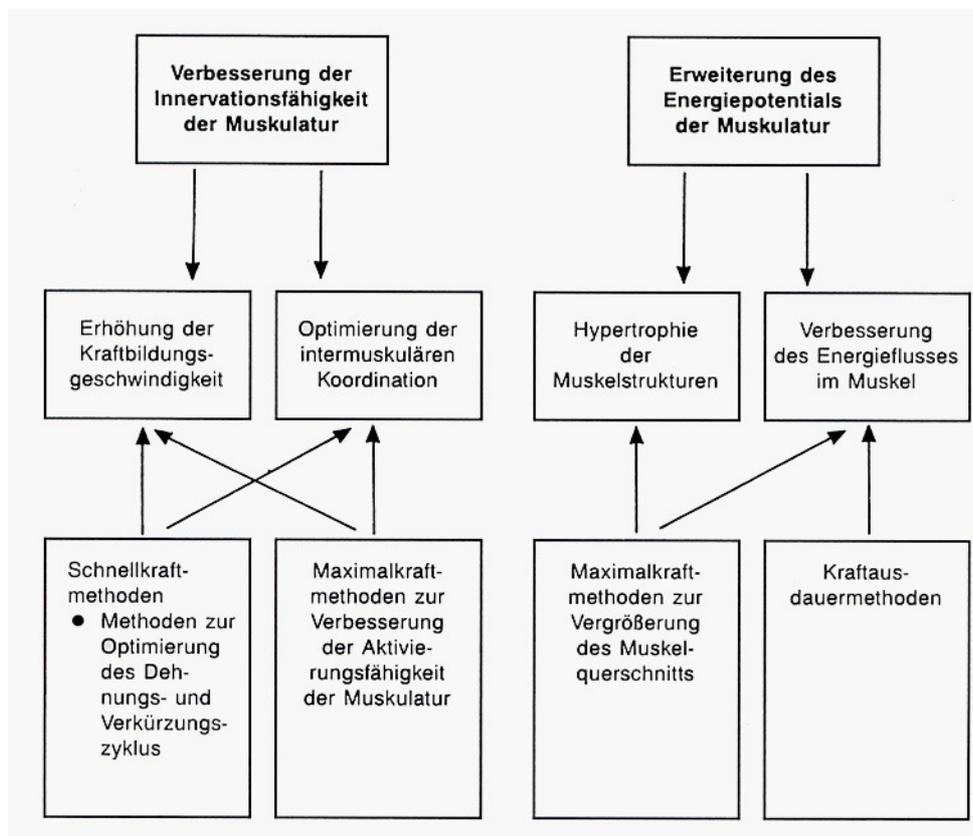


Abbildung 17: Allgemeines Krafttraining. Zusammenhang der Ziele und Inhalte (Martin et al. 1993, S. 126)

Eine Krafttrainingsmethode wird exakt durch eine konkrete Angabe zu den einzelnen Belastungskomponenten bzw. Belastungsnormative definiert:

- Die Arbeitsweise der Muskulatur die absolute Last, bzw. deren Angabe in % bezogen auf die Maximalleistung oder das Einwiederholungsmaximum wobei grob folgende Intensitätsbereiche unterschieden werden können: maximal (100 %), submaximal (80% - <100%), mittel (70%- 80%), leicht (50%-70%) und gering (50%- 30%).
- Die Belastungsintensität also die Angabe der Widerstandsgröße
- Die Bewegungsgeschwindigkeit welche man in langsam, zügig, schnell und explosiv- schnell differenzieren kann.
- Die Serie unter welcher eine bestimmte Anzahl von Bewegungswiederholungen zu verstehen ist, welche mit einem festgesetzten Prozentsatz des Wiederholungsmaximums durchgeführt werden.
- Die Übungsdauer welche entweder in Zeit oder in Wiederholungszahl angegeben wird.
- Die Pausendauer deren Angabe in Zeit erfolgt, wobei man weiter zwischen Serienpause (Pause zwischen den Serien) und Wiederholungspause (Pause zwischen den Einzelübungen) unterscheidet.
- Den Gesamtumfang welcher die Anzahl der Serien einer Trainingseinheit angibt

(vgl. Grosser et al. 2000, S 62,63; Hollmann & Hettinger, 1990, S 235)

Im nächsten Kapitel wird auf die Krafttrainingsmethoden zur Verbesserung der Maximal- und Schnellkraft näher eingegangen. Für detaillierte Informationen über Krafttrainingsmethoden zur Verbesserung von anderen Krafftfähigkeiten wird hier unter anderem auf Hegner (2006), Grosser et al. (1993) verwiesen.

9.2. Maximalkrafttraining

Jede Kraftbelastung hat am Anfang komplexen Wirkungscharakter. Dies bedeutet, dass eine isolierte Trainingswirkung nicht möglich ist. Eine Akzentuierung mancher Wirkungsrichtungen durch bestimmte Belastungsgestaltung ist dagegen möglich. Solche

Akzentuierungen werden auch bei der Entwicklung der Maximalkraft durchgeführt. Die Intramuskuläre Koordination und der Muskelquerschnitt sind für die Ausprägung der Maximalkraft die beiden bedeutendsten Faktoren. (vgl. Grosser et al. 2001, S. 66,67)

Tomasits & Haber (2008, S. 43) nennen als die zwei entscheidenden Faktoren für die Maximalkraft eines Muskels, den Muskelquerschnitt und die Synchronisation.

9.2.1. Ziele des Maximalkrafttrainings

Maximalkrafttraining verfolgt zwei Hauptrichtungen:

- Zum einen eine Vergrößerung des Muskelquerschnitts welcher zur Erhöhung der Absolutkraft führt.
- Zum anderen eine Erhöhung der Aktivierungsfähigkeit des Kraftpotentials die zu einer Steigerung der willentlich verfügbaren Maximalkraftfähigkeit beiträgt.

(vgl. Schnabel et al. 1994, S. 328)

9.3. Maximalkrafttraining zur Vergrößerung des Muskelquerschnittes

Im Prinzip gibt es zwei Möglichkeiten für eine Vergrößerung der Muskelquerschnittsfläche: Einerseits die Hyperplasie d.h. eine Zunahme der Muskelfaseranzahl, und andererseits die Hypertrophie, d. h. die Vergrößerung der einzelnen Muskelfasern. (vgl. Komi 1994, S. 343)

Die effektivsten Maximalkrafttrainingsmethoden zur Vergrößerung des Muskelquerschnitts sind nach Bührle (1985,94ff.) und Schmidtbleicher (1985, 28 ff.) die Methoden der wiederholten submaximalen Belastungen, die zu einer lokalen Erschöpfung führen. (vgl. Martin et al. 1993, S. 128)

Tabelle 2: Methoden des Hypertrophie- Trainings

	Standard- methode I (konstante Lasten)	Standard- methode II (progressiv ansteigende Lasten)	Bodybuilding- methode I extensiv	Bodybuilding- methode II intensiv	Isokinetische Methode	Isometrische Methode	Desmodro- mische Methode
Arbeitsweise:							
- konzentrisch	x	x	x	x	x		x
- isometrisch						x	
- exzentrisch					(x)		x
Krafteinsatz:							
- explosiv							
- kontinuierlich	x	x	x	x	x	x	x
Belastungshöhe	80 %	70 80 85 90 %	60-70 %	85-95 %	z. B. 70 %	100 %	30-50 %
Wiederholungen	8-10	12 10 7 5	15-20	8-5	15	10	
Serien	3-5	1 2 3 4	3-5	3-5	3	3-5	2-3
Belastungsdauer						10-12 s	30-45 s
Pausenlänge	3-5 min.	5 min.	2-3 min.	3-5 min.	3 min.	3 min.	> 5 min.

Quelle: (Grosser et al. 1993, S. 63)

Grosser et al. (1993, S. 62) fügen hinzu dass diese Methoden des Trainings zu folgenden Trainingswirkungen führen:

- zu einer Muskelquerschnittsvergrößerung sowohl von ST wie auf FT Fasern
- zu einer Vergrößerung des Phosphat- und Glykogenspeichers
- und zu Anpassungen des aeroben und anaeroben Stoffwechsels

Für Standardmethoden 1 und 2 (siehe Tabelle) sind Übungsformen charakteristisch bei deren Ausführung Muskelschlingen beteiligt sind. Bei Bodybuildingmethoden werden meistens nur eine, oder zwei Muskelgruppen trainiert. (vgl. Martin et al. 1993, S. 129)

Obige Tabelle ermöglicht ein Übersicht der möglichen Strategien im Rahmen der Bodybuilding Methoden.

Die Standardmethode 1 beinhaltet wiederholtes bewegen einer Last, deren Gewicht nach erzielter Maximalkraftsteigerung erhöht wird, und Standardmethode 2 richtet sich nach der Gewichtslast (etwa 70-80% der konzentrischen Maximalkraft), welche 10 mal hintereinander langsam gehoben werden kann. (vgl. Pampus 1995, S. 55)

Mac Dougall (1994) fügt hinzu dass ein Krafttraining mit Belastungsintensitäten von mehr als 60% der isometrischen Maximalkraft zu einer Erhöhung der Muskelmasse führt.

Dadurch wird auch der Muskelquerschnitt größer und es kommt zu einer ausgeprägten Steigerung der Muskelkraft. (vgl. Komi 1994, S. 232)

Mac Dougall, (1994) erklärt muskuläre Zunahme durch folgende morphologische Vorgänge:

- Muskelfasergröße nimmt zu
- Muskelfaserzahl nimmt zu (sehr umstrittene Theorie)
- Bindegewebe vermehrt sich. (vgl. Komi 1994, S. 232)

In Anlehnung an Pampus (1995) führen alle Maximalkrafttrainingsmethoden nach einer Trainingsdauer von 10- 12 Wochen auch zur Verbesserung des Muskelquerschnitts. Dabei wird die Start- und Explosivkraft nur geringfügig verbessert. (vgl. Pampus 1995, S. 53)

Die Relativkraft wird durch eine Muskelhypertrophie verändert. Kraft- und Gewichtszunahme verhalten sich fast immer linear. Deshalb kann die Leistung bei Personen mit geringem Körpergewicht durch Zunahme an Muskelmasse enorm gesteigert werden. (vgl. Pampus 1995, S. 53)

Diese Tatsache hat vor allem Bedeutung für Schnellkraftdisziplinen in denen es um die Beschleunigung des eigenen Körpers geht. Dieser Sachverhalt hat für Gewichtheber dagegen weniger Bedeutung da hier hauptsächlich eine Fremdmasse bewegt wird. (vgl. Pampus 1995, S. 54)

Welcher Trainingsreiz letztendlich zu einer Muskelhypertrophie führt ist noch nicht eindeutig festgestellt worden, obwohl mit molekularbiologischen Methoden hier in den letzten Jahren viele Zusammenhänge deutlich gemacht werden konnten. Nach Hollmann & Hettinger (1980) stellt eine hohe Muskelspannung, die für Training mit höheren Gewichtlasten charakteristisch ist den auslösenden Reiz dar. Nach Zaziorskiy (1977), sowie Bührle & Werner (1985), liegt der spezifische Reiz in einer energetischen Erschöpfung des Muskels was für die Bodybuilding Methode charakteristisch ist. (vgl. Pampus 1995, S. 54)

Die optimale energetische Ausschöpfung des Muskels wird durch eine optimal gewählte Belastungsintensität (60- 80% der isometrischen Maximalkraft), sowie unter der Voraussetzung einer anaerob alaktaziden Energiebereitstellung realisiert. (vgl. Pampus 1995, S. 54)

Hegner (2006, S. 137) spricht im Bezug auf die Muskelquerschnittsvergrößerung von der Methode der sogenannten wiederholten der mittleren Kräfteinsätze bzw. einem „high volume training“. Charakteristisch für diese Methode sind 5 - 12 Wiederholungen bei einer Belastungsintensität von 75- 85 % der isometrischen Maximalkraft. Bei der Gestaltung der Belastungsintensität gibt es viele Varianten die in Form von einer Lastveränderung pro Serie, durch unterschiedliche Arbeitsweisen der Muskulatur und in Form einer Intensitätsabweichung (unter oder über dem optimalen Bereich) realisiert werden. (vgl. Grosser et al. 1993, S. 62).

9.3.1. Maximalkrafttrainingsmethoden zur Verbesserung der Innervationsfähigkeit der Muskulatur

Um das Kraftdefizit bei gleichbleibendem Muskelquerschnitt zu verringern wird die sogenannte „Methode der kurzzeitigen maximalen Kontraktionen“ (Bührlé 1985, S. 97) angewendet. Für diese Methode ist die Verbesserung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit der motorischen Einheiten charakteristisch. (vgl. Martin et al. 1993, S. 130)

Grosser et al. (1993) sprechen von der Methode der explosiven maximalen Kräfteinsätze bzw. einer Methode der intramuskulären Koordination (IK Methode). Trainingswirkungen dieser Methode sind eine gesteigerte Frequenzierung und Rekrutierung der motorischen Einheiten, eine Verbesserung der relativen Kraft und des Kraftanstiegs (statische und konzentrische Schnellkraft) und eine Verringerung des Kraftdefizits. (vgl. Grosser et al. 1993, S. 65)

Tabelle 3: Methoden des IK Trainings

	Quasimaximale Kontraktionen	Maximale konzentrische Kontraktionen	Maximale isometrische Kontraktionen	Maximale exzentrische Kontraktionen	Konzentrisch-exzentrische Maximalkontraktionen
Arbeitsweise:					
– konzentrisch	x	x			x
– isometrisch			x		
– exzentrisch				x	x
Krafteinsatz:					
– explosiv	x	x	x	x	x
– kontinuierlich					
Belastungshöhe	90 95 97 100 %	100 %	100 %	ca. 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	3–5 min.	3–5 min.	3 min.	3 min.	5 min.

Quelle: (Grosser et al. 1993 S. 66)

Pampus (1995, 57) stellt fest, dass es nach einer maximalen Trainingsdauer von 6-8 Wochen (4 Trainingseinheiten in der Woche) zu einer Steigerung der Maximalkraft ohne wesentlichen Zuwachs der Muskelmasse kommt, wobei auch die Explosivkraft erhöht wird.

Primäres Ziel dieser Trainingsmethoden ist es, die bisher willkürlich nicht aktivierten Muskelfasern in den Kontraktionsprozess zu integrieren, sowie möglichst viele schnelle Fasern gleichzeitig zu aktivieren. (vgl. Pampus 1995, S. 57)

Um die schnellen Muskelfasern überhaupt aktivieren zu können bedarf es hoher Erregungsfrequenzen um die hohen Reizschwellen dieser motorischen Einheiten zu überwinden und die Muskelfasern aktivieren zu können. Wacholder (1927) stellte fest dass dies sowohl durch Kontraktionen gegen sehr hohe Widerstände, als auch durch extrem schnelle Bewegungsausführung geschehen kann. (vgl. Pampus 1995, S. 57)

Deshalb fordert Bührlé (1985, S. 97) folgende allgemeine Voraussetzung: „Gegen maximale Lasten muss die Kraft möglichst schnell entwickelt werden.“

Die Bewegungsgeschwindigkeit bei der Bewältigung maximaler Lasten ist aber sehr gering. Deshalb können die beiden Forderungen gleichzeitig nicht realisiert werden. Als passende Lösung wird ein Intensitätsbereich angesehen der sich am maximal

erreichbaren Kraftstoß, genauer formuliert an der Muskelleistungsschwelle orientiert. Dadurch wird der Kompromiss zwischen Bewegungsschnelligkeit und Widerstand erreicht. Die Muskelleistung erreicht einen maximalen Wert wenn sich der Muskel mit relativ hoher Geschwindigkeit in Relation zur Gewichtslast verkürzen kann. (vgl. Pampus 1995, S. 57)

Zaciorskij (1972, S. 49) stellte die Regel auf, dass die effizienteste Trainingsmethode zur Verbesserung der intra- und intermuskulären Koordination ein Training mit geringen Wiederholungszahlen, sehr hohen Lasten und längeren Erholungssequenzen ist. So eine Trainingsmethode verbessert die Fähigkeit, schnell größere motorische Einheiten zu mobilisieren. (vgl. Martin et al. 1993, S. 130)

In Anlehnung an Schmidtbleicher (1985, S. 26 f.) sind die Ursachen für diese funktionelle Anpassung einerseits eine schnelle Rekrutierung motorischer Einheiten, sowie eine Steigerung der Fähigkeit hohe Innervationsfrequenzen verarbeiten zu können. (vgl. Martin et al. 1993, S. 130)

Nach Werschoshanskij (1972, S. 132) ist es anzunehmen dass Methoden der kurzzeitigen maximalen Kräfteinsätze zu einer Steigerung der Maximalkraft führen, ohne dass es gleichzeitig zu einer wesentlichen Vergrößerung der Muskelmasse kommt.

Martin et al., 1993 meinen in diesem Zusammenhang:

„Wir sind der Auffassung, dass eine Methode mit einer Belastungsintensität, die sich am maximal erreichbaren Kraftstoß orientiert, also an der Muskelleistungsschwelle liegt, dieses Ziel ebenfalls erreicht, wobei sich Vorteile für das Ansteuern einer Optimierung der inter- und intramuskulären Koordination ergeben, wenn die Maximalkraft als Basis für die Schnellkraftentwicklung gesteigert werden soll“ (Martin et al. 1993, S. 130)

Tabelle 4: Methoden des maximalen Impulses an der Muskelleistungsschwelle und kurzzeitiger maximaler Krafteinsätze

		Maximale Krafteinsätze	Submaximale Krafteinsätze	Belastungsmethode nach dem Prinzip der Muskelleistungsschwelle	Pyramidenmethode
Kontraktionsformen - konzentrisch - isometrisch - exzentrisch		kon	kon	kon	kon
Intensität	Geschwindigkeit - optim. schnell - zügig - langsam	o. schnell	o. schnell	o. schnell	o. schnell
	Krafteinsatz - explosiv	expl.	expl.	expl.	expl.
	Lastgröße %	100%	90-95-100%	ca. 55-60%	80-85-90-95-100 -90-80 %
Umfang	Wiederholungen	1-2	4 3 1-2	6-8	7 5 3 2 1 3 7
	Serien	5	2 2 2	3-5	1
Dichte	Pause zwischen Wiederholungen - 10 Sekunden	10 s	10 s	10 s	10 s
	Serienpause	≥ 3 min	≥ 3 min	≥ 3 min	≥ 3 min

Quelle: (Martin et al. 1993, S.130)

Nach einer Einzelfallstudie von Pampus (1992) konnte nach einem 12 wöchigen Krafttraining, wobei der Gewichtlast dem Schwellengewicht entsprach (30% der isometrischen Maximalkraft), ein Maximalkraftzuwachs von 28% erreicht werden. (vgl. Pampus 1995, S. 53)

Beim MLS- Training liegt die zu bewegende Gewichtslast (laut Pampus, 1995) im mittleren Intensitätsbereich, Dadurch wird die Bewegungsausführung im Bezug auf die Bewegungskoordination und Bewegungsdynamik nicht, oder nur gering beeinflusst, was zu einer Optimierung der inter- und intramuskulärer Koordination führt. (vgl. Martin et al. 1993, S. 130)

9.4. Methoden des Schnellkrafttrainings

In Anlehnung an Martin et al. (1993, S. 131) soll mit einem Schnellkrafttraining primär die Kraftbildungsgeschwindigkeit der Muskulatur verbessert werden, wobei die Trainingsmethoden von der sportlichen Technik bzw. Beschleunigungscharakteristiken der Kraftbildung abhängig sind.

Früher dachte man dass die Schnellkraft und Maximalkraft voneinander unabhängige motorische Fähigkeiten darstellen. Dementsprechend wurden spezielle Trainingsmethoden zur Verbesserung der Schnellkraft entwickelt, wobei es zu größeren Meinungsunterschieden unter den Wissenschaftlern bezüglich der Trainingsintensitäten kam. Verschoshanskij (1972, 132) befürwortete eine Belastungsintensität von 20- 40 %, Harre (1982, 143) spricht dagegen von einer Intensität von 30- 70 % um Schnellkraft optimal zu entwickeln. Diese unterschiedlichen Angaben hinsichtlich der Intensität in welcher ein Schnellkrafttraining stattfinden soll ließe sich lange fortsetzen.

Manche sportliche Techniken verlangen hohe Start- und Explosivkraftwerte, andere sind dagegen durch einen progressiven Kraftanstieg bis hin zu optimalen Endgeschwindigkeit charakterisiert. Dadurch kommt es zu einer Unterscheidung der Schnellkrafttrainingsmethoden in 2 Typen:

- „TYP 1: eine hohe Anfangsgeschwindigkeit der Kraftbildung (Start- und Explosivkraftverhalten).
- Typ 2: eine hohe Endgeschwindigkeit der Kraftbildung (progressives Beschleunigungsverhalten).“ (Martin et al. 1993, S. 131)

Tabelle 5: Schnellkrafttrainingsmethoden

		Schnellkraftmethode		Belastungsmethode nach dem Prinzip der Muskelleistungsschwelle	
		Typ I	Typ II	Typ I	Typ II
Arbeitsweise – konzentrisch		kon	kon	kon	kon
Intensität	Geschwindigkeit	maximal	maximal	maximal	maximal
	Beschleunigungscharakteristik mit explosiver Anfangsgeschwindigkeit	explosiver Start		explosiver Start	
	2) mit maximaler Endgeschwindigkeit		progressive Beschleunigung		progressive Beschleunigung
	Lasthöhe %	35–50 %		ca. 55–60%	
Umfang	Wiederholungen	7		8	
	Serien	5		4	
Dichte	Pause zwischen Wiederholungen – 10 s	10 s		10 s	
	Serienpause	≥ 3 min		≥ 3 min	

Quelle: (Martin et al. 1993, S.131)

Martin et al., (1993) stellten fest, dass eine hohe Startgeschwindigkeit kein Garant für das Erreichen der bestmöglichen Endgeschwindigkeit ist. Dafür ist es wichtig auch im Training die Bewegungsausführung so zu timen, dass hohe Endgeschwindigkeiten realisiert werden können. Deshalb sollte ein Schnellkrafttraining sowohl die Start-, aber auch die Endgeschwindigkeit trainieren. (vgl. Martin et al. 1993, S. 131)

Die Wirkung des Schnellkrafttrainings hängt von der optimalen Erregung des Muskels und des Nervensystems ab. Deshalb sollte ein Training unter Ermüdungsbedingungen, die zu Innervationsstörungen führen vermieden werden und eine relativ lange Pause von 10 Sekunden zwischen jeder Wiederholung eingehalten werden. (vgl. Pampus 1995, S. 60)

Bei Lehnertz (1988a, 109- 123) findet sich eine besondere Variante des Schnellkrafttrainings welche mit Kraftempfindungstraining bezeichnet wird. Ziel dieser

Trainingsmethode ist die Sensibilisierung des Sportlers für muskelmechanische Aspekte. (vgl. Martin et al. 1993, S. 131)

Pampus (1992) stellte fest, dass man durch Krafttraining mit dem Schwellengewicht die Bewegungszeit zur Bewältigung verschiedenen Gewichtslasten, um 32% verbessern kann. Bei einer Abnahme der Widerstände stellte man geringere Bewegungszeitverbesserungen fest. Als Ursache für dieses Ergebnis wird die unvollständige mechanische Rekrutierung und dadurch entstandenen begrenzten Aktivierung der kontraktile Strukturen vermutet. Diese Tatsache bestätigt eine Abnahme der Maximalkrafteinflusses mit abnehmenden Widerständen. Ein Maximalkrafttraining zur Steigerung der Schnellkraft ist umso effizienter, je höher die zu bewegende Widerstände bei Schnellkraftleistungen sind. (vgl. Pampus 1995, S. 53)

Hochmuth & Gundlach (1982) stellten in Bezug auf das Schnellkrafttraining folgende Hypothese auf:

„Das Schnellkrafttraining ist im Wesentlichen durch Kraftübungen mit einem hohen Annäherungsgrad an die Bewegungsstruktur der Wettkampfübung gekennzeichnet, besonders hinsichtlich der Orientierung auf maximale Beschleunigungen unter spezifischen Geschwindigkeitsbedingungen und Anforderungen. Die sportartspezifische Bewegungsstruktur der Wettkampfübung oder entsprechende Teilelemente ist deshalb immer Ausgangspunkt der Übungs- und Belastungsformen dieses Trainingsbereiches.“ (vgl. Carl, Quade & Stehle 1995, S. 35)

10. Leistungsdiagnostische Methoden für Bestimmung der Kraftfähigkeiten

10.1. Aufgaben von Testverfahren zur Bestimmung der Kraftfähigkeiten

Martin et al. (1993; 118) nennen folgende Aufgaben der Leistungsdiagnostik für das Krafttraining:

- „Das Bestimmen des gegenwärtigen Leistungszustandes, bzw. von Komponenten dieses Zustandes, zum interindividuellen Leistungsvergleich innerhalb einer Trainingsgruppe zu einem bestimmten Zeitpunkt.
- Das Analysieren der Veränderungen von Komponenten des Leistungszustandes im zeitlichen Verlauf des Trainings, um die Leistungsentwicklung zu dokumentieren.
- Das Erkennen von Wechselwirkungen einer Einflussgröße des Leistungszustandes auf eine andere, um feststellen zu können, welche Zusammenhänge beispielsweise zwischen einer Veränderung der konzentrischen Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur und der Sprint- oder vertikalen Sprungkraftleistungen bestehen.

- Zur Bestimmung der genauen Widerstandslast (Belastungsintensität) für die unterschiedlichen Trainingsmethoden:“ (Martin et al. 1993, S. 118)

Zu dieser Thematik wird hier auf weiterführende Literatur verwiesen (Ballreich 1970; Grosser & Starischka 1981; Letzelter & Letzelter 1983; Neumaier 1983)

Radlinger (1983) und Pampus (1985) nennen sogenannte Grob- und Feinmethoden der Kraftanalyse. Für beide gilt die Erfüllung von Testgütekriterien als Voraussetzung.

10.2. Testgütekriterien

Um gültige Ergebnisse bzw. Erkenntnisse liefern zu können müssen sportmotorische Leistungstests mehrere Gütekriterien erfüllen. Nach Banzer et al. (2004, S. 74) sind Haupt- und Nebengütekriterien zu unterscheiden. Hauptgütekriterien sind unverzichtbar und die Nebengütekriterien sind nur bedingt zu erfüllen.

HAUPTGÜTEKRITERIEN:

- Objektivität
- Reliabilität
- Validität

NEBENGÜTEKRITERIEN:

- Ökonomie
- Normierung
- Vergleichbarkeit
- Nützlichkeit

Eine weitere wichtige Größe bildet der sogenannte Standardisierungsgrad, der Auskunft darüber gibt, ob es sich bei einem Test um einen formellen oder informellen Test handelt. Formelle Tests sind wissenschaftlich abgesichert und standardisiert, informelle Tests sind dagegen weder standardisiert noch wissenschaftlich abgesichert. (vgl. Banzer et al. 2004, S. 74)

10.2.1. Objektivität

Nach Badtke (1999, S. 438) wird unter Objektivität „die weitgehende Unabhängigkeit der Untersuchungsergebnisse vom Untersucher bei der Durchführung der Untersuchungen, sowie bei der Auswertung und Interpretation der Messdaten“ verstanden.

An einer anderen Stelle wird unter Objektivität die Angabe darüber verstanden in wie weit ein Test unabhängig von der Person des Untersuchers, von der Person welche die Auswertung vornimmt bzw. der Person welche den Test interpretiert ist (vgl. Haber 2001, S. 232)

10.2.2. Reliabilität

Reliabilität wird vom Banzer et al. (2004 S. 74) als „Zuverlässigkeit der Testergebnisse“ definiert.

Haber (2001, S. 232) gibt an, dass die Reliabilität das Maß für die Genauigkeit der Testergebnisse ist und der berechnete Variationskoeffizient (V) in Prozent angegeben wird.

In Anlehnung an Badtke (1999, S. 438) wird unter Reliabilität die „Genauigkeit der Messungen und damit die Wiederholbarkeit“ verstanden

Grosser & Neumeier (1988, S. 39) definieren Reliabilität wie folgt:

„Die Zuverlässigkeit (Reliabilität) eines Kontrollverfahren bezeichnet den Grad der Genauigkeit, mit der das Kontrollverfahren eine Fähigkeit oder ein Merkmal des Sportlers erfasst.“ (Grosser & Neumeier 1988, S. 39)

10.2.3. Validität

Nach Banzer et al. (2004, S. 74) wird unter Validität die „Gültigkeit der Testergebnisse.“ Verstanden.

Grosser & Neumeier (1988, S. 40) verstehen unter Validität den „Grad der Genauigkeit, mit dem das Kontrollverfahren tatsächlich das Merkmal erfasst, das es erfassen soll.“

10.3. Testverfahren zur Ermittlung der Kraft und Belastungsintensität

Die Maximalkraft kann als Bruttogröße für die Beurteilung der motorischen Grundeigenschaft Kraft herangezogen werden. Testen der Maximalkraft sollte zur Beurteilung des Leistungsstandes und zur Feststellung der Entwicklung des Kraftniveaus 2- 3-mal jährlich erfolgen. Die Ermittlung der Maximalkraft ist bei der Bestimmung der Trainingsintensitäten für Krafttraining ausschlaggebend. Als zuverlässige Testmethoden der Maximalkraft haben sich Bankdrücken, Bankziehen und Tiefkniebeuge etabliert. (vgl. Schurr 2003, S. 63)

In Anlehnung an Radlinger (1998, S. 31), Pampus (1995, S. 93), liegen für das Krafttraining folgenden Methoden der Kraftdiagnostik vor:

- Biomechanische oder elektrophysiologische Methoden (z.B. Kraftmessplatten, Beschleunigungsmesser, EMG) die eine Feindiagnostik leisten und oft für die Praxis keine ökonomische Nützlichkeit zeigen, sowie
- Sensomotorische Testverfahren bzw. „sportmotorische Tests“ (Martin et al. 1993, S. 118) die zu Grobdiagnosen dienen.

Die ersteren werden beispielsweise mittels spezieller Kraft- Beschleunigungsaufnehmern oder Kraftmessplatten die z.B. an bzw. in Trainingsgeräten installiert werden, und mit Personalcomputern verbunden sind, durchgeführt. (vgl. Pampus 1995, S. 93)

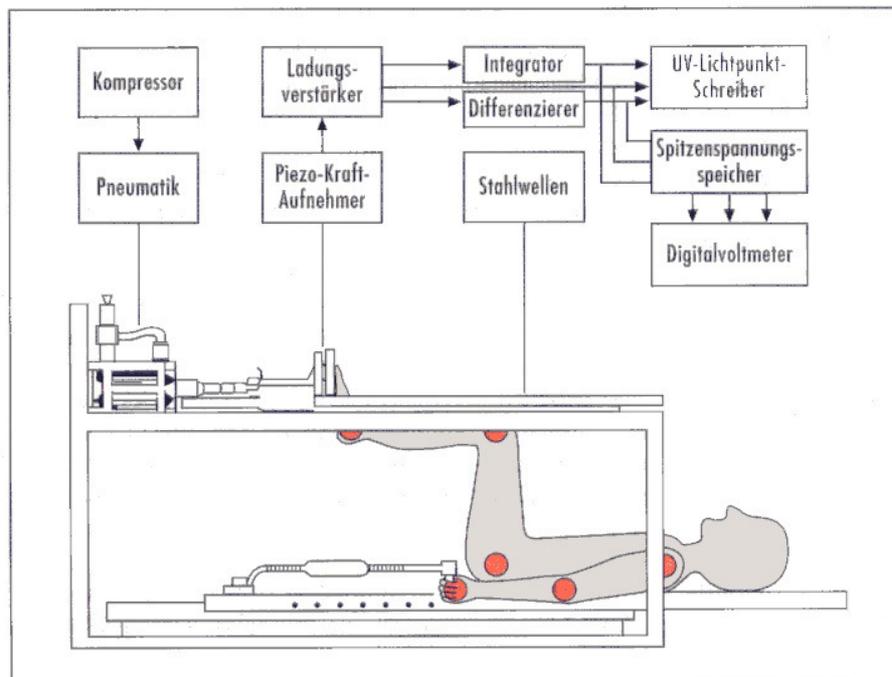


Abbildung 18: Kraftmesssystem. (Hollmann & Hettinger 2000, S. 172)

Grobmotorische Messverfahren zur Ermittlung der Krafftfähigkeiten werden mit sportmotorischen Tests durchgeführt. Grosser & Starischka (1981) listen eine Reihe von Test zur Messung der Sprungkraft, Wurfkraft, Kraftausdauer und zur Feststellung der konzentrischen Maximalkraft auf. (vgl. Martin et al. 1993, S. 124)

Solche Sportmotorischen Tests verlangen ebenso wie biomechanische Testverfahren standardisierte Bedingungen, und müssen die wissenschaftlichen Hauptgütekriterien erfüllen um brauchbare Ergebnisse liefern zu können. (vgl. Pampus 1995, S. 94)

Beide Verfahren verlangen standardisierte Bedingungen, weil es sonst nicht möglich ist die ermittelten Ergebnisse untereinander zu vergleichen. (Martin et al. 1993, S. 118)

In Anlehnung an Hollmann & Hettinger (1990; 195 ff) werden die Testverfahren in subjektive, semiobjektive und objektive Messungen unterteilt.

10.3.1. Objektive Messmethoden

Eine objektive Messung liegt vor, wenn sie sowohl von beteiligten Personen wie auch vom Messinstrumentarium unabhängig ist. Solche Messungen werden in der Regel mit Hilfe

von geeichteten Geräten unter Angabe des maximalen Messfehlers durchgeführt. Dennoch bleibt ein hohes Maß an subjektiver Beeinträchtigung durch die messende Person gegeben (z.B. Durchführungsobjektivität wie Applikation der Elektroden, willentliche Beeinflussung des Muskeltonus während der Elektromyographie), oder durch den Versuchsleiter bei der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse. (vgl. Radlinger 1998, S. 32)

Zu den objektiven Messmethoden zählen unter anderem die Umfangsmessung an Gliedmassen, Bestimmung der Muskelquerschnittes mittels Ultraschall, sowie Elektromyographie. (vgl. Hollmann & Hettinger 1990, S. 196, 197)

Für genauere Hinweise zum Thema objektive Messmethoden wird hier unter anderem auf Hollmann & Hettinger, (2000) verwiesen.

10.3.2. Semiobjektive Messmethoden

Die Bestimmung von Kräften die als Reaktionskräfte an der Peripherie des Körpers auftreten ist die Aufgabe von semiobjektiven Messmethoden der Krafftfähigkeiten. Die Kraftmessung erfolgt durch die Messung der Kraft die an elastischen Körpern eine verformende Wirkung ausübt. Die Wandlung dieser Verformung in elektrische Größen erfolgt durch den Einsatz von sogenannten Widerstandsgebern (Dehnungsmessstreifen), kapazitive Geber sowie piezoelektrische Geber (Quarzkristalle). (vgl. Hollmann & Hettinger 2000, S. 169)

Wenn bei einer solchen Messung subjektive Faktoren (z.B. Motivation der Probanden) trotz der Genauigkeit der Messinstrumente dennoch einfließt spricht man von einer semiobjektive Messung wobei der Ausmaß von diesen Faktoren nicht abzuschätzen ist. Als Beispiel sei hier die Messung mit einem einfachen Messgerät wie der Federwaage angeführt bei welcher es zu subjektiven Beeinträchtigungen der Messergebnisse, wie beispielsweise Handhabungsfehler des Testers oder Motivation des Probanden kommen kann). (vgl. Radlinger 1998, S. 32)

Zu den semiobjektiven Kraftmessmethoden zählen unter anderen die Dynamometrie bzw. Tensiometrie (Dehnungsmessstreifenprinzip), mit der nur die willkürlich entwickelte Maximalkraft in einer vorbestimmten Körperposition gemessen werden kann ohne eine Aussage über die Größe der Kraftreserven tätigen zu können. (vgl. Hollmann & Hettinger 1990, S. 195)

Die Beispiele für solche Messsysteme sind unter anderem Skidynamometer zur Messung der Reaktionskräfte die zwischen Ski und Schuh auftreten (Dehnmessstreifenprinzip), die Kraftmessplatten für Bestimmung der Bodenreaktionskräfte (ermöglicht die Messung der Bewegungszustandes des Körperschwerpunktes und funktioniert auf piezoelektrischer Basis), sowie die isokinetischen Dynamometer. (vgl. Hollmann & Hettinger 2000, S. 171.)

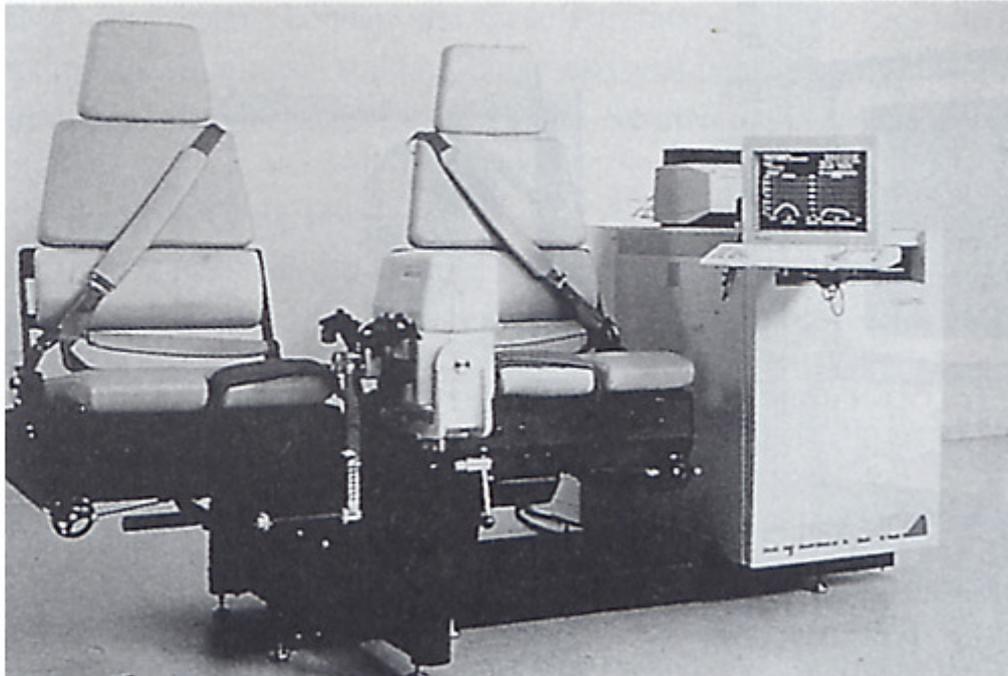


Abbildung 19: Isokinetisches Trainings-, Meß- und Testsystem Cybex. (Hollmann & Hettinger 2000, S. 214)

Für nähere Informationen über Dynamometrie und andere semiobjektiven Messmethoden wird auf Hollmann & Hettinger (1990) und Hollmann & Hettinger (2000) verwiesen.

10.3.3. Subjektive Messmethoden

Von einer subjektiven Messung spricht man wenn die ermittelten Daten die Ergebnisse einer Beobachtung oder eines Muskelfunktionstests darstellen. Beobachtungskriterien sind manchmal kategorisch quantifiziert wie aus folgendem Beispiel ersichtlich:

- Beobachtungskriterium = Gangbild

- Kategorien: 1.= Gut; 2. = schlecht; 3. = unzureichend.
- Faktoren die eine subjektive Messung am häufigsten beeinflussen können sind:
- Die nicht- standardisierte subjektive Untersuchungsdurchführung
- Der Beurteilungsmaßstab des Untersuchers ist subjektiv
- Der Einfluss der zu testenden Person (vgl. Radlinger 1998, S. 32)

Subjektive Methoden der Kraftmessung (z.B. Muskelfunktionstests) sind nicht in der Lage gesicherte Aussagen zu garantieren. (vgl. Hollmann & Hettinger 1990, S. 195)

10.4. Isometrische Testmethoden

Isometrische Tests finden unter statischen Bedingungen statt, wobei die Last vordefiniert wird. Die dabei erreichte maximale Belastungsdauer als wichtigste Messgröße gilt. (vgl. Dickhut & Badtke 2007, S. 74)

In Anlehnung an Martin et al. (1993, S. 121) wird die isometrische Maximalkraft unter statischen Bedingungen und gegen einen unüberwindlichen Widerstand ermittelt. Folgende durch die Messung gewonnene Parameter sind aus der Kraft-Zeit- Kurve ersichtlich:

- Der erreichte Kraftspitzenwert (KMI)
- Bereich der Explosivkraft (die größte Steilheit in der Kurve- EXI)
- Kraftwert nach 50 ms bzw. Startkraft (STI)
- Sowie die alle dazu gehörige Zeitparameter.

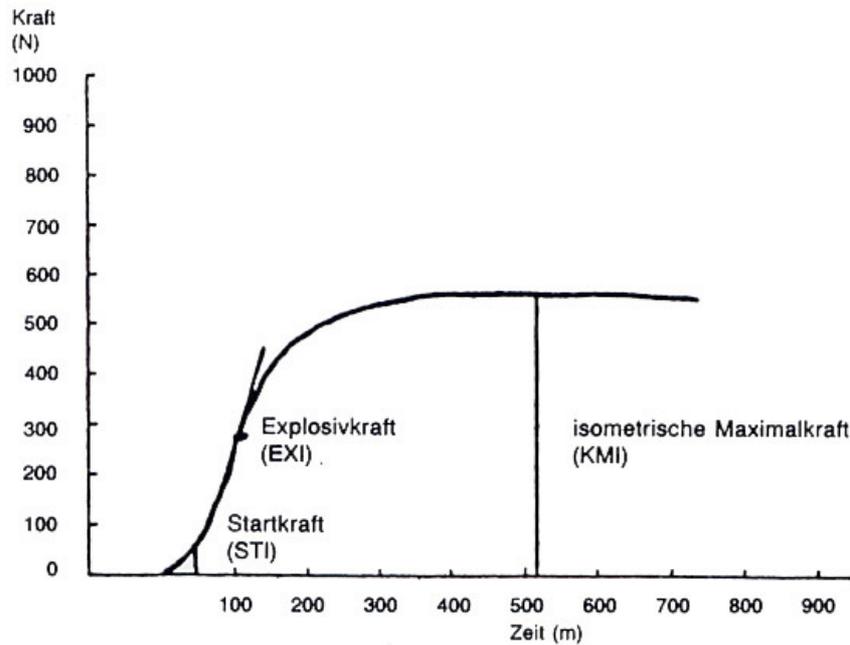


Abbildung 20: Isometrische Kraft- Zeit- Kurve (Martin et al. 1993, S.122)

„Die isometrische Maximalkraft stellt den höchsten Punkt auf der Kraft- Zeit- Kurve dar.“
Bei einer isometrischen Messung sollen verschiedenen Gelenkwinkeln berücksichtigt werden. (vgl. Banzer et al. 2004, S. 91)

Auch für die Ermittlung der Explosivkraft empfehlen Banzer et al. (2004, S. 94) einen Krafttest unter isometrischen Bedingungen.

10.5. Dynamische Testverfahren zur Ermittlung der Maximalkraft

Dynamische Krafttests erlauben eine gelenksspezifische Erfassung der Kraftentwicklung. Dies ist mit der Hilfe von speziellen Messgeräten bzw. Kraftaufnehmern möglich. Solche Messsysteme können isokinetisch (gleich bleibende Bewegungsgeschwindigkeit bei vorgegebener Belastung) und isoinertial (konstante Last) sein, wobei die isoinertiale Messungen die bessere Übertragbarkeit auf die Sport- und Alltagssituationen erlaubt und dadurch bessere Ergebnisse aufgezeigt haben (vgl. Banzer et al. 2004, S. 91)

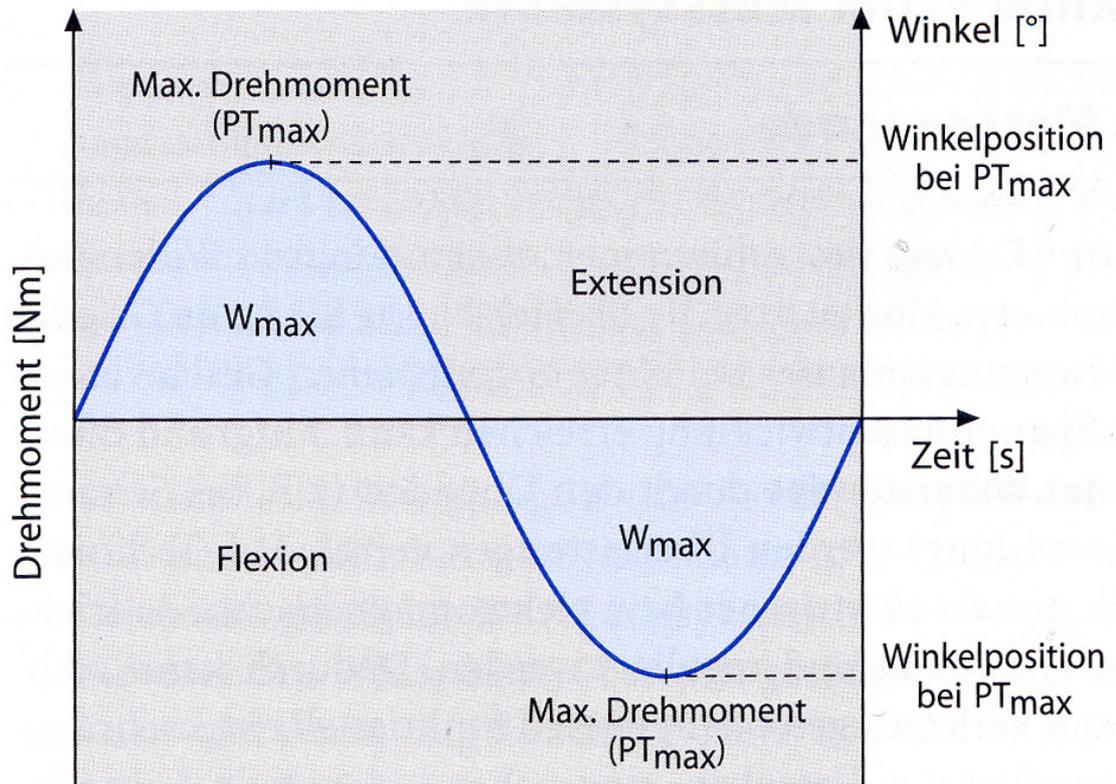


Abbildung 21: Beispiel einer isokinetischer Messung (Banzer S. 110)

Dynamische Testverfahren der Maximalkraft werden zumeist durch Ermittlung des sogenannten Einwiederholungsmaximums bestimmt. Dies erfolgt unter Verwendung von freien Lasten. Einwiederholungsmaximum (1 RM) ist die Last die in einem definierten Bewegungsausmaß einmal bewegt werden kann. Über diese Kenngröße kann die Trainingsintensität bestimmt werden. Bei Einschränkungen (keine maximale Auslastung möglich) sind submaximale Testverfahren zu verwenden wie z. B. 8 RM (entspricht etwa 80% der 1 RM) wo dann mittels Regressionsformeln auf das Einwiederholungsmaximum geschlossen werden kann. (vgl. Dickhut & Badtke 2007, S. 74, 75)

Diese Methode der Ermittlung der Krafftähigkeit hat sowohl Vorteile als auch Nachteile. Die Vorteile sind u. a. die kostengünstige Durchführung (keine kostenaufwendigen Geräte notwendig) sowie die Möglichkeit aus diesen Ergebnissen die optimale Trainingsintensität zu bestimmen. Isometrische Kraftmessverfahren sind für die Ermittlung der Trainingsintensität dagegen weniger geeignet. Andererseits ist bei Bestimmung des Einwiederholungsmaximums nicht möglich die weiteren Aspekte der Kraft zu durchleuchten, und man kann damit beispielsweise keine Aussagen über das Explosivkraftverhalten treffen, wodurch es unklar bleibt ob man die weiteren

Trainingsmaßnahmen in Richtung Muskelquerschnittsvergrößerung oder Verbesserung der neuronalen Aktivierung steuern soll. (vgl. Banzer 2004, S. 97, 98)

10.6. Bestimmung der Muskelleistungsschwelle

Lehnertz & Pampus (1988) haben erstmals über den Begriff Muskelleistungsschwelle diskutiert. Bei der Muskelleistungsschwelle (MLS) ist das Kriterium für ihre Definition der maximal zu erreichende Impuls bei der Ausführung einer bestimmten Übungsform und bei optimaler Übungsausführung. Sie ist als Kulminationspunkt in der Leistungs- Last (Gewichts) Kurve zu bezeichnen, wobei die Schwellenlast das Gewicht darstellt, mit welcher die höchste Leistung erzielt werden kann. Zur Bestimmung der Muskelleistungsschwelle benötigt man Kenntnis über die bewältigte Last, den Messweg und die dafür benötigte Zeit wobei die genannten Größen jeweils apparativ gemessen werden. Durch die Berechnung der MLS erhält man die Größen:

- N_s = Maximaler Impuls (N_{Smax})
- Leistung (Watt absolut bzw. relativ)
- Die an der MLS erreichte Bewegungsgeschwindigkeit (m/s)
- Die Last (kg) bei erreichter MLS (vgl. Carl et al. 1995, S. 450, 451)

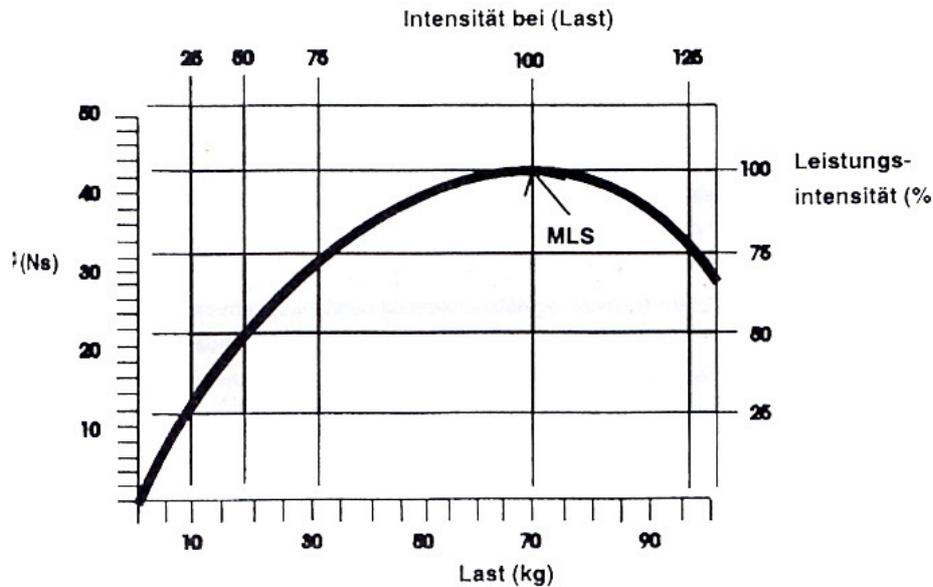


Abbildung 22: Ermittlung der Belastungsintensität an der Muskelleistungsschwelle (links/ unten Last (kg) und Impuls (Ns); rechts/ oben prozentuelle Angabe der Leistungsintensität sowie Ableitung der relativen Intensität zur Last). (Carl/ Quade/ Stehle 1995, S. 451)

Martin et al (1993, S. 118,119) sehen in der Methode der Ermittlung der Muskelleistungsschwelle die am besten geeignete Methode der Leistungsdiagnostik zur Bestimmung der Krafftigkeiten.

Lehnertz & Pampus (1988) stellten ein Verfahren vor mit dem die so genannte MLS durch die Feststellung der Impulsänderung einer beschleunigten Last zu errechnen ist. Als Übung für den Test dient Bankziehen. Der Proband befindet sich in der Bauchlage auf einem Brett liegend. Die Entfernung vom Boden ist so bestimmt dass er das auf dem Boden befindende Langhalten mit gestreckten Armen greifen kann. Für die Durchführung ist charakteristisch dass der Proband mit aller Kraft die Langhantel bis zu Brettunterkante hochziehen muss, wobei die Wegstrecke die der Hantel passieren muss aus der dafür benötigten Wegzeit berechnet wird. Die Zeit wird mittels Lichtschranken festgestellt die sich oberhalb der Hantelstange befinden. Für die Ermittlung der Maximalen Muskelleistung werden 6 Versuche durchgeführt wobei das Gewicht stufenweise um 10 Kg. gesteigert wird. Für die Testauswertung werden aus den 5 besten Versuchen errechnete Zeitmittel berücksichtigt und über die gehobene Last und Wegstrecke der Impuls (Masse mal Geschwindigkeit) errechnet. Für alle Lasten wird der erreichte Impuls in eine Muskelleistungskurve dargestellt, wodurch man feststellen kann mit welcher Last man die höchste Muskelleistung erreicht hat. (vgl. Martin et al. 1993, S. 119, 120)

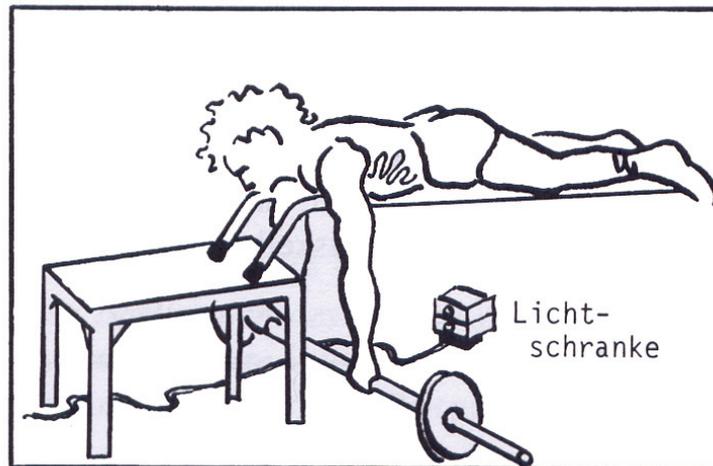


Abbildung 23: Systemaufbau zur Messung der Muskelleistungsschwelle (MLS) beim Bankziehen. (Martin/ Carl/ Lehnertz 1993, 120)

In Anlehnung an Carl et al. (1995, S. 451) kann die Belastungsintensität für Trainingspraxis nach diesem Model wie folgt abgestuft werden:

- Belastungsintensität über der Schwellenlast die zu einer Verringerung der Leistung und Bewegungsgeschwindigkeit führt. (Bereich der traditionellen Maximalkraftmethoden)
- Belastungsintensität unter der Schwellenlast die gleichfalls zu einer Verringerung der Leistung einerseits und einer Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeit führt. (Bereich der Schnellkraft und Kraftausdauermethoden)

10.7. Bestimmung der Krafftfähigkeiten mit Hilfe von Kraft- Zeit- Kurven

Mit Hilfe von Kraft- Zeit- Messverfahren bei Muskelarbeit, wird sowohl unter statischen als auch dynamischen Bedingungen, der maximale Kraftwert bestimmt, der in weiterer Folge einen Rückschluss auf das muskuläre Kraftpotential einerseits und eine grobe Diagnose des Innervationsverhaltens (ersichtlich aus der Steilheit des Kraftanstiegs) andererseits ermöglicht. (vgl. Nicolaus 1995, S. 16)

Martin et al. (1993 S. 120) stellen fest, dass mit dieser Art der biomechanischen Kraftdiagnostik folgende Einflussgrößen des Kraftverhaltens bestimmbar sind:

- isometrische Maximalkraft
- Kraftstoß
- Startkraft- und Explosivkraftverhalten
- Exzentrischer Maximalkraftwert
- Kraft- Zeit- Verläufe im Dehnungs- Verkürzungs- Zyklus
- Absprunggeschwindigkeiten (in m/s)
- Kraftspitzen der konzentrischen Maximalkraft (F_{max}) u. a.

Folgendes Beispiel soll eine Diagnosemöglichkeit mit Hilfe von Kraft- Zeit- Kurven bei einem Streck sprung darstellen:

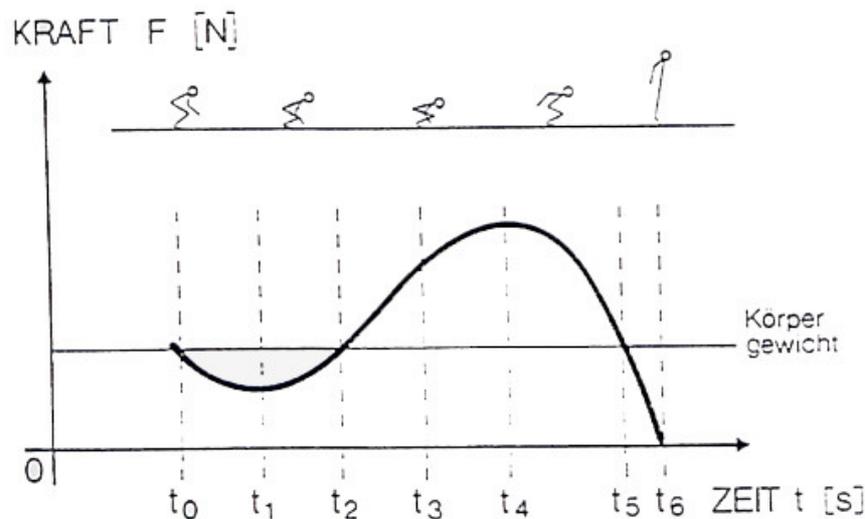


Abbildung 24: Vertikalkraft F bei einem Streck sprung aus der Hockstellung mit Auftaktbewegung und Armschwung rückwärts. (aus Martin/ Carl/ Lehnertz1993, 121)

Wie aus der Kurve ersichtlich entspricht die Anfangskraft eigentlich der Gewichtskraft des Probanden. Durch die Abwärtsbeschleunigung des Körpers bei Beugung im Gelenk wird die Kraft mit dem größten Wert bei t_1 erreicht, wobei bei t_2 wieder der Ausgangswert erreicht wird. Bei t_4 wird sowohl bei größter Beschleunigung die größte Kraft erreicht wobei die an der Bewegung beteiligten Gelenke stark gebeugt sind (Anfangsphase der Streckbewegung). Im Bereich zwischen t_4 und t_5 nimmt die aufwärtsgerichtete Kraft

sukzessiv ab und erreicht bei t5 wieder die Gewichtskraft und beim Verlassen des Bodens t6 gleicht der Kraftwert 0. (vgl. Martin et al. 1993, S.120, 121)

11. Hauptteil

Für die vorliegende Arbeit ergeben sich aus dem zuvor gesagten folgende wissenschaftlichen Fragestellungen und Hypothesen:

11.1. Wissenschaftliche Fragestellungen und Arbeitshypothesen

In welchem Verhältnis zwischen Kraft und Geschwindigkeit wird bei unterschiedlichen sportlichen Bewegungen die höchste Muskelleistung produziert?

H0 Die höchste Muskelleistung ist von der Art der Bewegung abhängig und liegt jeweils im Submaximalbereich der Maximalkraft.

Welche Trainingsmethoden müssen angewendet werden um das Kriterium der Muskelleistung zu optimieren?

H0 Um die Muskelleistung zu verbessern muss einerseits die Maximalkraft verbessert werden, darüber hinaus müssen aber auch vor allem Schnellkraftmethoden zum Einsatz kommen.

Welche Bedeutung kommt der Muskelleistung bei Tätigkeiten des täglichen Lebens im Seniorenalter zu und welche Konsequenzen ergeben sich damit für das Training im Seniorenalter?

H0 Die Muskelleistung stellt eine bedeutende Fähigkeit für alltägliche Tätigkeiten des täglichen Lebens dar und sollte deshalb mit entsprechenden Methoden regelmäßig trainiert werden.

11.2. Wissenschaftliche Auseinandersetzung der Beziehung zwischen Kraft und Geschwindigkeit

Eine ernsthafte wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Beziehung zwischen Kraft, Geschwindigkeit und Leistung der Muskulatur begann in den 20er und 30er Jahren des letzten Jahrhunderts (Hill 1922; Fenn & Marsh 1935; Hill 1938; Katz 1939) ohne dass diese Thematik bis heute an Forschungsinteresse verloren hätte.

Prinzipiell lassen sich die muskelphysiologischen Studien hierzu in 4 Bereiche unterteilen:

- klassische Studien der Präparation eines Gesamtmuskels (in vitro)
- Einzelfaserstudien (in vitro)
- Einzelgelenkstudien
- Studien, die diesen Zusammenhang betrachten (in vivo) wenn mehrere Gelenke beteiligt sind.

Während in Studien in welchen einzelne Fasern oder präparierte Muskel analysiert werden Parameter wie Geschwindigkeit, Kraft, Aktivitätsniveau konstant gehalten werden können, ist dies bei in vivo Studien (in der Sportpraxis) nicht der Fall was auch zu anderen Ergebnissen führt und zusätzlich fehlen beim präparierten Muskel häufig die Bindegewebestrukturen die in der Lage sind Energie zu speichern und abzugeben was zusätzlich zu Verfälschungen gegenüber der Komplexbewegung führt (Komi et al., 1990).

Beinahe alle Wissenschaftler welche die Kraft – Geschwindigkeitscharakteristik der Muskulatur untersuchten verglichen ihre Resultate mit dieser klassischen Hill Kurve. Wichtige Erkenntnisse der Muskelphysiologie wurden aus Tierversuchen gewonnen. Dabei wurden Muskeln oder einzelne Muskelfasern entnommen und dann die Kraft und Verkürzungsgeschwindigkeit während einer einzelnen muskulären Aktion ermittelt, wobei die Verkürzungsgeschwindigkeit oder Kraft apparativ konstant gehalten wurde. So wurde etwa gegen verschiedene Lasten gearbeitet, die Leistung, Kraft und Geschwindigkeit schneller und langsamer Muskelfasern verglichen (Baratta et al., 1995; Bottinelli et al. 1991), die Art der Stimulation z.B. Reizfrequenz und deren Auswirkung auf Kraft und Leistung untersucht (DeHaan, 1998; Heckman et al. 1992) Ermüdungseinflüsse (Ameredes et al., 1992; Curtin & Edman 1994) oder Temperatureinflüsse und deren Auswirkung auf die Kraft, Geschwindigkeit und Leistung des Muskels untersucht (Assmussen et al., 1994; Bottinelli et al.1996). Neben diesen Studien an isolierten Muskeln oder Muskelfasern wurden auch zahlreiche eingelenkige Studien durchgeführt.

Da die direkte Messung der Kraft schwierig ist wurde vorwiegend mit isokinetischen Apparaturen die Beziehung zwischen Drehmoment und gewählter konstanter Winkelgeschwindigkeit vor allem beim Knie- und Ellbogengelenk untersucht und die Drehmoment – Winkelgeschwindigkeit Kurven zeigten den gleichen Verlauf wie die Hill'sche Kurve (Hardyk 2000; Harrison et al. 2004).

Im Vergleich zu Studien am isolierten Muskel bzw. von eingelenkigen Bewegungen existiert verhältnismäßig wenig Literatur, welche sich mit der Kraft – Geschwindigkeitsbeziehung von mehrgelenkigen Bewegungen auseinandersetzt. Eine der am häufigsten verwendeten Methoden in dieser Beziehung stellt der vertikale Sprungtest auf einer Sprungplatte mit und ohne Zusatzlast dar (Yamauchi & Ishii, 2007; Sheppard et al., 2008). Damit wird die Fähigkeit des Athleten überprüft eine definierte Last (z.B., eigenes Körpergewicht mit eventueller Zusatzbelastung) schnellst möglich zu beschleunigen und dabei eine hohe Leistung zu erzielen. Diskutiert werden aber die Gütekriterien (Reliabilität, Validität und Sensitivität) eines solchen Testverfahrens zur Erhebung der Kraft – Geschwindigkeits – Leistungsbeziehung (Sands et al.,2005; Stone et al., 2003; Viitasalo 1983). Kürzlich konnten Sheppard et al. 2008 allerdings eine akzeptable Reliabilität, Validität und Sensitivität des Verikalsprungtests ohne und mit Zusatzlast (25% und 50%) des Körpergewichts feststellen.

Als allgemein anerkannt gilt die Annahme, dass ein Trainingsprogramm mit einer progressiven Belastungssteigerung über einen längeren Zeitraum zu einer Steigerung des Kraftentwicklungspotenzials führt. Es wird aber noch immer darüber debattiert welche Belastung zur optimalen Verbesserung der Muskelleistung führt. Frühere Trainingstudien wie beispielsweise Kaneko et al. (1983) und Wilson et al. (1993) berichten dass die optimale Belastung für eine Steigerung der Muskelleistung bei 30 % vom Einwiederholungsmaximum liegt.

Spätere Studien wie unter anderen Baker et al. (2001), Cronin et al. (2001), und Seigel et al. (2002) fanden heraus, dass explosive Bewegungsausführungen mit Lasten von 40- 70 % des Einwiederholungsmaximums zu einer Steigerung der Muskelleistung führen.

Siegel und Mitarbeiter, 2002 fanden, dass bei Kniebeugen (mit paralleler Ausführung) die Leistungsspitze bzw. die maximale Muskelleistung bei Lasten in einer Höhe von 60% des Einwiederholungsmaximums erreicht werden (vgl. Seigel et al. 2002). Zu ähnlichen Erkenntnissen kommt auch Thomas et al. 1996 welche eine Belastungsintensität von 68% des Einwiederholungsmaximums bei Kniebeugen als jenen Intensitätsbereich angeben, wo die höchste Muskelleistung erzielt wird. Zink et al. 2006 untersuchten die Veränderungen der Muskelleistung, sowie der Bodenreaktionskräfte bei der

Trainingsübung Kniebeuge mit Zusatzlast (20-90% des 1 WH_{max}) und ermittelten die höchste Muskelleistung bei 40-50% des 1 WH_{max} – die höchsten Bodenreaktionskräfte dagegen bei Kniebeugen mit höheren Zusatzlasten, also in höheren Intensitätsbereichen. Izquierdo et al., 1999 untersuchten die Muskelleistungsschwelle beim Bankdrücken und bei Kniebeugen bei Männern im Alter von 40 und 65 Jahren und fanden, dass unabhängig vom Alter die höchste Muskelleistung bei der Übung Bankdrücken bei 30-45% der Maximallast (Einwiederholungsmaximum) erzielt wurde, bei den unteren Extremitäten dagegen bei 60-70% der Maximallast (Einwiederholungsmaximum). Newton et al., 1997 erfassten die Muskelleistung beim Bankdrücken und fanden das Leistungsmaximum bei 30-45% der Maximallast. Die Bankdrückleistung war dabei jeweils höher wenn sie aus einem Dehnungs- Verkürzungszyklus erbracht wurde als bei rein konzentrischer Arbeitsweise. Für das Erreichen der Leistungsspitze bei Sprungbewegungen wird von Baker 2001 eine Belastungsintensität von 55- 59% des Einwiederholungsmaximums und beim Bankdrücken eine Belastungsintensität von 46- 62% empfohlen. (vgl. Baker et al 2001)

Alle genannten Studien befassten sich mit der Frage nach der optimalen Belastungsintensität zur Steigerung der Muskelleistung und bezogen sich dabei auf die maximale Last. Die Frage nach der optimalen Bewegungsgeschwindigkeit blieb dabei zumeist aber unberücksichtigt. Bereits 1979 stellten Perrine et al., (1979) sowie Osternig et al. (1983) eine Theorie auf, nach welcher die optimale Bewegungsgeschwindigkeit in Bereichen der mittleren bzw. höheren Bewegungsgeschwindigkeiten liegen sollte um eine Steigerung der Muskelleistung zu erreichen. Generell beschäftigen sich aber nur wenige Studien ausschließlich mit der Beziehung von Bewegungsgeschwindigkeit und Muskelleistung.

Izquierdo et al., 2006 untersuchten die Bewegungsgeschwindigkeit bei unterschiedlicher Intensität des Einwiederholungsmaximums (60%, 65%, 70%, 75%) bei den Testübungen Bankdrücken und Kniebeuge. Die Bewegungsgeschwindigkeit wurde dabei mittels Encoder erfasst. Es zeigte sich, dass bei der Kniebeuge jeweils eine signifikant höhere ($p < 0,001$) Zahl an Wiederholungen absolviert werden konnte als beim Bankdrücken bei gleicher relativer Intensität. Die Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit (bezogen auf die erste Wiederholung) war beim Bankdrücken signifikant stärker ausgeprägt als bei der Kniebeuge.

Trainingsstudien von Caiozzo et al. 1981, Behm et al. 1993 und Kanisha & Miyashita 1983 haben versucht den Zusammenhang zwischen Bewegungsgeschwindigkeit und Steigerung der Muskelkraft und Muskelleistung zu spezifizieren. Bei allen erwähnten Studien wurde entweder die optimale Last, oder aber die optimale Geschwindigkeit

analysiert und bestimmt, wobei die Tatsache dass sich Bewegungsgeschwindigkeit und die Kraftentwicklung gegenseitig beeinflussen nicht berücksichtigt wurde. Erst kürzlich führte Zink et al., 2008 eine Studie durch, bei welcher alle erwähnten Faktoren berücksichtigt wurden. Zweck dieser Studie war die Erhebung der von Unterschieden in Bereichen der maximalen Leistung, der maximalen Kraftspitze sowie der höchsten Geschwindigkeit während der Ausführung von parallel ausgeführten Kniebeugen welche explosiv und mit optimaler Technik mit verschiedenen Belastungsintensitäten ausgeführt wurden. Konkret wurden für diese Studie Belastungsintensitäten von 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 und 90% des Einwiederholungsmaximums verwendet. Für die Berechnung der Geschwindigkeit, Kraft und Leistung wurden Daten die an der Langhantel erfasst wurden sowie, Bodenreaktionskräfte einer Kraftmessplatte herangezogen. Aus den Ergebnissen dieser Studie ist wie schon erwähnt ersichtlich, dass die höchste absolute Muskelleistung bei einer Belastungsintensität von 40 und 50% des Einwiederholungsmaximums erreicht wird, wobei allerdings anzumerken ist, dass die Muskelleistung in einem Bereich von 20% - 90% des Einwiederholungsmaximums keine wirklich signifikanten Unterschiede zeigt. Bei höheren Belastungsintensitäten wurden höhere Werte der Bodenreaktionskraft, sowie höhere Kraftwerte in Moment der Maximalleistung erreicht.

Die maximale Geschwindigkeit der Langhantel, sowie die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der maximalen Leistung waren fast bei allen höheren Belastungsintensitäten niedriger, als bei leichteren Belastungen außer im Vergleich zwischen 20- 30%, 70- 80% und 80 und 90 %. des Einwiederholungsmaximums.

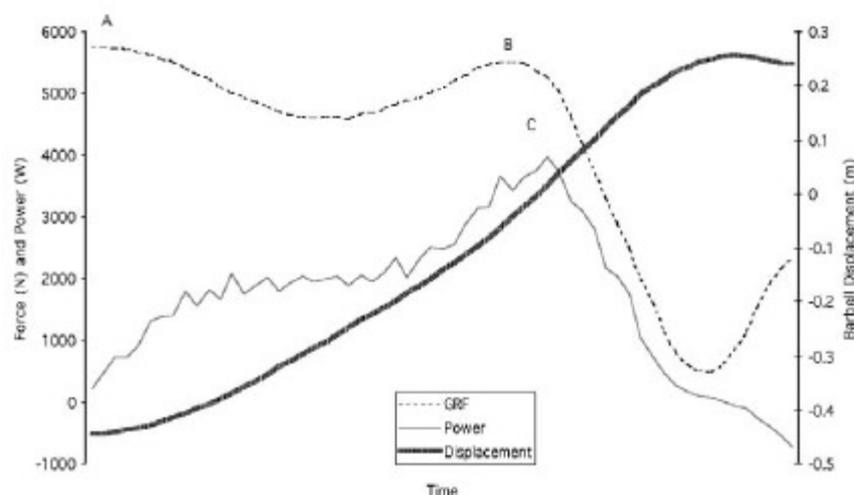


Abbildung 25: Bodenreaktionskraft (GRF), Leistung, and Hantelweg während der konzentrischen Phase er Kniebeuge. (Zink et al. 2006, S. 660)

„A= erste Spitze der Bodenreaktionskraft, B= zweite Spitze der Bodenreaktionskraft. C= Maximalleistung.“ (Zink et al. 2006, S. 660)

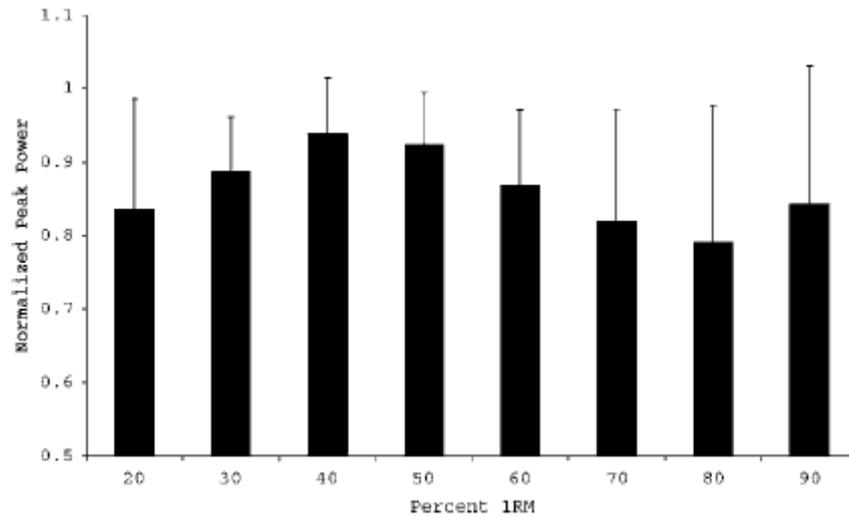


Abbildung 26: Normierte Maximalleistung bei unterschiedlicher Zusatzlast bezogen auf das Einwiederholungsmaximum (Zink et al. 2006, S. 661)

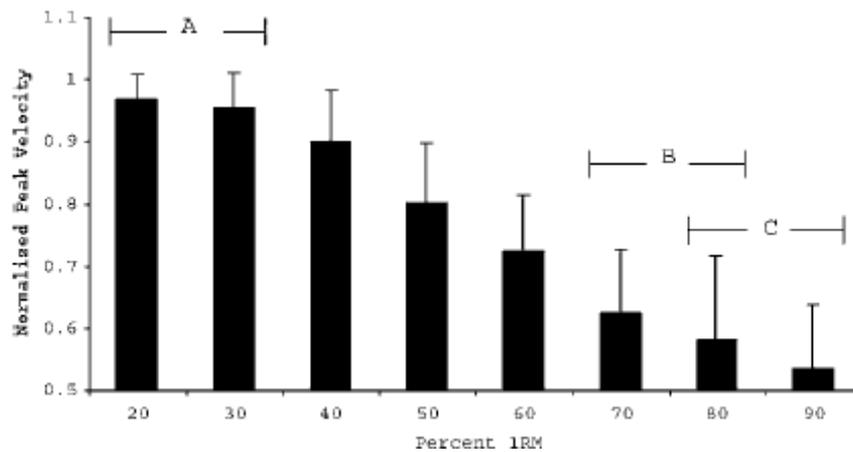


Abbildung 27: Maximale Geschwindigkeit (normiert) bei unterschiedlicher Zusatzlast. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bereichen die in der Abbildung mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind (Zink et al. 2006, S. 661)

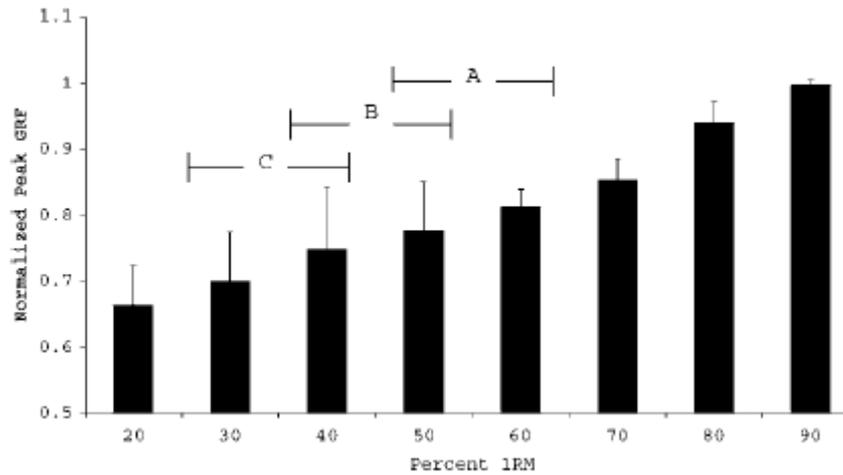


Abbildung 28: Maximale Bodenreaktionskräfte (normiert) bei unterschiedlichen Zusatzlasten bezogen auf das Einwiederholungsmaximum. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bereichen die in der Abbildung mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind. (Zink et al. 2006, S. 661)

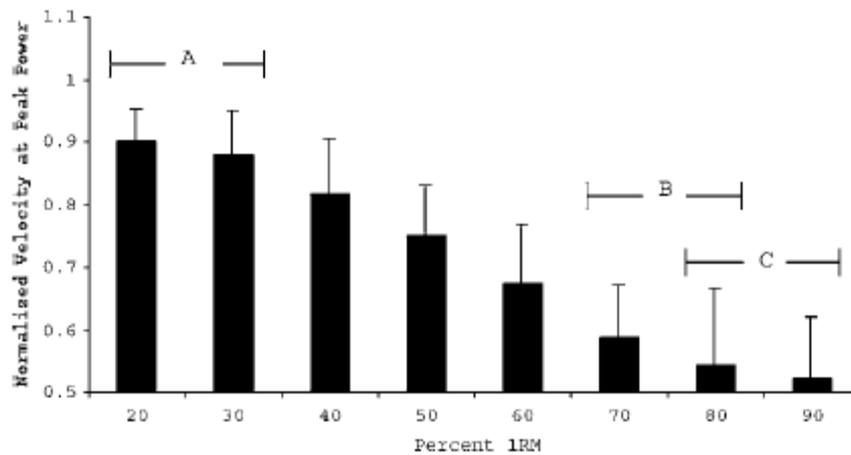


Abbildung 29: Geschwindigkeit (normiert) zum Zeitpunkt der Leistungsspitze bei unterschiedlichen Zusatzlasten bezogen auf das Einwiederholungsmaximum. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bereichen die in der Abbildung mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind. (Zink et al. 2006, S. 661)

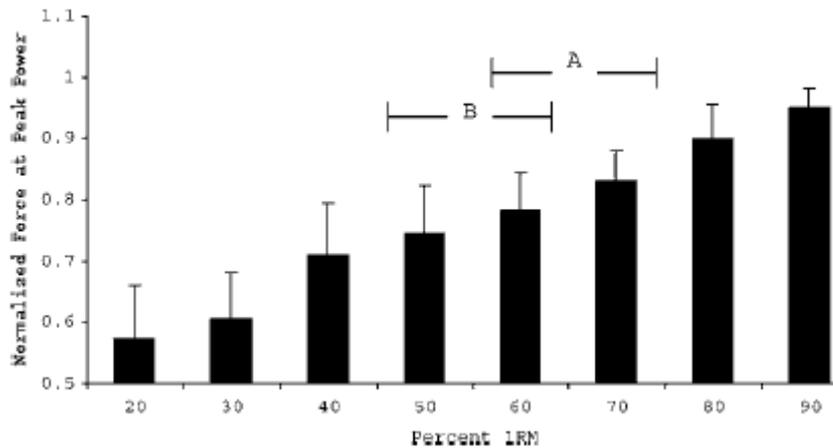


Abbildung 30: Bodenreaktionskräfte (normiert) zum Zeitpunkt der Leistungsspitze bei unterschiedlichen Zusatzlasten bezogen auf das Einwiederholungsmaximum. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bereichen die in der Abbildung mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind. (Zink et al. 2006, S. 661)

Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, dass die Trainingseffekte unter dem Aspekt der Beziehung Belastungsintensität / Muskelleistung bei Belastungsintensitäten mit ähnlichem Peak Power Wert gleich ausfallen würden. Dadurch dass sich PP zwischen dem höchsten Wert (bei 40 und 50 % des 1 RM) und erreichten PP bei einer Belastungsintensität von 90 % des 1 RM nicht signifikant von einander unterscheiden könnte man davon ausgehen, dass ein Training mit 40%, 50% und 90% des 1 RM zu gleichen belastungsspezifischen Trainingsergebnissen führen würde.

Betrachtet man aber die Studienergebnisse aus der Perspektive einer Geschwindigkeit-Leistung Beziehung wird klar, dass ein Training mit einer Belastungsintensitätsbreite von 70- 80% bzw. 80- 90% des 1RM zu gleichen geschwindigkeitsspezifischen Trainingseffekten führen würde. Das gleiche gilt auch für die Belastungsintensitäten von 20 und 30% des 1RM weil kein Unterschied im PP Wert festgestellt wurde.

Kritisch anzumerken bei dieser Studie ist die Art und Weise wie die physikalischen Merkmale während der Bewegungsausführung erhoben wurden. In Anlehnung an Michael et al. 2008, erreicht die Gewichtsstange bei solchen Bewegungen eine höhere Geschwindigkeit als das Systemschwerpunkt (Gewichtsstange bzw. Zusatzlast + Körpergewicht). Da aber bei dieser Studie nur die Geschwindigkeit der Gewichtsstange gemessen und berücksichtigt würde, kommt es, nach Aussage von Michael et al. 2008, bei der Berechnung der Maximalleistung zu einer Überschätzung dieses Messwertes um ca. 8 %.

In den letzten Jahrzehnten ist nicht nur die durchschnittliche Lebensdauer angewachsen sondern damit auch die Anzahl und der Prozentsatz von Senioren in unserer Gesellschaft. Gleichzeitig stieg aber auch der Anteil jener Personen, die funktionell beeinträchtigt bzw. behindert sind und wiederum verbunden damit kam es und kommt es zu einer ständig steigenden Belastung für unser Gesundheitssystem (Sayers, 2007). In den letzten 25 Jahren wurde die Bedeutung von Krafttraining für die Erhaltung der Gesundheit und Funktionsfähigkeit von Senioren erkannt. Erst kürzlich erkannt wurde dagegen die Bedeutung der Schnellkraft für die Erhaltung der Funktions- und Leistungsfähigkeit von Senioren.

De Vos et al., 2005 weisen darauf hin, dass im Altersgang die Leistung als Produkt aus Kraft und Geschwindigkeit und damit die Schnellkraft stärker abbaut als etwa die Maximalkraft. Aussagen über die Schnellkraftfähigkeit von Senioren dürften laut de Vos et al. 2005 auch eine bessere Aussage hinsichtlich des Sturzrisikos zulassen. Hinsichtlich der optimalen Trainingsmethode konnten de Vos und Mitarbeiter 2005 zeigen, dass die Muskelleistung bzw. die Schnellkraft auch durch das Training mit leichten Zusatzlasten verbessert werden kann. Die Autoren weisen aber auch darauf hin, dass um die anderen gesundheitsrelevanten Vorteile eines Krafttrainings gleichzeitig nutzen zu können (Kraftzunahme, Hypertrophie) ein explosives Training mit hohen Lasten am sinnvollsten erscheint.

Porter, 2006 weist darauf hin, dass Krafttraining von den medizinischen und wissenschaftlichen Gesellschaften weitgehend befürwortet wird, um der altersbedingten Verminderung der Muskelkraft und der Muskelmasse entgegen zu wirken. Vielfach wird in diesem Zusammenhang auch die Bedeutung des Krafttrainings in der primären und sekundären Prävention genannt. Gegenwärtig wird auch die Bedeutung des Schnellkrafttraining im Seniorenbereich untersucht. Hintergrund dafür ist, dass zahlreiche Studien eine statistisch gesehen engere Beziehung zwischen Schnellkraft und muskulär determinierten Funktionen des Alltagslebens sehen, als zwischen Maximalkraft und den funktionellen Fertigkeiten. Tatsächlich zeigen zahlreiche Studien, dass die neuromuskuläre Schnellkraftleistungen in höherem Maß durch explosive, schnelle Bewegungen verbessert werden können, als durch alleiniges Hypertrophie bzw. Maximalkrafttraining. So zeigt etwa Hazell et al. 2007, in einem Literaturreview dass ein entsprechend der gängigen Richtlinien durchgeführtes Krafttraining im mittleren Intensitätsbereich (60-80% 1RM) zwar Kraft und Muskelmasse erhöht, nicht aber notwendigerweise Aktivitäten des täglichen Lebens erleichtert bzw. verbessert. Hingegen kommt es laut dieser Literaturübersicht durch Schnellkrafttraining bei Senioren tatsächlich

zu Verbesserungen bei der Durchführung von Aktivitäten des täglichen Lebens (z.B. Treppensteigen, Gehgeschwindigkeit, Aufstehen aus dem Sitzen, und ähnlichen).

Katula et al. 2008 verglichen in einer 12wöchigen Pilotstudie die Auswirkungen eines explosiv ausgeführten Schnellkrafttrainings mit leichten Zusatzlasten mit jenen eines Hypertrophietrainings (70% des Einwiederholungsmaximums) auf die Lebensqualität (Selbstständigkeit, Selbstzufriedenheit) von 45 Senioren im Alter von $74,8 \pm 5,7$ Jahren. Die Autoren stellten fest, dass durch das explosiv ausgeführte Schnellkrafttraining zahlreiche Faktoren der Lebensqualität in höherem Ausmaß günstig beeinflusst wurden als durch das Hypertrophietraining.

Orr et al., 2006 verglichen in einer 12-wöchigen Trainingsstudie unterschiedliche Trainingsintensitäten (20%, 50% und 80% des 1 Wiederholungsmaximums) hinsichtlich ihrer Wirksamkeit auf die Gleichgewichtsfähigkeit und stellten fest, dass in dieser Hinsicht explosiv durchgeführtes Training mit leichten Zusatzlasten bei älteren Personen die größte Wirkung hervorrief.

In einer erst kürzlich publizierten Studie untersuchten Reid et al. 2008 die Wirkung eines unterschiedlich schnell absolvierten Trainings mit jeweils 70% des Einwiederholungsmaximums. Dazu wurden 57 ältere Personen ($74,2 \pm 7,0$ Jahre) zwei unterschiedlichen Trainingsgruppen zugeordnet, welche jeweils 3 x Woche über einen Zeitraum von 12 Wochen die unteren Extremitäten mittels leg-press und leg extension trainierte. Die Leistung bei jener Gruppe die mit explosiver Bewegungsausführung trainierte war bei der leg-extension um das 2,3 fache – bei der leg-press um das 2,8 fache höher als bei jener Gruppe die mit kontrolliert langsamer Bewegungsausführung trainierte. Der einzige Gruppenunterschied war, eine signifikant höhere Entwicklung der peak power ($p < 0,05$) der Schnellkraftgruppe in der Übung leg-press nach der Trainingsintervention während bei den übrigen Parametern (Maximalkraft, fettfreie Körpermasse, peak power leg extension) keine Unterschiede festgestellt werden konnten.

Eine kürzlich von Larsen et al. 2008 durchgeführte biomechanische Studie zeigt, dass Treppensteigen bergab im hohen Maße von den Schnellkraftfähigkeiten der Knie- und Knöchel umgebenden Muskulatur abhängig ist. Ein Sprungtest (counter movement jump) scheint ein guter Indikator für die Erfassung dieser funktionellen Fähigkeit zu sein.

12. Zusammenfassung

Ziel dieser hermeneutischen Diplomarbeit war es an Hand des Studiums neuester Literatur zu untersuchen, in welchem Verhältnis zwischen Kraft und Geschwindigkeit die höchste Muskelleistung produziert wird. Darüber hinaus sollte untersucht werden welche Trainingsmethoden angewendet werden müssen um das Kriterium der Muskelleistung zu optimieren. Zusätzlich sollte geklärt werden, welche Bedeutung der Muskelleistung bei Tätigkeiten des täglichen Lebens im Seniorenalter zukommt und welche Konsequenzen sich damit für das Training im Seniorenalter ergeben.

Es zeigte sich, dass im Gegensatz von isolierten Muskelfasern wo die höchste Muskelleistung bei 30% der maximalen Last erzielt wird bei sportlichen Komplexbewegungen die höchste Muskelleistung je nach Trainingsübung bei einem unterschiedlichen Prozentsatz der Maximalleistung realisiert wird. Beispielsweise bei findet man bei der Übung Bankdrücken die Leistungsspitze in einem Bereich von 30-45% der Maximallast dagegen bei Kniebeugen in einem Bereich von etwa 60-70% der Maximallast. Für das Training der Schnellkraft würde das theoretisch bedeuten, dass ein Training in diesem Intensitätsbereich den höchsten Leistungszuwachs bringt. Dies lässt sich allerdings nur bei kurzfristigen Trainingsmaßnahmen belegen. Längerfristig zeigt sich, dass ein abwechslungsreiches Training welches auch im Maximalkraftbereich absolviert wird dem isolierten Training an der Muskelleistungsschwelle überlegen ist. Hinsichtlich des Schnellkrafttrainings im Seniorenalter zeigt sich, dass ein explosiv ausgeführtes Training mit geringen Lasten besonders hohe Transfereffekte auf Alltagsbewegungen (z.B. Aufstehen aus dem Sitzen, Schrittgeschwindigkeit usw.) hat und in diesem Sinne dem Muskelaufbautraining sogar überlegen ist.

Schlüsselwörter:

Schnellkraft, Muskelleistung, Krafttraining, Intensität

13. Abstract

Based on latest literature the purpose of this hermeneutic study was to analyze in which relationship between force and velocity maximum power is produced. A further aim of the current study is to which training method is the most successful to optimize muscle power development. A final aim of this master thesis was to quantify the role of power training for activities of daily living and therefore the role of this form of exercise for aged subjects.

Based on literature review it could be demonstrated, that in contrasted to isolated muscle fibers where maximum power is produced at 30% of the 1 RM, in complex sports movements highest power output depends on the kind of exercise. Actually maximum power output in bench press exercise is realized at a load corresponding to 30-45% percent of the 1RM, whereas in squat exercise the maximum power output is realized at 60-70% of the maximal load which can be realized in this exercise. Theoretically this would lead to the assumption that exercise training in this intensity range is most effective to maximize power. However, this only could be demonstrated in the short time – for long term exercise the manipulation of exercise intensity including maximum force has been shown to be most effective. Concerning power training in seniors it could be demonstrated, that explosive resistance exercise training with low to medium loads is very effective to improve activities and movements of daily living (e.g. chair rise, gait velocity and so on) and is even more effective as hypertrophy training in this respect.

Keywords:

Power training, maximum power output, resistance exercise training, exercise intensity

Literaturverzeichnis

- Allerheiligen, B., Edgerton, R., Hayman, B., Kuc, J., Lambert, M. MacDougall, J.D., O'bryant, H., Pedemonte, J., Sale, D., Tesch, P., Vermeil, A., Wayne, L. "Determining factors of strength training". NSCA Journal. 15, (1): 9-22. 1993
- Badtke, G (1999). Lehrbuch der Sportmedizin. 4., neubearb. Aufl. - Heidelberg: Barth
- Badtke, G. (1995). Lehrbuch der Sportmedizin. Heidelberg: Hüthig.
- Baker, D., S. Nance, and M. Moore. The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes. J. Strength Cond. Res. 15:20–24. 2001.
- Banzer, W. & Pfeifer, K. & Vogt, L. (2004). Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Behm, D.G., and D.G. Sale. Velocity specificity of resistance training. Sports Med. 15:374–388. 1993.
- Bührlle, M. (1985). Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schörndorf: Hofmann.
- Caiozzo, V.J., J.J. Perrine, and V.R. Edgerton. Training-induced alterations in the in-vivo force-velocity relationship of human muscle. J. Appl. Physiol. 51:750–754. 1981.
- Carl K. & Quade K. & Stehle P (1995). Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. 1. Auflage, Strauß.
- Cronin JB, McNair PJ, Marshall RN. Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. J Strength Cond Res. 2003 Feb;17(1):148-55
- Cronin, J., P.J. McNair, and R.N. Marshall. Developing explosive power: A comparison of technique and training. J. Sci. Med. Sport. 4:59–70. 2001.
- Dickhuth H.H. & Badtke, G. (2007). Sportmedizin für Ärzte: Lehrbuch auf der Grundlage des Weiterbildungssystems der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP). Deutscher Ärzteverlag
- Dietrich, M. & Carl, K. & Lehnertz, K. (1993). Handbuch Trainingslehre. Schörndorf : Hofmann.
- Ehrlenz, H. & Grosser, M. & Zimmermann, E. (1983). Krafttraining: Grundlagen - Methoden - Übungen – Trainingsprogramme. München; Wien [u.a.]: BLV-Verl.-Ges.
- Ehrlenz, H., Grosser, S., Zimmermann & Zintl, E. (1995): Krafttraining : Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme. - (5., überarb. Aufl.), Neuausg. . - München ; Wien : BLV
- Grosser, M. & Starischka, S (1998): Das neue Konditionstraining für alle Sportarten, für Kinder, Jugendliche und Aktive. 7 völlig überarb. und erw. Aufl., (Neuausg.) . - München ; Wien [u.a.] : BLV
- Grosser, M. & Zimmermann, E. & Starischka, S (2000). Das neue Konditionstraining für alle Sportarten, für Kinder, Jugendliche und Aktive , 8. überarb. Aufl. . - München ; Wien [u.a.] : BLV
- Grosser, M. & Neumeier, A. (1988). Kontrollverfahren zur Leistungsoptimierung. Schorndorf: Hofmann.
- Grosser, M., Starischka, S., Zimmermann, E. & Zintl, F. (1993). Konditionstraining: Theorie und Praxis aller Sportarten. 6. Auflage. München; Wien; Zürich: BLV.
- Haber, P (2001). Leitfaden zur medizinischen Trainingsberatung. Von der Rehabilitation bis zum Leistungssport. Wien New York: Springer
- Hartmann, N.J. & Tünnemann, H. (1988). Modernes Krafttraining. Berlin (Ost): Sportverlag

- Hazell T, Kenno K, Jakobi J. Functional benefit of power training for older adults. *J Aging Phys Act.* 2007 Jul;15(3):349-59.
- Hegner, J. (2006). *Training fundiert erklärt. Handbuch der Trainingslehre.* Magglingen: Ingold.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (1990). *Sportmedizin. Arbeits- und Trainingsgrundlagen.* Stuttgart/New York: Schattauer.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin. Arbeits- und Trainingsgrundlagen.* Stuttgart/New York: Schattauer.
- Hydock, D. The weightlifting pull in power development. *Natl. Strength Cond. Assoc. J.* 23:32–37. 2001.
- Izquierdo, M. & González-Badillo, JJ. & Häkkinen, K. & Ibáñez J. & Kraemer, WJ. & Altadill, A. & Eslava, J. & Gorostiaga, EM. (2006). Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *Int J Sports Med.* Sep;27(9):718-24
- Izquierdo, M. & Ibañez, J. & Gorostiaga, E. & Garrues, M. & Zúñiga, A. & Antón, A. & Larrión, JL. & Häkkinen, K. (1999). Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiol Scand.* Sep;167(1):57-68
- Kaneko, M., T. Fuchimoto, H. Toji, and K. Sueti. Training effects of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scand. J. Sport Sci.* 5:50–55. 1983.
- Kanisha, H., and M. Miyashita. Specificity of velocity in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 52:104–106. 1983.
- Kanisha, H., and M. Miyashita. Effect of isometric and isokinetic muscle training on static strength and dynamic power. *Eur. J. Appl. Physiol.* 50:365–371. 1983.
- Katula JA, Rejeski WJ, Marsh AP. Enhancing quality of life in older adults: a comparison of muscular strength and power training. *Health Qual Life Outcomes.* 2008 Jun 13;6:45.
- Komi, P.V. (1994). *Kraft und Schnellkraft im Sport.* Köln: Deutscher Ärzte
- Küchler, G. (1983). *Motorik : Steuerung der Muskeltätigkeit und begleitende Anpassungsprozesse.* 1. Aufl. . - Stuttgart : Fischer.
- Letzelter, H. & Letzelter; M. (1986). *Krafttraining : Theorie, Methoden, Praxis.* Reinbek bei Hamburg : Rowohlt.
- Lehnertz, K. (1984). *Molekularmechanische Grundlagen der Muskelkraft bei Schlagbewegungen.* Leistungssport. Münster
- Linhard, F (2002). *Klassische Mechanik: Inertialsysteme, Newton´sche Gesetze, Erhaltungssätze, Prinzip der kleinsten Wirkung, Keplerproblem, Lagrange-Formulierung, Hamilton-Gleichungen, Noethers Theorem, Symmetrien, Phasenraum, Vielkörperproblem.* Orig.-Ausg. - Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verl.
- Murphy, A.J. & Wilson, G.J. & Pryor, J.F. (1994). Use of isoinertial force mass relationship in the prediction of dynamic human performance. *European Journal of Applied Physiology* 69, 1994, S. 250- 215
- Neumeier, A. (1983): *Sportmotorische Tests in Unterricht und Training: Grundlagen d. Entwicklung, Auswahl und Anwendung motorischer Testverfahren im Sport.* Schorndorf: Hofmann.
- Newton, RU. & Murphy, AJ. & Humphries, BJ. & Wilson, GJ. & Kraemer, WJ. & Häkkinen, K. (1997). Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 75(4):333-42
- Nicolaus, J. (1995). *Kraftausdauer als Erscheinungsform des Kraftverhaltens : dimensionsanalytische, mechanische und trainingswissenschaftliche Untersuchung.* 1. Aufl. Bonn : Sport u. Buch Strauß, Ed. Sport , 1995

- Nöcker, J. (1980). Physiologie der Leibesübungen für Sportlehrer, Trainer, Sportstudenten, Sportärzte .
neubearb. Aufl. - Stuttgart : Enke
- Orr R, de Vos NJ, Singh NA, Ross DA, Stavrinis TM, Fiatarone-Singh MA. Power training improves balance
in healthy older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2006 Jan;61(1):78-85
- Osternig, L.R., J. Hamill, J.A. Sawhill, and B.T. Bates. Influence of torque and limb speed on power production
in isokinetic exercise. *Am. J. Phys. Med.* 62:163–171. 1983.
- Perrine, J.J., and V.R. Edgerton. Muscle force-velocity and power-velocity relationships under isokinetic
loading. *Med. Sci. Sports Exerc.* 10:159–66. 1978.
- Pokan, R. & Förster, H., & Hofmann, P. & Hörtnagl, H. & Ledl-Kurkowski, E. & Wonisch, M. (2004).
Kompendium der Sportmedizin. Physiologie, innere Medizin und Pädiatrie. Wien: Springer.
- Porter MM. Power training for older adults. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2006 Apr;31(2):87-94. Review
- Radlinger, R. & Bachmann, W. & Homburg, J. u.a. (1998). Rehabilitatives Krafttraining. Theoretische
Grundlagen und praktische Anwendung. Stuttgart: Thieme.
- Rahmani, A., F. Viale, G. Dalleau, and J. Lacour. Force/ velocity and power/velocity relationships in squat
exercies. *Eur. J. Appl. Physiol.* 84:227–232. 2001.
- Reid KF, Callahan DM, Carabello RJ, Phillips EM, Frontera WR, Fielding RA. Lower extremity power training
in elderly subjects with mobility limitations: a randomized controlled trial. *Aging Clin Exp Res.* 2008
Aug;20(4):337-43
- Ruhmann, H. & Schmidtke, H. (1992). Körperkräfte des Menschen: Perzentilierung isometrischer
Maximalkräfte sowie Ausdauer und Beanspruchung bei konzentrischer und exzentrischer
Muskelarbeit: Köln: O. Schmidt.
- Sarkowiz, H. (1996). Schneller, höher, weiter. Frankfurt am Mein/ Leipzig: Insel.
- Sayers SP. High-speed power training: a novel approach to resistance training in older men and women. A
brief review and pilot study. *J Strength Cond Res.* 2007 May;21(2):518-26.
- Seigel, J.A., R.M. Gilders, R.S. Staron, and F.C. Hagerman. Human muscle power output during upper- and
lower-body exercises. *J. Strength Cond. Res.* 16:173–178. 2002.
- Schmidtbleicher, D. (1987). Motorische Beanspruchungsform Kraft. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 9,
356- 376
- Schmidtbleicher, D. (1980). Maximalkraft und Bewegungsschnelligkeit. 1. Aufl. . Bad Homburg : Limpert.
- Schnabel, G (1994). Trainingswissenschaft : Leistung, Training, Wettkampf . 1. Aufl. - Berlin: Sportverl.
- Schnabel, G., Harre, D. & Borde, A. (1997). Trainingswissenschaft : Leistung, Training, Wettkampf . 2.,
überarb. Aufl. Berlin : Sportverlag.
- Schurr, S. (2003). Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Ausdauersport: Belingen: Spitta.
- Stone, M.H. Position paper and literature review: Explosive exercises and training. *Natl. Strength Cond.
Assoc. J.* 15:9–15. 1993.
- Thomas, M., M.A. Fiatarone, AND R.A. Fielding. Leg power in young women: Relationship to body
composition, strength, and function. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28:1321–1326. 1996.
- Tomasits, J. & Haber, P. (2008). Leistungsphysiologie. Grundlagen für Trainer, Physiotherapeuten und
Masseur. Wien/ New York: Springer.
- de Vos NJ, Singh NA, Ross DA, Stavrinis TM, Orr R, Fiatarone Singh MA. Optimal load for increasing muscle
power during explosive resistance training in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2005
May;60(5):638-47

Weineck, J. (2004). Sportbiologie. 9. Auflage, Balingen: Spitta.

Weineck, J., (2004). Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings. 14. Auflage. Balingen: Spitta.

Wick, D. (2005). Biomechanische Grundlagen sportlicher Bewegung. Balingen: Spitta.

Zink, AJ. & Perry, AC. & Robertson, BL. & Roach, KE. & Signorile JF. (2006). Peak power, ground reaction forces, and velocity during the squat exercise performed at different loads. J Strength Cond Res. Aug; 20(3):658-64

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: motorische Eigenschaften (Hegner 2006, S. 20)	9
Abbildung 2: Beziehungssystem der konditionellen Fähigkeiten und Sportarten nach Gundlach & Ikai, (Badtke 1985, S. 371)	11
Abbildung 3: Determinanten der Beweglichkeit nach Zaciorskij (Martin et al. 1993, S. 214)	14
Abbildung 4: Die Muskelleistungskurve beim Bankziehen, Charakteristik der Muskelleistungskurve die über den Impuls der beschleunigten Masse ermittelt wurde. (Martin et al. 1993, S. 119).....	18
Abbildung 5: Der Aufbau eines Skelett- Muskels aus Fasern, Fibrillen und Filamenten (nach Huxley & Hanson; aus Nöcker 1989, S. 27).....	20
Abbildung 6: Greif- Loslass- Effekt bei der Muskelkontraktion (nach Huxley, 1945; aus Rühmann & Schmidtke 1992, S. 149)	21
Abbildung 7: Verschiedene Benennungen der Muskelfasertypen (BADTKE et al. 1999, S. 26).....	24
Abbildung 8: Zusammenfassende Darstellung der Energiebereitstellung aus Phosphagenen (Badtke 1999, S. 51).....	27
Abbildung 9: Kontraktionscharakteristik und Kraftwerte beim Reißen (nach Baumann 1989,aus Martin et al. 1993, S. 111).....	28
Abbildung 10: Parameter der Schnellkraft (Bührlé 1985, S. 104)	36
Abbildung 11: Start- und Explosivkraftabschnitte in einer isometrischen Kraft- Zeit- Kurve. (nach Gollhofer 1987, 119; aus Martin et al. 1993, 122)	38
Abbildung 12: Physiologischer und Anatomischer Muskelquerschnitt (Hollmann & Hettinger 2000, S. 165)	42
Abbildung 13: Faserverteilung und Sportart. (nach Burke et al., 1977; Costill et al., 1972; Komi et al., 1977; Thorstensson et a., 1977) aus Badtke 1999, S. 30	44
Abbildung 14: Rekrutierungsprinzip. 4 verschiedene motorische Einheiten mit unterschiedlicher Rekrutierungsschwelle. ST = Slow- Twitch- Fasern; FTO = oxidativ ausgestattete Fast- Twitch- Faser, FTG = glykolytisch ausgestattete Fast- Twitch- Faser. FT- Einheiten mit großen Motoneuronen und höheren Rekrutierungsschwellen (Grosser et al. 2001, S. 56).....	46
Abbildung 15: Abhängigkeit der Muskelkraft vom Gelenkwinkel während einer Armbeugung (Radlinger et al. 1998, S.15)	50
Abbildung 16: Geschwindigkeit/ Last Beziehung(Grosser et al. 1993, S. 47)	51

Abbildung 17: Allgemeines Krafttraining. Zusammenhang der Ziele und Inhalte (Martin et al. 1993, S. 126).....	53
Abbildung 18: Kraftmesssystem. (Hollmann & Hettinger 2000, S. 172).....	68
Abbildung 19: Isokinetisches Trainings-, Meß- und Testsystem Cybex. (Hollmann & Hettinger 2000, S. 214)	70
Abbildung 20: Isometrische Kraft- Zeit- Kurve (Martin et al. 1993, S.122)	72
Abbildung 21: Beispiel einer isokinetischer Messung (Banzer S. 110)	73
Abbildung 22: Ermittlung der Belastungsintensität an der Muskelleistungsschwelle (links/ unten Last (kg) und Impuls (Ns); rechts/ oben prozentuelle Angabe der Leistungsintensität sowie Ableitung der relativen Intensität zur Last). (Carl/ Quade/ Stehle 1995, S. 451)	75
Abbildung 23: Systemaufbau zur Messung der Muskelleistungsschwelle (MLS) beim Bankziehen. (Martin/ Carl/ Lehnertz 1993, 120)	76
Abbildung 24: Vertikalkraft F bei einem Streck sprung aus der Hockstellung mit Auftaktbewegung und Armschwung rückwärts. (aus Martin/ Carl/ Lehnertz1993, 121)	77
Abbildung 25: Bodenreaktionskraft (GRF), Leistung, and Hantelweg während der konzentrischen Phase er Kniebeuge. (Zink et al. 2006, S. 660)	82
Abbildung 26: Normierte Maximalleistung bei unterschiedlicher Zusatzlast bezogen auf das Einwiederholungsmaximum (Zink et al. 2006, S. 661)	83
Abbildung 27: Maximale Geschwindigkeit (normiert) bei unterschiedlicher Zusatzlast. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bereichen die in der Abbildung mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind (Zink et al. 2006, S. 661)	83
Abbildung 28: Maximale Bodenreaktionskräfte (normiert) bei unterschiedlichen Zusatzlasten bezogen auf das Einwiederholungsmaximum. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bereichen die in der Abbildung mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind. (Zink et al. 2006, S. 661) ...	84
Abbildung 29: Geschwindigkeit (normiert) zum Zeitpunkt der Leistungsspitze bei unterschiedlichen Zusatzlasten bezogen auf das Einwiederholungsmaximum. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bereichen die in der Abbildung mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind. (Zink et al. 2006, S. 661).....	84
Abbildung 30: Bodenreaktionskräfte (normiert) zum Zeitpunkt der Leistungsspitze bei unterschiedlichen Zusatzlasten bezogen auf das Einwiederholungsmaximum. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bereichen die in der Abbildung mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind. (Zink et al. 2006, S. 661).....	85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gliederung der Kraft	31
Tabelle 2: Methoden des Hypertrophie- Trainings.....	56
Tabelle 3: Methoden des IK Trainings.....	59
Tabelle 4: Methoden des maximalen Impulses an der Muskelleistungsschwelle und kurzzeitiger maximaler Krafteinsätze	61
Tabelle 5: Schnellkrafttrainingsmethoden	63

Lebenslauf

Name: Almir Ibrisimovic
Geburtsdatum: 4.7.1970
Geburtsort: Tuzla
Staatsbürgerschaft: Bosnien und Herzegowina
Eltern: Fuad Ibrisimovic (Geb. 1942)
Fatima Ibrisimovic (Geb. 1947)
Geschwister: Alma Ibrisimovic (Geb. 1966)
Ehefrau: Elvira (Geb. 1980)
Kinder: Tarik (Geb. 2005)
Faris (Geb. 2006)

Schulbildung:

1977 – 1984: Volksschule und Hauptschule Srebrenik
1985 – 1988: Medizinschule Tuzla
Seit 1995: Studium der Sportwissenschaften

Wehrdienst:

1989/90: Sabac, Belgrad

Berufliche Tätigkeiten im Bereich Sport:

1996 – 1997: Fitnesstrainer in C3 Fitness-Studio/Wien
Seit 2002: Fitnessstudioleiter in A3 Fitness-Studio/Srebrenik
Seit 2007: Fitnesstrainer in Wellnesscenter Baxter/Wien

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere:

1. Dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
2. Dass ich diese Diplomarbeit bisher weder im In- oder Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Almir IBRISIMOVIC,

November 2008