



Hochschule für Angewandte Wissenschaft  
Fakultät Life Science  
Studiengang Ökotrophologie

# Handlungsempfehlungen für eine optimale Proteinzufuhr im Kraftsport

---

Bachelorarbeit

Vorgelegt von:  
Jörn Utermann  
Matrikelnummer: 2004322

Tag der Abgabe:  
2.12.2013

Betreuende Prüferin:  
Prof. Dr. Silya Ottens

Zweitprüfer:  
Prof. Dr. Michael Hamm

# Inhaltsverzeichnis

## Abbildungsverzeichnis

## Tabellenverzeichnis

## Abkürzungsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1) Einleitung</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2) Grundlagen des Proteinbedarfes im Kraftsport</b> .....  | <b>3</b>  |
| 2.1) Proteinsynthese und Muskelaufbau .....   | 3         |
| 2.2) Methoden zur Bestimmung des Proteinbedarfs im Kraftsport .....   | 4         |
| 2.2.1) Stickstoffbilanzmessung .....  | 4         |
| 2.2.2) Stimulierung der Proteinsynthese – eine theoretische Hochrechnung.....   | 5         |
| 2.3) Methoden zur Bestimmung der Proteinqualität.....   | 6         |
| 2.3.1) Biologische Wertigkeit .....   | 6         |
| 2.3.2) Aminosäure-Index.....  | 6         |
| 2.3.3) Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score .....   | 7         |
| <b>3) Aktuelle Zufuhrempfehlungen</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>4) Material und Methodik</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>5) Ergebnisse der aktuellen Studienlage</b> .....  | <b>15</b> |
| 5.1) Fallstudien .....  | 15        |
| 5.1.1) Kerksick et al. 2006 .....   | 15        |
| 5.1.2) Hartman et al. 2007 .....  | 17        |
| 5.1.3) Hoffman et al. 2007 .....  | 20        |
| 5.1.4) Hulmi et al. 2009 .....  | 22        |
| 5.1.5) Volek et al. 2013.....   | 24        |
| 5.2) Zusammenfassung der Studienergebnisse .....  | 26        |
| <b>6) Diskussion</b> .....  | <b>31</b> |
| 6.1) Ergebnisdiskussion .....   | 31        |
| 6.1.1) Einfluss der Proteinqualität.....  | 31        |
| 6.1.2) Einfluss der Mehraufnahme an Protein und Differenz der Proteinaufnahme zwischen<br>Untersuchungs- und Proteingruppen ..... | 32        |
| 6.1.3) Einfluss der Energie- und Kohlenhydrataufnahme .....   | 35        |
| 6.1.4) Einfluss des Trainingsstatus .....   | 36        |
| 6.1.5) Einfluss der Proteinmenge des Supplements .....  | 37        |

|  |           |
|--|-----------|
| 6.2) Studienqualität.....                            | 37        |
| 6.2.1) Objektivität.....                             | 38        |
| 6.2.4) Reliabilität .....                            | 38        |
| 6.2.3) Validität.....                                | 39        |
| <b>7) Handlungsempfehlungen .....</b>                | <b>40</b> |
| 7.1) Benötigte Proteinzufuhr.....                    | 40        |
| 7.2) Optimale Proteinzufuhr .....                    | 41        |
| 7.3) Exzessive Proteinzufuhr .....                   | 42        |
| <b>8) Zusammenfassung und Ausblick.....</b>          | <b>43</b> |
| <b>9) Literaturverzeichnis .....</b>                 | <b>48</b> |
| <b>Anhang .....</b>                                  | <b>55</b> |
| a. Screenshots der Literaturrecherche.....           | 55        |
| i. Cochrane.....                                     | 55        |
| ii. Pubmed .....                                     | 56        |
| iii. ScienceDirect .....                             | 56        |
| b. Charakteristika eines Hypertrophietrainings ..... | 58        |
| c. Trainingspläne .....                              | 59        |
| i. Kerksick.....                                     | 59        |
| ii. Hartman.....                                     | 59        |
| iii. Hoffman .....                                   | 60        |
| iiii. Hulmi.....                                     | 60        |
| iiiii. Volek .....                                   | 60        |
| d. Eidesstattliche Erklärung.....                    | 62        |

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Proteinsynthese und Proteinabbau .....                | 3  |
| Abbildung 2: Schematische Darstellung der Literaturrecherche ..... | 14 |

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: Übersichtstabelle zur Beurteilung der Qualität verschiedener Proteinquellen .....  | 8  |
| Tabelle 2: Proteinempfehlungen für Kraftsportler .....  | 9  |
| Tabelle 3: Schlagwörter und Anzahl der Treffer bei der Literaturrecherche in den Datenbanken<br>PubMed, ScienceDirect und Cochrane..... | 12 |
| Tabelle 4: Kerksick - durchschnittliche tägliche Nahrungsaufnahme .....   | 16 |
| Tabelle 5: Kerksick - Anthropometrie- und Kraftveränderungen .....  | 17 |
| Tabelle 6: Hartmann - durchschnittliche tägliche Nahrungsaufnahme .....   | 19 |
| Tabelle 7: Hartmann - Anthropometrie- und Kraftveränderungen .....  | 20 |
| Tabelle 8: Hoffman - durchschnittliche tägliche Nahrungsaufnahme .....  | 21 |
| Tabelle 9: Hoffman - Anthropometrie- und Kraftveränderungen.....  | 21 |
| Tabelle 10: Hulmi - durchschnittliche tägliche Nahrungsaufnahme .....   | 23 |
| Tabelle 11: Hulmi - Anthropometrie- und Kraftveränderungen .....  | 23 |
| Tabelle 12: Volek - durchschnittliche tägliche Nahrungsaufnahme .....   | 25 |
| Tabelle 13: Volek - Anthropometrie- und Kraftveränderungen.....   | 26 |
| Tabelle 14: Zusammenfassung aller Studienergebnisse .....   | 30 |
| Tabelle 15: Protein Change- und Spread-Theorie .....  | 34 |

## Abkürzungsverzeichnis

|          |  |
|----------|--|
| AAS =    | Amino Acid Score                                 |
| AS =     | Aminosäuren                                      |
| BW =     | Biologische Wertigkeit                           |
| BCAAS =  | Branched-Chain Amino Acids                       |
| DGE =    | Deutsche Gesellschaft für Ernährung              |
| DXA =    | X-Ray Absorptiometry                             |
| g =      | Gramm  |
| IOM =    | Institute of Medicine                            |
| kg =     | Kilogramm  |
| KH =     | Kohlenhydrate                                    |
| PDCAAS = | Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score |
| 1-RM =   | One-Repetition-Maximum                           |

## 1) Einleitung

Proteine nehmen in der Sportwelt, speziell im Fitness-, Bodybuilding-, und Kraftsport schon immer eine zentrale Rolle in der Ernährung ein. Insbesondere die Frage nach einem adäquaten Protein-konsum für Kraftsportler besitzt schon beinahe eine mythische Bedeutung und wird sowohl unter Athleten, als auch in Fachkreisen seit vielen Jahren diskutiert.

Die allgemeinen Proteinempfehlungen für Erwachsene zielen darauf ab die bestehende Muskel-masse zu erhalten und Nährstoffunterversorgungen vorzubeugen. Kraftsportler hingegen streben nach einer maximalen Leistungsfähigkeit und Muskelaufbau. Daher stellt sich zwangsläufig die Frage, ob die allgemein gültigen Empfehlungen von  $0,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  (DGE, 2008, S. 35) für Athle-ten mit dieser Zielsetzung ausreichen.

Die anerkannte amerikanische Ernährungsorganisation Institute of Medicine (2001, S. 661) be-zeichnet die aktuelle Studienlage als nicht ausreichend, um eine erhöhte Proteinempfehlung für Kraftsportler auszusprechen. Andere Institutionen (American College of Sports Medicine, Ameri-can Dietetic Association, and Dietitians of Canada, 2009, S. 515; Campbell et. al, 2007, S. 1 ) und führende Wissenschaftler auf dem Gebiet der Sportlerernährung (Phillips, 2009, 2012; Tipton, 2003; Lemon, 2000) plädieren hingegen dafür, dass Kraftsportler einen erhöhten Proteinbedarf haben. Um wie viel dieser Bedarf erhöht ist, wird jedoch weiterhin kontrovers diskutiert, so dass es nach wie vor keine einheitliche Empfehlung für den Proteinbedarf von Kraftsportlern gibt. Die kontroverse Diskussion spiegelt sich auch in den tatsächlichen Proteineinnahmen von Kraftathle-ten wieder. Personen, die an einem möglichst starken Muskelaufbau interessiert sind, handeln häufig nach dem „viel hilft viel Prinzip“ und nehmen Proteinmengen bis zu  $2,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  zu sich (Phillips, 2004, S.693) und überschreiten somit jegliche Zufuhrempfehlungen. Die Frage nach der optimalen Proteinzufuhr im Kraftsport bleibt somit weiterhin aktuell und diskussionswürdig.

Der aktuellen Studienlage nach gibt es mehrere Faktoren, die den Proteinbedarf beeinflussen. Dazu gehören primär die Proteinmenge und die Art des Proteins. Aber auch der Zeitpunkt der Proteineinnahme, die Energiebilanz, die Kohlenhydratzufuhr, die Trainingsintensität und -dauer sowie das Alter und das Geschlecht sind als wichtige Einflussfaktoren zu nennen (Lemon, 2000, S.513). Die vielen Einflussfaktoren machen die Suche nach einer optimalen Proteinzufuhr im Kraftsport zu einem sehr umfangreichen und komplexen Themengebiet. Eine vollständige Erörte-rung aller wichtigen Aspekte ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Bei der Untersuchung der Fragestellung konzentriert sich diese Arbeit deshalb ausschließlich auf die Aspekte der Protein-menge und der Proteinqualität.

Ziel der Arbeit ist es anhand einer gründlichen Analyse der aktuellen Studienlage den Wissensstand über den Proteinbedarf im Kraftsport, unter Einfluss der Proteinmenge und -qualität, zu erörtern, mögliche Unterschiede zwischen einer benötigten, optimalen und exzessiven Proteinzufuhr herauszuarbeiten, um daraus praxisbezogene Handlungsempfehlungen abzuleiten. Dabei soll geklärt werden, ob Kraftsportler einen höheren Proteinbedarf als Nichtsportler haben, und wenn ja, um wie viel der Bedarf erhöht ist. In diesem Zusammenhang wird geprüft, ob der Verzehr von zusätzlichem Protein zu einer verbesserten Leistungsfähigkeit und/oder zu einem erhöhten Muskelwachstum führt und in wie weit die Qualität der eingenommenen Proteine den Bedarf beeinflusst. Grundlage hierfür ist eine gründliche Literaturrecherche auf den Datenbanken Pubmed, ScienceDirect und Cochrane. Diese werden systematisch nach RCT-Studien und Metaanalysen zu diesem Thema durchsucht und relevante, hochwertige Quellen auf Rückschlüsse auf den Proteinbedarf von Kraftsportlern analysiert.

## 2) Grundlagen des Proteinbedarfes im Kraftsport

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Mechanismen des Muskelaufbaus und der Rolle der Proteine bei diesem Vorgang. Dabei wird auch auf verschiedene Methoden zur Bestimmung der Proteinqualität eingegangen.

### 2.1) Proteinsynthese und Muskelaufbau

Der Körper befindet sich in einem stetigen Auf- und Abbau von Proteinstrukturen (Phillips, 2004, S. 689). Studien zeigen, dass ein intensives Krafttraining zu einem erhöhten Verschleiß von Proteinstrukturen führt (Biolo et al., 1995, S. 841), gleichzeitig aber auch die Proteinsynthese stimuliert und somit den Aufbau neuer Muskulatur initiiert wird (Chesley et al., 1992, S. 1383; Phillips et al., 1997, S.99). „During the period of fiber hypertrophy, there also needs to be a net positive protein balance: muscle protein synthesis must always exceed muscle protein breakdown“ [Damit eine Muskelhypertrophie eintritt, muss eine positive Proteinbalance vorhanden sein: die Proteinsyntheserate muss höher sein als der Proteinabbau] (Phillips, 2004, S.689). Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass die Proteinbilanz nur bei Zufuhr von AS (intravenös und oral) positiv ausfällt. Demnach ist für eine optimale Stimulation der Proteinsynthese ein Zusammenspiel der Faktoren Krafttraining und Ernährung erforderlich, wobei die Wirkung additiv ausfällt (Abbildung 1). „Therefore, hypertrophy is the result of the accumulation of successive periods of positive protein balance after exercise when protein is consumed [Hypertrophie ist demnach das Resultat mehrerer aufeinanderfolgenden Perioden von Krafttraining, der Einnahme von Proteinen nach dem Training und einer daraus resultierenden positiven Stickstoffbilanz] (Phillips, 2004, 690).

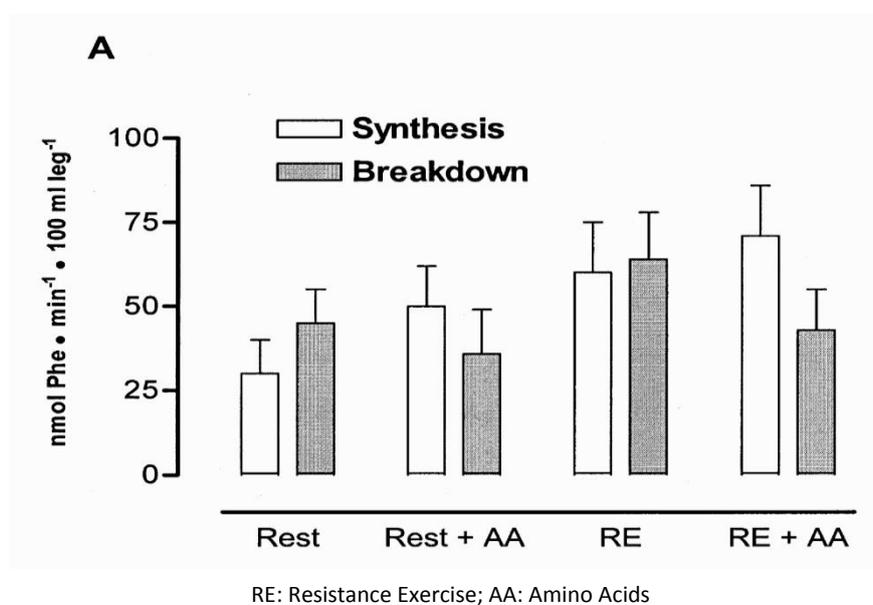


Abbildung 1: Proteinsynthese und Proteinabbau

Quelle: Philipps et al., 2004, S. 691

## **2.2) Methoden zur Bestimmung des Proteinbedarfs im Kraftsport**

### **2.2.1) Stickstoffbilanzmessung**

Aktuelle Einschätzungen eines adäquaten Proteinbedarfs basieren auf der Methodik der Stickstoffbilanzmessung. Dabei wird folgendes Prinzip genutzt: Proteine sind stickstoffhaltige Substanzen, die aus vielen aneinandergereihten Aminosäuren bestehen, wobei jede Aminosäure mindestens ein Stickstoffatom enthält (Institute of Medicine, 2005, S.590). Nach der Einnahme von Protein werden die Veränderungen in der Stickstoffbilanz und der Aminosäuren-Oxidation überwacht (Layman, 2004, 632). Dabei wird die Differenz zwischen dem aufgenommenen Stickstoff über Nahrungsproteine und der über den Urin, Stuhlgang und Haut abgegebenen Verluste ermittelt und so der Eiweißumsatz im menschlichen Körper ermittelt. Überschreitet die zugeführte Menge an Stickstoff die der abgegebenen Menge, spricht man von einer positiven Stickstoffbilanz. Umgekehrt ist von einer negativen Stickstoffbilanz die Rede, sobald der Körper mehr Stickstoff ausscheidet als ihm zugeführt wird. Dies führt zu einem katabolen Zustand im Körper und einem Abbau von Körpereiwweiß (Wilson und Wilson, 2006, S. 7-8). Basierend auf dieser Definition wird durch die Messung der Stickstoffbilanz und Aminosäure-Oxidation der Proteinbedarf ermittelt (Millward, 2004, S. 1590). Es wird angenommen, dass der Proteinbedarf eines gesunden Menschen bei einer Stickstoffbilanz  $\geq 0$  gedeckt ist, während eine nicht ausreichende Proteinzufuhr zu einer negativen Stickstoffbilanz führt (Institute of Medicine, 2005, S. 637).

#### **Einschränkung dieser Methode**

Obwohl die Messung der Stickstoffbilanz eine weit verbreitete und anerkannte Methode zur Feststellung des Proteinbedarfs ist, weist diese einige Einschränkungen auf (Institute of Medicine, 2005, S. 637). Hierbei ist insbesondere die Feststellung der genauen Stickstoffverluste kompliziert. So ist es schwierig die exakten Verluste nach der Denitrifikation durch die Darmflora festzustellen. Auch eine präzise Messung des über die Haut (Harnstoff) und Luft (Ammoniak) ausgeschiedenen Stickstoffes ist problematisch. Die Stickstoffverlustmessungen sind daher weitgehend auf Schätzungen angewiesen. Als Folge wird die Aufnahme von Stickstoff häufig überschätzt und die Abgabe unterschätzt (Tomé und Bos, 2000, S. 1869).

Während diese Methode zur Bestimmung des Proteinbedarfes bei Nichtsportlern als ausreichend angesehen wird, steht die Anwendung bei Kraftsportlern in der Kritik. So gibt es zum Beispiel keinen Zusammenhang zwischen der Stickstoffbilanz und der Muskelfunktion beziehungsweise Leistung eines Kraftsportlers (Phillips, 2012, S.1660). Dazu stellt Lemon (2000, S. 514) die These auf, dass selbst wenn man aus Stickstoffbilanzmessungen keinen erhöhten Proteinbedarf schlussfolgern kann, die Leistung des Athleten dennoch positiv durch eine erhöhte Proteinaufnahme beeinflusst werden könnte. Zusätzlich vermutet er, dass eine erhöhte Proteinzufuhr positiven Einfluss

auf metabolische Prozesse hat, die in einem erhöhten Muskelaufbau resultieren könnten. Aufgrund des fehlenden Zusammenhangs zwischen der Stickstoffbilanzmessung und der Leistungsfähigkeit der Sportler, hält auch die International Society of Sports Nutrition eine Unterschätzung des Proteinbedarfs beim Einsatz dieser Methode für möglich (Campbell, 2007, S.2).

In aktuellen Studien zur Bestimmung des Proteinbedarfes von Kraftsportlern kommen Stickstoffmessungen schon seit einigen Jahren nicht mehr zum Einsatz. 1992 führten Lemon et al. die letzte bekannte Studie mit dieser Methodik bei Kraftsportler durch (Lemon et al., 1992). Wenige Jahre später kritisiert derselbe Autor die Stickstoffmessung als geeignete Methode zur Bestimmung des Proteinbedarfes bei Kraftsportlern (Lemon, 2000, S.514).

### **2.2.2) Stimulierung der Proteinsynthese – eine theoretische Hochrechnung**

Wie in Kapitel 2.1 erläutert, spielen Proteine eine zentrale Rolle bei der Stimulierung der Proteinsynthese und somit dem Aufbau von neuen Gewebsstrukturen. Ein möglicher Ansatz zur Ermittlung des Proteinbedarfes von Kraftsportlern ist daher die Menge an Protein zu ermitteln, die die Proteinsynthese maximal stimuliert. Eine Dosis-Wirkungs-Untersuchung vom Einfluss der Proteinmenge auf die Stimulation der Proteinsynthese kam zu dem Ergebnis, dass die Einnahme von 20 g Ei-Eiweiß (~8,5 g EAS) nach einem Krafttraining zu einem 93%igem Anstieg der Proteinsynthese führt. Die Einnahme von 40 g Protein führt zwar zu einem leicht höheren Anstieg der Proteinsynthese, jedoch sind diese Unterschiede nicht signifikant. (Moore et al., 2009b, S.161). Mittlerweile ist bekannt, dass die Einnahme essentieller Aminosäuren (AS) ausreicht, um die Proteinsynthese zu stimulieren (Tipton et al., 2001, 2003) und es eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Stimulation der Proteinsynthese und der Einnahme von essentiellen AS gibt (Borsheim et al., 2002, S.648). 2004 stellten Cuthbertson et al. (2004) fest, dass die orale Einnahme von 10 g essentiellen AS die Proteinsynthese maximal stimuliert. Dies entspricht umgerechnet einer Menge von ~25 g hochwertigem Protein (Phillips, 2012, S.161). Die optimale Proteinmenge pro Mahlzeit entspricht demnach 20-25 g – vorausgesetzt es wird ein qualitativ hochwertiges Protein verzehrt. Berücksichtigt man die Erkenntnis, dass die Proteinsynthese durch die Einnahme einer proteinreichen Mahlzeit für drei bis vier Stunden erhöht ist (Norton et al., 2007; Moore et al., 2009a), sollte ein Athlet vier bis fünf Mahlzeiten mit einer solchen Proteinmenge am Tag zu sich nehmen. Bei fünf Mahlzeiten am Tag entspricht das einer täglichen Proteinzufuhr von 100-125 g. Ein 80 kg schwerer Kraftsportler müsste demnach  $1,25-1,56 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  zu sich nehmen. Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass in jeder Mahlzeit ausreichend hochwertiges Protein verzehrt wird, um diese Richtwerte zu erreichen und die Probanden in den Untersuchungen keine Kraftsportler waren, ist es sinnvoll mit einen 20%igen Sicherheitszuschlag zu kalkulieren, was den Proteinbedarf auf  $120-150 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ . Die optimale Proteinzufuhr läge dann bei  $1,45-1,87 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$

KG·d<sup>-1</sup> und somit im Rahmen der meisten aktuellen Zufuhrempfehlungen (siehe Kapitel 3). Eine mögliche Ergänzung dieser Methode ist die Feststellung des Leucingehalts von Proteinquellen, da diese AS für den stimulierenden Effekt der Proteinsynthese verantwortlich zu sein scheint (Norton und Laymon, 2006). Eine Umrechnung der 20-25 g Protein oder 8,5-10 g essentielle AS entspricht einer Leucinmenge von 1,8-2,1 g pro Mahlzeit.

### 2.3) Methoden zur Bestimmung der Proteinqualität

Die Qualität eines Proteins hängt von dessen Fähigkeit ab, die für das Wachstum, Aufrechterhaltung und Reparatur von proteinhaltigen Strukturen notwendige Menge an Aminosäuren zur Verfügung zu stellen. Diese Fähigkeit wird durch zwei Faktoren bestimmt: Die Verdaulichkeit und die Aminosäurezusammensetzung eines Proteins (Institute of Medicine, 2006, S. 146).

Es gibt unterschiedliche Methoden, die Eignung eines Proteins zur Biosynthese und damit dessen Qualität zu bestimmen. Zu den anerkannten und häufig benutzten Methoden gehört die biologische Wertigkeit und der Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS).

#### 2.3.1) Biologische Wertigkeit:

Die biologische Wertigkeit (BW) „ist ein Maß dafür, wie effizient ein Nahrungseiweiß in körpereigenes Protein umgesetzt werden kann. Die klassische Definition bezieht sich auf die Menge Körperprotein, die aus 100 g absorbiertem Nahrungsprotein gebildet werden kann“ (Bialski, 2010, S.125).

$$BW = \frac{\text{im Körper retentierter Stickstoff}}{\text{im Darm absorbierter Stickstoff}} * 100$$

Als Bezugswert für die biologische Wertigkeit dient das Vollei (BW = 100). Da dieser Wert willkürlich bestimmt wurde, impliziert der BW-Wert von 100 beim Vollei keine 100%ige Umsetzung in körpereigenes Eiweiß. Die tatsächliche Menge, die der Körper aus Vollei herstellen kann liegt deutlich unter 100, so dass die BW nicht als eine absolute Angabe für die Umsetzung des Nahrungseiweißes verstanden werden kann (Bialski, 2010, S.125-126). Die Methode wird häufig dafür kritisiert, dass wichtige Einflussfaktoren auf die Verdaulichkeit der Proteine sowie Interaktion zwischen mehreren gleichzeitig eingenommenen Proteinquellen nicht berücksichtigt werden (Srikantia, 1981).

#### 2.3.2) Aminosäure-Index

Der Aminosäure-Index (AAS = Amino Acid Score) erlaubt eine chemische Beurteilung der Qualität von Nahrungsproteinen:

$$AAS = \frac{\text{Konzentration einer AS im Testprotein } (\frac{mg}{g} \text{ Protein)}}{\text{Konzentration der entsprechenden AS im Referenzprotein } (\frac{mg}{g} \text{ Protein})}$$

„Diese Methode erlaubt die Bestimmung der limitierenden Aminosäure eines zu beurteilenden Proteins“ (Biesalski, 2010, S. 126). Die limitierende AS ist, bezogen auf den menschlichen Bedarf, die AS, die am wenigsten im Testprotein enthalten ist. Sie begrenzt die körpereigene Proteinsynthese und weist demnach den niedrigsten AAS-Score auf. Beim AAS-Score wird die unterschiedliche Verdaulichkeit der Nahrungsproteine nicht mit berücksichtigt. (Biesalski, 2010, S. 126). Diese beeinflusst aber die Anzahl und Art der für den Körper zur Verfügung stehenden Aminosäuren (Institute of Medicine, 2006, S. 146).

### **2.3.3) Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score**

Aufgrund der Einschränkung dieser Methoden entwickelte die WHO 1993 mit der PDCAAS-Methode (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score) eine genauere Methode zur Beurteilung der Proteinqualität. Der PDCAAS berechnet unter Berücksichtigung des Aminosäuregehaltes und der Verdaulichkeit von AS die Fähigkeit eines Proteins dem menschlichen Körper essenzielle AS zur Verfügung zu stellen (Biesalski, 2010, S. 126). In dem Verfahren werden die Konzentrationen der essentiellen AS des Testproteins mit einem Referenz-Bewertungsmuster verglichen. Die Vergleichswerte basieren auf der Verdaulichkeit der essentiellen AS des Testproteins (Schaafsma, 2000, S.1865)

$$\text{PDCAAS} = \frac{\text{mg der limitierenden AS in 1 g des Testproteins}}{\text{mg derselben AS in 1g des Referenzproteins}} \times \text{fäkale Verdaulichkeitsrate} \times 100$$

Der maximale PDCAAS-Wert beträgt 1. Bei der Berechnung des Wertes wird sich an dem Bedarf von Kindern im Alter von zwei bis fünf Jahren orientiert, da diese im Wachstum einen erhöhten AS-Bedarf aufweisen. Die PDCAAS Bewertung wurde von der US Food and Drug Administration (FDA) und der Ernährungs-und Landwirtschafts-Organisation der Vereinten Nationen / World Health Organization (FAO / WHO) im Jahr 1993 als "die bevorzugte und beste" Methode zur Bestimmung der Proteinqualität etabliert (Schaafsma, 2000, S.1865). 2011 wurde die PDCAAS-Methode von einer Arbeitsgruppe der FAO zum Thema "Evaluation von Proteinqualität" kritisch untersucht. Im Rahmen dieser Analyse wurden die Vor- und Nachteile dieser häufig verwendeten Methode erörtert. Als Schwachstelle dieser Methode verweist das Gremium vor allem darauf, dass die Verdaulichkeit der AS auf aus Fäkalien abgeleiteten Schätzungen basiert. Stattdessen rät der FAO-Fachausschuss dazu den Verdaulichkeitsgrad der AS direkt im Ileum zu bestimmen (FAO, 2011, S.13, S.20).

Tabelle 1: Übersichtstabelle zur Beurteilung der Qualität verschiedener Proteinquellen

| Nahrungsmittel  | BW               | PDCAAS            | Proteinmenge pro 100g<br>Lebensmittel in g | Leucin-Anteil der<br>Proteinmenge in % |
|-----------------|------------------|-------------------|--|--|
| Vollei          | 100 <sup>1</sup> | 1,0 <sup>3</sup>  | 12,9 <sup>4</sup>                          | 8,6 <sup>3</sup>                       |
| Whey-Pulver     | 100 <sup>1</sup> | 1,0 <sup>3</sup>  | 81 <sup>6</sup>                            | 12,0 <sup>3</sup>                      |
| Casein-Pulver   | 77 <sup>3</sup>  | 1,0 <sup>3</sup>  | 84 <sup>6</sup>                            | 9,3 <sup>3</sup>                       |
| Rindfleisch     | 80 <sup>3</sup>  | 0,92 <sup>3</sup> | 20,6 <sup>4</sup>                          | 8,0 <sup>3</sup>                       |
| Schweinefleisch | 85 <sup>5</sup>  | -                 | 21,2 <sup>4</sup>                          | 7,1 <sup>4</sup>                       |
| Hühnerfleisch   | -                | -                 | 24,1 <sup>4</sup>                          | 7,5 <sup>3</sup>                       |
| Fisch           | 76 <sup>1</sup>  | -                 | 21,0 <sup>4</sup>                          | 8,1 <sup>3</sup>                       |
| Kuhmilch        | 91 <sup>2</sup>  | 1,0 <sup>2</sup>  | 3,5 <sup>4</sup>                           | 9,8 <sup>3</sup>                       |
| Sojaprotein     | 74 <sup>2</sup>  | 1,0 <sup>2</sup>  | -  | -                                      |
| Kartoffel       | 71 <sup>5</sup>  | 0,6 <sup>1</sup>  | 2,0 <sup>4</sup>                           | 5,0 <sup>4</sup>                       |
| Reis            | 82 <sup>1</sup>  | 0,6 <sup>1</sup>  | 6,5 <sup>4</sup>                           | 9,2 <sup>4</sup>                       |
| Mais            | 54 <sup>5</sup>  | 0,5 <sup>1</sup>  | 3,1 <sup>4</sup>                           | 9,7 <sup>4</sup>                       |
| Weizen          | 59 <sup>1</sup>  | 0,4 <sup>1</sup>  | 9,8 <sup>4</sup>                           | 7,1 <sup>4</sup>                       |
| Bohnen          | 73 <sup>1</sup>  | 0,4 <sup>1</sup>  | 2,4 <sup>4</sup>                           | 8,3 <sup>4</sup>                       |

<sup>1</sup>Biesalski, 2010, S. 125; <sup>2</sup>Hoffmann, Falco, 2004, S.120; <sup>3</sup>Norton, 2009, S.3; <sup>4</sup>errechnet mit Ebispro 2009; <sup>5</sup>Friedrich, 2012, S.90; <sup>6</sup>www.myprotein.com – variiert nach Typ und Menge

In Tabelle 1 ist zu erkennen, dass tierisches Eiweiß tendenziell eine höhere biologische Wertigkeit und bessere Verdaulichkeit aufweisen als pflanzliche Proteinquellen. Konzentriertes Molkeprotein (Whey-Pulver) und Casein haben den höchsten Proteingehalt sowie die höchste Proteinqualität.

### 3) Aktuelle Zufuhrempfehlungen

Eine häufig verwendete Definition für den Nährstoffbedarf an Protein ist: „The minimum amount ingested [protein] that will balance all nitrogen losses and thus maintain nitrogen equilibrium“ [die minimal eingenommene Menge an Protein, die alle Stickstoffverluste ausgleicht und zu einer neutralen Stickstoff-Bilanz führt] (Tipton, 2003, S. 66). Dieser Bedarf wird in Gramm pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag angegeben ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ). In Deutschland werden Ernährungsempfehlungen in Form von Referenzwerten von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) ausgesprochen. Diese basieren auf dem durchschnittlichen Nährstoffbedarf von gesunden Männern und Frauen, ab einem Alter von 18 Jahren mit Normalgewicht. Für gesunde Erwachsene in Deutschland gilt der Referenzwert von  $0,8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{KG}\cdot\text{d}^{-1}$  (DGE, 2008, S. 35). „Dies entspricht einem Anteil von 9-11 % der Gesamtenergiezufuhr von Erwachsenen“ (DGE, 2008, S. 36). Aufgrund der ohnehin hohen Proteinzufuhr der deutschen Bevölkerung und zwecks einer leichteren Handhabung wird jedoch eine Proteinzufuhr von 15 % der Gesamtkalorien empfohlen (DGE, 2008, S. 36). Das Institute of Medicine of the U.S. National Academy of Sciences in Amerika empfiehlt ebenfalls eine tägliche Proteinzufuhr von  $0,8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{KG}\cdot\text{d}^{-1}$  (Institute of Medicine, 2005, S. 589 ). Mit dieser

Proteinmenge sollen die ernährungsphysiologischen Bedürfnisse von nahezu allen (~98%) gesunden Menschen erfüllt werden. Sie zielt darauf ab den Körper ausreichend mit Nährstoffen zu versorgen, um einer Unterversorgung von Nährstoffen und daraus resultierende Gesundheitsschäden vorzubeugen (DGE, 2008, S.7-10).

### Proteinempfehlungen für Kraftsportler

Viele Ernährungsorganisationen sprechen für Kraftsportler gesondert Proteinempfehlungen aus. Die anerkannte amerikanische Ernährungsorganisationen Institute of Medicine sieht die aktuelle Studienlage als nicht ausreichend an, um die Proteinempfehlung für Kraftsportler zu erhöhen. Deshalb empfiehlt Sie auch für Kraftsportler die für die Allgemeinheit gültige Menge von 0,8 g Protein·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> (Institute of Medicine, 2001, S. 661). Andere Institutionen sind sich einig, dass Kraftsportler mehr Proteine benötigen als ein Nichtsportler. Das American College of Sports Medicine, die American Dietetic Association und die Dietitians of Canada empfehlen Kraftsportlern einen Proteinkonsum von 1,2-1,7 g Protein·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> (American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada, 2009, S. 515), während eine Arbeitsgruppe des Journal of the International Society of Sports Nutrition empfiehlt 1,4-2,0 g·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> zu sich zu nehmen (Campbell et. al, 2007, S. 1). Nicht so hoch fallen die Zufuhrempfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) aus. Diese empfiehlt Kraftsportlern und Bodybuildern eine tägliche Proteinaufnahme von 1,2 g·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>. Die DGE argumentiert, dass sporttreibende Personen bei einer gesunden Mischkost etwa 100 g Protein pro Tag zu sich nehmen und diese Menge selbst unter extremen Trainingsbelastungen für den Aufbau von Muskelmasse ausreichend ist (DGE, 2001). Der Konsens von führenden Wissenschaftlern auf diesem Gebiet lässt sich auf Empfehlungen zwischen 1,2-2 g·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> zusammenfassen. Die Empfehlungen von verschiedenen Organisationen, Arbeitsgruppen und Autoren können somit nicht als homogen bezeichnet werden. Eine Übersicht der Proteinempfehlungen ist in Tabelle 2 abgebildet.

**Tabelle 2: Proteinempfehlungen für Kraftsportler**

| Organisation,<br>Arbeitsgruppe                                 | IOM <sup>1</sup> | DGE <sup>2</sup> | ACSM,<br>ADA, DC <sup>3</sup> | JISSN <sup>4</sup> | Lemon<br>2000 | Tipton<br>2003 | Phillips<br>2009, 2012 |
|--|------------------|------------------|-------------------------------|--------------------|---------------|----------------|------------------------|
| Proteinempfehlung<br>in<br>g·kg <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> | 0,8              | 1,2              | 1,2-1,7                       | 1,4-2              | 1,6-1,8       | < 2            | 1,2-1,6                |

<sup>1</sup>Institute of Medicine; <sup>2</sup>Deutsche Gesellschaft für Ernährung; <sup>3</sup>American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, Dietitians of Canada; <sup>4</sup>Working Committee of Journal of the International Society of Sports Nutrition

In der Theorie wird der erhöhte Bedarf durch folgende Aspekte erklärt (Philipps, Moore und Tang, 2009, S. 60):

- Reparatur und Ersatz beschädigter Proteine
- Umstrukturierung von Proteinen innerhalb des Muskels, Knochen, Sehnen und Bänder
- Sicherstellung optimaler Funktionen aller Stoffwechselwege, an denen Aminosäuren beteiligt sind
- Unterstützung in der Zunahme von Muskelmasse
- Unterstützung eines optimal funktionierenden Immunsystems
- Unterstützung der optimalen Produktionsgeschwindigkeit von Plasmaproteinen
- Unterstützung in weiteren Prozessen, die bei Sportlern erhöht sind und Aminosäuren benötigen
- Den Verlust stickstoffhaltiger Verbindungen über den Schweiß
- Einen Proteinverlust durch eine gesteigerte Aminosäureoxidation

#### **4) Material und Methodik**

Um den Transparenzansprüchen gerecht zu werden wird die Vorgehensweise bei der Literaturrecherche detailliert beschrieben. Grundlage hierbei ist die Fragestellung, ob eine erhöhte Proteinzufuhr bei Kraftsportlern zu einer verbesserten Leistungsfähigkeit und/oder verstärktem Muskelaufbau führt.

Für eine erste Orientierung wurden zunächst Reviews von anerkannten Wissenschaftlern zu diesem Thema gesichtet:

- Lemon, Peter W.R. (2000): Beyond the Zone: Protein Needs of Active Individuals.
- Tipton, Kevin D/ Wolfe, Robert R. (2003): Protein and amino acids for athletes.
- Philips, Stuart M. (2004): Protein Requirements and Supplementation in Strength Sports.
- Wilson, Jacob/ Wilson, Gabriel J. (2006): Contemporary Issues in Protein Requirements and Consumption for Resistance Trained Athletes
- Campbell et al. (2007): International Society of Sports Nutrition position stand: protein and exercise
- Phillips, Stuart M./ Moore, Daniel R./ Tang, Jason E. (2009): A Critical Examination of Dietary Protein Requirements, Benefits, and Excesses in Athletes
- Philips, Stuart M. (2012): Dietary protein requirements and adaptive advantages in athletes.
- Bosse, John D./ Dixon, Brian M. (2012): Dietary protein to maximize resistance training: a review and examination of protein spread and change theories

Aufgrund der geringen Anzahl von Metaanalysen zu dem Thema Proteinbedarf im Kraftsport, basiert diese Arbeit vorrangig auf RCT-Studien aus „peer-reviewed journals“. Hierzu wurden die Datenbanken PubMed, Cochrane und ScienceDirect auf aktuelle Studien durchsucht. Dabei kamen folgende Suchbegriffe zum Einsatz: protein, athlete, resistance training, exercise training, weight training, hypertrophy, muscle mass, body composition, protein supplementation, protein intake und whey (siehe Tabelle 3). Ergänzend zu der Recherche nach Primärquellen in den Datenbanken, wurden die Literaturlisten von Reviews gesichtet (Bosse und Dixon, 2012; Lemon, 2000; Philips, 2004, 2009, 2012; Campbell, 2007).

**Tabelle 3: Schlagwörter und Anzahl der Treffer bei der Literaturrecherche in den Datenbanken PubMed, ScienceDirect und Cochrane**

| <b>Suchbegriffe*</b>                         | <b>Treffer in PubMed</b> | <b>Treffer in ScienceDirect</b> | <b>Treffer in Cochrane</b> |
|--|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| protein AND athlete                          | 56                       | 45                              | 29                         |
| protein AND resistance training              | 131                      | 60                              | 112                        |
| protein AND exercise training                | 191                      | 179                             | 190                        |
| protein AND weight training                  | 8                        | 39                              | 110                        |
| protein supplementation AND hypertrophy      | 4                        | 6                               | 8                          |
| protein supplementation AND muscle mass      | 9                        | 36                              | 48                         |
| protein supplementation AND body composition | 9                        | 55                              | 55                         |
| protein intake AND hypertrophy               | 12                       | 9                               | 4                          |
| protein intake AND muscle mass               | 28                       | 69                              | 69                         |
| protein intake AND body composition          | 43                       | 74                              | 74                         |
| whey AND hypertrophy                         | 4                        | 3                               | 3                          |
| whey AND muscle mass                         | 5                        | 13                              | 13                         |
| whey AND body composition                    | 20                       | 1                               | 16                         |

\*Für detaillierte Filtereinstellungen siehe Kapitel a im Anhang

Eine finale Auswahl der Quellen erfolgte unter Berücksichtigung folgender Kriterien: Um eine möglichst hohe Evidenz der Studien zu erreichen, mussten alle ausgewählten Studien an menschlichen Probanden durchgeführt und im RCT-Studiendesign konzipiert worden sein. Aufgrund der niedrigen Anzahl von qualitativ hochwertigen Studien wurden neben double-blinded auch single-blinded RCT-Studien berücksichtigt. Um möglichst signifikante Testergebnisse zu erzielen, mussten die Probanden in jeder Versuchsgruppe  $n \geq 10$  sein. Eine kurze Studiendauer birgt die Gefahr, dass die Zeit für messbares Muskelwachstum und/oder eine signifikante Leistungssteigerung nicht ausreicht (Tipton und Wolfe, 2003, S.70). Möglicherweise führt ein erhöhter Proteinkonsum aber erst langfristig zu dem gewünschten Ziel. Um einen solchen Bias auszuschließen ist eine möglichst lange Studiendauer wünschenswert. Aufgrund des Mangels an Langzeituntersuchungen zu diesem Thema, wurde die Mindestlänge der Studien auf acht Wochen festgelegt. Alle Probanden mussten dazu verpflichtet sein mindestens dreimal die Woche nach einem vorher festgelegten einheitlichen Trainingsplan zu trainieren, der darauf ausgelegt ist, den ganzen Körper auf Hypertrophie zu trainieren. Der Proteinkonsum während der Studie und die Muskelmasse vor und nach den Untersuchungen mussten ermittelt worden sein. Messungen von Kraftveränderungen wurden nur von 1-RM Versuchen (one-repetition-maximum) berücksichtigt, da diese Methode als Goldstandard angesehen wird, wenn es darum geht die maximale Muskelkraft außerhalb eines Labors zu bestimmen (Levinger et al., 2009, S.310). Da sich die Untersuchung dieser Arbeit auf die Auswirkung des Proteinbedarfs von Kraftsportlern und deren Leistung und Muskelwachstum beschränkt, wurden Studien mit folgenden Kriterien ausgeschlossen: Studien mit Probanden über 50 Jahren, weil die Trainingsintensität von alten und jungen Menschen nicht zu vergleichen ist (Enoka et. al, 2003, S.1). Außerdem findet im zunehmenden Alter ein Abbau von Muskulatur statt (Forbes und Halloran, 1976, S.161) und es wird angenommen, dass die Proteinsynthese von älteren Menschen verringert ist (Golden und Waterlow, 1977, S. 277). Des Weiteren wurden Studien, in denen die Probanden vorsätzlich auf Diät waren nicht berücksichtigt. Grund hierfür ist die Tatsache, dass der Körper während einer Diät weniger effektiv Muskeln aufbaut. Ein Vergleich mit Probanden, die sich in einer positiven Energiebilanz befinden, würde somit mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem verzerrten Ergebnis führen (Loeffelholz, 2011, S.272).

Nach den beschriebenen Kriterien wurden fünf Studien ausgewählt, die für das Thema Proteinkonsum im Kraftsport relevant sind. Der Rechercheverlauf, inklusive der wichtigsten Auswahlkriterien, ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt. Screenshots, die eine systematische Literaturrecherche belegen, sind im Anhang (Kapitel a) beigefügt.

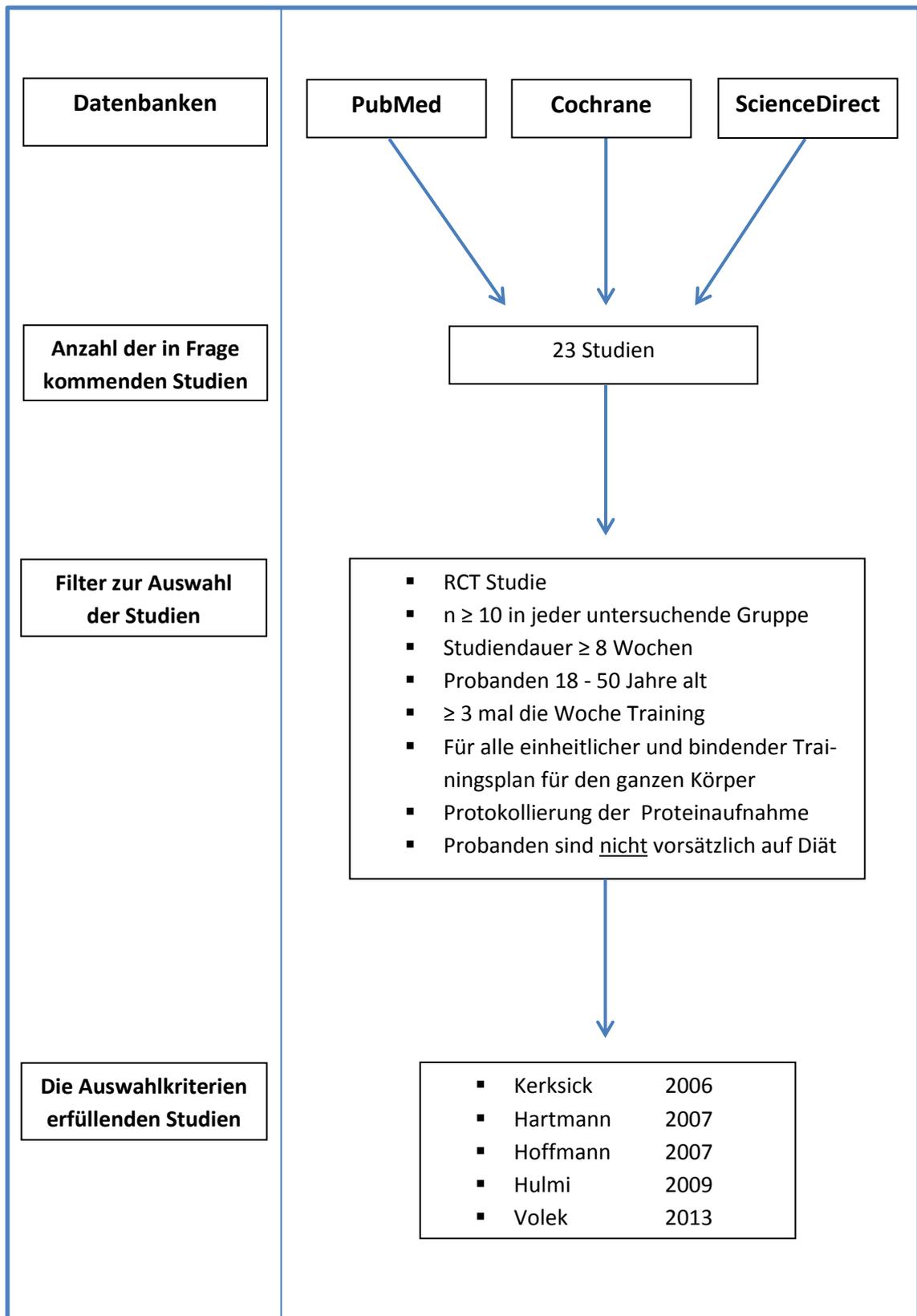


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Literaturrecherche

## **5) Ergebnisse der aktuellen Studienlage**

Die wichtigsten Aspekte der recherchierten Arbeiten werden hinsichtlich des Studienaufbaus und der Ergebnisse hier zusammenfassend dargestellt. Abbildung 14 zeigt eine Übersicht der betrachteten Studien und ihren Eckdaten.

### **5.1) Fallstudien**

#### **5.1.1) Kerkick et al. 2006**

In einer zehnwöchigen Studie untersuchten Kerkick et al. 2006 die Auswirkung von Protein Supplementierung auf die Körperzusammensetzung, die Ausdauer- sowie Kraftleistung von trainierten Personen. In dieser Arbeit werden die erhobenen Daten zur Ausdauerleistung nicht berücksichtigt, da sie keine Hinweise auf den Proteinbedarf von Kraftsportlern liefern. 36 trainierte Athleten nahmen an der Studie teil. Sie wurden zufällig in eine von drei Gruppen eingeteilt, die täglich entweder 40 g eines Placebo-Produktes in Form von Kohlenhydraten (KH: n=11), eine Protein Mischung aus 40 g Whey und 8 g Casein (WC: n=10) oder 40 g Whey, 3 g BCAAS und 5 g Glutamin zu sich nahmen (WBG: n=15). Um an der als double-blinded designten RCT Studie teilzunehmen, durften die Teilnehmer a) noch keine anabolen Steroide zu sich genommen haben; b) mindestens ein Jahr Erfahrung mit Krafttraining haben, in dem sie mehr als drei Stunden die Woche trainierten, unter anderem die Übungen Bankdrücken und Kniebeugen/Beinpresse ausführten; c) Ausdauersport nicht länger als 20 Minuten am Stück durchführen; d) mindestens acht Wochen vor der Studie kein Kreatin, oder andere energetische Nahrungsergänzungsmittel zu sich genommen haben; e) während der Studie keine anderen als die ihn zugewiesenen Produkte zu sich nehmen; f) keine ungewöhnlichen Ernährungsweisen wie Vegetarismus oder Diäten nachgehen. Vor Studienbeginn bekamen alle Teilnehmer eine Einweisung in die Übungsausführung und Protokollierung der Trainingseinheiten. Den Probanden wurde außerdem erklärt, wie sie ein 4-Tage-Ernährungsprotokoll zu führen haben, welches alle zwei Wochen abgegeben und ausgewertet wurde. Dabei wurde sichergestellt, dass es beim Essverhalten der Probanden zu keinen drastischen Veränderungen kommt. Um die Entwicklung der maximalen Muskelkraft zu messen, wurde die 1-RM Kraft in den Übungen Bankdrücken und Beinpresse ermittelt.

Den Teilnehmern wurde aufgetragen ihre normalen Essgewohnheiten beizubehalten und zusätzlich das ihnen zugewiesene Supplement zu konsumieren. Am Ende jeder Woche mussten die Teilnehmer über die Einhaltung und mögliche Probleme beim Training und/oder der Ernährung berichten. Die Probanden durften sich aussuchen, ob sie das Nahrungsergänzungsmittel mit Wasser, Saft oder Milch mischen. Sie wurden angewiesen es idealerweise direkt nach dem Training, mindestens aber zwei Stunden nach dem Training zu sich zu nehmen. An trainingsfreien Tage, sollte

das Produkt morgens zu sich genommen werden. Das Training bestand aus vier Trainingseinheiten die Woche. Diese waren aufgeteilt in zwei Einheiten für den Oberkörper und zwei Einheiten für den Unterkörper. Der genaue Trainingsplan kann dem Kapitel c.i im Anhang entnommen werden.

Zwischen den Gruppen gab es keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ) was die tägliche Energiezufuhr (WBG:  $34,8 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1} \pm 12,3$ , WC:  $33,7 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1} \pm 7,7$ , KH:  $33,9 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1} \pm 9,1$ ), KH-Zufuhr (WBG:  $3,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1} \pm 1,7$ , WC:  $3,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1} \pm 1,0$ , KH:  $4,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1} \pm 1,1$ ) und die Fettzufuhr (WBG:  $1,24 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1} \pm 0,6$ , WC:  $1,9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1} \pm 0,4$ , KH:  $1,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1} \pm 0,4$ ) betrifft. Signifikante Unterschiede gab es hingegen in der Höhe der Proteinzufuhr. So haben die Probanden der WC-Gruppe ( $2,33 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1} \pm 0,6$ ) und WBG-Gruppe ( $2,12 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1} \pm 0,6$ ) durchschnittlich mehr Protein zu sich genommen als die KH-Gruppe ( $1,57 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1} \pm 0,5$ ).

Verglichen mit der Proteinmenge vor Studienbeginn, nimmt die WBG-Gruppe während der Studie weniger Protein zu sich. Die Proteinzufuhr der KH-Gruppe bleibt bis zur fünften Woche etwa gleich, nimmt dann ab und am Studienende niedriger als der Ausgangswert vor der Studie. Die Proteinzufuhr der WC-Gruppe ist in Woche zwei und fünf mit  $2,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  am höchsten, nimmt dann ab und beträgt am Studienende  $2,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ . Alle ernährungsbezogenen Angaben sind in Tabelle 4 abgebildet.

**Tabelle 4: Kerkick - durchschnittliche tägliche Nahrungsaufnahme**

|  | Gruppe | Woche 0         | Woche 2         | Woche 5         | Woche 8         | Woche 10        |
|--|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Energie<br/>in <math>\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}</math></b> | WBG    | $38,8 \pm 5,1$  | $34,2 \pm 8,3$  | $31,6 \pm 12,9$ | $33,2 \pm 13,1$ | $36,3 \pm 12,1$ |
|  | WC     | $30,8 \pm 3,7$  | $35,5 \pm 8,9$  | $36,1 \pm 8,8$  | $33,7 \pm 10,4$ | $32,4 \pm 5,1$  |
|  | KH     | $39,8 \pm 11,4$ | $36,8 \pm 10,9$ | $33,4 \pm 7,6$  | $30,2 \pm 5,3$  | $29,2 \pm 6,2$  |
| <b>KH<br/>in <math>\text{g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}</math></b>         | WBG    | $4,4 \pm 2,0$   | $3,7 \pm 1,2$   | $3,2 \pm 1,6$   | $3,7 \pm 2,0$   | $4,0 \pm 1,9$   |
|  | WC     | $3,3 \pm 0,5$   | $3,6 \pm 1,1$   | $3,7 \pm 0,8$   | $3,8 \pm 1,4$   | $3,8 \pm 1,0$   |
|  | KH     | $4,9 \pm 1,4$   | $4,8 \pm 1,4$   | $4,2 \pm 1,0$   | $3,9 \pm 0,8$   | $3,8 \pm 0,8$   |
| <b>Protein<br/>in <math>\text{g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}</math></b>    | WBG    | $2,3 \pm 0,5^1$ | $2,1 \pm 0,4^1$ | $2,1 \pm 0,8^1$ | $2,0 \pm 0,4^1$ | $2,1 \pm 0,5^1$ |
|  | WC     | $2,1 \pm 0,3^1$ | $2,5 \pm 0,7^1$ | $2,5 \pm 0,9^1$ | $2,3 \pm 0,8^1$ | $2,2 \pm 0,6^1$ |
|  | KH     | $1,6 \pm 0,5$   | $1,6 \pm 0,7$   | $1,7 \pm 0,5$   | $1,5 \pm 0,4$   | $1,4 \pm 0,3$   |

WBG: Whey, BCAAS, Glutamin; WC: Whey, Casein; KH: Kohlenhydrate

<sup>1</sup>Signifikant höher als KH-Gruppe

Nach Absolvierung des zehnwöchigen Trainingsprogramms konnte nur die WC-Gruppe mit  $1,9 \text{ kg}$  einen signifikanten Anstieg der Muskelmasse verzeichnen. Die KH-Gruppe ( $0,0 \text{ kg}$ ) und die WBG-Gruppe ( $-0,1 \text{ kg}$ ) konnten durchschnittlich nicht an Muskelmasse zulegen. Der Körperfettanteil

veränderte sich in keiner Gruppe signifikant. Während in der WBG-Gruppe ein leichter Anstieg des Körperfettanteils zu verzeichnen ist (+0,2 %), verringerte sich der Fettanteil in der WC-Gruppe minimal (-0,2 %). In der P-Gruppe traten hingegen gar keine Veränderungen auf.

Die Teilnehmer aller Gruppen konnten ihre Maximalkraft im Bankdrücken und an der Beinpresse verbessern. Während die Personen der WC-Gruppe sich nach dem zehnwöchigen Programm signifikant steigern konnten (Bankdrücken: +8 kg; Beinpresse +13 kg), war dies bei der WBG-Gruppe (Bankdrücken: +2 kg; Beinpresse: +13 kg) und der KH-Gruppe (Bankdrücken: +4 kg; Beinpresse: +6 kg) nicht der Fall. Die Veränderungen der Maximalkraft unterhalb der verschiedenen Gruppen zeigen keine signifikanten Unterschiede. Demnach konnten die beiden Gruppen, in denen ein Proteinpräparat eingenommen wurde, einen größeren Anstieg der Maximalkraft verzeichnen. Signifikant sind jedoch nur die Veränderungen der WC-Gruppe. Die Probanden, die einen Whey+Casein Shake nach dem Training zu sich nahmen konnten signifikant mehr Muskeln aufbauen als die Probanden der Kontroll- und WBG-Gruppe.

**Tabelle 5: Kerkisick - Anthropometrie- und Kraftveränderungen**

|                               | Gruppe | Woche 0     | Woche 5     | Woche 10    | Δ Pre-Post         |
|-------------------------------|--------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| <b>Körpergewicht in kg</b>    | WBG    | 85,3 ± 14,8 | 85,1 ± 14,4 | 85,3 ± 14,6 | 0                  |
|                               | WC     | 81,2 ± 12,7 | 82,8 ± 12,6 | 84,2 ± 12,2 | 3,0                |
|                               | KH     | 85,1 ± 11,0 | 85,5 ± 11,3 | 85,3 ± 10,9 | 0,2                |
| <b>Muskelmasse in kg</b>      | WBG    | 62,7 ± 11,1 | 62,7 ± 11,1 | 62,6 ± 10,8 | -0,1               |
|                               | WC     | 61,3 ± 8,6  | 63,1 ± 8,2  | 63,2 ± 8,0  | 1,9 <sup>1,2</sup> |
|                               | KH     | 63,5 ± 8,2  | 64,2 ± 8,5  | 63,5 ± 7,3  | 0,0                |
| <b>Körperfettanteil in %</b>  | WBG    | 18,8 ± 7,3  | 18,8 ± 6,9  | 19,0 ± 6,7  | 0,2                |
|                               | WC     | 17,3 ± 6,4  | 16,7 ± 6,5  | 17,1 ± 6,2  | -0,2               |
|                               | KH     | 17,5 ± 6,1  | 17,2 ± 6,2  | 17,5 ± 6,3  | 0,0                |
| <b>1-RM Beinpresse in kg</b>  | WBG    | 204 ± 51    | 222 ± 60    | 217 ± 52    | 13                 |
|                               | WC     | 185 ± 47    | 196 ± 39    | 198 ± 37    | 14                 |
|                               | KH     | 199 ± 56    | 211 ± 32    | 205 ± 37    | 6                  |
| <b>1-RM Bankdrücken in kg</b> | WBG    | 106 ± 30    | 107 ± 30    | 108 ± 29    | 2                  |
|                               | WC     | 99 ± 22     | 104 ± 19    | 107 ± 16    | 8 <sup>2</sup>     |
|                               | KH     | 101 ± 25    | 102 ± 21    | 105 ± 20    | 4                  |

WBG: Whey + BCAAS + Glutamin; WC: Whey + Casein; KH: Kohlenhydrate

<sup>1</sup>Signifikanter größer als in KH-Gruppe

<sup>2</sup>Signifikanter größer als zu Studienbeginn

### 5.1.2) Hartman et al. 2007

Die Wissenschaftler Hartman et al. untersuchten 2007 in einer zwölfwöchigen Studie die Auswirkung von der Supplementierung von Soja- und Milchprotein auf die Bildung von Muskelmasse. In

der als single-blinded designten RCT-Studie nahmen 56 Personen teil, die zufällig einer Kohlenhydrat-Gruppe (KH: n=19), einer Soja-Gruppe (S: n=19) oder einer Milch-Gruppe (M: n= 18) zugeteilt wurden. Alle Teilnehmer durften a) mindestens acht Monate vor der Studie kein Krafttraining absolviert haben, b) nahmen jedoch zwei bis drei Stunden in der Woche an leicht anstrengenden körperlichen Aktivitäten teil, c) keine Laktoseintoleranz oder eine Allergie gegen Mischeiweiß aufwiesen und d) in den sechs bis acht Monaten vor der Studie keine Nahrungsergänzungsmittel eingenommen haben.

Alle Teilnehmer nahmen direkt nach dem Training sowie eine Stunde danach ein proteinhaltiges oder kohlenhydrathaltiges Placebo-Getränk zu sich. Die Milch-Gruppe konsumierte 500 mL fettfreie Milch (176 kcal, 17,5 g Protein, 25,7 g KH, 0,4 g Fett), die Soja-Gruppe ein Proteinshake bestehend aus Sojaprotein. Die Placebo-Gruppe nahm 500 mL eines maltodextrinreichen Getränks zu sich. Alle Getränke sind isokalorisch. Die Probanden führten dreimal die Woche, unter Aufsicht von professionellen Trainern, einen nach dem Push-Pull-Prinzip aufgebauten Trainingsplan durch. Genauere Informationen zum Trainingsplan können Kapitel c.ii im Anhang entnommen werden.

Ernährungsbezogene Parameter wurden anhand von 3-Tages-Ernährungsprotokollen zu Studienbeginn, während und nach der Studie erfasst und sind zusammenfassend in Tabelle 6 abgebildet. Während die Energieaufnahme in den einzelnen Gruppen leicht variiert (KH:  $39,6 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ , S:  $26,2 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ , M:  $38,8 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ), ist die Proteinaufnahme während der Studie bei allen Probanden nahezu identisch (KH:  $1,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ , S:  $1,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ , M:  $1,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Alle Gruppen nahmen vor der Studie weniger Protein zu sich als zu Studienmitte und -ende. Als einziges Parameter war die KH-Einnahme der KH-Gruppe zur Mitte der Studie signifikant höher als bei den anderen Gruppen (KH:  $5,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ; S:  $3,9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ , M:  $4,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ).

Tabelle 6: Hartmann - durchschnittliche tägliche Nahrungsaufnahme

|  | Gruppe | Woche 0   | Woche 6                  | Woche 12  |
|--|--------|-----------|--------------------------|-----------|
| <b>Energie in kcal·kg<sup>-1</sup> KG·d<sup>-1</sup></b> | KH     | 38 ± 3    | 42 ± 4                   | 39 ± 4    |
|  | S      | 37 ± 3    | 35 ± 3                   | 36 ± 2    |
|  | M      | 38 ± 8,4  | 39 ± 4                   | 39 ± 4    |
| <b>Protein in g·kg<sup>-1</sup> KG·d<sup>-1</sup></b>    | KH     | 1,4 ± 0,1 | 1,7 ± 0,1                | 1,6 ± 0,2 |
|  | S      | 1,2 ± 0,1 | 1,7 ± 0,1                | 1,7 ± 0,1 |
|  | M      | 1,4 ± 0,1 | 1,8 ± 0,2                | 1,8 ± 0,2 |
| <b>KH in g·kg<sup>-1</sup> KG·d<sup>-1</sup></b>         | KH     | 5,0 ± 0,4 | 5,5 ± 0,4 <sup>1,2</sup> | 5,1 ± 0,5 |
|  | S      | 4,5 ± 0,3 | 3,9 ± 0,3                | 4,5 ± 0,3 |
|  | M      | 5,1 ± 0,5 | 4,5 ± 5,2                | 5,2 ± 0,5 |

KH: Kohlenhydrate; S: Soja; M: Milch

<sup>1</sup>Signifikant höher als in den anderen Gruppen

<sup>1</sup>Signifikant höher zu Studienbeginn

Die anthropologischen Messungen ergaben, dass das Körpergewicht in allen Gruppen signifikant zugenommen hat (KH: 1,9 kg; S: 2,6 kg; M: 3,1 kg). Alle Gruppen haben signifikant an fett- und knochenfreier Masse dazugewonnen, wobei der Anstieg der M-Gruppe signifikant höher ausfällt als bei den anderen beiden Gruppen (KH: 2,4 kg; S: 2,8kg; M: 3,9 kg). Der Körperfettanteil war bei der KH- und M-Gruppe am Studienende signifikant geringer als zu Beginn. Die S-Gruppe konnte den Körperfettanteil durchschnittlich um 0,8 % senken. Diese Veränderung ist jedoch nicht signifikant. Beim 1-RM Test konnten alle Gruppen einen hohen Kraftzuwachs verzeichnen, der signifikant ist (PL: 87 %; S: 98 %; M: 102 %). Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind hingegen nicht signifikant. Alle anthropologischen sowie muskelkraftbezogenen Daten sind zusammenfassend in Tabelle 7 abgebildet.

**Tabelle 7: Hartmann - Anthropometrie- und Kraftveränderungen**

|   | Gruppe | Woche 0    | Woche 6 | Woche 12   | Δ Pre-Post         |
|---|--------|------------|---------|------------|--------------------|
| <b>Körpergewicht in kg</b>                      | KH     | 80,5 ± 3,8 | -       | 82,4 ± 3,8 | 1,9                |
|   | S      | 83,3 ± 4,1 | -       | 85,9 ± 4,1 | 2,6                |
|   | M      | 78,8 ± 2,5 | -       | 81,9 ± 2,3 | 3,1                |
| <b>Fett- und knochenfreie Körpermasse in kg</b> | KH     | 63,0 ± 2,1 | -       | 65,4 ± 2,2 | 2,4 <sup>2</sup>   |
|   | S      | 64 ± 2,5   | -       | 66,8 ± 2,5 | 2,8 <sup>2</sup>   |
|   | M      | 62,4 ± 1,7 | -       | 66,3 ± 1,6 | 3,9 <sup>1,2</sup> |
| <b>Körperfettanteil in %</b>                    | KH     | 18,1       | -       | 17,1       | - 1                |
|   | S      | 19,7       | -       | 18,9       | - 0,8              |
|   | M      | 17,1       | -       | 15,5       | - 1,6              |
| <b>1-RM Beinpresse in kg</b>                    | KH     | 210 ± 19   | -       | 394 ± 27   | 184 <sup>2</sup>   |
|   | S      | 213 ± 15   | -       | 423 ± 32   | 210 <sup>2</sup>   |
|   | M      | 186 ± 11   | -       | 377 ± 18   | 191 <sup>2</sup>   |

\* KH: Kohlenhydrate; S: Soja; M: Milch

<sup>1</sup>Signifikant höher als in KH-Gruppe

<sup>2</sup>Signifikant höher als zu Studienbeginn

### 5.1.3) Hoffman et al. 2007

Hoffman et al. untersuchten 2007 die Auswirkung von Protein-Supplementierung auf die Leistung und den Muskelwachstum von erfahrenen Kraftsportlern. In der als double-blinded designten RCT-Studie nahmen 21 Athleten vom American Football Team des College of New Jersey teil. Alle Teilnehmer hatten mindesten zwei Jahre Erfahrung mit Krafttraining. Sie wurden zufällig entweder einer Protein-Gruppe (PR: n=11) oder Kohlenhydratgruppe-Gruppe (KH: n=10) zugeteilt. In beiden Gruppen nahmen die Personen direkt nach dem Training sowie jeden Morgen ein Nahrungsergänzungsmittel in Puderform zu sich. Das Getränk der PR-Gruppe enthielt 260 kcal, 42 g Protein, 18 g Kohlenhydrate und 3 g Fett. Das Proteinpulver war ein Gemisch bestehend aus Kasein-Eiweiß, Molke-Eiweiß, L-Glutamin und Ei-Eiweiß. Das Getränk der KH-Gruppe enthielt 260 kcal, 2 g Protein, 63 g Kohlenhydrate (Maltodextrin) und 2 g Fett. Die Teilnehmer der Studien absolvierten zwölf Wochen lang ein auf Hypertrophie ausgelegtes Trainingsprogramm und mussten jede Woche ein 3-Tage-Ernährungsprotokoll ausfüllen. Es wurde viermal die Woche unter Aufsicht des Studienpersonals trainiert. Der genaue Trainingsplan ist im Anhang (Kapitel c.iii) beschrieben.

Bei der Energieaufnahme konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden (KH: 33,7 kcal·kg<sup>-1</sup> KG·d<sup>-1</sup>; PR: 32,3 kcal·kg<sup>-1</sup> KG·d<sup>-1</sup>). Diese traten jedoch bei KH- und Proteinaufnahme auf. Während die KH-Gruppe durchschnittlich 1,24 g Protein·kg<sup>-1</sup> KG·d<sup>-1</sup> zu sich

nahm, konsumierte die PR-Gruppe mit  $2,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  signifikant mehr Protein. Bei etwa gleichbleibender Energiemenge nahm die PR-Gruppe 36,2 % mehr Protein, aber 19,5 % weniger KH zu sich, als die KH-Gruppe. Alle ernährungsbezogenen Daten sind in Tabelle 8 abgebildet.

**Tabelle 8: Hoffman - durchschnittliche tägliche Nahrungsaufnahme**

| Gruppe | Energie in $\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ | KH in $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ | Protein in $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ |
|--------|--|------------------------------------|---|
| KH     | 33,7   | 4,63                               | $1,2 \pm 0,12$  |
| PR     | 32,3   | $3,58^1$                           | $2,0 \pm 0,12^1$  |

<sup>1</sup>Signifikant höher als in KH-Gruppe

Anthropologische Messungen nach der Intervention ergaben, dass weder in der PL- noch in der PR-Gruppe signifikante Veränderungen an Körpergewicht, fettfreier Masse oder dem Körperfettanteil aufgetreten sind. Die fettfreie Masse stieg bei der PR-Gruppe stärker an als in der KH-Gruppe (PR:  $1,4 \text{ kg} \pm 1,9$ ; KH:  $0,1 \text{ kg} \pm 1,4$ ). Diese Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Die 1-RM Tests zeigten, dass die Probanden beider Gruppen ihre Muskelkraft im Kniebeugen und im Bankdrücken steigern konnten. Während beim Kniebeugen die Kraftzuwächse der PR-Gruppe ( $23,5 \text{ kg} \pm 13,6$ ) signifikant größer waren als in der PL-Gruppe ( $9,1 \text{ kg} \pm 11,9$ ), fielen die Unterschiede beim Bankdrücken geringer aus (PR:  $11,6 \text{ kg} \pm 6,8$ ; PL:  $8,4 \text{ kg} \pm 6,9$ ). Diese Unterschiede sind nicht signifikant. Vergleiche der anthropometrischen- sowie 1-RM-Tests vor und nach der Studie können Tabelle 9 entnommen werden.

**Tabelle 9: Hoffman - Anthropometrie- und Kraftveränderungen**

|                       | Gruppe | Woche 0          | Woche 6        | Woche 12         | $\Delta$ Pre-Post |
|-----------------------|--------|------------------|----------------|------------------|-------------------|
| Körpergewicht in kg   | KH     | $99 \pm 10,2$    | $99 \pm 9,9$   | $99,3 \pm 10,6$  | $0,4 \pm 2,0$     |
|                       | PR     | $94,7 \pm 10,2$  | $95 \pm 8,2$   | $95,6 \pm 8,3$   | $0,9 \pm 1,8$     |
| Fettfreie Masse in kg | KH     | $76,7 \pm 3,3$   | $77,5 \pm 3,3$ | $76,8 \pm 3,3$   | $0,1 \pm 1,4$     |
|                       | PR     | $74 \pm 5,8$     | $75,1 \pm 5,8$ | $75,4 \pm 6,2$   | $1,4 \pm 1,9$     |
| Körperfettanteil in % | KH     | $21,8 \pm 7,3$   | $21,1 \pm 7,1$ | $22,1 \pm 7,1$   | $0,3 \pm 1,5$     |
|                       | PR     | $21,7 \pm 7,3$   | $20,6 \pm 6,1$ | $20,9 \pm 6,1$   | $-0,8 \pm 6,1$    |
| 1-RM Kniebeugen in kg | KH     | $162,8 \pm 24,2$ | -              | $174,1 \pm 23,3$ | $9,1 \pm 11,9$    |
|                       | PR     | $158,5 \pm 38,5$ | -              | $182 \pm 38,2$   | $23,5 \pm 13,6^1$ |
| 1-RM Beinpresse in kg | KH     | $122,7 \pm 12,2$ | -              | $131,1 \pm 12,2$ | $8,4 \pm 13,6$    |
|                       | PR     | $120,7 \pm 21,1$ | -              | $132,2 \pm 22,0$ | $11,6 \pm 13,6$   |

KH: Kohlenhydrate; PR: Proteine

<sup>1</sup>Signifikant höher als in der KH-Gruppe

#### 5.1.4) Hulmi et al. 2009

In der 2009 von Hulmi et al. durchgeführten Studie wurden in einer 21-wöchigen Intervention die langfristigen Auswirkungen von der Einnahme hochwertigen Proteins rund um das Training untersucht. Hierzu wurde in einer single-blinded designten RCT-Studie 21 Wochen lang ein auf Muskelaufbau ausgelegtes Trainingsprogramm befolgt und parallel dazu Eiweiß in Form von Whey-Protein konsumiert. An der Studie nahmen 38 Personen teil, die zufällig entweder der Whey-Gruppe (W: n=13), der Kohlenhydrat-Gruppe (KH: n=14) oder der Kontroll-Gruppe (KT: n=11) zugelost wurden. Die Teilnehmer waren Anfänger und verfügten über keine Erfahrung im Kraftsport. Die W- und die KH-Gruppe nahmen an einem 21-wöchigem Trainingsprogramm teil, während die Teilnehmer der KT-Gruppe kein Krafttraining absolvierten. Sie gingen lediglich ihren gewohnten sportlichen Aktivitäten, wie Schwimmen oder Ballsportarten, nach. Alle Probanden wurden beim Krafttraining von einem ausgebildetem Trainier begleitet. Das Trainingsprogramm war hauptsächlich auf den Quadrizeps (vastus lateralis) fokussiert, enthielt aber auch Übungen für die restlichen großen Muskelgruppen wie Rücken, Brust, Schulter und Bauch. Nähere Angaben zum Trainingsplan können Kapitel c.iii im Anhang entnommen werden. Die W-Gruppe konsumierte direkt vor und nach dem Training einen Proteinshake, bestehend aus 15 g Whey-Protein. Die Placebo-Gruppe konsumierte einen isoenergetischen KH-haltigen Placebo-Drink. Nach dem 21-wöchigen Trainingsprogramm wurde die Veränderung der Körperzusammensetzung gemessen.

Die Analyse der 3-Tages-Ernährungsprotkoll ergab, dass keine signifikanten Unterschiede bei der Energieaufnahme, Protein- und KH-Zufuhr aufgetreten sind – weder im Vorher-nachher-Vergleich, noch zwischen der W- und der PL-Gruppe. Die W-Gruppe nimmt durchschnittlich  $34,1 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  zu sich, die KH-Gruppe  $33,5 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  (Durchschnittswert aus Woche 10,5 und Woche 21). Während der Intervention lag der durchschnittliche Proteinkonsum bei der KH-Gruppe durchschnittlich bei  $1,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  und bei der PR-Gruppe bei  $1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ \* (Durchschnittswert aus Woche 10,5 und Woche 21). Diese Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Alle ernährungsbezogenen Daten sind in Tabelle 10 abgebildet.

**Tabelle 10: Hulmi - durchschnittliche tägliche Nahrungsaufnahme**

|  | Gruppe | Woche 0   | Woche 10,5 | Woche 21  |
|--|--------|-----------|------------|-----------|
| <b>Energie in kcal·kg<sup>-1</sup> KG·d<sup>-1</sup></b> | W      | 32 ± 5    | 33 ± 8     | 35 ± 3    |
|  | KH     | 31 ± 5    | 30 ± 9     | 37 ± 9    |
| <b>Protein in g·kg<sup>-1</sup> KG·d<sup>-1</sup></b>    | W      | 1,4 ± 0,3 | 1,5 ± 0,4  | 1,7 ± 0,4 |
|  | KH     | 1,3 ± 0,3 | 1,5 ± 0,5  | 1,5 ± 0,4 |
| <b>KH in g·kg<sup>-1</sup> KG·d<sup>-1</sup></b>         | W      | 3,9 ± 0,6 | 4,0 ± 0,8  | 3,4 ± 0,7 |
|  | KH     | 3,7 ± 0,7 | 3,5 ± 1,0  | 4,4 ± 1,1 |

KH: Kohlenhydrate; W: Whey

Das Körpergewicht der Probanden war nach Studienende in beide Gruppen signifikant höher als vor der Intervention (W: 3,2 kg ± 2,0; KH: 2,6 kg ± 2,1). Unter Berücksichtigung des leichten Anstiegs des Körperfettanteils (W: 0,3 ± 1,5; PL: 0,1 ± 0,9) hat die W-Gruppe ~ 3,1 kg und die KH-Gruppe ~ 2,3 kg an fettfreier Masse dazugewonnen (berechnet aus Körpergewicht - Körperfettanteil). Sowohl die W- als auch die KH-Gruppe konnten ihre Maximalkraft an der Beinpresse signifikant steigern, wobei die Veränderungen zwischen den Gruppen nicht signifikant sind (W: 32,3 kg; PL: 30,8 kg). Eine Übersicht der anthropometrischen Parameter sowie der Kraftveränderung ist Tabelle 11 zu entnehmen.

**Tabelle 11: Hulmi - Anthropometrie- und Kraftveränderungen**

|                               | Gruppe | Woche 0      | Woche 10,5   | Woche 21     | Δ Pre-Post               |
|-------------------------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------------------|
| <b>Körpergewicht in kg</b>    | W      | 76,5 ± 7,3   | 79,5 ± 8,7   | 79,7 ± 8,7   | 3,2 ± 2,0 <sup>1,2</sup> |
|                               | KH     | 74,8 ± 8,4   | 76,5 ± 8,7   | 77,3 ± 8,9   | 2,6 ± 2,1 <sup>1,2</sup> |
|                               | KT     | 75,7 ± 8,3   | 76,7 ± 8,6   | 75,9 ± 8,8   | 0,2 ± 1,5                |
| <b>Körperfettanteil in %</b>  | W      | 17,1 ± 3,8   | 17,5 ± 4,0   | 17,4 ± 4,2   | 0,3 ± 1,5                |
|                               | KH     | 16,6 ± 4,4   | 16,5 ± 4,7   | 16,6 ± 4,0   | 0,1 ± 0,9                |
|                               | KT     | 16,7 ± 3,4   | 17,7 ± 4,3   | 17,1 ± 4,5   | 0,4 ± 1,5                |
| <b>Fettfreie Masse in kg*</b> | W      | 63,4         | 65,6         | 65,8         | 2,4                      |
|                               | KH     | 62,4         | 63,9         | 64,5         | 2,1                      |
|                               | KT     | 63,1         | 63,1         | 63,1         | 0                        |
| <b>1-RM Beinpresse in kg</b>  | W      | 168,6 ± 28,4 | 191,4 ± 33   | 200,9 ± 32,5 | 32,3 <sup>*1,2</sup>     |
|                               | KH     | 164 ± 29,9   | 184,5 ± 26,5 | 194,8 ± 26,3 | 30,8 <sup>*1,2</sup>     |
|                               | KT     | 167,5 ± 24,4 | 171,5 ± 20,4 | 173,0 ± 21,6 | 5,5*                     |

W: Whey; KH: Kohlenhydrate; KT: Kontroll

\*selbst errechnet - daher keine SD

<sup>1</sup>Signifikant größer als zu Studienbeginn

<sup>2</sup>Signifikant größer als KH-Gruppe

### 5.1.5) Volek et al. 2013

In einer double-blinded RCT-Langzeitstudie untersuchten Volek et al. 2013 die Auswirkung von Proteinsupplementierung während eines neunmonatigen Hypertrophietrainings auf den Muskelaufbau. An der Studie nahmen insgesamt 63 Männer und Frauen teil. Diese wurde zufällig in eine Kohlenhydrat-Gruppe (KH: n=22), eine Whey-Protein-Gruppe (W: n=19) oder eine Soja-Protein-Gruppe (S: n=22) eingeteilt. Um an der Studie teilzunehmen mussten die Männer und Frauen a) zwischen 18-35 Jahre alt sein; b) durften mindestens ein Jahr vor Studienbeginn nicht in Krafttraining involviert gewesen sein; c) keinen Bluthochdruck haben; d) keine Gewichtsschwankungen über 3kg in den letzten 3 Monaten aufweisen; e) keine Cholesterin- oder Blutdruckmedikamente einnehmen; f) kein Diabetes haben; g) und keine Absicht haben schwanger zu werden. Während der Studie gab es keine strikten Vorgaben was die Nahrungsaufnahme betrifft. Bei regelmäßig stattfindenden Treffen mit Ernährungsberatern wurde gezielt darauf geachtet, dass die Probanden eine adäquate Energiezufuhr aufweisen sowie  $1-1,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  Protein zu sich nehmen (ohne Nahrungsergänzungsmittel). Die tatsächliche Proteinaufnahme wurde durch eigenständiges Eingeben der Nahrungsaufnahme in ein digitales Programm ermittelt. Eine Ernährungsanamnese wurde für fünf Tage alle sechs Wochen durchgeführt. Die Auswahl der Lebensmittel (insbesondere der proteinreichen) wurde in den Beratungsstunden überprüft. Bei Teilnehmern, deren Gewicht sich wöchentlich um mehr als 2,5 kg veränderte, wurde, mit Hilfe von Ernährungsberatern, die Energie und/oder Proteinaufnahme angepasst. Die Probanden der beiden Protein-Gruppen nahmen 22 g Protein am Tag in Form von Whey- oder Sojaprotein zu sich. Die PL-Gruppe konsumierte eine isoenergetische Menge an Maltodextrin. Allen Präparaten wurden 200 mg Para-Aminobenzoic (PABA) zugegeben. Anhand von Urinproben kann so ermittelt werden, ob die Probanden ihre Präparate eingenommen haben. Aufgrund der langen Interventionszeit wurde das Training in verschiedene Zyklen unterteilt und regelmäßig verändert. Alle Teilnehmer trainierten unter der Aufsicht professioneller Trainer. Genauere Informationen zum Trainingsplan können Kapitel c.iiiiii im Anhang entnommen werden.

Die Auswertung der Ernährungsangaben ergab zu Studienbeginn bei keinem Parameter (Energiebilanz, Protein-, KH- und Fettaufnahme) signifikante Unterschiede. Die Energiebilanz blieb während der gesamten Studiendauer in allen Gruppen konstant. Nach Einnahme der Proteinsupplemente ist die tägliche Proteinaufnahme der Whey- und Soja-Protein-Gruppe signifikant höher als die der KH-Gruppe. Verglichen mit dem Ausgangswert vor der Studie verändert sich die Proteinaufnahme jedoch in keiner der Gruppen signifikant. Die KH-Gruppe nahm hingegen signifikant mehr KH zu sich als die Protein-Gruppen. Eine Übersicht der täglichen Nährstoffaufnahme ist in Tabelle 12 abgebildet.

Tabelle 12: Volek - durchschnittliche tägliche Nahrungsaufnahme

|   | Gruppe | 0 Monate    | 3 Monate    | 6 Monate    | 9 Monate    |
|---|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Energie in kcal·kg<sup>-1</sup> KG·d<sup>-1</sup>*</b> | KH     | 26,1        | 26,7        | 27,0        | 27,0        |
|   | W      | 28,5        | 27,5        | 27,5        | 27,0        |
|   | S      | 28,2        | 28,1        | 26,4        | 28,4        |
| <b>Protein in g·kg<sup>-1</sup> KG·d<sup>-1</sup></b>     | KH     | 1,14 ± 0,28 | 1,08 ± 0,12 | 1,08 ± 0,10 | 1,06 ± 0,13 |
|   | W      | 1,27 ± 0,41 | 1,38 ± 0,14 | 1,35 ± 0,22 | 1,39 ± 0,18 |
|   | S      | 1,27 ± 0,45 | 1,41 ± 0,23 | 1,32 ± 0,14 | 1,35 ± 0,13 |
| <b>KH in g·kg<sup>-1</sup> KG·d<sup>-1</sup>*</b>         | KH     | 3,29        | 3,60        | 3,69        | 3,71        |
|   | W      | 3,71        | 3,75        | 3,91        | 3,69        |
|   | S      | 3,82        | 3,79        | 3,70        | 4,14        |

KH: Kohlenhydrate; W: Whey; S: Soja

\*selbst errechnet – daher keine SD

Im Zuge des neunmonatigen Trainingsprogramms stieg die fett- und knochenfreie Masse bereits nach drei Monaten bei allen Gruppen signifikant an, erreichte nach sechs Monaten die Höchstwerte (KH: + 2,2 kg ± 2,2; W: + 2,8 kg ± 2,1; S: + 1,4 kg ± 1,8) und blieb verglichen mit den Ausgangswerten auch nach neun Monaten signifikant höher (KH: + 2,2 kg ± 2,2; W: + 2,8 kg ± 2,1; S: + 1,4 kg ± 1,8). Der Anstieg des Körpergewichts und der fett- und knochenfreien Masse war in der W-Gruppe zu jedem Zeitpunkt höher als in der PL- und S-Gruppe. Die Anstiege der KH- und S-Gruppe unterscheiden sich nicht signifikant. Nach 9 Monaten lag der Anstieg der fettfreien Masse bei allen bis auf zwei Teilnehmern der W-Gruppe über dem Durchschnitt der S-Gruppe.

Auch nach Teilung der Stichprobe nach Geschlecht bleibt sowohl bei den Männern (KH: 2,6 kg ± 1,0; W: 3,6 kg ± 1,6; S: 2,6 kg ± 1,4) als auch bei den Frauen (KH: 1,9 kg ± 1,0; W: 2,8 kg ± 1,2; S: 1,1 kg ± 1,6) der Anstieg der fett- und knochenfreien Masse bei der W-Gruppe signifikant höher. Die Abnahme an Körperfett war bei der W-Gruppe nach neun Monaten am höchsten (KH: -1,2 kg ± 2,5; W: -1,5 kg ± 2,6; S: -0,6 kg ± 3,6). Die Unterschiede zu den anderen Gruppen waren jedoch nicht signifikant. Alle Gruppen konnten ihre Maximalkraftwerte im Bankdrücken (KH: 35 %; W: 40 %; S: 36 %) und im Kniebeugen (PL: 62 %; W: 44 %; 65 %) signifikant steigern. Eine Übersicht aller Anthropometrie- und Maximalkraftveränderungen ist in Tabelle 13 dargestellt.

**Tabelle 13: Volek - Anthropometrie- und Kraftveränderungen**

|   | Gruppe | Monat 0     | Δ Monat 3              | Δ Monat 6   | Δ Monate 9               | Post               |
|---|--------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|--------------------|
| <b>Körpergewicht in kg</b>                | KH     | 72,4 ± 14,9 | 2,2 ± 2,2              | 2,4 ± 1,9   | 1,8 ± 2,4                | 74,2               |
|   | W      | 74,1 ± 15,7 | 2,8 ± 2,1              | 3,3 ± 2,7   | 3,1 ± 3,0                | 77,2               |
|   | S      | 72,0 ± 8,4  | 1,4 ± 1,8              | 2,4 ± 3,1   | 2,2 ± 4,0                | 74,2               |
| <b>Fett- und knochenfreie Masse in kg</b> | KH     | 49,8 ± 9,8  | 2,4 ± 1,4              | 2,6 ± 1,4   | 2,3 ± 1,7                | 52,1               |
|   | W      | 51,7 ± 10,7 | 3,1 ± 1,5 <sup>1</sup> | 3,5 ± 1,3   | 3,3 ± 1,5                | 55 <sup>1</sup>    |
|   | S      | 48,5 ± 10,0 | 1,9 ± 1,1              | 2,4 ± 1,7   | 1,8 ± 1,6                | 50,3               |
| <b>Körperfettanteil in %</b>              | KH     | 26,4 ± 8,7  | -0,9 ± 1,9             | -1,0 ± 2,1  | -1,2 ± 2,5               | 25,2               |
|   | W      | 25,3 ± 12,0 | -1,1 ± 1,4             | -1,6 ± 2,4  | -1,5 ± 2,6               | 23,8               |
|   | S      | 27,3 ± 11,0 | -1,5 ± 1,8             | -1,4 ± 2,4  | -0,6 ± 3,6               | 26,7               |
| <b>1-RM Kniebeugen in kg</b>              | KH     | 71 ± 5      | 23,7 ± 12,3            | 33,8 ± 14,4 | 43,7 ± 14,6 <sup>1</sup> | 114,7 <sup>2</sup> |
|   | W      | 83 ± 6      | 20,4 ± 11,2            | 30,8 ± 14,3 | 35,8 ± 13,8              | 118,8 <sup>2</sup> |
|   | S      | 60 ± 5      | 22,4 ± 13,7            | 33,8 ± 14,2 | 39,8 ± 16,2              | 99,8 <sup>2</sup>  |
| <b>1-RM Bankdrücken in kg</b>             | KH     | 45 ± 5      | 10,3 ± 7,1             | 13,9 ± 7,5  | 16,0 ± 8,1               | 61,0 <sup>2</sup>  |
|   | W      | 52 ± 5      | 11,7 ± 6,7             | 12,2 ± 16,8 | 20,1 ± 2,3               | 72,1 <sup>2</sup>  |
|   | S      | 45 ± 5      | 9,1 ± 5,3              | 13,3 ± 5,7  | 15,9 ± 1,4               | 60,9               |

KH: Kohlenhydrate; W: Whey; S: Soja

<sup>1</sup>Signifikant größer als in KH- und S-Gruppe

<sup>2</sup>Signifikant mehr als zu Studienbeginn

## 5.2) Zusammenfassung der Studienergebnisse

Insgesamt können in vier von den fünf untersuchten Studien die Interventionsgruppen mit einem höheren Proteinkonsum ihre Maximalkraft oder Muskelmasse signifikant mehr steigern als die Kontrollgruppen mit niedrigerem Proteinkonsum. Hierbei handelt es sich um die Studien Kerkick et al., Hartmann et al., Hoffman et al. sowie Volek et al., die zwecks einer übersichtlicheren Darstellung in der Kategorie „Vorteil“ zusammengefasst werden. Kein Vorteil eines erhöhten Proteinkonsums wurde in der Untersuchung von Hulmi et al. festgestellt, weshalb die Studie in die Kategorie „kein Vorteil“ eingeordnet. Bei Nennung dieser Kategorien bezieht sich diese Arbeit auf alle Studien, die dieser Kategorie zugeteilt sind. Die Gruppe mit dem höchsten Muskelwachstum, verzeichnete ebenso den höchsten Anstieg der Maximalkraft und konnte den Körperfettanteil am stärksten reduzieren. Werden die Untersuchungsgruppen differenziert nach Trainingsstatus (Anfänger und Fortgeschrittene) betrachtet fällt auf, dass erfahrene Kraftsportler weniger Muskelmasse aufbauen als unerfahrene Kraftsportler. Alle prägnanten Studienergebnisse sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

## Veränderung Muskelmasse

In jeder Studie hat die Gruppe mit dem höchsten Proteinkonsum am meisten Muskelmasse zugenommen. Hierbei war die Zunahme der Protein-Gruppen in drei Studien signifikant höher als in den Kohlenhydrat-Gruppen (Kerksick et al., Hartmann et al. und Volek et al.). Die Gruppe mit dem höchsten Proteinkonsum (Kerksick et al.; W+C:  $2,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ) kann jedoch nicht den höchsten Anstieg an Muskelmasse verzeichnen.

In vier von fünf Studien konnten eine oder mehrere Gruppen mit Zugabe von zusätzlichem Protein signifikant an Muskelmasse dazugewinnen. Nur bei Hoffman et al. ist der Anstieg der Muskelmasse bei der Protein-Gruppe nicht signifikant höher als in der Kontrollgruppe. In zwei Studien konnte die Placebo-Gruppe die Muskelmasse signifikant steigern (Hulmi et al. und Hartmann et al.). In beiden Fällen ist der Anstieg der Muskelmasse jedoch geringer als in den Proteingruppen der jeweiligen Studie.

Studienübergreifend konnten drei Gruppen mehr als 3 kg Muskelmasse dazugewinnen. Bei einer Studiendauer von zwölf Wochen und einer durchschnittlichen Proteinaufnahme von  $1,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  hat die Milchprotein-Gruppe in der Studie von Hartmann et al. mit 3,9 kg am meisten Muskelmasse dazugewonnen. Bei einer Studiendauer von 36 Wochen und einer durchschnittlichen Proteinzufuhr von  $1,4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  konnte die Whey-Protein Gruppe bei Volek et al.  $3,3 \text{ kg} \pm 1,5$  an Muskeln dazugewinnen.  $3,2 \text{ kg} \pm 2,0$  an Muskelmasse konnte die Whey-Protein Gruppe bei Hulmi et al. dazugewinnen. Sie trainierten über einen Zeitraum von 21 Wochen und konsumierten durchschnittlich  $1,6 \text{ g Protein}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ . Alle Teilnehmer in diesen Studien waren Trainingsanfänger.

Nicht in allen Studien konnten die Gruppen mit einem signifikant höheren Proteinkonsum auch signifikant mehr an Muskelmasse dazugewinnen. In der Studie von Kerksick et al. war der Proteinkonsum der beiden Proteingruppen (WC:  $2,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ; WBG:  $2,1\text{g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ) zwar signifikant höher als in der KH-Gruppe ( $1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ), der Zuwachs an Muskelmasse fiel aber nur in der WC-Gruppe signifikant höher aus. Bei Hoffman et al. nahm die Proteingruppe mit  $2,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  signifikant mehr Protein zu sich als die KH-Gruppe ( $1,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Der Anstieg der Muskelmasse war jedoch mit  $1,4 \pm 1,9 \text{ kg}$  bei der Proteingruppe, gegenüber  $0,1 \pm 1,4 \text{ kg}$  bei der KH-Gruppe, nicht signifikant. In der Studie von Volek et al. war der Proteinkonsum der Proteingruppen (W:  $1,4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ; S:  $1,4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ) signifikant höher als in der Kohlenhydrat-Gruppe ( $1,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Während die W-Gruppe die Muskelmasse signifikant mehr als die S- und KH-Gruppe steigern konnte, fiel der Zuwachs bei der S-Gruppe geringer aus als in der Kontroll-Gruppe (KH: 2,3 kg; S: 1,5 kg; W: 3,3 kg).

Insgesamt verzeichneten drei Gruppen auffällig geringe Fortschritte bezüglich des Muskelwachstums. In der Untersuchung von Kerksick et al. verlor die WC-Gruppe 0,1 kg an Muskelmasse. Diese Probanden konsumierten  $2,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ . Der Muskelanteil der Kontrollgruppe blieb in derselben Studie unverändert. In der Studie von Hoffman et al. konnte die KH-Gruppe mit  $0,1 \text{ kg} \pm 1,4$  nur einen minimalen Anstieg der Muskelmasse verzeichnen. Die Teilnehmer dieser beiden Studien weisen eine Trainingserfahrung von einem oder mehr Jahre bei Kerksick et al. und zwei oder mehr Jahre bei Hoffman et al. auf.

### **Veränderungen der Muskelkraft**

In allen Untersuchungen konnten eine oder mehrere Protein-Gruppen ihrer Maximalkraft in den Übungen Bankdrücken, Kniebeugen oder Beinpresse signifikant steigern. Studienübergreifend konnten nur zwei Gruppen keine signifikante Steigerung der Maximalkraft verzeichnen. Beide Gruppen stammen aus der Studie Kerksick et al. Dabei handelt es sich erstens um die Kontrollgruppe mit einem Proteinkonsum von  $1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  sowie zweitens die W+AS-Gruppe mit einem Proteinkonsum von  $2,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ . In allen Gruppen, in denen der Proteinkonsum  $\geq 1,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  lag, konnten die Teilnehmer ihre Maximalkraft signifikant steigern. Studienübergreifend konsumierten insgesamt fünf Gruppen  $< 1,7 \text{ g Protein}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ . Von diesen fünf Gruppen weisen vier signifikante Verbesserungen der Maximalkraft auf. In drei von fünf Untersuchungen (Kerksick et al., Hartmann et al., Hoffman et al.) konnten die Probanden mit dem höchsten Proteinkonsum ihre Maximalkraft am stärksten verbessern. Nur einmal waren diese Unterschiede jedoch auch signifikant. Diese traten bei Hoffman et al auf. Dort konnte sich die Proteingruppe bei einer Proteindosis von  $2,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  signifikant mehr im Kniebeugen steigern (12,9 %) als die Kontrollgruppe (6,5 %), die durchschnittlich  $1,2 \text{ g Protein}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  konsumierte. Bei Hulmi et al. konnten die Probanden mit dem niedrigeren Proteinkonsum ( $1,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ) ihre Maximalkraft im Bankdrücken sowie an der Beinpresse stärker steigern als die Probanden mit einem Proteinkonsum von  $1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ . Diese Unterschiede sind nicht signifikant. Bei Volek et al. konnten sich die Probanden der Kontroll-Gruppe bei einer Proteindosis von  $1,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  mehr im Bankdrücken steigern als die anderen Gruppen (KH: 13,4 %; W: 14,7 %; S: 12,8 %). Die Steigerung der Maximalkraft bei den Kniebeugen fiel bei der Kontroll-Gruppe höher aus als bei der W-Gruppe, aber niedriger als bei der S-Gruppe (KH: 38,1 %; W: 30,1 %; 39,9 %).

### **Veränderungen des Körperfettanteils**

In zwei Studien konnten die Teilnehmer ihren Körperfettanteil signifikant reduzieren (Hartmann et al., Volek et al.). Verglichen mit den anderen Gruppen in den Studien sind diese Veränderungen jedoch nicht signifikant. Nur bei einer Untersuchung (Hulmi et al.) veränderte sich der Körperfettanteil der Gruppe mit dem höheren Proteinkonsum weniger gut als in der Kontrollgruppe, die

weniger Protein zu sich nimmt. Bei Volek et al. nimmt die W- und S-Gruppe gleich viel Protein zu sich ( $1,4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ), verliert aber unterschiedlich stark an Körperfett (W: -1,5 %; S: -0,6 %). Die Kontrollgruppe verliert bei einer Proteinzufuhr von  $1,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  mehr Körperfett (KT: -1,2 %) als die S-Gruppe. Bei Hartmann ist der Proteinkonsum bei allen Gruppen nahezu identisch (KT:  $1,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ; S:  $1,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ; M:  $1,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ).

Tabelle 14: Zusammenfassung aller Studienergebnisse

| Verfasser/<br>Jahr/<br>Studientyp | Trainings-<br>status         | Studien-<br>dauer<br>Wochen | Gruppen/<br>Art des<br>Supplements | Anzahl<br>Teilneh-<br>mer | Energie-<br>zufuhr<br>kcal·kg <sup>-1</sup> KG·d <sup>-1</sup> | Protein<br>Baseline<br>g·kg <sup>-1</sup> KG·d <sup>-1</sup> | Protein<br>Intervention<br>g·kg <sup>-1</sup> KG·d <sup>-1</sup> | Δ fettfreie<br>Masse<br>kg | Δ Body<br>Fat<br>%  | Δ 1-RM<br>BD<br>% | Δ 1-RM<br>KB<br>%   | Δ 1-RM<br>BP<br>% |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|--|--|--|----------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| <b>Kerksick<br/>2006<br/>RCT</b>  | Fortgeschrit-<br>tene: mind. | 10                          | KH                                 | 11                        | 33,9   | 1,3  | 1,6  | 0,0                        | 0,0                 | 3,8               | -                   | 2,9               |
|                                   | 1 Jahr                       |                             | W+C                                | 10                        | 33,7   | 1,6  | 2,3 <sup>1</sup>   | 1,9 <sup>1,2</sup>         | -0,2                | 7,5 <sup>2</sup>  | -                   | 6,6 <sup>2</sup>  |
|                                   | Erfahrung                    |                             | W+AS                               | 15                        | 34,8   | 2,3  | 2,1 <sup>1</sup>   | -0,1                       | -0,2                | 1,9               | -                   | 6,0               |
| <b>double-blind</b>               |                              |                             |                                    |                           |  |  |  |                            |                     |                   |                     |                   |
| <b>Hartmann<br/>2007<br/>RCT</b>  | Anfänger:<br>mind. 8         | 12                          | KH                                 | 19                        | 39,6   | 1,4  | 1,7  | 2,4 <sup>2</sup>           | -1,0 <sup>2</sup>   | -                 | -                   | 87 <sup>2</sup>   |
|                                   | Monate kein<br>Training      |                             | S                                  | 19                        | 36,2   | 1,2  | 1,7  | 2,8 <sup>2</sup>           | -0,8 <sup>2</sup>   | -                 | -                   | 98 <sup>2</sup>   |
|                                   |                              |                             | M                                  | 18                        | 38,8   | 1,4  | 1,8  | 3,9 <sup>1,2</sup>         | -3,0 <sup>1,2</sup> | -                 | -                   | 102 <sup>2</sup>  |
| <b>single-blind</b>               |                              |                             |                                    |                           |  |  |  |                            |                     |                   |                     |                   |
| <b>Hoffman<br/>2007<br/>RCT</b>   | Fortgeschrit-<br>tene: mind. | 12                          | Mix                                | 11                        | 31,7   | -  | 2,0 <sup>1</sup>   | 1,4                        | -0,8                | 8,7 <sup>2</sup>  | 12,9 <sup>1,2</sup> | -                 |
|                                   | 2 Jahre                      |                             | KH                                 | 10                        | 32,3   | -  | 1,2  | 0,1                        | 0,2                 | 6,4 <sup>2</sup>  | 6,5 <sup>2</sup>    | -                 |
|                                   | Erfahrung                    |                             |                                    |                           |  |  |  |                            |                     |                   |                     |                   |
| <b>double-blind</b>               |                              |                             |                                    |                           |  |  |  |                            |                     |                   |                     |                   |
| <b>Hulmi<br/>2009<br/>RCT</b>     | Anfänger:<br>mind. 1 Jahr    | 21                          | W                                  | 11                        | 34,0   | 1,4  | 1,6  | 2,4*                       | 0,3                 | 22,5 <sup>2</sup> | -                   | 19,3 <sup>2</sup> |
|                                   | kein Training                |                             | KH                                 | 10                        | 33,5   | 1,3  | 1,5  | 2,1*                       | 0,1                 | 25,2 <sup>2</sup> | -                   | 19,8 <sup>2</sup> |
|                                   |                              |                             |                                    |                           |  |  |  |                            |                     |                   |                     |                   |
| <b>single-blind</b>               |                              |                             |                                    |                           |  |  |  |                            |                     |                   |                     |                   |
| <b>Volek<br/>2013<br/>RCT</b>     | Anfänger:<br>mind. 1 Jahr    | 36                          | KH                                 | 22                        | 27,1   | 1,1  | 1,1  | 2,3 <sup>2</sup>           | -1,2 <sup>2</sup>   | 13,4 <sup>2</sup> | 38,1 <sup>2</sup>   | -                 |
|                                   | kein Training                |                             | W                                  | 19                        | 27,8   | 1,3  | 1,4 <sup>1</sup>   | 3,3 <sup>1,2</sup>         | -1,5 <sup>2</sup>   | 14,7 <sup>2</sup> | 30,1 <sup>2</sup>   | -                 |
|                                   |                              |                             | S                                  | 22                        | 27,8   | 1,3  | 1,4 <sup>1</sup>   | 1,8 <sup>2</sup>           | -0,6 <sup>2</sup>   | 12,8 <sup>2</sup> | 39,9 <sup>2</sup>   | -                 |
| <b>double-blind</b>               |                              |                             |                                    |                           |  |  |  |                            |                     |                   |                     |                   |

KH: Kohlenhydrate; W + C: Whey + Casein; W + AS: Whey + Aminosäuren; S: Sojaprotein; M: Milch; Mix: Casein + Whey + Eiprotein + L-Glutamin; W: Wheyprotein

<sup>1</sup>Signifikant größer als in der KH-Gruppe; <sup>2</sup>Signifikant größer als zu Studienbeginn; \* nicht mit DEXA oder ähnlich zuverlässiger Messmethode ermittelt, sondern selbst berechnet aus Körpergewicht - Fettanteil

## 6) Diskussion

### 6.1) Ergebnisdiskussion

Die Auswertung der fünf Studien, die alle Auswahlkriterien erfüllen, zeigt, dass ein möglichst hoher Proteinkonsum nicht automatisch mit einem maximalen Muskelaufbau gleichzusetzen ist. So können die Probanden mit dem höchsten Proteinkonsum (Kerksick; WC:  $2,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ) nicht immer mehr Muskeln aufbauen, den Körperfettanteil weniger stark senken und ihre Maximalkraft nicht so stark steigern wie Untersuchungsgruppen mit geringerer Proteinzufuhr. Bei Hartmann et al. konsumieren die Probanden der verschiedenen Untersuchungs-Gruppen alle weniger als  $2,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  (KH:  $1,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ; S:  $1,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ; M:  $1,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ), können jedoch trotzdem mehr Muskelmasse aufbauen, ihren Körperfettanteil stärker senken und ihre Maximalkraft an der Beinpresse deutlich stärker verbessern. Auch in den Studien Hulmi et al. und Volek et al. konsumieren die Probanden weniger Protein, können jedoch bessere Fortschritte verzeichnen. Dies lässt darauf schließen, dass neben dem Proteinkonsum weitere Faktoren zur Geltung kommen, die den Muskelaufbau sowie die Leistung der Athleten direkt oder indirekt beeinflusst. Mögliche Einflussfaktoren werden in den folgenden Kapiteln diskutiert.

#### 6.1.1) Einfluss der Proteinqualität

Es ist schon länger bekannt, dass die Qualität von Proteinen Einfluss auf das Muskelwachstum hat (Tipton und Wolfe, 2003, S.71). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stützen die These, dass der Konsum von hochwertigem Protein zu einem verstärkten Muskelaufbau führt. In drei der fünf untersuchten Studien gab es Untersuchungsgruppen, die unterschiedlich hochwertiges Protein in Form eines Supplements konsumieren. Bei einer nahezu identischen Proteinzufuhr traten signifikant unterschiedliche Fortschritte beim Muskelaufbau auf. Bei Kerksick et al. konnte die W+C-Gruppe bei einem Proteinkonsum von  $2,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  signifikant mehr Muskeln aufbauen als die W+AS-Gruppe mit einer täglichen Proteinaufnahme von  $2,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}$ . In der Untersuchung von Hartmann et al. nimmt die M-Gruppe  $1,8 \text{ g Protein}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  zu sich und baut signifikant mehr Muskeln auf als die S-Gruppe, die  $1,7 \text{ g Protein}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  konsumiert. Dieselbe Beobachtung kann bei Volek et al. gemacht werden. Bei identischem Proteinkonsum ( $1,4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ) kann die W-Gruppe signifikant mehr Muskeln aufbauen als die S-Gruppe. Eine mögliche Erklärung für die bei Hartmann et al. und Volek et al. auftretenden Ergebnisse ist die unterschiedliche biologische Wertigkeit der zugeführten Proteine. In beiden Studien kann die Untersuchungsgruppe, die das Protein mit der höheren biologischen Wertigkeit konsumiert, signifikant mehr Muskeln aufbauen. Der PDCAAS ist hingegen bei allen konsumierten Proteinsorten mit 1,0 identisch. Bei Kerksick et al. ist eine spezifische Beurteilung der Proteinqualität aufgrund fehlender Angaben nicht möglich.

Die einzelnen Bestandteile der Proteinmischungen (Whey + Casein; Whey + BCAAS + L-Glutamine) weisen jedoch in beiden Fällen auf qualitativ hochwertige Proteinzusammensetzungen hin. Wie genau die biologische Wertigkeit durch die additive Wirkung der verschiedenen Proteinen und/oder AS ausfällt ist jedoch unklar. Insgesamt muss daher die Proteinqualität als möglicher Effektivitätsfaktor in Betracht gezogen werden.

### **6.1.2) Einfluss der Mehraufnahme an Protein und Differenz der Proteinaufnahme zwischen Untersuchungs- und Proteingruppen**

Die für diese Arbeit herangezogenen Studien unterstützen die These, dass ein erhöhter Proteinverbrauch bei Kraftsportlern zu einem verstärkten Muskelwachstum führt. Es gibt jedoch auch einige Studien, die diese These nicht stützen (Rankin et al., 2004, S.322; Mielke et al., 2009, S.39). Bosse und Dixon (2012) untersuchten das Phänomen, warum die Studienlage über den Proteinbedarf im Kraftsport zu keinem homogenen Ergebnis kommt. Dazu analysierten sie 17 relevante Studien und teilten sie in die Kategorien „Vorteil eines erhöhten Proteinbedarfes“ und „kein Vorteil eines erhöhten Proteinbedarfes“ ein. Sie stellten fest, dass neben der absoluten Proteinmenge auch die relative Mehraufnahme (Vergleich vor und während der Studie) ein wichtiger Einflussfaktor zu sein scheint. Diese Annahme wird als „protein change theory“ bezeichnet. Des Weiteren postulieren sie, dass es zwischen Protein- und Kontrollgruppe eine gewisse Differenz im Proteinverbrauch geben muss, um signifikante Unterschiede in Muskelzuwachs und/oder Leistungsveränderung feststellen zu können (Protein Spread Theory).

„**Protein change theory** postulated that for the higher protein group, there must be sufficient change from baseline g/kg/day protein intake to during study g/kg/day protein intake to see muscle and strength benefits“ [Die Protein Change Theorie behauptet, dass es für die Untersuchungsgruppe mit dem höheren Proteinverbrauch eine deutliche Mehraufnahme an Protein im Vergleich vor und während der Studie geben muss, um Vorteile im Muskelwachstum und in der Kraftentwicklung feststellen zu können](Bosse und Dixon, 2012, S.1). Um einen solchen Einfluss bewerten zu können, errechnete das Autorenteam die prozentuale Mehraufnahme an Protein für die Untersuchungsgruppen mit dem höchsten Proteinverbrauch in den Studien.

#### ***Relativer Unterschied der Proteinaufnahme vor und während der Studie:***

$$\frac{\text{Proteinverbrauch während der Studie} - \text{Proteinverbrauch vor der Studie}}{\text{Proteinverbrauch vor der Studie}} \times 100$$

In ihren Untersuchungen stellen Bosse und Dixon (2012) fest, dass in den Studien, in denen eine erhöhte Proteinzufuhr zu signifikant besseren Fortschritten führte, die Proteingruppen durch-

schnittlich eine höhere Mehraufnahme von Protein aufweisen (59,5 %) als in den Studien ohne Vorteil eines erhöhten Proteinzufuhr (6,5 %) (Bosse und Dixon, 2012, S.5).

„**Protein spread theory** proposed that there must be a sufficient spread or % difference in g/kg/d protein intake between groups during a protein intervention to see muscle and strength changes” [Die Protein Spread Theorie nimmt an, dass es zwischen den Protein- und Kontrollgruppen einen gewissen Unterschied in der Proteinaufnahme geben muss, um signifikante Unterschiede im Muskelaufbau und in der Kraftentwicklung beobachten zu können (Bosse und Dixon, 2012, S.1). Für eine entsprechende Einschätzung dieser These hat das Autorenteam die prozentuale Unterschiede der täglichen Proteinaufnahme zwischen den Protein- und den Kontrollgruppen ermittelt.

***Relativer Unterschied der Proteinaufnahme zwischen Protein- und Kontrollgruppe:***

$$\frac{\text{Proteinkonsum Proteingruppe während der Studie} - \text{Proteinkonsum Kontrollgruppe während der Studie}}{\text{Proteinkonsum Kontrollgruppe während der Studie}} \times 100$$

In Bosse und Dixons Untersuchung konnte in den Studien, in denen eine erhöhte Proteinaufnahme mit verstärktem Muskelwachstum und/oder Leistungssteigerung in Verbindung gebracht wird, eine 66,1 % höhere Proteinzufuhr in den Proteingruppen im Vergleich zu den Kontrollgruppen festgestellt werden. In den Studien ohne Vorteil eines erhöhten Proteinkonsums lag die durchschnittliche Proteinzufuhr in den Proteingruppen lediglich 10,2 % über dem Durchschnitt der Kontrollgruppen.

In dieser Arbeit wird die Change- und Spread Theorie an den fünf ausgewählten Studien angewandt. Während bei Bosse und Dixon die Mehraufnahme an Protein (Change-Theorie) nur für die Gruppe mit dem höchsten Proteinkonsum ermittelt wurde, findet die Methode in dieser Arbeit auch Anwendung in Bezug auf die Kontrollgruppe. Dadurch können Unterschiede in der Mehraufnahme bei den verschiedenen Untersuchungsgruppen in einer Studie ermittelt werden. Dieser Wert wird als  $\Delta$  Change Theorie in % angegeben. Aufgrund fehlender Angaben zum Proteinkonsum vor der Studie ist eine Berechnung der Proteinmehraufnahme (Change Theorie %) bei Hoffman et al. nicht möglich.

Tabelle 15: Protein Change- und Spread-Theorie

| Studie   | Gruppe/Supplement | Change  | Δ Change | Spread  | Zuwachs          | Δ           | 1-RM              | 1-RM                | 1-RM              |
|----------|-------------------|---------|----------|---------|------------------|-------------|-------------------|---------------------|-------------------|
|          |                   | Theorie | Theorie  | Theorie | Muskelmasse      | Muskelmasse | BD                | KB                  | BP                |
|          |                   | %       | %        | %       | kg               | kg          | %                 | %                   | %                 |
| Kerksick | KH                | 23,1    | 19,7     | 43,75   | 0,0              | 1,9         | 3,8               | -                   | 2,9               |
|          | W+C               | 42,8    |          |         | 1,9 <sup>1</sup> |             | 7,5 <sup>2</sup>  | -                   | 6,6 <sup>2</sup>  |
|          | W+AS**            | - 8,7   | 51,5     | 9,5     | - 0,1            | 2,0         | 1,9               | -                   | 6,0               |
| Hartmann | KH                | 21,4    | 7,2      | 5,9     | 2,4              | 1,5         | -                 | -                   | 87 <sup>2</sup>   |
|          | S                 | 41,7    |          | 5,9     | 2,8 <sup>2</sup> | 1,1         | -                 | -                   | 98 <sup>2</sup>   |
|          | M                 | 28,6    |          |         | 3,9 <sup>1</sup> |             | -                 | -                   | 102 <sup>2</sup>  |
| Hoffman  | KH                | -       | -        | 66,7    | 0,1              | 1,3         | 6,4 <sup>2</sup>  | 6,5 <sup>2</sup>    | -                 |
|          | Mix               | -       |          |         | 1,4              |             | 8,7 <sup>2</sup>  | 12,9 <sup>1,2</sup> | -                 |
| Hulmi    | KH                | 14,3    | 0,9      | 6,7     | 2,1*             | 0,3*        | 22,5 <sup>2</sup> | -                   | 19,3 <sup>2</sup> |
|          | W                 | 15,4    |          |         | 2,4*             |             | 25,2 <sup>2</sup> | -                   | 19,8 <sup>2</sup> |
| Volek    | KH                | 0       | 7,1      | 27,3    | 2,3              | 0,9         | 13,4 <sup>2</sup> | 38,1 <sup>2</sup>   | -                 |
|          | S**               | 7,7     | 0        | 0       | 1,8 <sup>2</sup> | 1,4         | 12,8 <sup>2</sup> | 39,9 <sup>2</sup>   | -                 |
|          | W                 | 7,7     |          |         | 3,2 <sup>1</sup> |             | 14,7 <sup>2</sup> | 30,1 <sup>2</sup>   | -                 |

KH: Kohlenhydrate; W + C: Whey + Casein; W + AS: Whey + Aminosäuren; S: Sojaprotein; M: Milch; Mix: Casein + Whey + Eiprotein + L-Glutamin; W: Wheyprotein

<sup>1</sup>Signifikant größer als in KH-Gruppe

<sup>2</sup>Signifikant größer als zu Studienbeginn

\*Selbst aus Differenz aus Körpergewicht und Fettmasse errechnet und nicht mit DEXA oder ähnlicher zuverlässiger Messmethode ermittelt.

\*\*Sind mehr als zwei Proteingruppen in einer Studie, beziehen sich die Werte der Δ Change-Theorie, Spread-Theorie und Δ Muskelmasse auf die jeweils andere Proteingruppe

Die Change-Theorie ist ein möglicher Erklärungsansatz dafür, dass bei Kerksick et al. die W+C-Gruppe, trotz hoher Proteinmenge während der Intervention ( $2,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$ ), nicht an Muskelmasse zunimmt. So nehmen die Probanden zwar viel Protein zu sich, verglichen mit der Proteinaufnahme vor der Studie verringert sich die Menge um 8,7 %. Insgesamt fällt auf, dass innerhalb der einzelnen Studien immer die Gruppe mit der stärkeren Zunahme der Proteinaufnahme (Change Theorie %) auch den höheren Anstieg an Muskelmasse verzeichnen kann. In den Studien, in denen eine erhöhte Proteinaufnahme mit Muskelwachstum und/oder einer Leistungssteigerung in Verbindung gebracht wird (Kategorie „Vorteil“), konsumieren Probanden der Proteingruppen durchschnittlich 26,2 % mehr Protein als vor der Studie (Mittelwerte Change Theorie %). Bei Hulmi et al. (Kategorie „kein Vorteil“) konsumieren die Probanden der Proteingruppe während der Studie 15,4 % mehr Protein als vorher. Damit kann die Beobachtung von Bosse und Dixon bestätigt werden, dass die Studien der Kategorie „Vorteil“ durchschnittlich eine höhere Mehraufnahme an Protein aufweisen als in der Kategorie „kein Vorteil“. Allerdings fällt der Unterschied in dieser Analyse geringer aus als in der Untersuchung von Bosse und Dixon. Mehr Aufschluss ergibt die Betrachtung der Δ Change Theorie Werte. Hierbei fällt auf, dass je größer der Unterschied in der Mehraufnahme an Protein zwischen den Untersuchungsgruppen ist (Δ Change Theorie %), desto

größer fällt auch der Unterschied des Muskelwachstums zwischen Protein- und Kontrollgruppe aus. Eine solche Tendenz ist auch bei der Kraftentwicklung zu erkennen. Hulmi et al. weist gleichzeitig den niedrigsten  $\Delta$  Change Theorie Wert und die geringsten Unterschiede in der Kraftentwicklung auf. Höhere Unterschiede bei der Kraftentwicklung bei gleichzeitig höherem  $\Delta$  Change Theorie Wert sind in den Studien von Kerksick et al. und Hartmann et al. aufgetreten. Bei Volek et al. weisen die KH-Probanden trotz niedrigerer Mehraufnahme an Protein zum Teil bessere Kraftentwicklungen auf und passen somit nicht in dieses Schema.

Bosse und Dixon stellen bei Studien der Kategorie „Vorteil“ durchschnittlich einen deutlich höheren Unterschied der Proteinmenge zwischen Protein- und Kontrollgruppen fest als in Studien mit „keinem Vorteil“. Dies bedeutet, dass die Spread-Theorie-Werte der Kategorie „Vorteil“ höher ausfallen als in der Kategorie „kein Vorteil“. Diese Beobachtung kann durch die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden. Während Probanden der Proteingruppen der „Vorteil“ Kategorie durchschnittlich 35,9 % mehr Protein zu sich nahmen als die Kontroll-Gruppe, fällt der Unterschied in der Kategorie „kein Vorteil“ mit 6,7 % deutlich geringer aus.

Insgesamt führt die Analyse der fünf ausgewählten Studien zu einem ähnlichen Ergebnis wie bei Bosse und Dixon. Deren These, dass die Mehraufnahme im Vergleich vor zu während der Studie sowie der Unterschied des Proteinkonsums zwischen den Untersuchungsgruppen ein wichtiger Faktor bei der Beurteilung von Studien zum Thema Proteinbedarf im Kraftsport ist, kann bestätigt werden. Hierbei muss in Betracht gezogen werden, dass die vorliegende Analyse aufgrund der geringen Anzahl an ausgewerteten Studien nur bedingt repräsentativ ist und folglich eher eine Tendenz wiedergibt. In der Untersuchung von Bosse und Dixon wurde zwar eine höhere Anzahl an Studien in die Auswertung mit einbezogen, diese beinhalten allerdings auch Untersuchungen mit Personen über 50 Jahren sowie solche mit Stichprobengrößen von  $n < 10$  pro Untersuchungsgruppe.

### **6.1.3) Einfluss der Energie- und Kohlenhydrataufnahme**

Wie in der Einleitung dargelegt wird im Rahmen dieser Arbeit nicht detailliert auf die Einflüsse der Energie- und Kohlenhydrataufnahme auf den Proteinbedarf eingegangen. Es wird jedoch diskutiert, ob sie die vorliegenden Ergebnisse bezüglich einer optimalen Proteinmenge für Kraftsportler verzerren.

Schon 1954 fanden Calloway und Spector heraus, dass die zugeführte Energiemenge einen Einfluss auf den Proteinbedarf hat und dieser negativ mit der Energiezufuhr korreliert (Calloway und Spector, 1954, S.410). Diese Annahme wurde im Laufe der Jahre durch weitere Studien bestätigt (Calloway, 1971; Pellet und Young, 1991; Millward, 2004) und ist eine mögliche Erklärung für die

positive Entwicklung der Probanden bei Hartmann et al.. Die Teilnehmer dieser Untersuchung weisen die höchsten Zuwächse an Muskelmasse sowie die besten Fortschritte der Maximalkraft auf. Gleichzeitig fällt die Energieaufnahme der Probanden höher aus als in den anderen Studien. Inwieweit die positive Muskel- und Kraftentwicklung der Probanden auf die hohe Energieaufnahme statt einer erhöhten Proteinzufuhr zurückzuführen ist, kann nicht eindeutig geklärt werden. Eine Beeinflussung solcher Art würde jedoch nur das gute Abschneiden der Probanden im Vergleich zu anderen Studien erklären, nicht jedoch die signifikanten Unterschiede innerhalb der Untersuchungsgruppen bei Hartmann et al.. So kann die Milchproteingruppe bei einer durchschnittlichen Energiezufuhr von  $38,8 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  signifikant mehr Muskeln aufbauen als die Kontrollgruppe, die durchschnittlich  $39,6 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  zu sich nimmt. Deutlich weniger Energie nehmen die Probanden der Studie Volek et al. mit  $\sim 28 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  zu sich. Die DGE empfiehlt Männer und Frauen zwischen 19-51 Jahren bei einer mittleren körperlichen Aktivität etwa  $40 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  zu sich zu nehmen (DGE, 2008, S.31). Die niedrige Energieaufnahme ist eine mögliche Erklärung für den, in Anbetracht der langen Studiendauer, geringen Zuwachs an Muskelmasse und Kraft der Probanden. So empfehlen Economos, Borzt und Nelson (1993, S. 381) männlichen Athleten bei einer Trainingsdauer von mehr als 90 Minuten täglich  $> 50 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}$  zu sich zu nehmen, Frauen empfehlen sie bei gleicher Trainingsdauer eine Energieaufnahme von  $45-50 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ . Da auch die Probanden der anderen Untersuchungen diesen Empfehlungswert nicht erreichen ist es möglich, dass alle Probanden eine negative Energiebilanz aufweisen. Ältere, aber richtungsweisende Studien haben gezeigt, dass eine negative Energiebilanz den Proteinbedarf deutlich erhöht (Calloway und Spector, 1954, S.405; Todd, Butterfield und Calloway, 1984, S.2017).

Die Reduzierung der Kohlenhydrataufnahme scheint eine wichtige Komponente bei der Gewichtsreduzierung zu sein. Aktuelle Übersichtsarbeiten kommen zu dem Schluss, dass Low-Carb-Diäten den Körperfettanteil stärker senken als andere Diätformen (Hite, Berkowitz und Berkowitz, 2011, S. 301-303; Hession et al., 2009, S.36). Bei der Analyse des Körperfettanteils fallen daher insbesondere die Ergebnisse der Untersuchung von Volek et al. auf. In dieser Untersuchung kann die Kontrollgruppe, die einen KH-Placebo-Shake nach dem Training einnimmt, den Körperfettanteil stärker reduzieren als Probanden die einen Soja-Protein-Shake konsumieren. Bei genauer Betrachtung der Ergebnisse fällt jedoch auf, dass die Kohlenhydratzufuhr der Kontrollgruppe insgesamt geringer ausfällt als die der Soja-Protein-Gruppe.

#### **6.1.4) Einfluss des Trainingsstatus**

Ob der Proteinbedarf je nach Trainingsstatus variiert ist noch nicht eindeutig erwiesen. (Phillips, 2004, S.693). Eine Stickstoffbilanzmessung von Lemon et al. (1992, S.767) kam zu dem Ergebnis,

dass der Proteinbedarf für Trainingsanfänger höher ausfällt ( $1,4-1,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ) als der in einer früheren Studie ermittelte Bedarf bei fortgeschrittenen Athleten ( $1,05 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ ) (Tarnopolsky et al., 1988, S.187). Allerdings ist fraglich inwieweit diese Ergebnisse repräsentativ sind, weil die Stichprobengröße sehr niedrig war ( $n < 10$ ) und zur Bestimmung des Proteinbedarfs die mittlerweile kritisierte Methode der Stickstoffmessung verwendet wurde. Neuere Untersuchungen (Phillips et al., 1999, S.118; Phillips, 2002, S.1045) fanden heraus, dass nach einer länger durchgeführten Trainingsperiode die Stimulierung der Proteinsynthese weniger hoch ausfällt als zu Beginn eines Krafttrainings. Die Hypothese, dass Anfänger einen erhöhten Proteinbedarf haben wird somit erhärtet und dadurch erklärt, dass länger trainierende Personen bereits ein gewisses Trainingsplateau erreicht haben und weniger Muskeln aufbauen als Anfänger zu Trainingsbeginn (Phillips, 2004, S.692). Diese These lässt sich auch auf die Ergebnisse dieser Arbeit anwenden, da die Probanden der untersuchten Studien unterschiedlich lange Erfahrungen im Kraftsport aufweisen. Während die Teilnehmer bei Hartmann et al., Hulmi et al. und Volek et al. Anfänger sind, haben die Teilnehmer bei Kerksick et al. mindestens ein Jahr Trainingserfahrung und die Teilnehmer bei Hoffman et al. sind fortgeschrittene College Athleten eines Footballteams mit mehr als zwei Jahren Kraftsporterfahrung. Insgesamt können die Teilnehmer ohne Trainingserfahrung alle stärker an Muskelmasse und -kraft dazugewinnen als die fortgeschrittenen Athleten bei Kerksick et al. und Hoffman et al..

#### **6.1.5) Einfluss der Proteinmenge des Supplements**

Die Proteinmenge, die die Proteinsynthese nach einem Gewichtstraining maximal stimuliert, beträgt 20-25 g (siehe Kapitel 2.1). Die nach dem Training eingenommene Proteinmenge erreicht diesen Wert jedoch nicht in allen Studien. Während die Probanden bei Kerksick et al. und Hoffman et al. mit 40-48 g deutlich mehr Protein zu sich nehmen, liegt der Proteingehalt von 22 g bei Volek et al. genau in dem optimalen Bereich. In der Studie von Hartmann et al. nehmen die Probanden jedoch nur 17,5 g und bei Hulmi et al. nur 15 g Protein nach dem Training zu sich. Es ist möglich, dass die Proteinmenge in diesen beiden Studien nicht ausgereicht hat, um einen optimalen Ablauf muskelaufbauender Prozesse sicherzustellen.

#### **6.2) Studienqualität**

„Messungen sollen möglichst objektiv, zuverlässig und gültig sein“ (Diekmann, 2011, S.247). Die Beurteilung der Studienqualität orientiert sich an den Gütekriterien der Messung orientiert und die Objektivität, Reliabilität und Validität der Studienergebnisse bewertet.

### **6.2.1) Objektivität**

„Der Grad der Objektivität eines Messinstruments bringt zum Ausdruck, in welchem Ausmaß die Ergebnisse unabhängig sind von der jeweiligen Person, die das Messinstrument anwendet“ (Diekmann, 2011, S.249).

Drei der fünf herangezogenen Studien sind als double-blinded RCT konzipiert. In diesen Untersuchungen kennen die Forscher und die Probanden die Exposition (Protein- oder KH-Gruppe) der Probanden nicht. Durch ihre Unwissenheit wird eine objektive Messung gewährleistet. Demgegenüber stehen die single-blinded RCT-Studien, in denen nur die Probanden nicht über ihre Exposition Bescheid wissen. Da die Forschungsergebnisse der Studien laut den Autoren nicht durch Interessenskonflikte mit potentiellen Sponsoren aus der Wirtschaft (z.B. Hersteller von Ernährungsergänzungspräparaten) beeinflusst werden, haben die Forscher kein Interesse daran das Ergebnis zu beeinflussen. Es ist jedoch fraglich, ob im Fall eines solchen Interessenkonfliktes dieser von den Autoren auch tatsächlich genannt werden würden. Zudem kommt es durch den Einsatz standardisierter Messmethoden, wie dem DXA-Scanner zur Bestimmung der Körperzusammensetzung“, mit hoher Wahrscheinlichkeit auch dort zu einer objektiven Messung der anthropologischen Daten.

### **6.2.4) Reliabilität**

„Die Reliabilität [...] ist ein Maß für die Reproduzierbarkeit von Messergebnissen“ (Diekmann, 2011, S. 250).

Sowohl bei den zur Erhebung der Essgewohnheiten eingesetzten Tagesprotokollen als auch bei den DXA-Maschinen zur Messung der Körperzusammensetzung handelt es sich um gängige Messverfahren. Die DXA-Methode weist bei wiederholten Messungen eine sehr geringe Fehlerquote auf und wird als Goldstandard zur Bestimmung der Körperzusammensetzung angesehen (Fowke und Matthews, 2010, S.120). Diese Messmethode wurde mit Ausnahme von Hulmi et al. in allen Studien eingesetzt. Die Erhebung der Ernährungsgewohnheiten durch Ernährungsprotokolle ist hingegen deutlich anfälliger für Messfehler, vor allem weil nicht jeden Tag dasselbe gegessen wird. Je häufiger Daten zur Bildung der durchschnittlichen Nahrungszufuhr erhoben werden, desto repräsentativer sind diese Angaben. Da die Angaben in der Übersichtstabelle der Ergebnisse (Tabelle 14) auf Durchschnittswerten der einzelnen Anamneseerhebungen beruhen und die Häufigkeit der Datenerhebung in den verschiedenen Studien variiert, unterscheidet sich auch die Reliabilität der Angaben zum Ernährungsverhalten in den einzelnen Studien. Bei Hulmi et al. und Hartmann et al. wurde das Essverhalten insgesamt dreimal ermittelt, bei Kerksick et al. fünfmal, bei Volek et al. sechsmal und bei Hoffman et al. zwölfmal, wobei in dieser Untersuchung keine Erhebung des Essverhaltens vor der Studie durchgeführt wurde. Auf Grundlage der Häufigkeit der

Messungen ist die Reliabilität bei Hulmi et al. sowie Hartmann et al. als niedrig, bei Volek et al. und Kerksick et al. als mäßig und bei Hoffmann et al. als hoch einzustufen. Eine weitere Schwäche dieser Messmethode ist die Gefahr, dass die Angaben zur Nahrungsaufnahme der Probanden durch soziale Erwünschtheit beeinflusst wird. Allerdings ist fraglich, ob es bei der Erhebung vom Nahrungsverhalten überhaupt eine reliable Methode gibt.

### **6.2.3) Validität**

„Die Validität eines Testes gibt den Grad der Genauigkeit an, mit dem dieser Test dasjenige Persönlichkeitsmerkmal oder diejenige Verhaltensweise, das (die) er messen soll oder zu messen vorgibt, tatsächlich misst“ (Diekmann, 2011, S.257).

Bei allen in der Literaturrecherche eingeschlossenen Studien handelt es sich um Randomised Controlled Trials (RCT), das Studiendesign mit dem höchst möglichen Evidenzgrad bei Interventionsstudien (Oxford Center for Evidence Based Medicine, 2009). Für die Untersuchung einer optimalen Proteinzufuhr im Kraftsport ist das RCT-Studiendesign am geeignetsten, weil durch die zufällige Zuteilung der Probanden in Protein- und Kohlenhydrat-Gruppen Auswirkungen unterschiedlicher Proteinmengen und/oder -sorten auf die Körperzusammensetzung und die Leistung von Kraftsportlern gemessen werden kann. Allerdings ist die Interventionslänge in drei der fünf Studien mit einer Studiendauer von zehn bis zwölf Wochen ist kurz. Die Studie von Hulmi et al. weist mit 21 Wochen eine mittellange Interventionszeit auf. Nur bei Volek et al. handelt es sich um eine Langzeituntersuchung. Es ist fraglich, ob so kurze Interventionszeiten ausreichen, um den optimalen Effekt einer Proteinmenge auf den Muskelwachstum und die Leistung von Kraftsportlern zu ermitteln. Erfahrenen Kraftsportlern wird nachgesagt, dass sie länger brauchen, um neue Muskeln aufzubauen, da sie schon ein gewisses Trainingsplateau erreicht haben (Phillips, 2004, S.692). Es ist möglich, dass der Muskelaufbau bei kurzen Studiendauern noch nicht messbar ist und erst bei Langzeituntersuchungen sichtbar wird. Insgesamt wird die Validität der Studienergebnisse vor allem durch die geringe Teilnehmerzahl der Studien stark limitiert. Aufgrund der geringen Stichprobengröße von  $n < 20$  in nahezu allen Untersuchungsgruppen können die Ergebnisse nicht als repräsentativ für alle Kraftsportler angesehen werden.

In keiner der herangezogenen Studien kamen Messmethoden zur direkten Bestimmung des Proteinbedarfes zum Einsatz. Stattdessen basieren die Schlussfolgerungen der Wissenschaftler auf Beobachtungen des Muskelaufbaus und der Kraftentwicklung bei verschiedenen Proteinmengen.

Die Energieaufnahme erreicht in allen Studien nicht die Empfehlungswerte der DGE (Siehe Kapitel 6.1.3). Es handelt sich hierbei um einen systematischer Fehler, da die Forscher die Energieaufnahme zwar anhand von Ernährungsprotokollen überprüft, eine adäquate Zufuhr aber nicht si-

chergestellt haben. Aufgrund der in 6.1.4 angesprochenen Aspekte ist es sinnvoll, dass die Probanden in den jeweiligen Studien einen einheitlichen Trainingsstatus aufweisen. Die meisten Untersuchungen zu dieser Fragestellung werden jedoch an nichttrainierten Personen durchgeführt (siehe Übersichtsarbeit Bosse und Dixon, 2012, S.4-5). Die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf erfahrene Kraftsportler ist folglich fragwürdig. Die Studienlage für Anfänger und fortgeschrittene Kraftsportler sollte daher differenziert betrachtet und Handlungsempfehlungen abhängig vom Trainingsstatus ausgesprochen werden.

Aufgrund unterschiedlicher Rahmenbedingungen in den einzelnen Studien (Erfahrung der Probanden, Energieaufnahme, Kohlenhydrataufnahme und Trainingsplan) birgt ein studienübergreifender Vergleich der Ergebnisse die Gefahr, dass identische Variablen in ihrer Anwendung so stark voneinander abweichen, dass sie nicht miteinander vergleichbar sind. Durch den Vergleich unvergleichbarer Daten entstehen infolgedessen invalide Daten. Eine Generalisierung des Proteinbedarfes auf die Grundgesamtheit der Kraftsportler ist dementsprechend nicht möglich. Bei den in Kapitel 7 ausgesprochenen Handlungsempfehlungen handelt es sich daher um Richtwerte und nicht um experimentell abgesicherte Zufuhrempfehlungen.

## **7) Handlungsempfehlungen**

Grundlage der Handlungsempfehlungen sind die Daten aus den herangezogenen Studien von Kerkick et al. (2006), Hartmann et al. (2007), Hoffman et al. (2007), Hulmi et al. (2009) und Volek et al. (2013). Diese werden auf mögliche Hinweise bezüglich einer Unterteilung der Proteinempfehlungen in eine benötigte, optimale und exzessive Zufuhr untersucht. Aufgrund der in Kapitel 6.1.4, 6.2.1 und 6.2.2 angesprochenen Aspekte sind separate Empfehlungen für Anfänger und fortgeschrittene Athleten sinnvoll.

### **7.1) Benötigte Proteinzufuhr**

Unter einer benötigten Proteinzufuhr für Kraftsportler wird in dieser Arbeit die Menge an Protein verstanden, die einen Aufbau von Muskelmasse ermöglicht und alle ernährungsphysiologischen Bedürfnisse eines Sportlers sicherstellt. Aus den in 6.1.4 beschriebenen Gründen ist eine Trennung von Anfängern und erfahrenen Kraftsportlern sinnvoll. Laut einer Stellungnahme der DGE zum Thema Proteinbedarf im Sport, ist der Bedarf an AS von Kraftsportler bei einer täglichen Proteinzufuhr von  $0,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  ausreichend gedeckt (DGE, 2001).

Die Ergebnisse von Volek et al. lassen vermuten, dass eine Proteinaufnahme von  $1,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  für den Aufbau von Muskelmasse bei **Anfängern** ausreichend ist. Da die Energieaufnahme der Probanden sehr gering ausfällt ist anzunehmen, dass bei einer ausgeglichenen Energiebilanz we-

niger Protein von Nöten ist, um Muskelmasse aufzubauen. Der benötigte Proteinbedarf für Anfänger liegt daher in der Größenordnung von  $0,8-1,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ .

In den herangezogenen Studien können **erfahrene Kraftsportler** bei einer Proteinmenge von  $1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  noch keine Muskeln aufbauen. Positive Ergebnisse sind erst ab einer Proteinzufuhr von  $2,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  zu beobachten. Wie zuvor diskutiert ist anzunehmen, dass bei einer längeren Studiendauer und einer adäquaten Energiezufuhr weniger Protein für den Aufbau von Muskelmasse erforderlich ist. Die Daten von Kerkick et al. und Hoffman et al. lassen vermuten, dass fortgeschrittene Athleten  $> 1,6-2,0 \text{ g Protein}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  benötigen, um Muskelmasse aufzubauen.

## 7.2) Optimale Proteinzufuhr

Unter einer optimalen Proteinzufuhr im Kraftsport wird hier die Menge an Protein verstanden, die einen optimalen Muskelaufbau und die Leistungsfähigkeit im Kraftsport gewährleistet und gleichzeitig das gesundheitliche Risiko nicht erhöht.

Werden die Studien mit **Trainingsanfängern** betrachtet, lässt die Auswertung der Studie von Volek et al. vermuten, dass die optimale Proteinmenge pro Tag  $>1,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}$  beträgt. Bei etwa gleicher Energiezufuhr baut die Kontrollgruppe bei einer täglichen Proteinzufuhr von  $1,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  signifikant weniger Muskeln auf als die beiden Proteingruppen, in denen jeweils  $1,4 \text{ g Protein}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  eingenommen werden. Betrachtet man die Studie Hoffman et al. kann die Spannweite einer optimalen Proteinzufuhr auf  $> 1,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  weiter eingegrenzt werden. Die Probanden, die in dieser Untersuchung  $2,0 \text{ g Protein}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  konsumierten, konnten ihre Kniebeuge Maximalkraft signifikant stärker erhöhen als die Probanden der Kontrollgruppe mit einer Proteinzufuhr von  $1,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ . Die Untersuchung von Hulmi et al. gibt keine eindeutigen Hinweise zur Bestimmung einer optimalen Proteinzufuhr. Die Probanden mit einer täglichen Proteinaufnahme von  $1,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  konnten zwar  $0,8 \text{ kg}$  mehr Muskeln aufbauen als die Probanden mit einer täglichen Proteinmenge von  $1,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}$  – diese Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Somit ist nur eine Tendenz zu erkennen, dass ein Proteinkonsum  $> 1,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  Vorteile für Kraftsportler mit dem Ziel Muskelaufbau aufweist. Die Untersuchung von Hartmann et al. lässt vermuten, dass die optimale Proteinzufuhr noch höher ausfällt. Zwei Gruppen nahmen  $1,7 \text{ g Protein}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  zu sich, eine dritte Gruppe  $1,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ . Die Probanden dieser Gruppe konnten während der zwölfwöchigen Interventionszeit dabei signifikant mehr Muskeln aufbauen und den Körperfettanteil signifikant stärker senken. Basierend auf der Studie Hartmann et al. liegt die optimale Proteinzufuhr somit  $> 1,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ .

Für Rückschlüsse auf den optimalen Proteinbedarf von **erfahrenen Kraftsportlern** werden die Studien von Kerkick et al. und Hoffman et al. betrachtet. Bei einer Proteinzufuhr von  $1,2$  und  $1,6$

$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  bauen die Probanden der Untersuchungen von Hoffman et al. und Kerksick et al. keine Muskelmasse auf. Erst ab einer Proteinmenge von  $2,0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  können erfahrene Kraftsportler einen Zuwachs von Muskelmasse verzeichnen. Im Kontrast dazu stehen die Ergebnisse der Probandengruppe Whey+Casein von Kerksick et al., bei der die Teilnehmer  $2,1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  zu sich nehmen und keine Muskeln aufbauen. Bei einer Proteinzufuhr von  $2,3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  ist bei Probanden derselben Untersuchung der höchste Zuwachs der Muskelmasse zu beobachten. Der untersuchten Studien zu Folge liegt der optimale Proteinbedarf von erfahrenen Kraftsportlern bei  $>2,1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ .

### 7.3) Exzessive Proteinzufuhr

Da auch im Rahmen dieser Arbeit die Frage nach einer optimalen Proteinzufuhr im Kraftsport nicht eindeutig geklärt werden konnte, stellt sich zwangsläufig die Frage warum man nicht nach dem „viel hilft viel Prinzip“ vorgeht und möglichst große Mengen an Protein zu sich nimmt, um eine optimale Proteinzufuhr sicherzustellen. Um diese Frage beantworten zu können wird ein exzessiver Proteinkonsum zunächst definiert. In dieser Arbeit wird darunter die Menge an täglich aufgenommenem Protein verstanden, von der kein erhöhter Vorteil in Bezug auf Muskelaufbau und Leistung zu erkennen ist, und gleichzeitig mögliche Gesundheitsrisiken auftreten.

Weder bei **Anfängern** noch bei **fortgeschrittenen Athleten** lässt sich eine obere Schwelle der Proteinzufuhr ermitteln, ab der ein Plateau beim Muskelaufbau auftritt. Für beide gilt, dass jeweils die Probanden mit der höchsten Proteinzufuhr am meisten Muskeln aufbauen. Studienübergreifend bauen die zuvor untrainierten Probanden bei Hartmann et al. bei einer Proteinzufuhr von  $1,8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  mit  $3,9\text{ kg}$  am meisten Muskelmasse auf. Bei den fortgeschrittenen Athleten können die Probanden von Kerksick et al. bei einer Proteinmenge von  $2,3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  mit  $1,9\text{ kg}$  am meisten Muskelmasse dazugewinnen. Bei einer solch hohen Proteinzufuhr müssen jedoch mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen in Betracht gezogen werden. Einige Untersuchungen geben Grund zur Annahme, dass eine exzessive Proteinzufuhr Nierenprobleme verursacht (Metges und Barth, 2000, S. 886) und zu einer vermehrten renalen Kalziumausscheidung führt, was einen Verlust des Knochenkalziums zur Folge hat und die Bildung von Kalziumsteinen fördert (Barzel und Massey, 1998, S.1051). In anderen Quellen konnte kein Zusammenhang zwischen einer hohen Proteinzufuhr und negativen gesundheitlichen Auswirkung belegt werden. In einer speziell an Athleten mit langjähriger Kraftsporterfahrung durchgeführten Untersuchung konnte bei einer Proteinzufuhr von bis zu  $2,8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  keine Verschlechterung der Nierenfunktion festgestellt werden (Poortmanns und Dellalieux, 2000, S.28). Auch das Institute of Medicine of the National Academies sieht es nicht als erwiesen an, dass eine hohe Proteinzufuhr in der Spätfolge zu Nierenschädigungen führt: “[...] the protein content of the diet is not responsible for the progressive

decline in kidney function with age“ [der Eiweißgehalt der Nahrung ist nicht verantwortlich für die fortschreitende Abnahme der Nierenfunktion mit dem Alter] (IOM, 2005, S. 842). William et al. schlussfolgern: „At present, there is not sufficient proof to warrant public health directives aimed at restricting dietary protein intake in healthy adults for the purpose of preserving renal function“ [Derzeit gibt es keinen ausreichenden Beweis dafür, der eine Senkung der Richtlinien für eine Proteinzufuhr zur Vorbeugung von Nierenschädigung rechtfertigt] (William, Armstrong, Rodriguez, 2005, S.6). Diese Ansicht teilt auch das Institute of Medicine, die die Studienlage als nicht ausreichend bezeichnet um ein Upper-Limit für die Proteinzufuhr festzulegen (IOM, 2005, S. 844). Für eine valide Einschätzung der Gesundheitsrisiken bei einer exzessiven Proteinzufuhr ist die Studienlage nicht ausreichend. Ohne die Festlegung eines Upper Limits durch eine anerkannte Ernährungs- oder Gesundheitsorganisation, lässt sich diesbezüglich keine eindeutige Empfehlung aussprechen.

## **8) Zusammenfassung und Ausblick**

Das Ziel der Arbeit ist, auf Grundlage einer systematischen Literaturrecherche auf den Datenbanken PubMed, Cochrane und ScienceDirect, die optimale Proteinzufuhr für Kraftsportler zu ermitteln. Die infrage kommenden Studien mussten RCT-Studien mit einer Studiendauer von mindestens 8 Wochen sein, die Untersuchungsgruppen  $n \geq 10$  sein, das Alter der Probanden musste zwischen 18 und 50 Jahren liegen, sie durften nicht vorsätzlich auf Diät sein und mussten mindestens dreimal wöchentlich einen auf Hypertrophie ausgelegten Trainingsplan befolgen. Fünf Studien erfüllten die zuvor festgelegten Auswahlkriterien und wurden intensiv auf Rückschlüsse von der Proteinmenge auf den Muskelwachstum und die Leistungsfähigkeit der Kraftsportler analysiert.

Die Zufuhr von Proteinen spielt bei der Stimulation der Proteinsynthese, dem Erreichen einer positiven Proteinbilanz und somit dem Aufbau von neuer Muskelmasse und einer optimalen Leistungsfähigkeit im Kraftsport eine zentrale Rolle. Aber nicht nur die Menge, sondern auch die Qualität der zugeführten Proteinquellen ist von Bedeutung, da Proteine mit einem hohen Anteil essentieller AS die Proteinsynthese besonders gut stimulieren. Nach einer theoretischen Hochrechnung, basierend auf der Stimulierung der Proteinsynthese, beträgt die optimale Proteinzufuhr  $120-150 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$ . Anders ausgedrückt: ein 80 kg Athleten müsste  $1,45-1,87 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$  zu sich nehmen, um einen optimalen Verlauf der Proteinsynthese sicherzustellen. Die Proteinempfehlungen von anerkannten Wissenschaftlern liegen mit  $1,2-2,0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$  in etwa in demselben Rahmen. Die Empfehlungen von Ernährungs- und Gesundheitsorganisationen liegen zwischen  $0,8-1,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ KG} \cdot \text{d}^{-1}$ .

Die Auswertung der in dieser Arbeit herangezogenen Studien kommt zu leicht abweichenden Ergebnissen: Anfänger bauen bei einer täglichen Proteinmenge von  $\geq 1,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  am meisten Muskelmasse auf, Fortgeschrittene bei  $> 2,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ . Die Richtwerte dieser Arbeit liegen somit über den Empfehlungen anerkannter Ernährungs-, Gesundheitsorganisationen und Wissenschaftler. Eine mögliche Ursache liegt in dem Einsatz unterschiedlicher Methoden zur Messung des Proteinbedarfes. Die meisten Empfehlungen basieren nach wie vor auf der Stickstoffbilanzmessung, obwohl diese seit mehreren Jahren für Ihre Übertragbarkeit auf die Leistung der Kraftsportler kritisiert wird. Ob eine Beobachtung der Auswirkungen verschiedener Proteinmengen auf den Muskelaufbau und die Kraftentwicklung repräsentativere Ergebnisse liefert ist unklar. Zum einen ist es sehr schwierig sicherzustellen, dass die Probanden über einen längeren Zeitraum konstant dieselben Proteinmengen zu sich nehmen, zum anderen ist diese Methode ebenso so anfällig für Messfehler und Verzerrungen. Darüber hinaus liefert diese Arbeit Hinweise, dass neben der absoluten Proteinmenge auch die Proteinqualität eine wichtige Rolle spielt. Bei der Beurteilung von Studienergebnissen ist außerdem die Differenz der Aufnahme vor und während der Studie von Bedeutung. So können Probanden, bei denen sich die aufgenommene Proteinmenge vor und während der Studie deutlich unterscheidet, bessere Ergebnisse erzielen als solche, bei denen sich die Proteinzufuhr nur minimal verändert.

Insgesamt lässt die Auswertung der aktuellen Studiendaten keine eindeutige Schlussfolgerung auf eine optimale Proteinzufuhr im Kraftsport zu. Hauptgründe hierfür sind die wenigen Langzeituntersuchungen zu diesem Thema sowie die vielen Einflussfaktoren, die eine exakte Bedarfsanalyse erschweren. Das Outcome der Untersuchung wird neben der Proteinmenge auch durch die Art des Proteins, Zeitpunkt der Proteinzufuhr, die Kohlenhydrat- und Energiezufuhr, die Dauer der Intervention, den Trainingsstatus der Probanden und dem Trainingsplan sowie der Intensität des Trainings beeinflusst. Der Rahmen der vorliegenden Arbeit ermöglicht keine allumfassende Diskussion dieser Faktoren. Die Ergebnisse weisen somit keine hohe Validität auf. Daher sollten die Handlungsempfehlungen nur als Richtlinie für eine Proteineinnahme im Kraftsport verstanden werden.

Für die Herleitung valider Proteinempfehlungen im Kraftsport müssen genauere Messmethoden zur Bestimmung des Proteinumsatzes im Körper gefunden werden. Bis zur Entwicklung geeigneter Messmethoden erscheint es sinnvoll in weiteren Langzeituntersuchungen die Auswirkungen von unterschiedlichen Proteinmengen und -arten auf den Muskelaufbau und die Leistungsfähigkeit von Kraftsportlern zu beobachten. Hierbei sollte die Proteinzufuhr der Probanden während der Intervention regelmäßig überprüft werden und die Proteinmengen in den Untersuchungsgruppen gestaffelt werden – etwa in  $1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4$  und  $2,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ . Durch einen gleichzeitigen

Einsatz der Stickstoffbilanzmessung kann die Kritik an dieser Methode, bezüglich ihrer Übertragbarkeit auf Kraftsportler, überprüft werden. Darüber hinaus sind weitere Untersuchungen vonnöten, um die optimale Proteindosierung pro Mahlzeit zu ermitteln. Hierbei empfiehlt sich ein Studiendesign mit kontinuierlicher Erhöhung von Proteinmengen. Idealerweise bilden Anfänger und fortgeschrittene Sportler in allen Untersuchungen unterschiedliche Untersuchungsgruppen. Dadurch können Auswirkungen des Trainingsstatus auf die Proteinmenge aufgefunden werden. Erst durch eine derartige Vervollständigung der Datenlage ist eine Erstellung praxisrelevanter und valider Handlungsempfehlung für eine optimale Proteinzufuhr im Kraftsport möglich.

## **Abstract:**

**Hintergrund:** Die Frage nach einer optimalen Proteinzufuhr wird seit Jahren sowohl unter Sportlern als auch in der Wissenschaft diskutiert. Die Absicht dieser Veröffentlichung ist eine Analyse der gegenwärtigen Studienlage, welche sich mit dem Thema der Proteinzufuhr im Kraftsport auseinandersetzt. Aufgrund der vielen Aspekte, die den Proteinbedarf beeinflussen, befasst sich die vorliegende Arbeit ausschließlich mit der Proteinmenge und der Qualität des Proteins.

**Methode:** Grundlage war eine systematische Literaturrecherche auf den Datenbanken PubMed, ScienceDirect und Cochrane. Bei den ausgewerteten Untersuchungen handelt es sich ausschließlich um RCT Studien, deren Intervention acht Wochen oder länger dauerte. Die Probanden mussten zwischen 18 und 50 Jahren alt sein und mindestens dreimal in der Woche einen einheitlichen, auf Hypertrophie ausgelegten Trainingsplan befolgen. Für Rückschlüsse auf den Proteinbedarf von Kraftsportlern, musste dieser während der Intervention erhoben worden sein. Fünf Studien erfüllten die festgelegten Kriterien und wurden sorgfältig analysiert.

**Ergebnisse:** Die Studienergebnisse werden durch die unterschiedlich hohe Differenz der Proteinaufnahme vor und während der Intervention beeinflusst. Die vorliegende Untersuchung bestätigt, dass Kraftsportler einen erhöhten Proteinbedarf haben. Eine exakte Bestimmung einer optimalen Proteinzufuhr ist aufgrund der geringen Validität der Studien nicht möglich. Als Richtwert für Anfänger wurde eine Proteinmenge  $\geq 1,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$  ermittelt, für fortgeschrittene Athleten liegt der Richtwert bei  $>2,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ KG}\cdot\text{d}^{-1}$ .

**Fazit:** Für die Herleitung valider Proteinempfehlungen im Kraftsport müssen genauere Messmethoden zur Bestimmung des Proteinumsatzes im Körper gefunden werden. Bis dahin sollten weitere Dosis-Wirkungs-Untersuchungen bezüglich einer optimalen Proteinmenge pro Mahlzeit und mehr Langzeituntersuchungen durchgeführt werden. Auf dieser Basis sollten die aktuellen Empfehlungen geprüft und gegebenenfalls überarbeitet werden.

## **Abstract**

**Background:** The question of an optimal protein intake has been discussed for years, both among athletes and in academics. Therefore the purpose of this paper is to analyze the current study situation, which deals with the topic of protein intake for strength athletes. Due to many aspects that affect the protein needs of an athlete, the present work exclusively deals with the quantity and quality of protein.

**Methods:** This review is based on a thorough and critical research of literature on the databases PubMed, Science Direct and Cochrane. Only RCT studies with a duration of eight weeks or longer, where the subjects have followed a hypertrophy training routine, have been between 18 and 50 years of age and the daily protein intake was recorded, are included. Five studies have met these criteria and were analyzed.

**Results:** The evaluation of the results is effected by different levels of protein intake before and during an intervention. The present paper confirms that strength athletes have an increased need of protein. An accurate determination of an optimum protein intake is not possible due to the low validity of the studies. For optimal results, beginners are advised to consume  $\geq 1.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ , advanced athletes may need determined  $> 2.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ BW} \cdot \text{d}^{-1}$ . Due to the low validity of the evaluated studies, these benchmarks should only be seen as an approximate reference intake.

**Conclusion:** For the derivation of valid protein recommendations for strength athletes' accurate methods for the determination of protein turnover in the body must be found. Until then, further dose-response studies on the optimal amount of protein per meal as well as long-term studies should be conducted. On this basis, the current recommendations should be reviewed and if necessary revised.

## 9) Literaturverzeichnis

Adams, G.R. (2000). Die Rolle von IGF-1 beim Muskelwachstum und die Möglichkeiten des Missbrauchs bei Sportlern, in: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, Band 52, Nr. 1, S. 35-36.

American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada (2009). Nutrition and Athletic Performance, in: Journal of the American Dietetic Association, Nr. 109, S. 509-527.

Andersen, L., Tufekovic, G., Zebis, M., Crameri, R., Verlaan, G., Kjaer, M., Suetta, C., Magnusson, P., Aagaard, P. (2005). The effect of resistance training combined with timed ingestion of protein on muscle fiber size and muscle strength, in: Metabolism Clinical and Experimental, Nr. 54, S. 151-156.

Biesalski, H., Bischoff, S., Puchstein, C. (2010). Ernährungsmedizin. Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag.

Biolo, G., Maggi, S., Williams, B., Tipton, K., Wolfe, R. (1995). Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans, in: American Journal of Physiology, Nr. 268, S. 514-520.

Bird, S., Tarpenning, K., Marino, F. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness, in: Journal of Sports Medicine, Band 35, Nr. 10, S. 841-851.

Boirie, Y., Dangin, M., Gachon, P., Vasson, M., Mabois, J., Beaufrère, B., Barth, C., (2000). Metabolic consequences of a high dietary-protein intake in adulthood: assessment of the available evidence, in: Journal of Nutrition, Band 130, Nr. 4, S. 886-889.

Borsheim, E., Tipton, K., Wolf, S., Wolfe, R. (2002). Essential amino acids and muscle protein recovery from resistance exercise, in: The American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism, Nr. 283, S. 648-657.

Bosse, J., Dixon, B. (2012). Dietary protein to maximize resistance training: a review and examination of protein spread and change theories, in: Journal of the International Society of Sports Nutrition, Band 9, Nr. 42, S. 1-11.

Brouns, F., Cargill, C. (2004). Essentials of Sports Nutrition. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

Calloway, D., Margen S. (1971). Variation in endogenous nitrogen excretion and dietary nitrogen utilization as determinants of human protein requirement. in: Journal of Nutrition, Nr. 101, S. 205-216.

Calloway, D., Spector, H. (1954). Nitrogen Balance as Related to Caloric and Protein Intake in Active Young Men, in: American Society for Clinical Nutrition, Band 6, Nr. 2, S. 405-412.

Campbell, B., Kreider, R., Ziegenfuss, T., La Bounty, P., Roberts, M., Burke, D., Landis, J., Hector, L., Antonia, J. (2007). International Society of Sports Nutrition position stand: protein and exercise, in: Journal of the International Society of Sports Nutrition. Band 4, Nr. 8, S. 1-7.

Chesley, A., MacDougall, J.D., Tarnopolsky, M.A., Atkinson, S.A., Smith, K. (1992). Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise, in: Journal of Applied Physiology, Nr. 73, S. 1383-1388.

Cribb, P.J., Hayes, A. (2006). Effects of supplement timing and resistance exercise on skeletal muscle hypertrophy, in: Medicine and Science in Sports and Exercise, Band 38, Nr. 11, S. 1918-1926.

Cuthbertson, D., Smith, K., Babraj, J., Leese, G., Waddell, T., Atherton, P., Wackerhage, H., Taylor, P.M., Rennie, M.J. (2004). Anabolic signaling deficits underlie amino acid resistance of wasting aging muscle, in: Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology, Nr. 3, S. 1-22.

Dangin, M., Boirie, Y., Garcia-Rodenas, C., Gachon, P., Fauquant, J., Callier, P., Balèvre, O., Beaufrère, B. (2001). The digestion rate of protein is an independent regulating factor of postprandial protein retention, in: Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism, Nr. 280, S. 340-348.

Deutsche Gesellschaft für Ernährung (2001). Stellungnahme des DGE-Arbeitskreises „Sport und Ernährung“: Proteine und Kohlenhydrate im Breitensport. DGE Online. <http://www.dge.de/modules.php?name=News&file=article&sid=283>. Stand 5.9.2013.

Deutsche Gesellschaft für Ernährung (2008). Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Frankfurt am Main: Umschau/Braus.

Diekmann, A. (2011). Empirische Sozialforschung. Grundlagen, Methoden und Anwendung. Hamburg: Rohwolt Verlag GmbH.

Economos, C.D., Bortz, S.S., Nelson, M.E. (1993). Nutritional practices of elite athletes. Practical recommendations, in: Journal of Sports Medicine, Band 16, Nr. 6, S. 381-399.

Eisenstein, J., Roberts, S.B., Dallai, G., Saltzman, E. (1999). Description and evaluation of an experimental model to examine changes in selection between high protein, high carbohydrate and high fat foods in humans, in: European Journal of Clinical Nutrition, Nr. 53, S. 13-21.

Enoka, R.M., Christou, E.A., Hunter, S., Kornatz, K.W., Semmler, J.G., Taylor, A.M., Tracy, B.L. (2003). Mechanism that contribute to differences in motor performance between young and old adults, in: Journal of Electromyography and Kinesiology, Band 13, Nr. 1, S. 1-12.

Esmarck, B., Andersen, J.L., Olsen, S., Richter, E.A., Mizuno, M., Kjaer, M. (2001). Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans, in: Journal of Physiology, Band 535, Nr. 1, S. 301-311.

- FAO (2011). Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation, in: FAO Food and Nutrition, Nr. 92, S. 1-57.
- Forbes, G.B., Halloran, E. (1976). The adult decline in lean body mass, in: Journal of Human Biology, Nr. 48, S. 161-173.
- Fox, E.A., McDaniel, J.L., Breitbach, A.P., Weis, E.P. (2011). Perceived protein needs and measured protein intake in collegiate male athletes: an observational study, in: Journal of the International Society of Sports Nutrition, Nr. 8, S. 9-14.
- Fowke, J.H., Matthewes, C.E. (2010). PSA and Body Composition by Dual X-ray Absorptiometry (DXA) in NHANES, in: National Institute of Health, Band 79, Nr. 2, S. 120-125.
- Glen O., Housh, D.J. (2009). The Effect of Whey Protein and Leucine Supplementation on Strength, Muscular Endurance, and Body Composition during Resistance Training, in: Journal of Exercise Physiology online, Nr. 12, S. 39-50.
- Golden, M.H.N., Waterlow, J.C. (1977). Total Protein Synthesis in Elderly People: A Comparison of Results with [<sup>15</sup>N]glycine and [<sup>14</sup>C]leucine, in: Journal of Clinical Sciences, Nr. 53, S. 277-288.
- Hegsted, D.M. (2000). From chicken nutrition to nutrition policy, in: Annual Review of Nutrition. Nr. 20, S. 1-19.
- Hession, M., Rolland, C., Wise, A., Broom, J. (2009). Systematic review of randomized controlled trials of low-carbohydrate vs. low-fat/low-calorie diets in the management of obesity and its comorbidities, in: International Association for the Study of Obesity, Nr.10, S. 36-50.
- Hite, A.H., Berkowitz, V.G., Berkowitz, K. (2011). Low Carbohydrate Diet Review: Shifting the Paradigm, in: Nutritional Clinical Practice, Band 26, Nr. 3, S. 300-308.
- Hoffmann, J.R., Falvo, M.J. (2004). Protein – which is best?, in: Journal of Sports Science and Medicine, Nr. 3, S. 118-130.
- Institute of Medicine of the National Academies (2005). Dietary reference intake for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids (macronutrients). Washington DC: National Academies Press.
- Institute of Medicine of the National Academies (2006). Dietary Reference Intakes. The Essential Guide to nutrient Requirements. Washington DC: National Academies Press.
- Jeor, S., Howard, B.V., Prewitt, E.T., Bovee, V., Bazzarre, T., Eckel, R.H. (2001). Dietary Protein and weight reduction: a statement for healthcare professionals from the Nutrition Committee of the Council on Nutrition, in: Physical Activity, and Metabolism, of the American Heart Association, Nr. 104, S. 1869-1874.

Kimball, S.R., Jefferson, L.S. (2006). Signaling Pathways and Molecular Mechanism through which Branched-Chain Amino Acids Mediate Translational Control of Proteinsynthesis, in: Journal of Nutrition, Nr. 136, S. 227-231.

Kraemer, W.J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G.A., Dooly, C., Feigenbaum, M.S., Fleck, S.J., Franklin, B., Fry, A.C., Hoffman, J.R., Newton, R.U., Potteiger, J., Stone, M.H., Ratamess, N.A., American College of Sports Medicine (2002). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults, in: Medicine and Science in Sports and Exercise, Band 34, Nr. 2, S. 364-380.

Layman, D.K. (2004). Protein Quantity and Quality at Levels above the RDA Improves Adults Weight Loss, in: Journal of the American College of Nutrition, Band 23, Nr. 6, S. 631-636.

Lemon, P.W., MacDougall, J.D., Atkinson, S.A. (1992). Protein requirements and muscle mass/Strength changes during intensive training in novice bodybuilders, in: Journal of Applied Physiology, Nr. 73, S. 767-775.

Lemon, P.W. (2000). Beyond the Zone: Protein Needs of Active Individuals, in: Journal of American College of Nutrition, Band 19, Nr. 5, S. 513-521.

Levinger, I., Goodman, C., Hare, D.L., Jerums, G., Toia, D., Selig, S. (2009). The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals, in: Journal of Science and Medicine in Sport, Band 12, Nr. 2, S. 310-316.

Loeffelholz, C. (2011). Ernährungsstrategien in Kraftsport & Bodybuilding. Optimaler Muskelaufbau, beschleunigter Fettabbau, gesteigerte Kraftleistung. Arnsberg: Novagenics Verlag.

Meakins, T.S., Jackson, A.A. (1996). Salvage of exogenous urea nitrogen enhances nitrogen balance in normal men consuming marginally inadequate protein diets, in: Journal of Clinical Science, Nr. 90, S. 215-225.

Mero, A.A., Hulmi, J.J., Salmijärvi, H., Katajavarori, M., Haverinen, M., Holviala, J., Ridanpää, T., Häkkinen, K., Kovanen, V., Athiainen, J.P., Selänne, H. (2013). Resistance training induced increase in muscle fiber size in young and older men, in: European Journal of Applied Physiology, Nr. 113, S. 641-650.

Mielke, M., Housh, T. J., Malek, M.H., Beck, T.W., Schmidt, R.J., Johnson, G.O. (2009). The Effects of Whey Protein and Leucine Supplementation on Strength, Muscular Endurance, and Body Composition During Resistance Training, in: Journal of Applied Physiology (Online), Nr. 12, S. 39-50.

Millward D.J. (1998). Metabolic demands for amino acids and the human dietary Requirement, in: Journal of Nutrition, Nr. 128, S. 2563-2576.

Millward, J.D. (2001). Protein and amino acid requirements of adults: current controversies, in: Canadian Journal of Applied Physiology, Nr. 26, S. 130-140.

Millward, J.D. (2004). Macronutrient intakes as determinants of dietary protein and amino acid adequacy, in: Journal of Nutrition, Nr. 134, S. 1588-1596.

Moore, D.R., Tang, J.E., Burd, N.A., Rerечich, T., Tarnopolsky, M.A., Phillips, S.M. (2009a). Differential stimulation of myofibrillar and sarcoplasmic protein synthesis with protein ingestion at rest and after resistance exercise, in: Journal of Physiology, Band 587, Nr. 4, S. 897-904.

Moore, D.R., Robinson, M.J., Fry, J.L., Tang, J.E., Glover, E.I., Wilkinson, S.B., Prior T., Tarnopolsky, M.A., Phillips, S.M. (2009b). Ingested protein dose response of muscle and albumin protein syntheses after resistance exercise in young men, in: The American Journal of Clinical Nutrition, Nr. 89, S. 161-168.

Norton, L.E., Layman, D.K., Garlick, P., Brana, D., Anthony, T.G., Zhao, L., Devkota, S., Walker, D. (2007). Translational controls of muscle protein synthesis are delayed and prolonged associated with ingestion of a complete meal, in: Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology, Nr. 21, S. 694-696.

Oxford Center for Evidence Based Medicine (2009). Levels of Evidence.  
<http://www.cebm.net/index.aspx?o=1025>. Stand 16.11.2013.

Paddon-Jones, D., Sheffield-Moore, M., Zhang, X.J., Volpi, E., Wolf, S.E., Aarsland, A., Ferrando, A.A., Wolfe, R.R. (2004). Amino acid ingestion improves muscle protein synthesis in the young and elderly, in: American Journal of Physiology, Endocrinology and Metabolism, Band 286, Nr. 3, S. 321-328.

Phillips, S.M. (2004). Protein Requirements and Supplementation in Strength Sports, in: Nutrition. Band 20, Nr. 7/8, S. 689-695.

Phillips, S.M. (2012). Dietary protein requirements and adaptive advantages in athletes, in: British Journal of Nutrition, Nr. 108, S. 158-167.

Phillips, S.M., Moore, D. R., Tang, J.E. (2009). A Critical Examination of Dietary Protein Requirements, Benefits, and Excesses in Athletes, in: International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, Nr. 17, S. 58-76.

Phillips, S.M., Tipton, K.D., Aarsland, A., Wolf, S.E., Wolfe, R.R. (1997). Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans, in: American Journal of Physiology, Nr. 273, S. 99-107.

Poortmans, J.R., Dellalieux, O. (2000). Do regular high protein diets have potential risks on kidney function in athletes, in: *International Journal of Sports Nutrition and Exercise Metabolism*, Nr. 10, S. 28-38.

Rand, W.M., Young, V.R., Scrimshaw, N.S. (1976). Change of urinary nitrogen excretion in response to low-protein diets in adults, in: *American Journal of Clinical Nutrition*, Nr. 29, S. 639-644.

Rankin, J.W., Goldman, L., Puglisi, M., Nickols-Richardson, S.M., Earthman, C.P., Gwazdauskas, F. (2004). Effect of Post-Exercise Supplement Consumption on Adaptations to Resistance Training. in: *Journal of the American College of Nutrition*, Band 23, Nr.4, S. 322-330.

Schaafsma, G. (2000). Criteria and significance of dietary protein sources in humans. The protein digestibility-corrected amino acid score, in: *American Society of Nutritional Sciences*, Band 130, Nr. 7, S. 1865-1867.

Srikantia, S.G. (1981). The use of biological value of a protein in evaluating its quality for human requirements. *FAO/WHO/UNU*.

<http://www.fao.org/docrep/MEETING/004/M2835E/M2835E00.HTM>. Stand 8.10.2013.

Tarnopolsky, M.A., Atkinson, S.A., MacDougall, J.D. (1988). Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass, in: *Journal of Applied Physiology*, Nr. 64, S. 187-193.

Tarnopolsky, M.A., Atkinson, S.A., MacDougall, J.D., Chesley, A., Phillips, S., Schwarcz, H. (1992). Evaluation of protein requirements for trained strength athletes, in: *Journal of Applied Physiology*, Nr.73, S. 1986-1995.

Tipton, K.D., Borsheim, E., Wolf, S.E., Sanford, A.P., Wolfe, R.R. (2003). Acute response of net muscle protein balance reflects 24-h balance after exercise and amino acid ingestion, in: *Journal of Physiology, Endocrinology and Metabolism*, Nr. 284, S. 76-89.

Tipton, K.D., Rasmussen, B., Miller, S.L., Wolf, S.E., Owens-Stovall, S.K., Petrini, B.E., Wolfe, R.R. (2001). Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle of resistance exercise, in: *Journal of Physiology, Endocrinology and Metabolism*, Nr. 281, S. 197-206.

Tipton, K.D., Wolfe, R.R. (2003). Protein and amino acids for athletes, in: *Journal of Sport Sciences*. Nr. 22, S. 65-79.

Todd, K.S., Butterfield, G.E., Calloway, D.H. (1984). Nitrogen balance in men with Adequate and Deficiency Energy Intake at Three Levels of Work, in: *Journal of Nutrition*, Nr. 114, S. 2107-2118.

US Food and Nutrition Board (1989). *Recommended Dietary Allowances*. Washington: National Press.

Willoughby, D.S., Stout, J.R., Wilborn, C.D. (2007). Effects of resistance training and protein plus amino acid supplementation on muscle anabolism, mass, and strength, in: *Amino Acids*, Nr. 32, S. 467-477.

Wilson, J., Wilson, G.J. (2006). Contemporary Issues in Protein Requirements and Consumption for Resistance Trained Athletes, in: *Journal of International Sports Nutrition*, Band 3, Nr. 1, S. 7-27.

# Anhang

## a. Screenshots der Literaturrecherche

### i. Cochrane

**Recherche 2**  
To search an exact word(s) use quotation marks, e.g. "hospital" finds hospital; hospital (no quotation marks) finds hospital and hospitals; pay finds paid, pays, paying, payed)

[Add to top](#) [View fewer lines](#)

| ID | Search Term  | Results |
|----|--|---------|
| #1 | protein and athlete not elderly not old men                          | 29      |
| #2 | protein and resistance training not elderly not old men              | 112     |
| #3 | protein and exercise training not elderly not old men                | 190     |
| #4 | protein and weight training not elderly not old men                  | 110     |
| #5 | protein supplementation and hypertrophy not elderly not old men      | 8       |
| #6 | protein supplementation and muscle mass not elderly not old men      | 48      |
| #7 | protein supplementation and body composition not elderly not old men | 55      |
| #8 | protein intake and hypertrophy not elderly not old men               | 4       |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| #7  | protein supplementation and body composition not elderly not old men | 55  |
| #8  | protein intake and hypertrophy not elderly not old men               | 4   |
| #9  | protein intake and muscle mass not elderly not old men               | 56  |
| #10 | protein intake and body composition not elderly not old men          | 125 |
| #11 | whey and hypertrophy not elderly not old men                         | 2   |
| #12 | whey and muscle mass not elderly not old men                         | 8   |
| #13 | whey and body composition not elderly not old men                    | 12  |

ii. Pubmed

|    |                     |   |     |          |
|----|---------------------|---|-----|----------|
| #7 | <a href="#">Add</a> | Search (((protein supplementation[Title/Abstract]) AND body composition[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b> | 9   | 07:37:31 |
| #6 | <a href="#">Add</a> | Search (((protein supplementation[Title/Abstract]) AND muscle mass[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b>      | 9   | 07:36:24 |
| #5 | <a href="#">Add</a> | Search (((protein supplementation[Title/Abstract]) AND hypertrophy[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b>      | 4   | 07:35:32 |
| #4 | <a href="#">Add</a> | Search (((protein[Title/Abstract]) AND weight training[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b>                  | 8   | 07:34:30 |
| #3 | <a href="#">Add</a> | Search (((protein[Title/Abstract]) AND exercise training[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b>                | 191 | 07:31:41 |
| #2 | <a href="#">Add</a> | Search (((protein[Title/Abstract]) AND resistance training[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b>              | 131 | 07:30:32 |
| #1 | <a href="#">Add</a> | Search (((protein[Title/Abstract]) AND athlete[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b>                          | 56  | 07:29:29 |

| Search | Add to builder      | Query  | Items found | Time     |
|--------|---------------------|--|-------------|----------|
| #13    | <a href="#">Add</a> | Search (((whey[Title/Abstract]) AND body composition[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b>           | 20          | 07:44:09 |
| #12    | <a href="#">Add</a> | Search (((whey[Title/Abstract]) AND muscle mass[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b>                | 5           | 07:42:57 |
| #11    | <a href="#">Add</a> | Search (((whey[Title/Abstract]) AND hypertrophy[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b>                | 4           | 07:42:17 |
| #10    | <a href="#">Add</a> | Search (((protein intake[Title/Abstract]) AND body composition[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b> | 43          | 07:40:30 |
| #9     | <a href="#">Add</a> | Search (((protein intake[Title/Abstract]) AND muscle mass[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b>      | 28          | 07:39:35 |
| #8     | <a href="#">Add</a> | Search (((protein intake[Title/Abstract]) AND hypertrophy[Title/Abstract]) NOT elderly) NOT old men Filters: <b>Controlled Clinical Trial; Randomized Controlled Trial; Review; Meta-Analysis; Clinical Trial; Humans</b>      | 12          | 07:38:42 |

iii. ScienceDirect

| Search  | Results      | Actions   |
|---|--------------|---|
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>protein</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>athlete</b> ) AND LIMIT-TO( <b>topics, "athlete,growth hormone,amino acid,protein intake,body composition,sport medicine,female athlete,sport med,physical exercise"</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)]   | 45 articles  |  Edit    Delete     |
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>protein</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>resistance training</b> ) AND LIMIT-TO( <b>topics, "exercise training,resistance training,resistance exercise,skeletal muscle,amino acid,muscle mass,body composition,protein supplementation,muscle strength,muscle fiber"</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)]                                    | 60 articles  |  Edit    Delete     |
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>protein</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>exercise training</b> ) AND LIMIT-TO( <b>topics, "exercise training,skeletal muscle,oxidative stress,resistance exercise,physical exercise,resistance training,physical training,amino acid,protein synthesis"</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)]   | 179 articles |  Edit    Delete     |
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>protein</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>weight training</b> ) AND LIMIT-TO( <b>topics, "exercise training,skeletal muscle,protein synthesis,resistance training,body composition"</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)]  | 39 articles  |  Edit    Delete     |
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>protein supplementation</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>hypertrophy</b> ) AND LIMIT-TO( <b>topics, "protein synthesis,muscle protein,skeletal muscle,protein requirement,physical performance,muscle hypertrophy,muscle fiber"</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)]   | 6 articles   |  Edit    Delete     |
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>protein supplementation</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>muscle mass</b> ) AND LIMIT-TO( <b>topics, "muscle protein,amino acid,body composition,skeletal muscle,whey protein,resistance exercise,protein synthesis,protein supplementation,muscle mass,leucine supplementation,dietary supplementation"</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)] | 36 articles  |  Edit    Delete     |
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>protein supplementation</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>body composition</b> ) AND LIMIT-TO( <b>topics, "body composition,fatty acid,amino acid,dietary protein,skeletal muscle,leucine supplementation,whey protein"</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)]  | 55 articles  |  Edit    Delete |

| Search   | Results     | Actions   |
|--|-------------|---|
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>protein intake</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>hypertrophy</b> ) AND LIMIT-TO( <b>topics, "protein synthesis,muscle protein,amino acid,physical performance,nutritional consideration,muscle strength,whey protein,muscle hypertrophy,mtor signaling"</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)] | 9 articles  |  Edit    Delete |
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>protein intake</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>muscle mass</b> ) AND LIMIT-TO( <b>topics, "amino acid,protein intake,protein synthesis,muscle mass,skeletal muscle,body composition,muscle protein,muscle strength,dietary protein,growth hormone"</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)]    | 69 articles |  Edit    Delete |
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>protein intake</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>body composition</b> ) AND LIMIT-TO( <b>topics, "body composition"</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)]   | 74 articles |  Edit    Delete |
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>whey</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>hypertrophy</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)]  | 3 articles  |  Edit    Delete |
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>whey</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>muscle mass</b> ) AND LIMIT-TO( <b>topics, "whey protein,protein synthesis,muscle protein,training program,strength training,resistance exercise,protein source,protein meal,protein,muscle"</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)]                     | 13 articles |  Edit    Delete |
| TITLE-ABSTR-KEY( <b>whey</b> ) and TITLE-ABSTR-KEY( <b>body composition</b> ) AND LIMIT-TO( <b>topics, "whey protein,amino acid,body composition,protein supplement,dietary protein,protein"</b> )<br>[All Sources(- All Sciences -)]  | 16 articles |  Edit    Delete |

## b. Charakteristika eines Hypertrophietrainings

Ein klassisches Hypertrophietraining sollte folgende Merkmale aufweisen: Den Muskel konzentrisch und exzentrisch durch Mehrgelenks- und Isolationsübungen belasten und den maximalen Widerstand dabei so auswählen, dass bei acht bis zwölf Wiederholungen Muskelversagen eintritt. Hierbei wird eine Pausenzeit von ein bis zwei Minuten zwischen den Sätzen empfohlen. Bei fortgeschrittenen Athleten wird ein Wiederholungsbereich mit einer größeren Spannweite von ein bis zwölf Wiederholungen empfohlen (Kraemer et al., 2002, S. 364). Die Effektivität eines Trainingsprogramms ist von vielen Variablen abhängig. Dazu gehört die Menge des Gewichtes, das durchgeführte Trainingsvolumen, Übungsauswahl und Reihenfolge, Pausenzeiten und Geschwindigkeit mit der die Übungen ausgeführt werden (Bird, 2005, S. 841).

## c. Trainingspläne

### i. Kerkick

**TABLE 3.** Resistance training program.

| Weeks | Monday, Thursday*†  | Tuesday, Friday*†  |
|-------|---|--|
| 1-4   | Bench press, 3 × 10<br>Chest flies, 3 × 10<br>Lat pull, 3 × 10<br>Seated row, 3 × 10<br>Shoulder press, 3 × 10<br>Shoulder shrugs, 3 × 10<br>Bicep curls, 3 × 10<br>Tricep extensions, 3 × 10 | Leg press, 3 × 10<br>Leg extensions, 3 × 10<br>Deadlift, 3 × 10<br>Lunges, 3 × 10<br>Lying leg curls, 3 × 10<br>Heel raises, 3 × 10<br>Ab crunches, 3 × 25 |
| 5-8   | Bench press, 3 × 8<br>Chest flies, 3 × 8<br>Lat pull, 3 × 8<br>Seated row, 3 × 8<br>Shoulder press, 3 × 8<br>Shoulder shrugs, 3 × 8<br>Bicep curls, 3 × 8<br>Tricep extensions, 3 × 8         | Leg press, 3 × 8<br>Leg extensions, 3 × 8<br>Deadlift, 3 × 8<br>Lunges, 3 × 8<br>Lying leg curls, 3 × 8<br>Heel raises, 3 × 8<br>Ab crunches, 3 × 25       |
| 9, 10 | Bench press, 3 × 6<br>Chest flies, 3 × 6<br>Lat pull, 3 × 6<br>Seated row, 3 × 6<br>Shoulder press, 3 × 6<br>Shoulder shrugs, 3 × 6<br>Bicep curls, 3 × 6<br>Tricep extensions, 3 × 6         | Leg press, 3 × 6<br>Leg extensions, 3 × 6<br>Deadlift, 3 × 6<br>Lunges, 3 × 6<br>Lying leg curls, 3 × 6<br>Heel raises, 3 × 6<br>Ab crunches, 3 × 25       |

\* One minute rest between sets.

† Two minutes rest between exercises.

### ii. Hartman

Das Trainingsprogramm beinhaltet drei Arten von Übungen: Druckübungen (stehendes Langhantel-Schulterdrücken, Bandrücken, Fliegende, Trizepsdrücken), Zugübungen (Latziehen, sitzendes Rudern, umgekehrte Fliegende, sitzende Bizepscurls sowie verschiedene Übungen für die Bauchmuskulatur) und Beinübungen (45 ° Beinpresse, Beinstrecken, Beinbeugen und sitzendes Wadenheben). Wöchentlich wurde dreimal trainiert, wobei die Trainingseinheiten abwechselnd nur Druck-, Zug-, oder Beinübungen beinhalten. Während der gesamten Interventionszeit kamen die Probanden auf 60 Trainingseinheiten. Beim Training wurden die Probanden von professionellen Trainern betreut und die richtige Übungsausführung überwacht.

iii. Hoffman

**Table 1. 12-week resistance training program.**

|                             | Weeks 1 – 4<br>(Sets x Reps) | Weeks 5 – 8<br>(Sets x Reps) | Weeks 9 – 12<br>(Sets x Reps) |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Days 1/3</b>             |                              |                              |                               |
| Power Clean                 |                              |                              |                               |
| Bench Press                 | 4 x 8 – 10                   | 4 x 6 – 8                    | 5 x 4 – 6                     |
| Incline Bench press         | 3 x 8 – 10                   | 3 x 6 – 8                    | 4 x 4 – 6                     |
| Incline Fly                 | 3 x 8 – 10                   | 3 x 6 – 8                    | -                             |
| Hang Pulls (Clean grip)     | 4 x 6 – 8                    | -                            | -                             |
| Push Press                  | -                            | 4 x 4 – 6                    | 5 x 3 – 5                     |
| High Pulls (Snatch grip)    | -                            | 3 x 4 – 6                    | 4 x 3 – 5                     |
| Seated Shoulder Press       | 4 x 8 – 10                   | -                            | -                             |
| Power dumbbell Shrugs       | 3 x 6 – 8                    | -                            | -                             |
| Dumbbell Front Raise        | -                            | 3 x 6 – 8                    | -                             |
| Lateral Raises              | 3 x 8 – 10                   | -                            | -                             |
| Triceps Pushdowns           | 3 x 8 – 10                   | 3 x 6 – 8                    | -                             |
| Triceps Dumbbell Extensions | 3 x 8 – 10                   | 3 x 6 – 8                    | 4 x 6 – 8                     |
| Trunk and Abdominal Routine | 2 x 10                       | 3 x 10                       | 4 x 10                        |
| <b>Days 2/4</b>             |                              |                              |                               |
| Squat                       | 4 x 8 – 10                   | 4 x 6 – 8                    | 5 x 4 – 6                     |
| Power snatch                | -                            | -                            | 4 x 3 – 5                     |
| Dead Lift                   | 4 x 8 – 10                   | 3 x 6 – 8                    | 4 x 4 – 6                     |
| Leg Extensions              | 3 x 8 – 10                   | -                            | -                             |
| Leg Curls                   | 3 x 8 – 10                   | 3 x 6 – 8                    | 3 x 6 – 8                     |
| Standing Calf Raises        | 3 x 8 – 10                   | 3 x 6 – 8                    | 3 x 6 – 8                     |
| Lat Pulldown                | 4 x 8 – 10                   | 4 x 6 – 8                    | 4 x 4 – 6                     |
| Seated Row                  | 4 x 8 – 10                   | 4 x 6 – 8                    | 4 x 4 – 6                     |
| Hammer Curls                | 3 x 8 – 10                   | 3 x 6 – 8                    | 4 x 6 – 8                     |
| Dumbbell Biceps Curls       | 3 x 8 – 10                   | 3 x 6 – 8                    | -                             |
| Trunk and Abdominal Routine | 2 x 10                       | 3 x 10                       | 4 x 10                        |

All exercises performed to a repetition maximum range

iiii. Hulmi

Beinpresse, Beinstrecker, Beinbeuger-Maschine, Bankdrücken und weitere nicht näher genannte Übungen für Brust, Schulter und Bauch. Die Anzahl der Sätze pro Übung nahm während des Trainingsprogramms von zwei bis drei auf drei bis fünf zu, die Anzahl der Wiederholungen verringerten sich von 15-20 auf fünf bis sechs.

iiiii. Volek

Das Training basierte auf einem flexiblen, progressiven, nicht-linearen und periodisierten Prinzip. Es zielte darauf ab die verschiedenen Muskelgruppen proportional zu ihrer Größe in gleichen Anteilen zu trainieren. Um sicherzustellen, dass alle Teilnehmer immer derselben Trainingsintensität ausgesetzt sind, war das Programm mit wechselndem Trainingsplan zyklisch aufgebaut. So wurden sowohl niedrige (drei bis sechs Wiederholungen), mittlere (acht bis zehn Wiederholungen), als auch höhere Wiederholungsbereiche (12-15 Wiederholungen) benutzt. Drei bis fünf Trainingssätze wurden von folgenden Übungen absolviert: Kniebeugen, „hang cleans“, Bankdrücken, Bizeps-Curls, Latziehen, Ruderübungen, Ausfallschritte, Schulterdrücken und Bauchübungen. Es wurden vorrangig freie gewichte genutzt, vereinzelt aber auch an Maschinen trainiert. In der Regel wurde das Training der Probanden überwacht. Nur in Einzelfällen trainierten die Teilnehmer für kurze Zeit ohne professionelle Aufsicht. Die Trainingstage wurden flexibel gestaltet. Es wurde

nicht nur die Art des Trainings regelmäßig verändert, auch die Verfassung der Probanden wurde berücksichtigt. Kristallisierte sich früh heraus, dass ein Teilnehmer keinen guten Tag hatte wurde das Training verschoben, um sicherzustellen, dass möglichst viele hochwertige Trainingseinheiten in die Auswertung einfließen.

#### d. Eidesstattliche Erklärung

„Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem im Ausgabeantrag formuliertem Thema ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Wörtliche oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.“

Hamburg, den 2.12.2013

---

Unterschrift