

**Bachelorarbeit**

**Muskelaufbau bei Erwachsenen**

**optimale Trainingsmethode und Auswirkung von  
Nahrungsergänzungsmittel im Kraftsport**

eingereicht von

**Roland Eckhart**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Bachelor of Science (BSC)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

Ausgeführt an der

**Klinischen Abteilung für Nephrologie**

**8036 Graz, Auenbruggerplatz 15**

Unter der Anleitung von

**Ao.Univ. Prof. Dr. med. univ. Sabine Horn**

Graz, am 25.07.2016

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 25.07.2016

Roland Eckhart eh

## **Zusammenfassung:**

**Hintergrund:** In den letzten Jahrzehnten ist ein regelrechter Fitness-Boom ausgebrochen. Bei vielen jüngeren Männern ist ein regelmäßiges Krafttraining bereits ein im Alltag integrierter Bestandteil des Lebens. Neben den vielen unterschiedlichen Trainingsmethoden steht mittlerweile die Ernährung im Zentrum des Kraftsports. Hierbei wird ein immenses Angebot an verschiedenen Produkten, die dem Muskelaufbau beschleunigen sollen, vermarktet. Die diesbezüglich wohl am häufigsten verwendeten Produkte sind Protein - Supplemente. In einigen Fällen werden auch illegale Substanzen konsumiert. Ein Beispiel hierfür wären unterschiedliche Formen von Anabolika, die einen enormen Muskelzuwachs versprechen. Ähnlich wie bei der Sporternährung gibt es auch bei der Trainingsmethode zahlreiche unterschiedliche Meinungen, welche am geeignetsten ist, um Muskelmasse möglichst effektiv aufzubauen.

**Fragestellung:** Im Rahmen dieser Literaturrecherche wird eine konkrete Antwort darauf geben, welche Trainingsmethode am geeignetsten ist, um Muskelmasse effektiv aufzubauen. Weiter werden hierbei die positiven und auch negativen Effekte von Eiweiß Präparaten und Anabolika im Bodybuilding eruiert und näher erläutert.

**Ergebnisse:** Die bearbeiteten Studien zeigten deutlich, dass ein sogenanntes Hypertrophietraining einen maximalen Muskelzuwachs mit sich bringt. Weitere Studien bewiesen einen positiven Effekt von Molkeprotein in Kombination mit Krafttraining auf die Muskelhypertrophie. Als Nebenwirkung wurde hierbei ein vermehrtes Auftreten von Haut- und Nierenproblemen angegeben. Eine regelmäßige Einnahme von Anabolika wirkt sich zwar sehr fördernd auf das Muskelwachstum aus, allerdings sind bei diesen illegalen Substanzen die negativen Nebenwirkungen fatal.

**Conclusio:** Als optimale Trainingsmethode wird eine Anzahl von 3 bis 4 Serien zu je 8 bis 12 Wiederholungen mit einer Intensität von circa 80 Prozent des Einwiederholungsmaximums beschrieben. Bei der Einnahme von Eiweiß - Supplementen wird eine Dosis von 1,6 Gramm pro Kilogramm Körpergewicht während der Trainingsphase empfohlen. Als bekannte Nebenwirkungen bei einer zu eiweißreichen Nahrung können vermehrt Akne und eine Vergrößerung der

Nieren entstehen. Der Konsum von Anabolika resultiert in einer deutlichen Zunahme der fettfreien Muskulatur. Allerdings überwiegen hierbei die negativen Aspekte gegenüber den anabolen Prozessen. Hier werden eine Schrumpfung der Hoden, Störung der Spermatogenese, Unfruchtbarkeit, Gynäkomastie, Wachstumsstörungen, Hepatitis und ein erhöhtes Herzinfarktrisiko beschrieben. Weiters zeigt sich eine geschlechterspezifische Wirkung bei Frauen. Hierbei wird eine Virilisierungserscheinung als mögliche Nebenwirkung beschrieben. Orthopädisch wurde auch festgestellt, dass der langjährige Gebrauch von AAS in Kombination mit einem intensiven Krafttraining zu einer Verhärtung und einer erhöhten Steifigkeit der belasteten Sehnen führt.

**Abstract:****Background:**

In recent years fitness has become more and more important for our society. Especially young men are very often in regular strength training. There are many different methods of training that promise the most effective muscle growth. Also the use of different Supplements has become common. Here, a huge range of different products that have to accelerate the buildup of muscles is marketed. The most frequently used Products of these kinds are protein supplements. In some cases, also illegal substances are consumed. An example for these are, different forms of anabolic steroids, which promises a huge muscle growth. There are also many different methods of training which are most appropriate to build muscle mass.

**Question:**

This thesis gives answers about the most appropriate training method to effectively build up muscle mass. It will also include a statement on the positive and negative effects of protein supplements and anabolic steroids in bodybuilding

**Results:**

The used studies clearly show that a so-called hypertrophytraining delivers a maximum gain of muscle mass. Further studies demonstrated positive effects of whey protein in combination with strength training on the hypertrophy of the muscles. As a side effect problems with skin and kidney were mentioned. The intake of Steroids also shows an enormous growth of muscles, but these illegal substances have a lot of negative side effects.

**Conclusio:**

The best method of training consists of 3-4 series each of 8 to 12 repetitions with an intensity of about 80 percent of one-repetition-maximum. When taking protein supplements, a dose of 1.6 grams per kilogram of body weight during the training phase is recommended. As side effects of a protein-rich food an increased occurrence of acne and an enlargement of the kidney are mentioned. The intake of steroids results in a significant increase in lean muscle. However the negative effects clearly outweigh the positive aspects. These side effects are shrinking of

the testicles, disruption of spermatogenesis, infertility, gynecomastia, growth disorders, hepatitis and an increased risk of heartattacks. For women there are also virilization appearances mentioned. The last negative point is an increased stiffness of the tendons.

## **Inhaltsverzeichnis:**

Einleitung.....	1
1.Muskelarten .....	2
1.1. Muskelformen.....	2
1.2. Ursprung und Ansatz eines Muskels .....	4
1.3. Die Muskelsehnen.....	4
1.4. Aufbau der Quergestreiften Muskulatur.....	4
1.5. Arten der Skelettmuskelfasern .....	6
2. Allgemeine Leistungsphysiologie.....	7
2.1. Erregungs - Kontraktions Koppelung der Quergestreiften Muskulatur .....	7
2.2. Muskelkontraktion, die Gleitfilamenttheorie .....	8
2.3. Energiebereitstellung für Muskelarbeit .....	9
2.4. Energiebereitstellung bei sehr kurzen Belastungen .....	9
2.5. Energiebereitstellung bei hohen Belastungen bis drei Minuten .....	10
3. Allgemeine Auswirkung von Training auf die Skelettmuskulatur.....	11
3.1. Das Krafttraining.....	11
3.2. Isometrisches Krafttraining .....	13
3.3. Dynamisches Krafttraining.....	14
4. Hypertrophie der Muskulatur .....	15
4.1. Hypertrophietraining .....	16
4.2. Optimale Trainingsmethode für den Muskelaufbau .....	17
5. Proteine und Muskelaufbau .....	18
5.1. Nebenwirkungen von Eiweiß-Präparaten .....	19
6. Allgemein zu Androgenen.....	22
6.1. Allgemein zu Anabolika .....	23
6.2. Nebenwirkungen von Anabolika .....	24
7. Diskussion .....	27
8. Conclusio:.....	32

## **Tabellenverzeichnis:**

Tabelle 1.....	7
Tabelle 2.....	22

## **Abbildungsverzeichnis:**

Abbildung 1.....	3
Abbildung 2.....	5
Abbildung 3.....	6
Abbildung 4.....	8

## **Abkürzungsverzeichnis:**

5- $\alpha$ DGT.....	5 alpha Dihydrotestosteron
AAS.....	anabole androgene Steroide
ADP.....	Adenosindiphosphat
AG1.....	androgene Steroide Gruppe 1
AG2.....	androgene Steroide Gruppe 2
ATP.....	Adenosintriphosphat
BG.....	Bodybuildinggruppe
CA <sup>2+</sup> .....	ionisiertes Kalzium
DHPR.....	Dihydropyridin Rezeptoren
FEV1.....	forciertes expiratorisches Volumen
FSH.....	Follikelstimulierendes Hormon
FVC.....	Forcierte Vitalkapazität
G1.....	Gruppe 1
G2.....	Gruppe 2
G3.....	Gruppe 3
G4.....	Gruppe 4
GnRH.....	Gonadotropin releasing Hormone
HT.....	Hypertrophiegruppe
KG.....	Kontrollgruppe

KrP.....Kreatinphosphat  
KSG.....Krafttraining Steroid Gruppe  
KTG.....Krafttraining Gruppe  
LH.....Luteinisierendes Hormon  
M.....Musculus  
PEF.....Peak expiratory  
flow  
Pi.....freies Phosphat  
RNS.....Ribonukleinsäure  
RyR1.....Ryanodin Rezeptoren  
ST.....Kraftzuwachsgruppe  
VNS.....Vegetatives Nervensystem  
ZNS.....Zentrales Nervensystem

## **Einleitung**

Die vermehrte Aufmerksamkeit der heutigen Gesellschaft auf den menschlichen Körper und dessen Fitness hat es dem Bodybuilding ermöglicht, sich als äußerst beliebte Sportart zu etablieren. Durch die Entwicklung der Technologie und der Sportmedizin wird den KraftsportlerInnen ein breites Spektrum an unterschiedlichen Trainingsmöglichkeiten und Nahrungsergänzungsmitteln zum verbesserten Muskelaufbau bereitgestellt. Durch dieses große Angebot ist das moderne Bodybuilding von einer Vielzahl an unterschiedlichen Aussagen über optimales Training bis hin zu einer adäquaten Ernährung, um einen bestmöglichen Muskelaufbau zu gewährleisten, überflutet.

Schon die Etablierung einer erhöhten Proteindosis hat in der Literatur eine große Streuung. Hollmann und Strüder (2009) geben als Empfehlung eine Dosis von 1,4 bis 1,7 Gramm Protein pro Kilogramm des Körpergewichts bei Trainierenden an. Noch umstrittener sind die Effekte einer erhöhten Proteinzufuhr. Bei den Wirkungen von Anabolika ist sich die Literatur vor allem ob ihrer androgenen Effekten einig. Aber auch bezüglich der negativen Nebenwirkungen wurden Anabolika nicht ohne Grund aus dem Sport verbannt. Als adäquate Trainingsmethode, um eine vergrößerte Muskelmasse zu erlangen, wird vor allem ein sogenanntes Hypertrophie Training genannt, aber auch andere Methoden des Krafttrainings gehen mit einer erhöhten Muskelmasse einher.

Um diese verschiedenen Aussagen zu ordnen, befasst sich diese Arbeit mit den optimalen Methoden, um möglichst effektiv Muskelmasse aufzubauen. Hierbei wird sowohl zu den verschiedenen Trainingsmethoden als auch zu Nahrungsergänzungsmitteln Stellung genommen. Daher behandelt die erste Forschungsfrage die Effekte von einer Protein- und Anabolikazufuhr auf die Trainingserfolge und auch auf die SportlerInnen selbst. Die zweite Forschungsfrage befasst sich hingegen mit der Eruiierung der erfolgreichsten Trainingsmethode, um eine Muskelhypertrophie zu erzielen. Um diese beiden komplexen Forschungsfragen am Ende dieser Arbeit so verständlich wie möglich zu beantworten, wird anfangs ein grober Überblick über die allgemeine Muskelphysiologie- und Anatomie gegeben. Anschließend werden die verschiedenen Trainingsmethoden und Nahrungssupplemente näher erläutert, um abschließend eine konkrete Aussage treffen zu können.

## **1.Muskelarten**

Die Masse des menschlichen Körpers wird zu 50 % aus dem Gewicht der eigenen Muskulatur definiert. Prinzipiell lässt sich diese Muskulatur in drei Untergruppen gliedern, der quergestreiften Skelettmuskulatur, der quergestreiften Herzmuskulatur und der glatten Muskulatur. Die Skelettmuskulatur lässt sich im Gegensatz zu den beiden anderen Muskelarten willkürlich steuern. Sie wird direkt über die neuromuskulären Endplatten mittels Nervenfasern mit dem Zentralnervensystem (ZNS) und dem Alpha-Motoneuron verbunden. Die glatte Muskulatur und quergestreifte Muskulatur arbeitet unwillkürlich und erarbeitet Spontanaktivitäten. Ihre Kontraktionsfrequenz wird durch das vegetative Nervensystem (VNS) moduliert und gesteuert. Hierbei wird die glatte Muskulatur von Fasern des Sympathikus und auch des Parasympathikus innerviert (Behrends et al. 2012).

### **1.1. Muskelformen**

Wenngleich alle Muskeln die idente Funktion haben, nämlich eine Kontraktion durchzuführen, so unterscheiden sich die einzelnen Skelettmuskeln in ihrer Größe und Form. Prinzipiell wird zwischen platten und dicken Muskeln und zwischen gefiederten und spindelförmigen Muskeln differenziert (Markworth, 2010).

Die spindelförmigen Muskeln haben charakteristisch einen dicken Muskelbauch, welcher sich gleichermaßen zu beiden Sehnenenden verjüngt. Diese Enden werden auch als Muskelköpfe bezeichnet. Der Verlauf der einzelnen Muskelzellen ist parallel zur Longitudinalachse angeordnet. Die gefiederten Muskeln werden weiter in einfach und doppelt gefiedert eingeteilt. Die einfach gefiederten Muskeln besitzen Muskelzellen, welche schräg zur Hauptrichtung des Muskels verlaufen. Außerdem strahlen sie in eine Sehne am Rand des Muskels ein. Der doppelte gefiederte Muskel zeichnet sich dadurch aus, dass die Sehne in der Mitte des Muskels liegt und Muskelzellen von beiden Seiten aus federförmig in diese Mittelsehne einstrahlen. Diese anatomische Anordnung der Fasern ermöglicht es vielen Muskelzellen gleichzeitig an einer Sehne anzusetzen, was wiederum für eine besonders hohe Zugfestigkeit sorgt. Aus diesem Grund kommt diese Art von Muskelform vor allem an Körperregionen vor, an denen überwiegend Kraft erforderlich ist. Ein Beispiel hierfür wäre die Rumpfmuskulatur. Die spindelförmige

Muskulatur ist hingegen an Körperregionen anzutreffen, wo schnelle Bewegungen durchgeführt werden müssen, dies ist zum Beispiel an den oberen und unteren Extremitäten der Fall (Markworth, 2010).

Der Verlauf von Muskeln erstreckt sich nicht immer nur über ein Gelenk, einige Muskeln verlaufen über zwei Gelenke und sorgen somit in diesen für verschiedene Bewegungen. Ein Beispiel hierfür wäre der Musculus (M.) Biceps brachii. Dieser zweiköpfige Muskel verläuft über das Schulter- und Ellbogengelenk. Muskeln können verschieden viele Köpfe haben, so gibt es zum Beispiel Muskeln mit drei und auch vier Köpfen. Beispiele hierfür wären der M. Trizeps brachii und der M. Quadriceps femoris. Eine grafische Darstellung der eben beschriebenen Muskelformen kann in der Abb. X betrachtet werden. (Markworth, 2010).

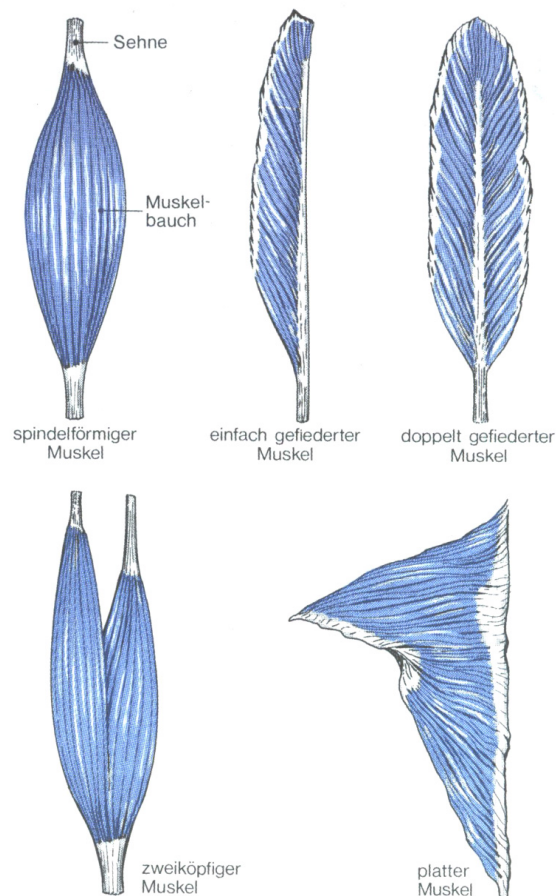


Abbildung 1: Muskelformen (Markworth, 2010).

## **1.2. Ursprung und Ansatz eines Muskels**

Bei jeder Kontraktion eines Muskels entstehen Spannkraften. Diese wirken sich nach mechanischen Grundgesetzen auf die knöchernen Strukturen aus, an denen der Muskel inseriert. Die gewünschte Bewegung wird allerdings ausschließlich von den Knochen durchgeführt, welche nicht durch interne oder externe Kräfte fixiert sind. Nach diesem Prinzip werden auch Ursprung und Ansatz der einzelnen Muskeln definiert. Der Ansatz wird auf dem beweglichen Knochen gefunden. Der Ursprung hingegen ist auf dem fixierten Knochen befestigt. In der Regel besitzt die Muskulatur der oberen und unteren Extremitäten ihren Ursprung am proximalen und Ansatz am distalen Ende des Muskels (Markworth, 2010).

## **1.3. Die Muskelsehnen**

Die Sehnen spielen eine zentrale Rolle bei der Funktion der Muskeln. Durch die Muskelsehnen wird die Zugkraft eines Muskels auf die über Gelenke verbundenen Knochen übertragen. Die Bestandteile einer Sehne sind sehr straffe Bindegewebsfasern, welche sich durch eine sehr hohe Zugfestigkeit charakterisieren. Diese liegt bei etwa 40 bis 60 N/mm<sup>2</sup>. Aluminium hat eine Zugfestigkeit von 20 bis 40 N/mm<sup>2</sup>. Dieser Vergleich verdeutlicht die enorme Zugkraft der Muskelsehnen und welche starken Kräfte auf diese einwirken. Muskelseitig sind die Fasern der Sehnen mit den Muskelfasern verwachsen. Am Knochenansatz der Sehne inserieren die Sehnenfasern fächerförmig in das Periost und die Substantia compacta der jeweiligen Knochen. Die verwachsene Stelle lässt sich mit einem flach gedrückten Pinsel, der in einem erkaltetem Leimtopf haftet, vergleichen. Um bei einer entstehenden Muskelspannung die Krafteinwirkung auf den Knochen zu dämpfen, verlaufen die Sehnen im unbelasteten Zustand leicht wellenförmig (Markworth, 2010).

## **1.4. Aufbau der Quergestreiften Muskulatur**

Der menschliche Körper beinhaltet etwa 400 Einzelmuskeln, welche aus vielkernigen, meist parallel angeordneten Muskelfasern bestehen. Diese Muskelzellen haben einen Durchmesser von bis zu 100 Mikrometer (qm) und eine Länge von mehreren Zentimetern. Sie sind von dem Sarkolemm, einer erregbaren Zellmembran, umhüllt und setzen sich aus mehreren Myofibrillen zusammen.

Diese Myofibrillen sind zylindrische Strukturen, welche aus mehreren Sarkomeren bestehen. Somit sind die Sarkomere die kleinste kontraktile Einheit des menschlichen Muskels. Jedes einzelne Sarkomer enthält dünne Filamente, die einerseits aus Aktin und andererseits aus Myosin bestehen. Die typische Querstreifung der Muskulatur entsteht durch die Isotrop-Banden (I-Banden) und Anisotrop-Banden (A-Banden) des Sarkomers. Unter dem Lichtmikroskop erscheinen die I-Banden hell und die A-Banden, bedingt durch die Überlappung der Aktin- und Myosinfilamente, dunkel. Die einzelnen Sarkomere sind durch Z-Scheiben voneinander getrennt, jede Z-Scheibe beinhaltet Alpha-Aktinin. Durch Inaktion mit dem Alpha-Aktinin sind die Aktinfilamente an den Z-Scheiben verankert. Am Äquator des Sarkomers befindet sich die H-Zone, diese enthält kein Aktin und wird durch die M-Linie begrenzt. Die M-Linie setzt sich aus Myosin zusammen und verbindet die dicken Filamente miteinander. Aktin und Myosin sind nicht die einzigen Filamente in der Muskulatur, auch das Filament Titin ist ein Bestandteil. Titin ist ein fadenförmiges Protein und spannt sich zwischen Z-Scheibe und M-Linie eines Sarkomers auf (Behrends et al. 2012).

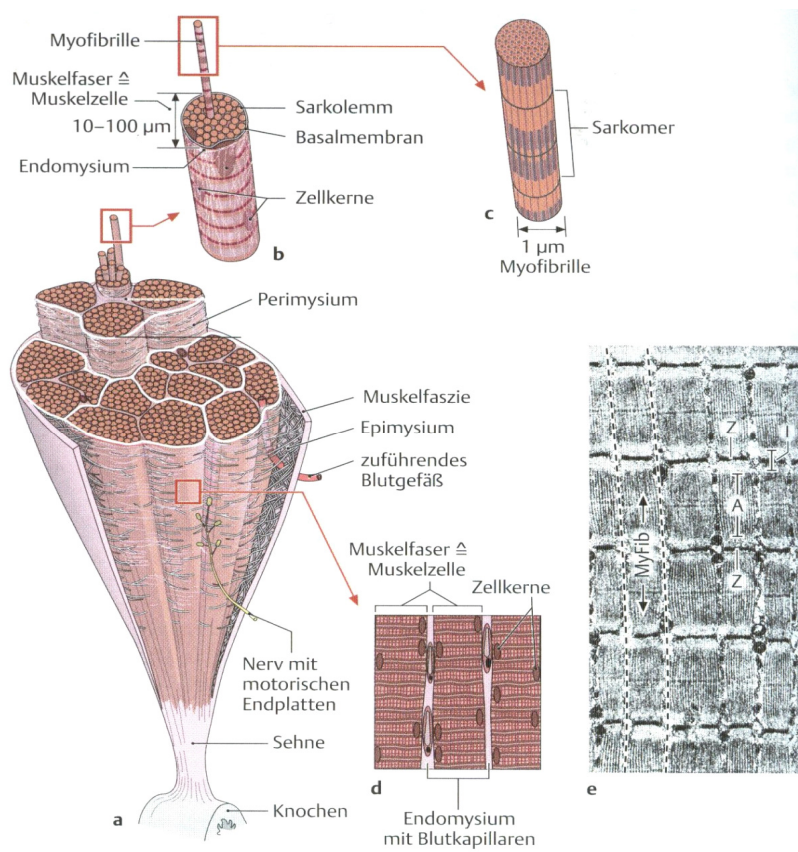


Abbildung 2: Aufbau eines Skelettmuskels (Behrends et al. 2012).

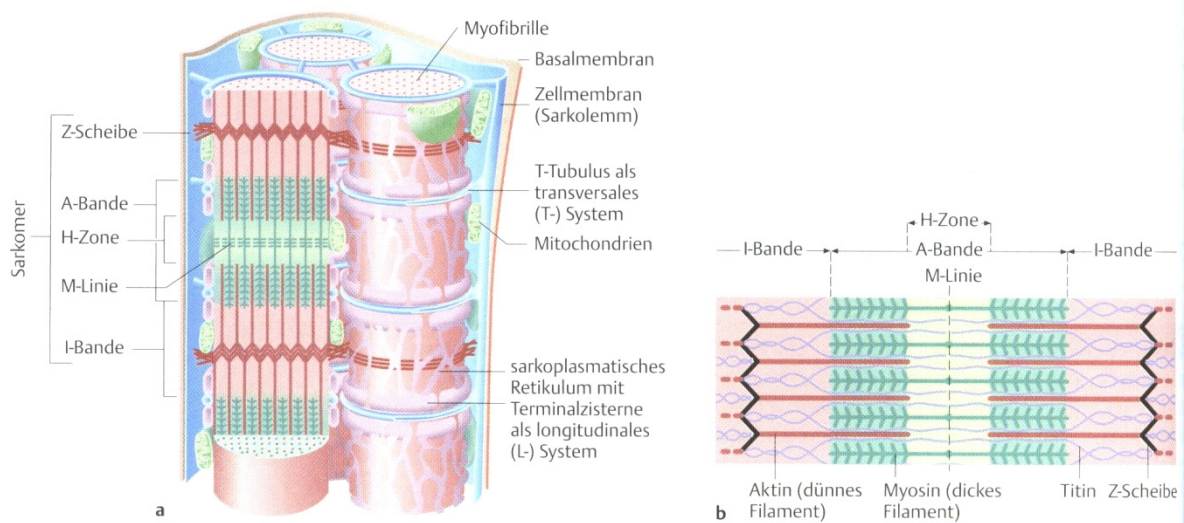


Abbildung 3: Feinstruktur der Sarkomere eines Skelettmuskels (Behrends et al. 2012).

### 1.5. Arten der Skelettmuskelfasern

Prinzipiell werden drei verschiedene Faserarten definiert, welche in der Muskulatur meistens gemischt vorkommen. Der Fasertyp 1 zeichnet sich bedingt durch seine geringe ATPase-Aktivität durch weniger Kontraktion pro Zeiteinheit aus, dies äußert sich in einem langsamen Zucken der Muskulatur. Fasertypen 2a und 2b werden als schnell zuckende Muskelfasern charakterisiert. Des Weiteren beinhalten Muskelfasern des Fasertyp 1 einen höheren Anteil an Myoglobin, was die rote Färbung der Muskulatur erklärt. Die Fasern des Typ 1 ermüden kaum (Behrends et al. 2012).

<i>Fasertyp</i>	<i>I</i>	<i>Ila</i>	<i>Iib</i>
<b>Kontraktionsverlauf</b>	langsam zuckend	schnell zuckend	schnell zuckend
<b>Myosin-ATPase-Aktivität</b>	niedrig	hoch	hoch
<b>Farbe</b>	rot	rot/rosa	weiß
<b>Myoglobingehalt</b>	hoch	hoch	niedrig
<b>Laktatdehydrogenase-Aktivität</b>	niedrig	mittel oder hoch	hoch
<b>Stoffwechsel</b>	oxidativ	glykolytisch und oxidativ	glykolytisch
<b>Mitochondriendichte</b>	hoch	hoch	niedrig
<b>Ermüdbarkeit</b>	gering	mittel	schnell

Tabelle 1: Eigenschaften der Skelettmuskelfasertypen (Behrends et al. 2012).

## 2. Allgemeine Leistungsphysiologie

Grundsätzlich ist die Fähigkeit der Muskulatur, eine Kontraktion durchzuführen ein wichtiger Bestandteil der körperlichen Leistungsfähigkeit. Um diese Kontraktionen zu gewährleisten, ist eine Energiebereitstellung in der Form von verschiedenen Energielieferanten essentiell. Die effiziente Energiebereitstellung ist wiederum von einer adäquaten Sauerstoffzufuhr abhängig (Behrends et al. 2012).

### 2.1. Erregungs - Kontraktions Koppelung der Quergestreiften Muskulatur

Muskelfasern, die gemeinsam von einem Alpha-Motoneuron innerviert werden, werden unter dem Begriff motorische Endplatte zusammengefasst. Jede Muskelfaser dieser motorischen Einheit besitzt eine eigene motorische Endplatte, um die neuromuskuläre Signalübertragung zu gewährleisten. An der postsynaptischen Membran dieser Muskelfasern entsteht das Aktionspotenzial, welches sich entlang des Sarkolemms verbreitet und daraufhin das transversale Tubulussystem erreicht. Hierbei induziert es die Öffnung von spannungsabhängigen Kalzium-Kanälen, welche auch als Dihydropyridin-Rezeptoren (DHPR) geläufig sind. Durch eine Protein-Protein-Wechselwirkung kommt es zu einer Konformationsänderung dieser Kanäle, was wiederum für eine Aktivierung der Ryanodin-Rezeptoren (RyR1) sorgt. Das ionisierte Kalzium ( $Ca^{2+}$ ) gelangt entlang dieser Ryanodin-Rezeptoren in das Zytoplasma der Muskelfasern und initiiert hier die Kontraktion des Muskels. Die Beendigung der Kontraktion entsteht durch das Zurückpumpen des ionisierten Kalziums durch eine  $Ca^{2+}$ -ATPase. In der Abbildung 3 wird der

eben beschriebene Ruhezustand (a), aktionspotenzialinduzierte Kontraktion (b) und die Beendigung der Kontraktion (c) abgebildet (Behrends et al. 2012).

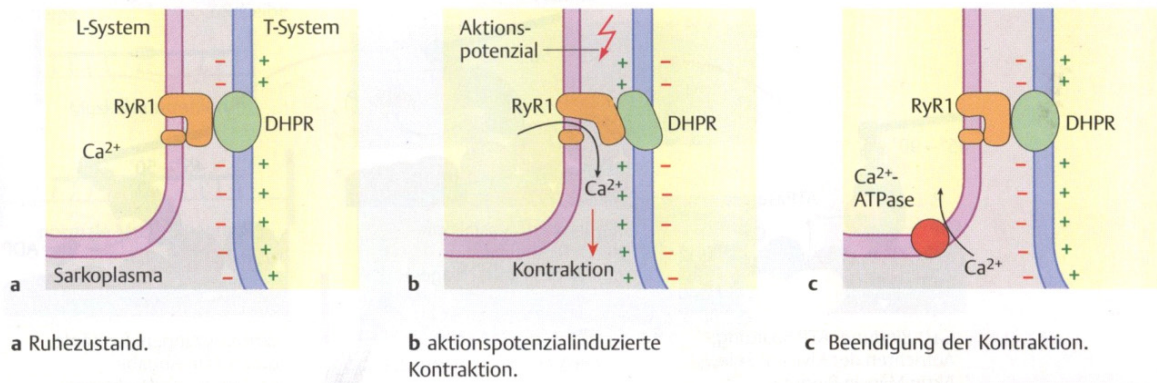


Abbildung 4: Errungs-Kontraktions-Koppelung eines Skelettmuskels (Behrends et al., 2012).

## 2.2. Muskelkontraktion, die Gleitfilamenttheorie

Durch die zuvor beschriebene Freisetzung des ionisierten Kalziums aus dem Sarkoplasmatischen Retikulum kommt es zu einem Anstieg der  $Ca^{2+}$ -Konzentration von  $<10^{-7}$  Mol pro Liter (Mol/l) auf etwa  $10^{-5}$  Mol/l. Das Kalzium bindet sich an Troponin, welches zusammen mit Tropomyosin die Myosin-Bindestelle auf einem dünnen Aktinfilament blockiert. Dadurch wird eine Bindungsstelle am Aktin frei. Aus diesem Grund kann das Myosin sich nun mit seiner Kopffregion an dieser Stelle binden und bildet seine Querbrücke, welche als Aktomyosin bekannt ist. Durch die Verbindung von Adenosin triphosphat (ATP) an dem Myosinkopf kommt es zum Verlust der Aktin-Myosin-Wechselwirkung, der Myosinkopf gleitet am Aktinmolekül entlang. Die Hydrolyse des ATPs, welches sich im Myosinkopf befindet, führt zu einem Abklappen des Myosinkopfes. Ist die  $Ca^{2+}$ -Konzentration unverändert, kommt es nach dem Abklappen zu einer erneuten Bindung des Myosinkopfes an einer anderen Stelle des Aktinmoleküls. Die Affinität dieser Verbindung ist anfangs schwächer und nimmt nach jeder Bindung zu. Zusammenfassend lässt sich die Gleitfilamenttheorie als zyklische Bindung und Lösung der Aktin-Myosin-Interaktion, welches zu einem

Übereinandergleiten der Aktin- und Myosinfilamente, führt, beschreiben (Behrends et al., 2012).

### **2.3. Energiebereitstellung für Muskelarbeit**

Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße sind die drei verschiedenen Energieträger, die unseren Körper versorgen. Die nötige Energie wird dem Körper als ATP zur Verfügung gestellt. Das Adenosintriphosphat ist nur in begrenztem Umfang in der Muskulatur gespeichert und muss daher ständig aus neuen Energieträgern gewonnen werden. Eine optimale Verteilung der Energieträger in der Nahrung wäre folgende Aufschlüsselung: mindestens 55% Kohlenhydrate, maximal 30% Fett, 15% Eiweiß. Bedingt durch die Intensität und Dauer der sportlichen Belastung entscheidet der Körper, welche Energiereserven primär zur Verbrennung herangezogen werden. Zusätzlich wird der Energiestoffwechsel auch durch die Ernährungsweise und den individuellen Trainingszustand beeinflusst. Die Verbrennung oder Verwertung der Energieträger findet fast immer parallel statt (Raschka & Ruf, 2012).

### **2.4. Energiebereitstellung bei sehr kurzen Belastungen**

Bei hochintensiven Belastungen bis ungefähr 10 Sekunden ist eine anaerobe Energiebereitstellung nötig. Um dies zu gewährleisten, wird das ATP und indirekt das Kreatinphosphat (KrP) herangezogen. ATP wird nun in der Muskulatur zu Adenosindiphosphat (ADP) und einem freien Phosphat (Pi) gespalten, hierbei kommt es zur benötigten Freisetzung der Energie. Durch das Kreatinphosphat beginnt das verbrauchte ATP sich sofort wieder zu regenerieren, dies ist essentiell, da das ATP ansonsten bereits nach etwa 2 Sekunden aufgebraucht wäre. Der KrP-Speicher reicht bei muskulärer Höchstleistung, wie zum Beispiel bei einem 100m-Lauf in 10 Sekunden, wiederum für ca. 9 Sekunden. Diese Energiereserven sind zwar sehr schnell verwendbar, reichen aber selbst für einen 100m-Sprint noch nicht ganz aus. Aus diesem Grund greift der Körper bereits nach den ersten Belastungssekunden auf Kohlenhydratespeicher zurück, um den KrP-Speicher zu regenerieren. Die konsumierten Kohlenhydrate werden in Form von Glykogen in der Muskulatur und der Leber gespeichert und liegen außerdem im Blut als Zucker bzw. überwiegend Glukose vor (Raschka & Ruf, 2012).

## **2.5. Energiebereitstellung bei hohen Belastungen bis drei Minuten**

Sportliche Aktivitäten, die bis zu drei Minuten bei maximaler Belastungsintensität andauern, erfordern eine so schnelle Energiefreisetzung, dass der Blutzucker über die anaerobe Glykolyse nur bis zu Laktat abgebaut wird. Dieser Abbau ist nicht ökonomisch. Durch die unvollständige Verbrennung der Glukose wird wesentlich weniger Energie als bei einer vollständigen Verbrennung freigesetzt. Es werden lediglich 5% der Energie, die ein Glukosemolekül bei vollständiger aerober Verbrennung abgeben würde, gewonnen. Kommt es zu einer Anhäufung des Laktats um mehr als 15mmol/l, so entsteht eine Azidose. Diese Übersäuerung resultiert in einer eingeschränkten Funktion der Muskelarbeit. Es kommt zur Hemmung der Muskelkontraktion und zur Glykolyse. Dies beschreibt ein Absinken der Energieausbeute, was eine Ermüdung der Muskulatur zur Folge hat. Ein Überschuss an Laktat ist also ein wichtiger und auch leistungsbegrenzender Faktor. Bereits 20 Sekunden nach Belastungsbeginn kann die Sauerstoffaufnahme auf ein Zehnfaches ansteigen, sodass über 50% der Energie aerob bereitgestellt werden kann. Die Schwelle, ab welcher der Körper vermehrt anaerob Energie gewinnen muss, ist allerdings individuell beeinflussbar und trainierbar. Diese Grenze wird als „Laktatschwelle“ oder „aerob-anaerobe Schwelle“ definiert. Auch der Begriff „Ausdauerleistungsgrenze“ wird in diesem Zusammenhang häufig genannt, dieser wird als die sportliche Belastungsintensität, die über längere Zeit anhaltend durchgeführt werden kann, definiert. Laktat entsteht auch bei geringerer körperlicher Belastung. Nach nur einer Minute wird von diesem energetisch ungünstigen Weg kontinuierlich immer mehr Energie unter Sauerstoffbeteiligung gewonnen. Das entstandene Laktat wird nach der Belastung vollständig abgebaut und trägt zur Energiespeicherung oder Energiebereitstellung bei. Die muskuläre Erholung ist eng verbunden mit dem Laktatabbau und es empfiehlt sich, diesen Vorgang durch aktive Erholungen zu beschleunigen. Hierbei wird ein langsames Ausklingenlassen der intensiven Belastung beschrieben, ein Beispiel dafür wäre das langsame Auslaufen nach sportlichen Aktivitäten (Raschka & Ruf, 2012).

### **3. Allgemeine Auswirkung von Training auf die Skelettmuskulatur**

Grundsätzlich wird Training als planmäßiges und wiederholtes Ausführen von verschiedenen Bewegungen definiert. Das Ziel hierbei ist eine gesteigerte körperliche Leistungsfähigkeit (Markworth, 2010).

Die Organe, welche während des Trainings beansprucht werden, zeigen eine morphologische Veränderung. Diese Adaptation ist abhängig von der Qualität und Quantität des durchgeführten Trainings. Prinzipiell gelten für Trainingsreize immer die Regel, geringe Reize bringen nichts, mittlere nutzen und große schaden. Diesen Merksatz entwickelte bereits Roux am Ende des 19. Jahrhunderts. Allgemein lässt sich sagen, dass sich die trainierte Fähigkeit verbessert. So kommt es zum Beispiel beim Krafttraining zu einem Anstieg der Muskelkraft. Durch regelmäßiges Training der Skelettmuskulatur können drei Eigenschaften verbessert werden, die Grundkraft, die Schnellkraft und die Muskelausdauer (Markworth, 2010).

#### **3.1. Das Krafttraining**

In den Bereichen des Fitnesssports, des Bodybuildings oder des Leistungs- und Hochleistungssports werden viele verschiedene Zielsetzungen beim Muskeltraining genannt. Im Bodybuilding wird diese angewandt, um eine maximale Muskelzunahme mit optimaler Proportionierung der verschiedenen Muskelgruppen zu erzielen. Beim Leistungs- und Hochleistungssport wird ein Muskelaufbauprogramm vor allem im Grund- und Aufbautraining der jeweiligen Sportart integriert. Global lässt sich die Aussage treffen, dass die Kraft eines Muskels direkt proportional zu dessen Querschnitt ist. Pro Quadratzentimeter kann ein Muskel ein Gewicht von in etwa sechs Kilogramm bewegen. Daraus lässt sich schließen, dass ein Dickenwachstum des Muskels eine Kraftzunahme mit sich bringt. Das Umfangswachstum der Muskulatur entsteht durch die Verdickung jeder einzelnen Muskelfaser und durch eine Vermehrung der Myofibrillen. Zu beachten sind außerdem die unterschiedlichen Reaktionen der verschiedenen Muskelfasern. Die beiden Formen, der Typ 1 und Typ 2, werden je nach Belastungsintensität unterschiedlich beansprucht. Bei geringen Belastungen werden ausschließlich die Typ 1 Fasern gefordert. Wird das Training unter mittleren Belastungen durchgeführt, so kommen allmählich auch die Typ 2 Fasern

hinzu. Hierbei wird zuerst die Unterkategorie Typ 2c, anschließend die Typ 2a und schlussendlich die stärksten Muskelfasern des menschlichen Körpers, die Typ 2x Fasern abgerufen. Bei höheren Belastungen, wie zum Beispiel bei Übungen mit 80% der Maximalkraft werden sowohl Typ 1 als auch Typ 2 Muskelfasern gleichermaßen einem Muskelquerschnittstraining unterzogen (Hollman, W. & Strüder, K. 2009).

Die Ursachen einer Muskelhypertrophie sind adäquate Trainingsreize bzw. eine vermehrter ATP-Verbrauch pro Zeiteinheit. Ob eine Muskelhypertrophie gleichzeitig auch eine Kraftzunahme mit sich bringt, ist abhängig von der Art und Weise des durchgeführten Trainings. Wie bereits zuvor erwähnt, sind Reizwirkung und Reizdauer hierbei ein wesentlicher Faktor. Untrainierte Personen sollten beispielsweise eine Einwirkung von acht bis zwölf Wiederholungen bei einer Intensität von 40 bis 60% der maximalen Kraft zur optimalen Zunahme des Muskelquerschnitts nutzen. Bei trainierten Personen spricht man ebenfalls von acht bis zwölf Wiederholungen, allerdings bei einer gesteigerten Intensität von 60 bis 80% der Maximalkraft. Maximale Reize mit geringen Wiederholungen, wie es beim Maximalkrafttraining der Fall ist, führen ebenfalls zu einer Zunahme der Kraft. Allerdings wird diese Zunahme durch das verbesserte intramuskuläre Zusammenspiel bedingt und nicht durch die Hypertrophie des arbeitenden Muskels. Daher ist diese Art des Trainings für eine Muskelhypertrophie weniger geeignet. Dasselbe Phänomen lässt sich auch auf kurzzeitige und schnellkräftigende Kraftreize umlegen (Hollman, W. & Strüder, K. 2009).

Die Muskelkraft lässt sich als maximale Spannung, die gegen einen festen Widerstand ausgeübt werden kann, definieren. Diese ist wiederum abhängig von dem Gesamtquerschnitt der aktiven Muskelzellen und der Anzahl der aktivierten motorischen Einheiten. Ein weiterer essentieller Faktor hierbei ist die Reizfrequenz, mit der das motorische Nervensystem den Muskel erregt. Auch die Muskellänge zu Beginn der Kontraktion wirkt sich auf die ausgeübte Kraft aus. Abschließend wird auch die zuvor genannte intra- und intermuskuläre Koordination als beeinflussender Faktor der Muskelkraft beschrieben. Die intramuskuläre Koordination wird als Zusammenspiel von verschiedenen motorischen Einheiten desselben Muskels definiert. Die intermuskuläre Koordination beschreibt hingegen das Zusammenarbeiten von mehreren Muskeln während einer Bewegung (Markworth, 2010).

Grundsätzlich kommt es beim Krafttraining durch die Zunahme von Zellmaterial zu einem vermehrten Gesamtquerschnitt der Muskelzellen. Es gibt zwei ursprüngliche Gründe für einen Querschnittzuwachs. Hierbei unterscheidet man zwischen der Hyperplasie und der Hypertrophie. Bei der Hyperplasie zeigt sich eine zahlenmäßige Erhöhung der vorhandenen Muskelzellen. Die Hypertrophie hingegen beschreibt eine Querschnittzunahme der Muskelzellen selbst. In Tierversuchen stellte man fest, dass der Kraftzuwachs durch Krafttraining auch durch eine Hyperplasie bedingt sein kann. Trotz dieser Erkenntnis ist sich die momentane Literatur darüber einig, dass ein Kraftzuwachs durch die Hypertrophie der Muskelzellen entsteht. Diese Zunahme des Dickenwachstums der trainierten Muskelzellen resultiert in erster Linie aus einer Vermehrung der kontraktilen Eiweißfäden in den Myofibrillen bzw. den Sarkomeren. Auch bei anderen Organen der Muskelzelle, wie zum Beispiel den Mitochondrien, dem Sarkoplasmatischen Retikulum oder den Glykogen-Depots, kommt es durch ein gezieltes Krafttraining zu einer proportionalen Vermehrung. Bei einer Verdoppelung des Muskelgewichts nimmt laut Erfahrung die Grundkraft des Muskels um den Faktor drei zu. Der auslösende Reiz für eine Muskelhypertrophie sind wiederholte mechanische aktive oder auch passive Spannungsentwicklungen im Muskel. Je nach Art der Muskelspannung unterscheidet man in der Trainingslehre zwischen zwei verschiedenen Trainingsformen, dem isometrischen oder statischen Krafttraining und dem dynamischen Krafttraining (Markworth, 2010).

### **3.2. Isometrisches Krafttraining**

Isometrische Übungen eignen sich hervorragend, um kleinere Muskelgruppen gezielt zu trainieren. Der Trainingsreiz erfolgt hierbei durch die maximale Spannung während der Übungen. Eine Dosierung von Trainingsintensität, Belastungsdauer und Trainingsintervall ist bei dieser Form sehr übersichtlich. Bei Anfängern sind bereits drei bis sechs isometrische Muskelkontraktionen mit 60 bis 70 % der maximalen Kraft und einer Dauer von sechs bis zehn Sekunden bei täglichen Durchführungen ausreichend, um einen Kraftzuwachs des trainierten Muskels zu erzielen. Diese Werte variieren von Person zu Person, hierbei ist vor allem der Trainingsgrad der einzelnen Athleten ein wichtiger Faktor. So müssen die Dauer und Trainingsintensität bei Spitzenathleten natürlich wesentlich höher

sein als oben genannt, um einen adäquaten Trainingsreiz zu setzen und einen Kraftzuwachs zu erzeugen (Markworth, 2010).

Vor allem im Bereich der Rehabilitation wird das statische Training häufig angewandt. Der Grund dafür liegt in der Flexibilität dieses Trainings, es können gezielt einzelne Muskeln trainiert werden. Kommt es zum Beispiel zu einer längeren Inaktivität durch eine Verletzung, so kann mit dieser Trainingsform ein passendes Rehabilitationsprogramm, um die atrophierte Muskulatur wieder aufzubauen, eruiert werden. Ein weiterer Vorteil ist die einfache Durchführung der Übungen. An Alltagsutensilien, wie etwa einem Türrahmen oder einem Reck, bieten sich problemlos zahlreiche Trainingsmethoden für fast alle Muskelgruppen an. Ein Nachteil des isometrischen Krafttrainings ist die schnelle Rückbildung der gewonnenen Kraftzunahme. Ein über zwölf Wochen erworbener Kraftzuwachs von circa 30 Prozent sinkt bei einem Trainingsstopp nach nur 30 Wochen wieder auf seinen Ursprungswert ab. Weiters wird die lokale Muskelausdauer durch das isometrische Krafttraining nicht beeinflusst oder gesteigert. Grund dafür ist der zu kurz wirkende mechanische Reiz, welcher lediglich für eine Vermehrung der kontraktilen Eiweißfäden sorgt (Markworth, 2010).

### **3.3. Dynamisches Krafttraining**

Um hierbei einen ähnlichen Kraftzuwachs wie bei der Anwendung von einem isometrischen Krafttraining zu erzielen, muss ein wesentlich höherer Trainingsaufwand betrieben werden. Trotz dieses Nachteils erfreut sich das dynamische Training vor allem bei SportlerInnen enormer Beliebtheit. Die Gründe dafür sind unter anderem die verbesserte Muskelausdauer und eine erhöhte inter- und intramuskuläre Koordination bedingt durch das dynamische Krafttraining. Bei dynamischen Übungen mit einer Kurzhantel steigt der Kraftzuwachs bereits nach einer Woche messbar an. Da in diesem kurzen Zeitraum noch keine Hypertrophie des trainierten Muskels stattfindet, ist dieser Kraftzuwachs ausschließlich auf eine verbesserte intra- und intermuskuläre Koordination zurückzuführen. Eine gleichzeitige Schulung der Bewegungskoordination führt zu praxisnahen Anwendungsmöglichkeiten. Um gewisse Bewegungen zu verbessern, ist es am ökonomischsten, genau diese Bewegungen in das dynamische Krafttraining zu integrieren. So zeigt sich zum Beispiel eine verbesserte Wurfweite beim

Kugelstoßen, wenn das Stoßen zuvor mit einer schwereren Kugel dynamisch trainiert wurde. Grund dafür ist wieder das Trainieren des koordinierten Bewegungsablaufs. Nicht nur im Leistungssport nimmt die Anwendung des dynamischen Krafttrainings zu, häufig wird es auch im Rahmen der Präventiven oder Behandlung von Haltungsschwächen bei Jugendlichen eingesetzt (Markworth, 2010).

#### **4. Hypertrophie der Muskulatur**

Wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, besteht die Skelettmuskulatur aus verschiedenen Muskelfasern. Laut Literatur ist die Anzahl der Muskelfasern mit der Geburt oder spätestens kurz danach schon festgelegt. Aus diesem Grund ist eine Neubildung der Muskelfasern, eine Hyperplasie durch Krafttraining, nicht möglich. Lediglich bei Muskelschädigung zeigt sich auch bei Erwachsenen eine Neubildung von Fasern. Demzufolge kommt es bei einer Vergrößerung der Skelettmuskulatur nicht zu einer Hyperplasie sondern zu einer Verdickung der Muskelfasern, also zu einer Hypertrophie. Einen geringen Anteil des Muskelvolumens macht zusätzlich auch die Zunahme des im Zwischengewebe liegenden Bindegewebes der Muskulatur aus. Prinzipiell ist eine Muskelvergrößerung nur durch einen Belastungsreiz zu erreichen. Dieser Reiz muss eine ausreichend hohe Belastungsintensität vorweisen, somit wird der Muskel überlastet, wodurch das Wachstum dem Reiz angepasst wird. Grundsätzlich sind Belastungen von über 60–70% der Maximalkraft ausreichend, um die Muskelmasse und das Kraftpotenzial zu erhöhen. Auch die Ernährung spielt eine zentrale Rolle für ein Muskelwachstum, neben dem Krafttraining ist eine ausreichende Proteinaufnahme mit allen essenziellen Aminosäuren die Grundlage für Muskelzuwachs. Der Proteinbedarf bei SportlerInnen übersteigt den Proteinbedarf bei NichtsportlerInnen. Dieser höhere Bedarf an Eiweiß kann allerdings problemlos über die Nahrungsaufnahme gedeckt werden. In der Literatur wird eine zusätzliche Proteinzufuhr über die empfohlene Tagesdosis hinaus als wenig relevant für den Muskelmassezuwachs und dem Gewinn an Kraftleistung beschrieben. Der wichtigste Faktor hierbei ist das Training (Raschka & Ruf, 2012).

#### **4.1. Hypertrophietraining**

Bei einem optimalen Hypertrophietraining ist die Intensität so zu wählen, dass innerhalb von 8 bis 12 Wiederholungen eine Ermüdung der trainierten Muskulatur eintritt. Dies sollte in 3 bis 4 Serien durchgeführt werden und am Ende für vollständige Erschöpfung der Muskulatur sorgen. Im Regelfall entspricht die Intensität hierbei 80 Prozent des Einwiederholungsmaximums. Beim Anfänger ist die Intensität deutlich niedriger. Wichtig hierbei ist auch der Rhythmus, in dem trainiert wird. Hierbei sollte innerhalb einer Sekunde das Gewicht gehoben werden, keine Pause in der Endposition gemacht werden und innerhalb von einer Sekunde wieder die Ausgangsposition eingenommen werden. Verlängert man die Phase, in der man von der Endposition wieder in die Ausgangsposition geht, so spricht man von einem vermehrt exzentrisch betonten Training, welches sich stimulierend auf die adaptive Proteinsynthese auswirkt. Ein Trainingserfolg stellt sich erst nach frühestens 6 bis 12 Wochen ein. Da die Trainingsmethoden eines harten Hypertrophietrainings als sehr effektiv beschrieben werden, um Muskelmasse aufzubauen, wird diese auch im modernen Bodybuilding vorwiegend angewandt (Diemer & Sutor, 2006).

Prinzipiell kommt es nach einer der eben beschriebenen Belastungsphasen zu einer Abnahme der muskulären Leistung mit einem darauffolgenden Wiederanstieg der Muskelkraft. Diese Wechselwirkung wird als Superkompensation bezeichnet. Diese Superkompensation ist vor allem für Stoffwechselprozesse wie etwa der Resynthese von Glykogen und KrP tragend. Aber auch enzymatisch und strukturell wird hierbei eine Regeneration erreicht, daher kommt es auch bei der Mitochondrienzahl und den Muskelfasern zu Anpassungsvorgängen. Die Dauer der Superkompensationsphase verhält sich direkt proportional zur muskulären Belastung im Training. Hierbei kommt es vor allem in der Anfangsphase zu einem vermehrten Abbau von Ribonukleinsäure (RNS) und Proteinen in den trainierten Organen. Dies resultiert in einer verstärkten anabolen bzw. eiweißeinbauenden Phase. Hierbei spricht man von der eigentlichen Superkompensationsphase, die Biosynthese wird aktiviert und es kommt zu einer Zunahme der RNS - Konzentration. Dies führt zu einer erhöhten Proteinsynthese und resultiert abschließend in einer Hypertrophie der zuvor trainierten Organe. Wird nach einer abgeschlossenen Superkompensationsphase

kein weiteres Training durchgeführt, so wird die Leistung wieder dem Ausgangsniveau angepasst. Die Leistungsfähigkeit wird nur dann gesteigert, wenn weitere Trainingsreize in adäquaten Abständen durchgeführt werden (Weineck, 2010).

#### **4.2. Optimale Trainingsmethode für den Muskelaufbau**

In der Studie von Schoenfeld, Ratamess, Peterson, Contreras, Sonmez und Alvar wurde untersucht, welche Art des Trainings einen höheren Zuwachs an Muskelmasse und eine Steigerung der Muskelkraft mit sich bringt.

Die Stichprobe setzte sich aus 20 männlichen erfahrenen Kraftsportlern mit einem Alter zwischen 18 und 35 Jahren zusammen. Durchschnittlich trainierten die Teilnehmer bereits seit 4,2 Jahren. Die Probanden wurden in zwei verschiedene Interventionsgruppen randomisiert zugeteilt. Eine Gruppe wurde als Kraftzuwachs-Gruppe (ST) und die andere als Hypertrophie-Gruppe (HT) deklariert. Zusammenfassend wurden 8 Probanden der ST und 9 der HT zugeteilt. Die durchgeführten Übungen waren in beiden Gruppen ident. Hierbei bestand die Intervention insgesamt aus neun verschiedenen Übungen, welche in drei Übungsblöcken zu je drei einzelnen Übungen gegliedert wurden. Jeder dieser Blöcke bestand aus verschiedenen Übungen für spezielle Muskelgruppen. Hierbei wurden die vordere Rumpfmuskulatur, hintere Rumpfmuskulatur und Beinmuskulatur als je eine Muskelgruppe genannt. Beide Gruppen führten über einen Zeitraum von acht Wochen drei Mal wöchentlich ein Trainingsprogramm durch. Bei der Anwendung wurde darauf geachtet, dass mindestens ein Tag Pause zwischen den gesetzten Maßnahmen liegt. Um die zu trainierende Intensität festzustellen, wurde in der ST das Gewicht ermittelt, mit dem eine Übung maximal drei Mal durchgeführt werden konnte. In der HT wurde hingegen das Gewicht ermittelt, mit dem maximal 10 Durchführungen möglich waren (Schoenfeld, Ratamess, Peterson, Contreras, Sonmez & Alvar, 2015).

In der HT wurde in jeder Trainingseinheit jeweils ein Übungsblock zu einer bestimmten Muskelgruppe durchgeführt. Bei jeder Übung wurde mit 3 Sätzen zu je 8 bis 12 Wiederholungen trainiert. Zwischen den einzelnen Sätzen und Übungen wurden Pausen zu je 90 Sekunden abgehalten. Das verwendete Gewicht wurde so gewählt, dass eine vollkommene Muskelermüdung nach der vorgegeben

Anzahl an Wiederholungen eintritt. Die ST trainierte pro Einheit hingegen mehrere Muskelgruppen in 7 Sätzen zu je 2 bis 4 Wiederholungen. Auch hierbei wurde das Gewicht so gewählt, um eine vollkommene Muskelererschöpfung zu provozieren. Die Pause zwischen den Sätzen und einzelnen Übungen betrug 3 Minuten (Schoenfeld, Ratamess, Peterson, Contreras, Sonmez & Alvar, 2015).

Als getestete Parameter wurden die Muskeldicke und die Maximalkraft getestet. Die Muskeldicke wurde mit Hilfe eines bildgebenden Ultraschallgerätes erhoben. Die Messungen wurden standardisiert, 60 Prozent distal zwischen dem Epicondylus lateralis humeri und dem Acromium am M. Biceps brachii durchgeführt. Die Erhebung der Muskeldicke wurde 48 bis 72 Stunden vor dem Beginn der Studie erhoben. Die erneute Evaluierung wurde 48 bis 72 Stunden nach der letzten Trainingseinheit durchgeführt. Die Erhebung der Maximalkraft wurde durch das 1RM bei der Durchführung von Kniebeugen und Bankdrücken eruiert (Schoenfeld, Ratamess, Peterson, Contreras, Sonmez & Alvar, 2015).

Die Ergebnisse zeigten in beiden Gruppen einen signifikanten Anstieg ( $P < 0,05$ ) der Muskeldicke des Biceps brachii nach der 8 wöchigen Intervention. Die Ergebnisse der beiden Gruppen zeigten im direkten Vergleich allerdings keine signifikanten Unterschiede in der Muskeldicke. Auch die Maximalkraft bei Kniebeugen und Bankdrücken wies einen signifikanten Anstieg ( $P < 0,05$ ) in beiden Gruppen auf. Hierbei zeigte sich jedoch eine signifikante Verbesserung ( $P < 0,05$ ) bei beiden Übungen der ST verglichen mit der HT (Schoenfeld, Ratamess, Peterson, Contreras, Sonmez & Alvar, 2015).

## **5. Proteine und Muskelaufbau**

Häufig wird das Wirkungspotenzial der Ernährung und vor allem von zusätzlichen Eiweiß- und speziellen Aminosäurenpräparaten in Bezug auf den Muskelaufbau überschätzt. Ein Grund für die hohe Popularität dieser Nahrungssupplemente ist, dass sie im Leistungssport nicht auf der Dopingliste vermerkt sind (Diemer & Sutor, 2006).

Der Muskelaufbau wird von einem ständigen Auf- und Abbau der Muskulatur geprägt. Dieser „Turnover“ ist vergleichbar mit einer Bilanz: Das Ziel beim Muskelzuwachs ist es, die positiven, anabolen bzw. aufbauenden Prozesse gegenüber den katabolen bzw. abbauenden zu dominieren. Durch ständiges

Protein auf- und umbauen ist die Muskulatur sehr anpassungsfähig. Freigewordene Aminosäuren, aus den nach etwa ein bis zwei Wochen abgebauten kontraktilen Eiweißen, werden erneut wiederverwendet. Ein essentieller Vorteil dieses Proteinrecyclings ist, dass geschädigte Proteine rasch ersetzt werden können. Wird ein intensives Krafttraining durchgeführt, so kann eine erhöhte Proteinaufnahme von mehr als 0,8 Gramm pro Kilogramm Körpergewicht den Muskelaufbau positiv beeinflussen. Allerdings bedeutet dies nicht, dass durch eine übermäßige Proteineinnahme der Muskelaufbau immer mehr zunimmt. Bei längerem Trainingsverlauf wird oft ein sogenanntes Plateau erreicht, auf diesem ist ein Mehr an Protein nicht von Vorteil. Den Leistungs- oder Hochleistungssportlern wird von dem American College of Sports Medicine eine Dosierung von 1,6 Gramm Protein pro Kilogramm Körpergewicht empfohlen. Wird mehr Eiweiß konsumiert als notwendig, so nutzt der Körper den Proteinüberschuss für den Energiehaushalt und nicht für den Aufbau von Muskulatur. Diese Proteine werden dann zu Kohlenhydraten oder in Fett umgewandelt. Also kann durch eine Aufnahme von zu viel Protein nicht mehr Muskelmasse aufgebaut werden, sondern lediglich mehr Körperfett (Diemer & Sutor, 2006).

### **5.1. Nebenwirkungen von Eiweiß-Präparaten**

In dem Fallbericht von Simonart (2012) wurde über den Zusammenhang zwischen Akne und der Einnahme von Whey Protein berichtet. Whey Protein ist ein aus Molke gewonnenes Protein, welches häufig als Nahrungsergänzungsmittel im Kraftsport verwendet wird. Akne ist eine Erkrankung der Talgdrüsen, die bei einer Veränderung der Androgenkonzentration auftreten kann. Bei der Entwicklung von Akne besteht eine starke genetische Veranlagung, aber auch andere Faktoren wie etwa Hormone, Stress, Kosmetika und Umwelt spielen eine zentrale Rolle. Die Auswirkungen von unterschiedlichen Nahrungsmitteln auf diese spezielle Erkrankung der Talgdrüsen sind momentan noch umstritten.

In dem besagten Fallbericht wurden fünf männliche Probanden herangezogen. Jeder dieser Teilnehmer litt an Akne im Gesicht und am Rumpf und konsumierte Whey Protein mit der Absicht, beim Krafttraining vermehrt Muskelmasse aufzubauen. Keiner der Probanden konsumierte neben dem Protein noch andere Nahrungsergänzungsmittel oder gab an, ein Raucher zu sein. Durchschnittlich

kam es 5,6 Monate nach Beginn der Einnahme von Whey Protein zum Ausbruch von der zuvor beschriebenen Akne. Zwei der fünf Teilnehmer gaben an, während der Pubertät bereits Akne gehabt zu haben, die restlichen drei vermerkten allerdings, zuvor noch nie an Akne gelitten zu haben. Alle fünf Männer wurden dazu angehalten, ihre Einnahme von Whey Protein einzustellen. Es zeigte sich, dass bei einem Teilnehmer nach einer sechs wöchigen Pause der Proteinkonsumation, kombiniert mit der Einnahme von topischen Retinoid und Benzoylperoxid, die Akne vollkommen abheilte. Drei weitere Teilnehmer konsumierten weiterhin Whey Protein. Einem dieser drei Teilnehmer wurden über einen Zeitraum von neun Monaten zusätzlich 0,5 Milligramm pro Kilo von Isotretinoin verabreicht. Hierbei zeigte sich eine Verbesserung der meisten Läsionen. Die beiden anderen Probanden nahmen neben dem Whey Protein topischen Retinoid und Benzoylperoxid ein. Auch hierbei kam es zu einer Verminderung der Akne. Von dem fünften Probanden liegen keine Ergebnisse vor, da er sich entschlossen hatte, aus der Forschungsarbeit auszusteigen (Simonart, 2012).

In der Studie von Aparicio et al. (2010) wurden ebenfalls Nebenwirkungen von einer erhöhten Proteinzufuhr untersucht. Hierbei wurden der Effekt einer übermäßig hohen Dosis an täglichem Protein auf Körperkonstitution, Nieren und Knochen bei Ratten eruiert. Insgesamt wurden 96 männliche Ratten in vier verschiedene Gruppen eingeteilt. Hierbei unterschied man zwischen Gruppe 1 (G1), in der eine normale Proteindosis verabreicht wurde, eine Gruppe 2 (G2) mit einer normalen Proteindosis kombiniert mit einem Krafttraining, eine Gruppe 3 (G3) mit einer hohen Dosis an Protein und einer vierten Gruppe (G4) mit einer hohen Proteindosis kombiniert mit einem Krafttraining. Jede dieser vier Gruppen wurde in weitere drei Gruppen zu je acht Ratten eingeteilt. Die drei Untergruppen wurden nach 1,2 und 3 Monaten getötet und untersucht. In den sechs Untergruppen von G1 und G2 wurden je 13,8 Gramm Whey Protein verfüttert. In den Gruppen von G2 und G3 hingegen wurden 63,6 Gramm verabreicht. Bei dem Krafttraining, welches in G2 und G4 durchgeführt wurde, wurde ein Gewicht am Schwanz der Ratten befestigt und ein Training am Laufband durchgeführt. Hierbei wurde mit einer Geschwindigkeit von 40 Zentimeter pro Sekunde trainiert. Die genauen Daten zu dem Laufbandtraining können in Tabelle 2 abgelesen werden.

Am Ende der jeweiligen Studienlaufzeit wurden die Ratten durch eine Kanülierung der Arterie Abdominalis unter Sedierung getötet. Die getöteten Tiere wurden anschließend ohne Kopf, Haut, Füße und Schwanz gewogen und auch das Körperfett und die Nieren wurden entfernt und separat gewogen. Anschließend wurde auch Femur, Quadrizeps und Gastrocnemius extrahiert und gewogen. Die Ergebnisse zeigten ein signifikant höheres ( $P= 0,01$ ) Körpergewicht ab dem zweiten Monat in der G3 und G4 verglichen mit den Gruppen G1 und G2. Das Gewicht des Quadrizeps und Gastrocnemius wird in den Gruppen mit einer höheren Proteindosis ebenfalls als höher als in den anderen Gruppen beschrieben. Der Körperfettanteil wies in den G3 und G4 signifikant ( $P=0,05$ ) geringere Werte auf als in den beiden anderen Gruppen. Auch der Anteil des HDL Cholesterin erwies sich als signifikant ( $P= 0,0001$ ) niedriger in den G3 und G4. Plasma Urea war in den G1 und G2 signifikant ( $P= 0,0001$ ) höher als in den beiden anderen Gruppen mit einer niedrigeren Proteindosis. Das Gewicht der Nieren hingegen zeigte ein anderes Bild, hierbei konnte man eine deutliche ( $P = 0,0001$ ) Gewichtserhöhung in den G3 und G4 verglichen mit den beiden anderen Gruppen feststellen. Allerdings zeigte sich am Ende der drei Monate eine signifikante Abnahme des Nierengewichts in der G4, verglichen mit der nicht trainierenden G3. Urinvolumen war zu jeder Zeit in den G3 und G4 signifikant ( $P= 0,0001$ ) höher als in G1 und G2. Der PH-Wert und Urin-Zitrat erwiesen sich als deutlich ( $P= 0,001$ ) niedriger in den beiden Gruppen mit der höheren Proteindosis als in den Gruppen mit einer niedrigeren Proteinzufuhr (Aparicio et al. 2010).

<b>Table II</b> <i>Details of the high-intensity exercise program</i>				
<i>Week</i>	<i>Work time (min)</i>	<i>Sets</i>	<i>Time between sets (min)</i>	<i>Weight (% 1 RM)</i>
1	2	10	1	55
2	2	10	1	60
3	2	10	1	65
4	2	10	1.5	70
5	2	10	1.5	70
6	2.5	10	1.5	75
7	2.5	12	1.5	75
8	2	12	2	80
9	2.5	12	2	80
10	1.5	12	2	85
11	2	12	2.5	85
12	1	12	2.5	85

RM, repetition maximum.

Tabelle 2: Intensität des Laufbandtrainings. (Aparicio et al. 2010).

## 6. Allgemein zu Androgenen

Androgene werden als männliche Sexualhormone definiert, ihre wichtigsten Vertreter sind das Testosteron und sein Metabolit, das 5-alpha-Dihydrotestosteron (5- $\alpha$  DHT). Beiden Beispielen wird eine starke androgene Wirkung auf den menschlichen Organismus zugeschrieben. Testosteron wird großteils in den Leydig-Zwischenzellen des Hodens synthetisiert. Der restliche und geringere Anteil wird in der Nebennierenrinde produziert. Freies Testosteron im Blutkreislauf wird in der Prostata, in den Samenbläschen und in vielen Anhangsorganen der Haut zu dem biologisch deutlich aktiveren 5- $\alpha$  DHT umgewandelt. Der Großteil des Testosterons zirkuliert nicht im freien Blut, sondern bindet sich an Plasmaproteine wie zum Beispiel Globulin oder Albumin (Behrends et al. 2012).

Die Testosteronsekretion ist unter anderem abhängig vom Tag-Nacht-Wechsel, morgens ist die Produktion dieser Hormone maximal. Die Synthese selbst wird durch die Gonadotropine FSH und LH stimuliert. FSH hat zusätzlich die Eigenschaft das LH zu aktivieren und damit die Testosteronsynthese anzuregen. Ihre Produktion und Freisetzung wird durch die pulsartige Abgabe von Gonadotropin releasing hormone (GnRH) aus dem Hypothalamus gesteuert. Diese Absonderung wird durch eine sogenannte negative Rückkoppelung des

Testosterons reguliert. Durch eine hohe Testosteronkonzentration im Blut wird die GnRH Pulsfrequenz und Amplitude gehemmt, dadurch kommt es zur inhibitorischen Wirkung auf LH und bei höheren Konzentrationen auch auf die FSH Sekretion (Behrends et al. 2012).

Die Funktionen von Androgenen für den männlichen Organismus sind sehr vielseitig. Ein Wirkmechanismus ist die Differenzierung des primären männlichen Fortpflanzungsorgans. Hierbei sorgt das in den Hoden produzierte Testosteron für eine Differenzierung des Wolff-Gangs. Auch die Ausprägungen der sekundären männlichen Geschlechtsorgane sind eng mit dem Androgenhaushalt verbunden. So sorgen Androgene für Bartwuchs, Körperbehaarung, vermehrte Fettproduktion, Sekretion der Haut und auch für den Stimmbruch. Weiters sind sie für die Spermaproduktion in den Hoden zuständig. Wie bereits der Name verrät, sind diese Hormone anabol wirksam, dies bedeutet, dass sie sowohl das Muskel- als auch das Knochenwachstum fördern. Sie sind für das ausgeprägte Muskel- und Knochenwachstum des Mannes im Vergleich zur Frau verantwortlich. Weiters stimulieren sie die Erythropoese und regen den Appetit an. Androgene besitzen zudem auch einen essentiellen Einfluss auf das psychosexuelle männliche Geschlechts- und Aggressionsverhalten (Behrends et al. 2012).

### **6.1. Allgemein zu Anabolika**

Anabolika werden künstlich hergestellt, ihre chemische Struktur gleicht denen des Testosterons. Bei intensivem Krafttraining und der gleichzeitigen Einnahme von Anabolika kommt es zu vermehrtem Eiweißaufbau in der Muskulatur und zur Senkung des Körperfettanteils. Dieser Eiweißaufbau resultiert in einem Zuwachs der Muskelmasse und der Muskelkraft. Allerdings wird der körpereigene Hormonhaushalt durch die androgene Restwirkung von Anabolika negativ beeinflusst. Bei übermäßigem Konsum dieser Hormonpräparate kann es zu einer Schrumpfung der Hoden kommen. Außerdem kann es zur Störung der Spermatogenese kommen, was in weiterer Folge zur Unfruchtbarkeit des Mannes führen kann. Zusätzlich kann eine Feminisierung des männlichen Phänotypes beobachtet werden. Hierbei kommt es zur Entstehung einer Gynäkomastie, dies beschreibt eine beidseitige Vergrößerung der männlichen Brustdrüsen. Bei Frauen kann es hingegen zu Virilisierungserscheinungen kommen. In diesem Fall beschreibt man eine tiefere Stimme, verstärkte Körperbehaarung, Rückbildung der

Brustdrüse, Vergrößerung der Klitoris und Störung des Menstruationszyklus (Behrends et al. 2012).

Kommt es bereits im Jugendalter zur Einnahme von Anabolika, betreffen die Nebenwirkungen auch das Wachstum. Hierbei kommt es zur verfrühten Verknöcherung der Wachstumsfugen, was zu einem Stopp des Größenwachstums führt. Internistische Nebenwirkungen bei der Verabreichung von Anabolika sind Lebererkrankungen, wie zum Beispiel Hepatitis und ein erhöhtes Herzinfarktrisiko. Allgemein wird beim regelmäßigen Gebrauch von Anabolika in hohen Dosen von einer Wesensveränderung gesprochen. Nach dem Absetzen dieser Hormonpräparate kommt es häufig zu schweren Depressionen.

In der Medizin können diese anabolen Steroide positive Effekte auf zum Beispiel Menschen mit Tumorerkrankungen haben. Grund dafür sind ihre anabolen und appetitssteigernden Effekte, welche eine Tumorkachexie verbessern können (Behrends et al., 2012).

## **6.2. Nebenwirkungen von Anabolika**

In der Beobachtungsstudie von Gething, Grace, Davies und Baker (2011) wurde die Auswirkung eines gezielten Krafttrainings kombiniert mit der Langzeit - Verabreichung von anabolen androgenen Steroiden (AAS) auf das respiratorische System der Trainierenden evaluiert. Die ProbandInnen wurden über die gesundheitsschädlichen Nebenwirkungen der AAS aufgeklärt und unterzeichneten eine schriftliche Einverständniserklärung.

Die Stichprobe setzte sich aus 31 männlichen Sportlern zusammen. Diese Probanden wurden vier verschiedenen Gruppen zugeteilt. Hierbei bestand die AAS Gruppe (AG1) aus neun Personen, diese hatten bereits vor der Studie über einen längeren Zeitraum AAS parallel zum Training konsumiert. Weitere sechs Probanden wurden einer anderen AAS Gruppe (AG2) zugeteilt. Die AG2 bestand ebenfalls aus Teilnehmern, die über einen längeren Zeitraum AAS konsumierten, allerdings seit drei Monaten keine dieser Präparate eingenommen hatten. Einer weiteren Gruppe, der natürlichen Bodybuilding Gruppe (BG), wurden acht Personen zugeteilt. Hierbei hatten die Teilnehmer noch nie AAS oder ähnliche Substanzen eingenommen. Die drei eben genannten Gruppen bestanden ausschließlich aus aktiven Bodybuildern und Kraftsportlern. Abschließend wurde

auch eine Kontrollgruppe (KG) aus acht gesunden Männern gebildet. Die genauen Eigenschaften der Probanden können in Tabelle 2 abgelesen werden (Gething, Grace, Davies und Baker, 2011).

Welche Art der AAS, ihre Dosierung und über welchen Zeitraum die Trainierenden sie konsumierten, wurde mittels Fragebogen erhoben. Alle Probanden waren Nichtraucher und ihre Krankengeschichte beinhaltete keine chronischen Atemwegs- oder Durchblutungserkrankungen. Die Laborparameter wurden nach der Erhebung des Fragebogens gemessen und bestimmt, die genaue Auswertung hierfür kann in Tabelle 3 abgelesen werden. Um die Auswirkung dieser Präparate festzustellen, wurden eine Spirometrie, eine Messung der inspiratorischen Muskelkraft, und eine funktionelle Muskelkraft-Messung durchgeführt. Die Spirometrie ergab Aussagen über das forcierte expiratorische Volumen (FVC), das in einer Sekunde maximal ausgeatmete Volumen (FEV1) und den höchst möglichen expiratorischen Fluss (PEF). Um die Kraft der inspiratorischen Atemmuskulatur zu messen, wurde der maximale inspiratorische Druck gemessen (MIP). Die funktionelle Muskelkraft wurde mit Hilfe der maximalen Griffkraft erhoben (Gething, Grace, Davies und Baker, 2011).

Bei der Erhebung der Daten durften die Teilnehmer für 36 Stunden keinen Alkohol konsumiert und kein Training absolviert haben. Bevor die eben beschriebenen Tests durchgeführt wurden, wurden die Blutwerte erhoben und der Fragebogen ausgefüllt. Die Auswertung der Spirometrie zeigte keinen signifikanten Unterschied bei FVC, FEV1 und PEF zwischen den einzelnen Gruppen. Die Werte hierbei lagen in allen Gruppen im Normbereich. Der MIP erwies sich in der AG1 signifikant höher ( $P < 0.05$ ) als in der KG. Zwischen der AG1 und der AG2 und BG konnte hierbei aber kein deutlicher Unterschied festgestellt werden. Auch die Testung der funktionellen Muskelkraft spiegelte ein ähnliches Ergebnis wieder. Die AG1 erzielte, verglichen mit der KG, signifikant bessere Ergebnisse ( $P < 0.05$ ), unterschied sich aber nicht von der Kraft in den anderen beiden Bodybuildergruppen (Gething, Grace, Davies und Baker, 2011).

Seynnes et al. (2013) untersuchten in ihrer Prospektivstudie hingegen die Effekte von einem Krafttraining kombiniert mit Steroiden auf das Ligamentum (Lig.) Patella. Die zu untersuchende Stichprobe bestand aus 24 männlichen Probanden. Jeweils acht Personen wurden drei verschiedenen Gruppen zugeteilt. Die erste

Gruppe (KSG) bestand aus Personen, die regelmäßiges Krafttraining und Konsum von AAS vorwies, die zweite (KTG) bestand aus Kraftsportlern, die auf AAS verzichteten und die letzte Gruppe (KG) setzte sich aus Personen zusammen, die weder Kraftsport betrieben noch AAS einnahmen.

Die Kraftsportler der KSG nahmen an ein bis zwei Wettkämpfen pro Jahr teil und trainierten seit durchschnittlich 12,4 Jahren. Das Training in dieser Gruppe wurde für gewöhnlich mit einer Intensität von 60 bis 80 Prozent des One Repetition Maximum durchgeführt. Dies beschreibt das schwerstmögliche Gewicht, welches verwendet werden kann, um eine Übung maximal einmal durchzuführen. Weiters wurden die Übungen in dieser Gruppe in 4 bis 5 Sätzen zu je 8 bis 15 Wiederholungen ausgeführt. Das Training bezog sich auf die großen Muskelgruppen des Körpers und bestand sowohl aus eingelenkigen als auch aus mehrgelenkigen Übungen. Hierbei wurden sowohl Oberkörper als auch Unterkörpermuskulatur trainiert. Als typische Übungen der unteren Extremität wurden hierbei Beinpressen, Beincurls, Beinextension und Kniebeugen beschrieben. Als Zusatzernährung in der KSG wurde der regelmäßige Gebrauch von Vitaminen, Aminosäuren, Kreatin und Molkeprotein angegeben. Weiters bestätigten die Sportler eine regelmäßige Einnahme von AAS. Eine genaue Aussage über die Dosierung und Art der AAS konnte aufgrund des großen Zeitraums und dem Widerwillen der Probanden, dies preiszugeben, nicht konkret genannt werden (Seynnes et al. 2013).

Die Probanden der KTG trainierten seit durchschnittlich 6,3 Jahren drei bis fünf Mal pro Woche. Hierbei lag die typische Intensität bei 70 bis 90 Prozent des One Repetition Maximums mit 3 bis 5 Sätzen zu je 5 bis 10 Wiederholungen. Die Übungen der unteren Extremität bestanden vorwiegend aus Beinextension, Beinpresse, verschiedenen Formen von Kniebeugen, Kreuzheben und Lunges. Sowohl in der KTG als auch in der KG gaben die Probanden an, gelegentlich Vitamine und Kreatin eingenommen zu haben, allerdings konsumierte niemand AAS (Seynnes et al. 2013).

Um eine Aussage über den Zustand des Lig. Patellae zu treffen, wurden die Muskelstärke und Anatomie erhoben. Hierbei testete man die maximale Kontraktion der Oberschenkelmuskulatur und das dabei entstehende Drehmoment im Knie. Weiters wurden sowohl der Aufbau der Oberschenkelmuskulatur und

verschiedene Eigenschaften der Patellasehne eruiert. Der Aufbau der Oberschenkelmuskulatur setzte sich aus der Muskeldicke und Länge der Muskelfasern zusammen. Bei den Eigenschaften der Patellasehne wurde die Querschnittsfläche am proximalen, mittigen und lateralen Bereich der Sehne erhoben. Weiters wurde hierbei auch die Länge der Sehnen gemessen. Abschließend wurde die Dehnbarkeit der Sehne evaluiert (Seynnes et al. 2013).

Die Ergebnisse zeigten ein höheres Drehmoment bei der maximalen Kniestreckung in der KSG und KTG im Vergleich zur KG. Hierbei zeigte sich allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen. Ein ähnliches Bild spiegelte sich bei der Erhebung der Muskeldicke wieder, sowohl die KSG als auch die KTG zeigten einen höheren Wert als in der KG. Allerdings zeigte sich auch hierbei kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Trainingsgruppen. Verglichen mit der KSG zeigte sich eine signifikant dickere Sehne in der KTG. Beide Trainingsgruppen wiesen eine signifikant dickere Sehne als in der KG auf. Die Erhebung der Dehnbarkeit spiegelte eine signifikant steifere Sehne in der KSG verglichen mit der KG. Der Unterschied zwischen KSG und KTG war nicht signifikant, allerdings wies die KSG hier einen um 26% höheren Wert auf (Seynnes et al. 2013).

## **7. Diskussion**

In dieser Bachelorarbeit wurde einerseits die optimale Trainingsmethode für eine Erhöhung der Muskelmasse eruiert und andererseits die Effekte von Anabolika und Eiweißpräparaten auf den Körper des Trainierenden oder der Trainierenden offen gelegt.

In der Literatur geht klar hervor, dass jegliche Art von Muskeltraining mit einer Zunahme der Muskelmasse einhergeht. Doch bei einem speziellen Hypertrophietraining lässt sich der Effekt am deutlichsten beobachten. Durch die Literatur von Weineck (2012) lässt sich die erste Forschungsfrage beantworten und es zeigt sich, dass ein Hypertrophietraining im Ausmaß von 3 bis 4 Serien zu je 8 bis 12 Wiederholungen mit einer Intensität von circa 80 Prozent des Einwiederholungsmaximums die effektivste Trainingsmethode ist, um Muskelmasse aufzubauen.

Bei der Recherche bezüglich der Auswirkungen von Eiweiß-Supplementen konnte ebenfalls die Forschungsfrage beantwortet werden. Hierbei wird eine Einnahme von 1,6 Gramm pro Kilogramm Körpergewicht empfohlen um den Muskelaufbau während des Trainings positiv zu unterstützen. Doch auch Nebenwirkungen, wie etwa vermehrte Akne und eine Vergrößerung der Nieren, werden als Auswirkungen dieses Nahrungsergänzungsmittels beschrieben.

Die Wirkungsweisen von Anabolika werden in der Literatur sowohl bei den Effekten des Muskelaufbaus als auch bei den negativen Nebenwirkungen als wesentlich gravierender beschrieben. Es wird eine vermehrte Eiweißaufnahme in der Muskulatur, gepaart mit einer Senkung des Körperfettanteils, erläutert, dies resultiert in einer deutlichen Zunahme der fettfreien Muskulatur. Allerdings überwiegen bei der Einnahme von Anabolika die negativen Aspekte gegenüber den anabolen Prozessen. Hier werden eine Schrumpfung der Hoden, Störung der Spermatogenese, Unfruchtbarkeit, Gynäkomastie, Wachstumsstörungen, Hepatitis und ein erhöhtes Herzinfarktrisiko beschrieben. Weiters zeigt sich eine geschlechterspezifische Wirkung bei Frauen. Hierbei wird eine Virilisierungserscheinung als mögliche Nebenwirkung beschrieben. Orthopädisch wurde auch festgestellt, dass der langjährige Gebrauch von AAS in Kombination mit einem intensiven Krafttraining zu einer Verhärtung und einer erhöhten Steifigkeit der belastenden Sehnen führt.

Bezüglich der optimalen Trainingsmethode zeigte die bereits zuvor genannte Literatur von Weineck (2012), das neben dem speziellen Hypertrophietraining auch die Art und Weise der Trainingsdurchführung wichtig ist, um vermehrt Muskelmasse aufzubauen. Hierbei wird vor allem ein exzentrisch betontes Training beschrieben. Dieses sorgt für eine verstärkte Proteinbiosynthese und wirkt somit positiv auf den Muskelaufbau.

Weiters wird in der Arbeit die Superkompensation als relevanter Faktor der Muskelhypertrophie genannt. Hierbei wäre eine konkrete Zeitangabe essentiell, um ein effektives Hypertrophietraining durchzuführen. In der Literatur wird hingegen nur beschrieben, dass sich die Superkompensation direkt proportional zur muskulären Beanspruchung verhält. Durch diese Aussage lässt sich die Hypothese aufstellen, dass die Regenerationszeit bei einem Hypertrophietraining von größeren Muskelgruppen, wie etwa M. Pectoralis Major und M. Quadrizeps,

wesentlich länger dauert als bei einem Training des M. Bizeps brachii und M. Trizeps brachii. Um dies zu konkretisieren, wären weitere Studien von Vorteil und würden Aufschluss über die Superkompensation bringen.

In der Studie von Schoenfeld, Ratamess, Peterson, Contreras, Sonmez und Alvar (2015) wurden zwei Trainingsmethoden verglichen. Diese beiden gleichen dem in dieser Bachelorarbeit zuvor beschriebenen Hypertrophietraining und dem Maximalkrafttraining. Im Rahmen dieser Studie zeigte sich in beiden Gruppen eine ähnliche ausgeprägte Hypertrophie der trainierten Muskulatur. Allerdings erwies sich das Maximalkrafttraining als signifikant besser, um das Einwiederholungsmaximum zu steigern. Diese Erkenntnis deckt sich nicht vollkommen mit den Aussagen zum Maximalkrafttraining in der Literatur von Hollman und Strüder (2009).

Hierbei wird zwar die vermehrte Steigerung der Maximalkraft beschrieben, allerdings wird das Maximalkrafttraining als weniger effektiv für eine Muskelhypertrophie deklariert. Weiters wurde in der Studie von Schoenfeld, Ratamess, Peterson, Contreras, Sonmez und Alvar (2015) in der HT pro Übungseinheit nur eine Muskelgruppe trainiert und in der darauffolgenden Einheit eine andere Muskelgruppe. Die ST hingegen trainierte in jeder Einheit unterschiedliche Muskelgruppen und beanspruchte somit des Öfteren dieselben Muskeln in zwei aufeinanderfolgenden Trainingseinheiten. Da dies in einer kürzeren Regenerationsphase für manche Muskelgruppen resultiert, könnte es vor allem auf die Superkompensation negative Auswirkungen haben. Um die beiden Ergebnisse der ST und HT daher optimal gegenüberzustellen, wäre es angebracht, in beiden Gruppen dieselben Übungen zur selben Zeit mit unterschiedlichen Trainingsmethoden durchzuführen. Weiters bestand die gesamte Stichprobe nur aus männlichen Probanden. Da die Muskelphysiologie sich nicht zwischen den Geschlechtern unterscheidet, können die Ergebnisse trotzdem auch auf die weibliche Population übertragen werden.

In der Arbeit von Behrends et. al. (2012) wird die anabole Wirkung von Anabolika klar beschrieben. Bei der weiteren Literaturrecherche zeigte sich allerdings, dass kaum Studien vorhanden sind, in denen Anabolika auf ihre Auswirkung beim Muskelaufbau untersucht werden. Der Grund hierfür liegt vermutlich an den negativen Nebenwirkungen und daran, dass diese Droge in den meisten Ländern

verboten ist. In der Beobachtungsstudie von Gething, Grace, Davies und Baker (2011) wurden die Effekte von AAS auf das Respirationssystem getestet. Hierbei zeigte sich, dass die Anabolika keine negativen Auswirkungen auf FVC, FEV1 und PEF hatten. Daher können den Anabolika keine respiratorischen Nebenwirkungen zugeschrieben werden. Der MIP und die funktionelle Muskelkraft wiesen eine deutliche Steigerung auf, diese ist auf die positive Wirkung der AAS auf den Muskelaufbau zurückzuführen.

In der Prospektivstudie von Seynnes et al. (2013) wurde festgestellt, dass ein signifikant größerer Querschnitt in der Oberschenkelmuskulatur sowohl in der KSG als auch in der KTG zustande kam. Dieses Bild zeigt keinen Unterschied in dem Muskelwachstum zwischen der Gruppe, die AAS verwendete und der Gruppe, die keine Steroide einnahm. Allerdings ist hierbei zu bedenken, dass die AAS Gruppe durchschnittlich bereits 12,4 Jahre trainierte, die KTG hingegen trainierte durchschnittlich seit 6,3 Jahren. Da die Muskulatur sich regelmäßigen Reizen adaptiert, ist es gut möglich, dass diese längere Trainingsdauer sich in einem geringeren Effekt auf das Muskelwachstum auswirkt.

Die Erhebung der Eigenschaften der Patellasehne zeigte hingegen ein deutlicheres Bild. Hierbei wurde eine deutlich steifere Sehne in der KSG als in der KTG eruiert. Diese vermehrte Steifigkeit kann zu einer herabgesetzten Reißfestigkeit führen und somit das Risiko einer Ruptur der Patellasehne bekräftigen. Wenngleich diese Ergebnisse deutlich beschrieben werden, sollte auch hierbei bedacht werden, dass die KSG einen wesentlich längeren Trainingsverlauf hatte. Dies kann sich ebenfalls wieder auf die Eigenschaften der Patellasehne auswirken. Um die KSG und KTG aussagekräftiger gegenüberzustellen, wäre es daher ratsamer gewesen, eine Stichprobe mit derselben Trainingsdauer zu wählen. Trotzdem zeigt diese Arbeit auf, dass ein langjähriger Gebrauch von AAS in Kombination mit einem intensiven Krafttraining zu einer signifikanten Steigerung des Durchmessers der trainierten Muskulatur und zu einer vermehrten Dicke und Steifigkeit der dazugehörigen Sehne führt.

Bezüglich der negativen Nebenwirkungen von Eiweißpräparaten stellte (2012) in seinem Fallbericht eine Verbindung zwischen der Einnahme von Whey Protein und einer auftretenden Akne fest. Hierbei zeigte sich, dass bei Männern, die Whey Protein einnehmen und gleichzeitig an Akne leiden, eine sechswöchige Pause der

Proteineinnahmen in Kombination mit Konsumation von topischen Retinoid und Benzoylperoxid zu einer vollkommenen Abheilung der Akne führt. Da die Stichprobe in der besagten Studie aus lediglich fünf Personen bestand, ist die Aussagekraft eher gering. Weiters verzichtete nur eine Person vollkommen auf die Einnahme von Whey Protein. Hierbei ist auch nicht klar abzugrenzen, woher die Heilung der Akne resultierte, da er neben der Whey Karenz auch topischen Retinoid und Benzoylperoxid einnahm. Allerdings konsumierten zwei Probanden weiterhin Whey Protein und konsumierten ebenfalls topischen Retinoid und Benzoylperoxid, was zu einer nicht vollständigen Heilung führte. Daher lässt sich schlussfolgern, dass sich die Einnahme von Whey Protein negativ auf eine Heilung der Akne auswirkt. Um dieses Ergebnis allerdings zu bekräftigen, wäre eine größere Stichprobe ratsam.

Eine weitere Studie befasst sich mit den Auswirkungen einer Eiweißüberdosis auf die Muskulatur und die Nierenfunktion. Bei der Untersuchung von Ratten zu diesem Thema stellte Aparicio et al. (2010) fest, dass eine tägliche Überdosis an Proteinen zu einer signifikanten Zunahme der Muskelmasse und gleichzeitig zu einer Abnahme der Fettmasse bei männlichen Ratten führt. Bezüglich der negativen Nebenwirkungen dieser Überdosis konnte ein deutlich erhöhter Harnstoffwert und ein erhöhtes Gewicht der Nieren festgestellt werden. Diese beiden Werte deuten auf eine Schädigung der Nieren durch eine vermehrte Aufnahme von Eiweiß über die Nahrung hin. Auch das Urinvolumen war in den beiden Gruppen mit einer hohen Proteindosis zu jeder Zeit wesentlich höher. Dieses Ergebnis bestätigt zusätzlich, dass hierbei vermehrt Eiweiß im Serum vorhanden war. Abschließend lassen sich die Ergebnisse durchaus als aussagekräftig bezeichnen, allerdings wäre eine Untersuchung mithilfe einer menschlichen Stichprobe valider.

Zusammenfassend besteht ausreichend Literatur, um die Forschungsfrage des optimalen Trainings für einen Muskelaufbau zu beantworten. Allerdings sind hierbei nur wenige Studien vorhanden, in denen untersucht wird, welche Trainingsmethode für eine Muskelhypertrophie am geeignetsten ist. An Fachliteratur zur Trainingslehre mangelt es hingegen nicht. Um die positiven Wirkungen des Hypertrophietrainings zu bekräftigen, wäre es dennoch angebracht, weitere Forschungsarbeiten diesbezüglich zu kreieren. Ein ähnliches Bild spiegelt sich bei der Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wieder. Auch

hier konnte ausreichend Fachliteratur gefunden werden, allerdings wären weitere Studien zur Auswirkung von Eiweiß- und Anabolikapräparaten angebracht, um die Aussagen zu verifizieren.

## **8. Conclusio:**

Basierend auf die aktuelle Literatur zeigte sich, dass ein Hypertrophietraining im Ausmaß von 3 bis 4 Serien zu je 8 bis 12 Wiederholungen mit einer Intensität von circa 80 Prozent des Einwiederholungsmaximums die effektivste Trainingsmethode ist, um Muskelmasse aufzubauen. Bei den Auswirkungen von Eiweiß Supplementen wird eine Einnahme von 1,6 Gramm pro Kilogramm Körpergewicht empfohlen, um effektiv Muskelaufbau aufzubauen. Wichtig ist hierbei jedoch das zusätzliche Hypertrophietraining. Als bekannte Nebenwirkungen bei einer zu eiweißreichen Nahrung können vermehrt Akne und eine Vergrößerung der Nieren entstehen.

Die Wirkungsweisen von Anabolika werden in der Literatur sowohl bei den Effekten des Muskelaufbaus als auch bei den negativen Nebenwirkungen als wesentlich gravierender beschrieben. Es wird eine vermehrte Eiweißaufnahme in der Muskulatur, gepaart mit einer Senkung des Körperfettanteils, erläutert, dies resultiert in einer deutlichen Zunahme der fettfreien Muskulatur. Allerdings überwiegen bei der Einnahme von Anabolika die negativen Aspekte gegenüber den anabolen Prozessen. Hier werden eine Schrumpfung der Hoden, Störung der Spermatogenese, Unfruchtbarkeit, Gynäkomastie, Wachstumsstörungen, Hepatitis und ein erhöhtes Herzinfarkttrisiko beschrieben. Weiters zeigt sich eine geschlechterspezifische Wirkung bei Frauen. Hierbei wird eine Virilisierungserscheinung als mögliche Nebenwirkung beschrieben. Orthopädisch wurde auch festgestellt, dass der langjährige Gebrauch von AAS in Kombination mit einem intensiven Krafttraining zu einer Verhärtung und einer erhöhten Steifigkeit der belastenden Sehnen führt.

## Literaturverzeichnis:

Aparicio, V., Nebot, E., Porres, J., Ortega, F., Heredia, J., López-Jurado, M. & Ramírez, P. (2010) Effects of high-whey-protein intake and resistance training on renal, bone and metabolic parameters in rats, *British Journal of Nutrition*. 105(6), Seite 836-845. Doi: 10.1017/S0007114510004393.

Behrends, C., Bichofberger, J., Deutzmann, R., Grissmer, S., Hoth, M., Kurtz, A., Leipziger, J., Müller, F., Pedain, C., Rettig, J., Wagner, C. & Wischmeyer, E. (2012) *Duale Reihe: Physiologie*, Thieme: Stuttgart.

Gething, A., Grace, F., Davies, B. & Baker, J. (2011) Effects of long-term anabolic androgenic steroid administration on respiratory function, *Research in sports medicine*. 19(4), Seite 231-44. Doi: 10.1080/15438627.2011.608034.

Hollman, W. & Strüder, K. (2009) *Sportmedizin: Grundlagen für körperliche Aktivitäten, Training und Präventionsmedizin*, Schattauer: Stuttgart

Markworth, P. (2012) *Sportmedizin: Physiologische Grundlagen*, Nikol Verlagsgesellschaft: Hamburg

Raschka, C. & Ruf, S. (2012) *Sport und Ernährung: Wissenschaftlich basierte Empfehlungen und Ernährungspläne für die Praxis*, Thieme: Stuttgart.

Seynnes, O., Kamandulis, S., Kairaitis, R., Helland, C., Campbell, EL., Brazaitis, M., Skurvydas, A. & Narici, M. (2013) Effect of androgenic-anabolic steroids and heavy strength training on patellar tendon morphological and mechanical properties. *Journal of applied Physiology*. 115(1), Seite 84-9. Doi: 10.1152/jappphysiol.01417.2012.

Schoenfeld, B., Ratamess, N., Peterson, M., Contreras, B., Sonmez, G. & Alvar, B. (2015) Longer inter-set rest periods enhance muscle strength and hypertrophy

in resistance-trained men, Journal of Strength and conditioning Research. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000480.

Sutor, V. & Diemer, F. (2006) Praxis der medizinischen Trainingstherapie, Thieme: Stuttgart.

Simonart, T. (2012) Acne and whey protein supplementation among bodybuilders, Dermatology. 225(3), Seite 256-258. Doi: 10.1159/000345102.

Weineck, J. (2012) Optimales Training, Spitta Verlag: Balingen.