

# Master-Thesis

zur Erlangung des Grades

## Master of Arts

### **Titel der Abschlussarbeit:**

Welche Auswirkungen haben tierische im Vergleich zu pflanzlichen Proteinquellen auf die Muskelhypertrophie bei gesunden Erwachsenen im Alter von 18 bis 75 Jahren?

Studiengang: Präventions- und Gesundheitsmanagement

eingereicht von

Name, Vorname: Moldenhauer, Fabian

geboren am: 03.02.1998

Matrikelnummer: 324094

Betreuer/in der DHfPG: Dr. Patrick Berndt

Ort und Tag der Einreichung: Saarbrücken, 17.11.2024

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>ZIELSETZUNG .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>GEGENWÄRTIGER KENNTNISSTAND .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Proteine .....</b>	<b>9</b>
3.1.1	Definition Protein.....	9
3.1.2	Essenzielle- und Nicht essenzielle Aminosäuren .....	9
3.1.3	Differenzierungsmethode von Nahrungsproteinen.....	10
3.1.4	Unterschied von tierischen- und pflanzlichen Proteinquellen .....	11
3.1.5	Muskelproteinsynthese .....	13
<b>3.2</b>	<b>Hypertrophie.....</b>	<b>17</b>
3.2.1	Net Muscle Protein Balance - Nettomuskelproteinbilanz (nmpb).....	18
3.2.2	Hypertrophie auslösende Faktoren.....	18
<b>4</b>	<b>METHODIK.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>Forschungsfrage.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2</b>	<b>Suchstrategie.....</b>	<b>20</b>
4.2.1	Ein- und Ausschlusskriterien .....	20
4.2.2	Datenbanken und Suchmaschinen.....	21
4.2.3	Suchbegriffe.....	22
4.2.4	Suchbefehle .....	23
<b>4.3</b>	<b>Selektion.....</b>	<b>24</b>
4.3.1	Darstellung der Trefferzahlen .....	24
4.3.2	Selektionsstufe 1 – Titelprüfung .....	24
4.3.3	Selektionsstufe 2 – Abstrakttextprüfung.....	25
4.3.4	Selektionsstufe 3 - Prüfung Volltextzugriff .....	25
4.3.5	Selektionsstufe 4 - Eignungsprüfung Volltexte.....	25
4.3.6	Zusätzliche Studien durch Querverweise.....	32
4.3.7	Auflistung der verbleibenden Studien zur Auswertung .....	34
<b>4.4</b>	<b>Auswertung der Studien (Vorgehensweise und Hilfsmittel) .....</b>	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>36</b>

<b>6</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>52</b>
<b>6.1</b>	<b>Ergebnisdiskussion</b> .....	<b>52</b>
<b>6.2</b>	<b>Methodendiskussion</b> .....	<b>56</b>
<b>6.3</b>	<b>Schlussfolgerung und Ausblick</b> .....	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>60</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>61</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung	Übersetzung
AAS	Amino Acid Score	Aminosäure-Score
BW	Biologische Wertigkeit	Biological Value
DNA	Deoxyribonucleic Acid	Desoxyribonukleinsäure
EPG	Erbsenproteingruppe	
FAK	Focal Adhesion Kinase	Nicht-rezeptorgebundene Tyrosinkinase
LEUG	Leucingruppe	
MDPG	Maltodextrin-Placebogruppe	
MPB	Muscle Protein Breakdown	Muskel Protein Abbau
N	Nitrogen	Stickstoff
MPS	Muskel Protein Synthesis	Muskel Protein Synthese
NPB	Netto-Proteinbilanz	
PDCAAS	Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score	Proteinverdaulichkeits-korrigierter Aminosäurewert
PLAG	Placebogruppe	
RCT	Randomized Controlled Trial	Randomisierte kontrollierte Studie
RM	Repetition Maximum	
RNA	Ribonucleic Acid	Ribonukleinsäure
RoB	Risk of Bias	Fehlergefahr
SPCG	Sojaprotein-Konzentratgruppe	Sojaprotein-Konzentratgruppe
SPG	Sojaproteingruppe	Sojaproteingruppe
TSC2	Tuberous Sclerosis Complex 2	Tuberöse Sklerose Komplex 2
VGL	Vergleich(e)	
WPCG	Whey-Protein-Konzentratgruppe	
WPG	Whey-Proteingruppe	
WPHG	Whey-Hydrolysatgruppe	

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
N_auf, T	Aufgenommener Stickstoff von Test-Nahrungseiweiß
N_fäk, T	Fäkal ausgeschiedener Stickstoff von Test-Nahrungseiweiß
N_fäk, R	Fäkal ausgeschiedener Stickstoff von Referenz-Diät ohne Eiweiß
N_uri, T	Urinal ausgeschiedener Stickstoff von Test-Nahrungseiweiß
N_uri, R	Urinal ausgeschiedener Stickstoff von Referenz-Diät ohne Eiweiß
PICO	Population, Intervention, Comparison, Outcome

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung Skelettmuskulatur (modifiziert nach Lauer).....	13
Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung Muskelfasern (modifiziert nach Laurer) .....	13
Abbildung 3: Schematische Darstellung Sarkomer (modifiziert nach Antwerpes et. al. 2024) .....	14
Abbildung 4: Darstellung der Trefferzahlen im Suchverlauf zwei (eigene Darstellung) ....	24

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Funktion und Referenzmenge der essenziellen Aminosäuren, Tabelle 1, modifiziert nach Wu (2009) (Referenz: mg/Tag für einen 70 kg Erwachsenen) .....	9
Tabelle 2: Funktion und Referenzmenge der essenziellen Aminosäuren, Tabelle 2, modifiziert nach Wu (2009) (Referenz: mg/Tag für einen 70 kg Erwachsenen) .....	10
Tabelle 3: Biologische Wertigkeit (BW) einiger Lebensmittel (Gerdes, Sharon, überarbeitet von Kenney, Audrey, U. S. Whey ingredients and weight management, U. S. Dairy Export Council, 2003, S. 2). .....	11
Tabelle 4: Übersicht tierische- und pflanzliche Proteinquellen (eigene Darstellung) .....	12
Tabelle 5: Aufgabe und Funktion der im Sarkomer beteiligten Proteine (modifiziert nach Binder, Hirokawa & Windhorst, 2024).....	17
Tabelle 6: Datenbank und Filtereinstellungen (eigene Darstellung) .....	21
Tabelle 7: „RoB-Tool“ Bias Definition, Tabelle 1(eigene Darstellung) .....	27
Tabelle 8: „RoB-Tool“ Bias Definition, Tabelle 2 (eigene Darstellung) .....	27
Tabelle 9: RoB-Bewertung der eingeschlossenen Studien (1) (eigene Darstellung) .....	29
Tabelle 10: RoB-Bewertung der eingeschlossenen Studien (2) (eigene Darstellung).....	30
Tabelle 11: RoB-Bewertung der eingeschlossenen Studien (3) (eigene Darstellung).....	31
Tabelle 12: Ergebnisdarstellung der RoB-Werte (eigene Darstellung) .....	32
Tabelle 13: RoB-Bewertung der eingeschlossenen Studien durch Querverweise (eigene Darstellung) .....	33
Tabelle 14: Ergebnisdarstellung der RoB-Werte eingeschlossener Querverweise (eigene Darstellung) .....	34
Tabelle 15: Auflistung der verbleibenden Studien (eigene Darstellung).....	35
Tabelle 16: Informationen zur Studie, Tabelle 1 (eigene Darstellung) .....	37
Tabelle 17: Informationen zur Studie, Tabelle 2 (eigene Darstellung) .....	38
Tabelle 18: Informationen zur Population (eigene Darstellung) .....	39
Tabelle 19: Informationen zur Intervention, Tabelle 1 (eigene Darstellung) .....	40
Tabelle 20: Informationen zur Intervention, Tabelle 2 (eigene Darstellung) .....	41
Tabelle 21: Informationen zur Intervention, Tabelle 3 (eigene Darstellung) .....	42
Tabelle 22: Informationen zur Intervention, Tabelle 4 (eigene Darstellung) .....	43

# 1 Einleitung und Problemstellung

Die Aktualität und Relevanz des Themas werden durch verschiedene gesellschaftliche Entwicklungen und Trends untermauert. Der zunehmende Gesundheitsdrang (gbe-bund.de, 2024) der Bevölkerung ist eine bedeutende Triebkraft, die die Nachfrage nach effektiven Strategien zur Förderung von Fitness und Muskelgesundheit sowie einer zielgerichteten Ernährung erhöht.

In einer Zeit, in der ein sitzender Lebensstil und wenig Bewegung im Alltag zu einem erhöhten Risiko von Muskelabbau und damit verbundenen Gesundheitsproblemen führen können (DAK, 2024), ist es von großer Bedeutung, wirksame Maßnahmen zur Muskelstärkung und -erhaltung zu identifizieren. Zudem spielt der demographische Wandel eine Rolle, da die Bevölkerung in vielen Ländern altert (Eurostat, 2024). Altersbedingte Sarkopenie gewinnt zunehmend an Bedeutung und wird zu einem immer wichtigeren Gesundheitsthema (Bloom, I., Shand, C., Cooper, C., Robinson, S., Baird, J. 2018).

Die Zahl der sich als Veganer einzuordnen Personen oder jene, die weitgehend auf tierische Produkte verzichten, ist seit 2015 um mehr als 85% gestiegen (IfD Allensbach, 2023). Die zunehmende Nachfrage nach Proteinsupplementen, die laut Markets and Markets (2024) in den kommenden Jahren weitere Steigerungen erfahren soll, spiegelt das wachsende Gesundheitsbewusstsein und den Drang nach effektiven Maßnahmen zur Förderung der Muskelgesundheit wider. Vor dem Hintergrund der steigenden Zahl an Menschen, die auf tierische Produkte verzichten und sich vegan ernähren, stellt sich die Frage, ob pflanzliche und tierische Proteinsupplemente gleichermaßen zur Muskelstärkung beitragen können. Angesichts dieser Entwicklungen ist es von entscheidender Bedeutung, das Verständnis für die Rolle von Proteinpräparaten, insbesondere pflanzlicher und tierischer Proteine, im Muskelaufbau zu vertiefen.

Diese Arbeit vergleicht tierische und pflanzliche Proteinquellen anhand von wissenschaftlichen Primärstudien, die die Effekte der jeweiligen Proteinart auf Muskelaufbau und Muskelkraftsteigerung analysieren. Dabei wird dargestellt, welche Ergebnisse die einzelnen Studien im Hinblick auf die Wirksamkeit der verschiedenen Proteine erzielen.

## 2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, im Rahmen eines systematischen Reviews die Wirkung tierischer und pflanzlicher Proteinquellen auf die Hypertrophie bei Erwachsenen zu vergleichen. Grundlage der Gegenüberstellung bildet eine systematische Literaturrecherche, durch die relevante wissenschaftliche Primärstudien identifiziert und ausgewählt wurden. Zunächst erfolgt eine detaillierte Darstellung der wesentlichen Einflussfaktoren der verschiedenen Proteinquellen auf die Hypertrophie. Dabei werden die spezifischen Auswirkungen tierischer und pflanzlicher Proteine auf die Proteinbiosynthese und ihre biologische Wertigkeit analysiert. Durch die Gegenüberstellung der Effekte beider Proteinquellen sollen Unterschiede und Gemeinsamkeiten in ihrer Wirksamkeit herausgearbeitet werden, wobei der größtmögliche Zuwachs der gemessenen Muskelmasse im Vordergrund steht. Da im Rahmen des gegenwärtigen Kenntnisstandes eine genaue Abgrenzung beider Proteinquellen stattfindet, wird an dieser Stelle auf die detaillierte Definition der entsprechenden Begriffe in der Zielsetzung verzichtet.

## 3 Gegenwärtiger Kenntnisstand

### 3.1 Proteine

#### 3.1.1 Definition Protein

Protein ist der vom schwedischen Chemiker Jacob Berzelius vorgeschlagene Begriff für stickstoffhaltige Verbindungen, die aus einer Kombination von 20 verschiedenen Aminosäuren bestehen und durch Peptidbindungen verknüpft sind (Lehninger, Nelson, & Cox, 2005).

#### 3.1.2 Essenzielle- und Nicht essenzielle Aminosäuren

Nicht alle 20 Aminosäuren sind essenziell für den menschlichen Körper. 11 der 20 Aminosäuren sind nicht essenziell was bedeutet, der Körper ist imstande diese selbst zu synthetisieren kann. Die restlichen neun Aminosäuren sind essenziell, da der Körper diese nicht selbst synthetisieren kann und daher über die Nahrung aufgenommen werden müssen. Tabelle 1 und Tabelle 2 stellen alle essenziellen Aminosäuren für dem erwachsen Menschen sowie dessen Funktion da:

<b>Aminosäure</b>	<b>Funktion</b>	<b>Referenzmenge</b>
<b>Leucin</b>	Aktiviert den mTOR-Signalweg zur Stimulierung der Muskelproteinsynthese	2730 mg
<b>Isoleucin</b>	Unterstützt die Energiebereitstellung und die Muskelregeneration sowie Hämoglobinsynthese und Blutzuckerregulation	1400 mg
<b>Valin</b>	Hilft bei der Muskelregeneration, der Energieversorgung und dem Stickstoffhaushalt	1820 mg
<b>Lysin</b>	Notwendig für Gewebewachstum und -reparatur, Kollagensynthese, Hormon- und Enzymproduktion	2100 mg
<b>Methionin</b>	Startet die Proteinsynthese, Vorstufe für Cystein und Glutathion	700 mg
<b>Phenylalanin</b>	Vorstufe für Tyrosin und Neurotransmitter, wirkt auch bei der Proteinsynthese mit	1750 mg

**Tabelle 1: Funktion und Referenzmenge der essenziellen Aminosäuren, Tabelle 1, modifiziert nach Wu (2009)** (Referenz: mg/Tag für einen 70 kg Erwachsenen)

<b>Aminosäure</b>	<b>Funktion</b>	<b>Referenzmenge</b>
<b>Threonin</b>	Bildung von Proteinen wie Kollagen und Elastin, unterstützt den Fettstoffwechsel und das Immunsystem	1050 mg
<b>Tryptophan</b>	Vorläufer von Serotonin, wichtig für Schlaf, Stimulation, Wachstum und Proteinsynthese	280 mg
<b>Histidin</b>	Notwendig für Gewebewachstum und -reparatur, Hämoglobinsynthese, Immunfunktion	700

**Tabelle 2: Funktion und Referenzmenge der essenziellen Aminosäuren, Tabelle 2, modifiziert nach Wu (2009) (Referenz: mg/Tag für einen 70 kg Erwachsenen)**

### 3.1.3 Differenzierungsmethode von Nahrungsproteinen

Die Wertigkeit von Nahrungsproteinen wird durch verschiedene Koeffizienten ausgedrückt. Zunächst wird der Aminosäure-Score (AAS) betrachtet, der den Gehalt jeder essenziellen Aminosäure in einem Nahrungsprotein mit einem Referenzprotein oder den empfohlenen Tagesdosen vergleicht. Der niedrigste AAS-Wert, der limitierenden Aminosäure, wird als limitierender Faktor betrachtet. Diese Methode gibt einen ersten Hinweis auf die Qualität eines Proteins, reicht zur Bewertung der tatsächlichen Verwertbarkeit jedoch nicht aus.

Der Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS), im deutschen auch als Aminosäureindex bezeichnet, berücksichtigt sowohl die Aminosäurezusammensetzung als auch die Verdaulichkeit des Proteins. Die Berechnung von Joye (2019) zeigt wie der PDCAAS berechnet wird. Als das Produkt aus dem AAS der limitierenden Aminosäure und der Proteinverdaulichkeit ergibt sich die Berechnungsformel:

$$\text{PDCAAS} = \frac{1 \text{ mg limitierende Aminosäure in 1 g Testprotein}}{1 \text{ mg derselben Aminosäure in 1 g Referenzprotein}} \times \text{fäkale wahre Verdaulichkeit}$$

Eine weitere, relevante Differenzierungsmethode für die Bestimmung der Wertigkeit von Nahrungsproteinen ist die biologische Wertigkeit (BW). Dieser Begriff wurde von Karl Thomas (1909) erstmals verwendet und von Harold Mitchell und Guy Stanton Carman (1924) zu unserem heutigen Verständnis von Biologischer Wertigkeit vervollständigt

(Henderickx, 1963). Die biologische Wertigkeit ist zentrales Maß zur Bewertung der Proteinqualität und gibt an, wie effizient ein Nahrungsprotein in körpereigenes Protein umgewandelt werden kann. Sie legten die Berechnungsmethode wie folgt fest:

$$\text{Biologische Wertigkeit} = \frac{N_{\text{auf,T}} - (N_{\text{fäk,T}} - N_{\text{fäk,R}}) - (N_{\text{uri,T}} - N_{\text{uri,R}})}{N_{\text{auf,T}} - (N_{\text{fäk,T}} - N_{\text{fäk,R}})} \times 100$$

Zum besseren Verständnis kann die nachfolgend dargestellte Formel genutzt werden

$$\text{Biologische Wertigkeit} = \frac{\text{retinierter N}}{\text{absorbierter N}} \times 100$$

Somit ergibt die von Mitchell und Carman Berechnungsmethode das Verhältnis aus retiniertem Stickstoff zu absorbiertem Stickstoff mal 100. Die Bewertung der Proteinqualität wird in Bilanzstudien ermittelt und ist in Tabelle 3 beispielhaft dargestellt:

Lebensmittel	Biol. Wertigkeit (BW)
Molkenprotein	104
Hühner-Volleiprotein	100
Kuhmilch	91
Rindfleisch	80
Casein	77
Sojaprotein	61

**Tabelle 3: Biologische Wertigkeit (BW) einiger Lebensmittel** (Gerdes, Sharon, überarbeitet von Kenney, Audrey, U. S. Whey ingredients and weight management, U. S. Dairy Export Council, 2003, S. 2).

Zusammenfassend ist zu erkennen, dass sowohl die BW als auch der PDCAAS relevante Methoden zur Bewertung der Proteinqualität sind. Während die BW misst, wie effizient der Körper das aufgenommene Protein in körpereigenes Protein umwandeln kann stellt der PDCAAS zusätzlich zur Aminosäurezusammensetzung auch die Verdaulichkeit des Proteins dar.

### 3.1.4 Unterschied von tierischen- und pflanzlichen Proteinquellen

Ziel des Abschnitts ist es die Unterschiede von tierischen- und pflanzlichen Proteinquellen herauszuarbeiten. In Tabelle 4 werden die tierischen und pflanzlichen Proteinquellen übersichtlich dargestellt, um einen ersten Vergleich der verschiedenen Quellen zu bieten.

Aspekt	Tierische Proteine	Pflanzliche Proteine
<b>Aminosäureprofil</b>	Vollständiges Aminosäureprofil	Oft unvollständig Aminosäureprofil
<b>Verdaulichkeit</b>	Höher, oft über 90%	Variabel, oft 60-80%, beeinflusst durch Ballaststoffe und Antinährstoffe
<b>Bioverfügbarkeit</b>	Hoch	Beeinträchtigt
<b>Begleitstoffe</b>	Cholesterin, gesättigte Fette	Reich an Ballaststoffen, Vitaminen, Mineralstoffen, Antinährstoffen
<b>Mikronährstoffe</b>	Reich an Vitamin B12, Häm-Eisen, Vitamin D, Omega-3 (EPA, DHA), Zink, Calcium	Reich sekundären Pflanzenstoffen ungesättigten Fettsäuren
<b>Stoffwechsel und Sättigung</b>	Stärkerer anaboler Effekt durch höhere Leucin-Konzentration, stärkere Sättigung	Verlängerte Sättigung durch Ballaststoffe, geringerer anaboler Effekt
<b>Hormonelle Auswirkungen</b>	Starker Einfluss auf Insulin- und IGF-1-Spiegel	Geringer Einfluss auf Insulin- und IGF-1-Spiegel
<b>PDCAAS</b>	Höher	Niedriger

**Tabelle 4: Übersicht tierische- und pflanzliche Proteinquellen** (eigene Darstellung)

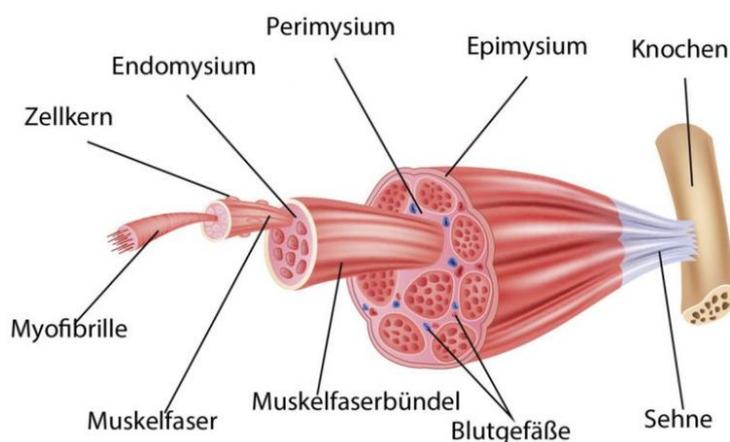
Tierische Proteine enthalten alle essenziellen Aminosäuren in ausreichender Menge und haben im Allgemeinen eine höhere Verdaulichkeit und Bioverfügbarkeit (Boland, Phongthai, Bagiyal, Singh, & Kaur, 2024). Sie sind leicht verdaulich, wobei die Verdaulichkeitswerte oft über 90% liegen. Das Mikronährstoffprofil tierischer Proteinquellen ist reich an essenziellen Nährstoffen wie Vitamin B12, Häm-Eisen, Vitamin D, Omega-3-Fettsäuren Eicosa-pentaensäure (EPA) und Docosahexaensäure (DHA), Zink und Calcium (Ferrari, Panaite, Bertazzo, Visioli, 2022). In der Regel haben tierische Proteine einen stärkeren anabolen Effekt durch höhere Leucin-Konzentrationen, wodurch die Muskelproteinsynthese und Sättigung stärker gefördert wird. Auch der Insulin- und der Insulin-like Growth Factor 1 (IGF-1)-Spiegel werden stärker beeinflusst, was die Proteinsynthese anregt und potenziell zu einem stärkeren Wachstum sowie besserer Regeneration führt. Der PDCAAS ist bei tierischen Proteinen höher, was auf eine bessere Verwertung durch den Körper hinweist (Joye, 2019).

Pflanzliche Proteine sind in Bezug auf das Aminosäureprofil variabel und oft unvollständig, was bedeutet, dass sie nicht alle essenziellen Aminosäuren in ausreichender Menge enthalten (Boland, et. al., 2024). Ihre Verdaulichkeit liegt meist zwischen 60-80% und wird durch Ballaststoffe und Antinährstoffe wie Phytinsäure und Tannine beeinträchtigt (Graf, & Eaton, 1990). Diese Antinährstoffe können die Bioverfügbarkeit von Mineralstoffen wie Eisen, Zink, Magnesium und Calcium verringern. Pflanzliche Proteine enthalten weniger gesättigte Fettsäuren und mehr ungesättigte Fettsäuren als tierische Proteinquellen (Ferrari, et. al.,

2022). Pflanzliche Proteine bieten eine verlängerte Sättigung durch ihren hohen Ballaststoffgehalt und haben einen geringeren Einfluss auf den Insulin- und IGF-1-Spiegel (Boland, et al., 2024).

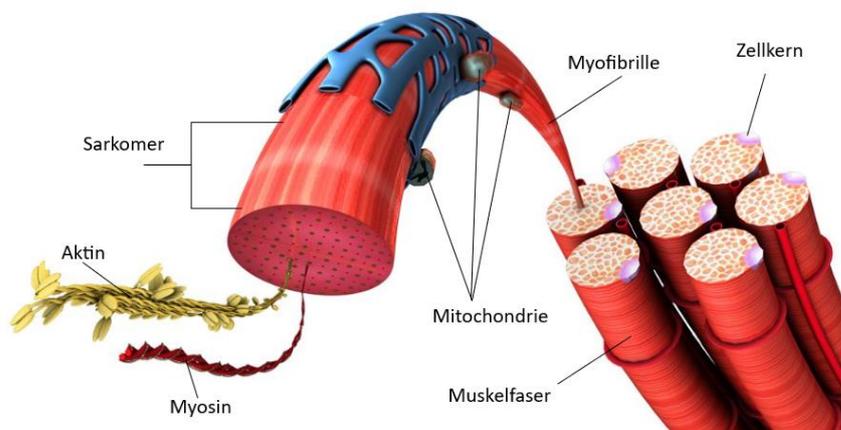
### 3.1.5 Muskelproteinsynthese

Um die Muskelproteinsynthese zu verstehen muss verstanden werden, wo diese stattfindet. Abbildung 1 veranschaulicht den komplexen und strukturellen Aufbau verschiedener Ebenen und Komponenten der quergestreiften Skelettmuskulatur.



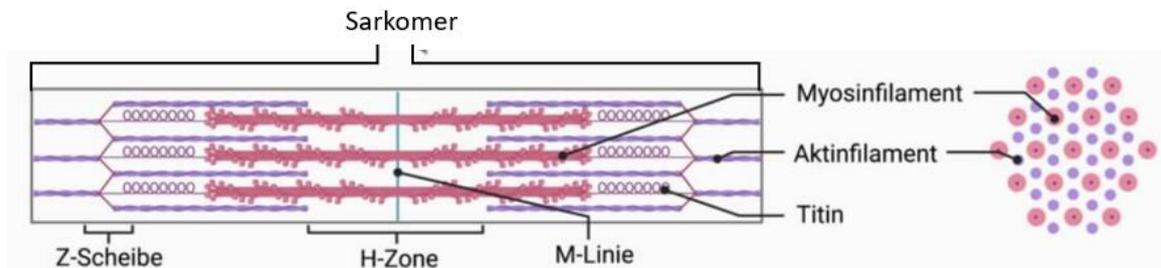
**Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung Skelettmuskulatur** (modifiziert nach Lauer)

Der Sehnenansatz, der aus dichtem Bindegewebe besteht, dient der Kraftübertragung. Er verbindet die komplexe Skelettmuskulatur mit dem Knochen. Die Sehnen verlaufen in das Epimysium eine schützende Bindegewebsschicht, die den gesamten Muskel umhüllt (Heeransh, Micah, Matthew, 2023). Unter dem Epimysium umgibt das Perimysium die Muskelfaserbündel. Innerhalb jedes Muskelfaserbündels befindet sich das Endomysium, eine dünne Schicht aus Bindegewebe, die jede einzelne Muskelfaser umgibt (Calik, 2023).



**Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung Muskelfasern** (modifiziert nach Laurer)

Abbildung 2 zeigt die Muskelfasern selbst. Es handelt sich um lange, zylindrische Zellen mit mehreren Zellkernen. Innerhalb dieser Muskelfasern befinden sich Myofibrillen, die kontraktile Elemente der Zelle. Myofibrillen bestehen aus seriell und parallel angeordneten Einheiten, den Sarkomeren, die aus den Proteinen Aktin und Myosin zusammengesetzt sind (Calik, M., 2023).



**Abbildung 3: Schematische Darstellung Sarkomer** (modifiziert nach Antwerpes et. al. 2024)

Aktin bildet die dünnen Filamente im Sarkomer und ist essenziell für die Muskelkontraktion (Heeransh, et. al., 2023). Myosin hingegen bildet die dicken Filamente.

Titin verläuft von der Z-Scheibe zur M-Linie und stabilisiert die Myosinfilamente. Dieser strukturelle Aufbau geht aus der Abbildung 3 hervor.

Neun Schlüsselproteine sind an der Hypertrophie beteiligt. Myosin und Aktin sind zentrale Filamentproteine, die die Muskelkontraktion ermöglichen, indem sie aneinander hergleiten. Tropomyosin und Troponin regulieren diese Kontraktion durch die Steuerung der Bindung zwischen Myosin und Aktin. Sie befinden sich entlang der Aktinfilamente und verhindern im Ruhezustand die Bindung von Myosin an Aktin. Durch das Blockieren dieser Bindungsstellen werden Kontraktionen im Ruhezustand verhindert (Cali, 2023). Titin und Nebulin stabilisieren die Struktur der Muskelfasern. Desmin vernetzt Myofibrillen und sorgt für die strukturelle Integrität, während Dystrophin die Muskelmembran stabilisiert. Die Synthese dieser Proteine wird während der Hypertrophie erhöht, um Muskelmasse und Kraft zu steigern (Marston, Zamora, 2020).

### 3.1.5.1 Mediatoren der muskelaufbauenden Prozesse

Wichtig für die Aktivierung der Muskelproteinsynthese ist die entsprechende Nährstoffverfügbarkeit. Eines der wichtigsten Faktoren für die Muskelproteinsynthese stellt dabei die Leucinschwelle dar (Katsanos, Kobayashi, Sheffield-Moore, Aarsland & Wolfe, 2006). Das ist die minimale Menge an Leucin, die erforderlich ist, um die Muskelproteinsynthese zu stimulieren. Dabei spielt es eine entscheidende Rolle in der Regulation der Muskelproteinsynthese durch die Aktivierung des mTOR-Signalwegs (mTOR: mechanistic Target of Ra-

pamycin). Der mTOR-Signalweg ist ein zentraler Regulator des Zellwachstums und der Proteinsynthese. Ohne ausreichendes Leucin wird der mTOR-Signalweg nicht vollständig aktiviert. Die Aminosäure aktiviert mTOR, indem es bestimmte Proteinverbindungen beeinflusst, die mTOR zur Zellmembran transportieren, wo es aktiviert wird (Norton, & Layman, 2006 und Tipton & Wolfe, 2001). Für die Aktivierung der Muskelproteinsynthese spielt neben der Leucinschwelle auch eine umfassende Nährstoffverfügbarkeit eine zentrale Rolle, da sie den mTOR-Signalweg aktiviert und die Proteinsynthese unterstützt (Katsanos et al., 2006; Tipton & Wolfe, 2001). Mechanische Spannungen, wie sie durch Widerstandstraining entstehen, fördern zusätzlich die Hypertrophie, indem sie signalgebende Mechanismen in den Muskelfasern auslösen (Hoppeler & Flück, 2002; Bodine & Baehr, 2014). Ein weiterer bedeutender Faktor ist der metabolische Stress, der durch intensive Trainingseinheiten erzeugt wird und zur Freisetzung anaboler Hormone wie IGF-1 beiträgt (Schoenfeld, 2013; Kraemer & Ratamess, 2005). Auch die gezielte Ernährung, insbesondere eine proteinreiche Zufuhr von Aminosäuren, unterstützt diese Prozesse durch die direkte Aktivierung des mTOR-Signalwegs (Kimball & Jefferson, 2006; Hernandez et al., 2012).

Eine vertiefte Darstellung dieser muskelaufbauenden Mechanismen erfolgt Absatz 3.2.2.

### **3.1.5.2 Genexpression, Transkription und Translation**

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Genen, die konstant exprimiert werden, um die grundlegenden Zellfunktionen aufrechtzuerhalten, und spezialisierten Genen wie Aktin und Myosin, dessen Synthese je nach Bedarf aktiviert wird (Alberts Johnson Lewis, Raff, Roberts & Walter, 2014). Das Genom enthält die DNA-Sequenzen, die für die Produktion von beispielsweise Aktin oder Myosin relevant sind. Transkriptionsfaktoren, Proteinverbindungen an den Promotoren der DNA, initiieren nun den Transkriptionsprozess. (Braun & Gautel, 2011).

Die Transkription setzt sich aus der RNA-Polymerase und der Vorbereitung der Translation zusammen. Dabei werden während der RNA-Polymerase Enzyme synthetisiert und eine mRNA-Kopie der DNA, erstellt (Lodish, Berk, Kaiser, Krieger, Bretscher, Ploegh, Mutsaers, 2016). Das gewonnene Primärtranskript wird modifiziert und für die Translation vorbereitet. Begriffsnah findet während der Translation eine Übersetzung durch Ribosomen statt. Diese zellulären Strukturen lesen die mRNA (Messenger-RNA) ab und verknüpfen die Aminosäuren zu Polypeptidketten (Kapp & Lorsch, 2004). Ein entscheidender Regulator der Proteinbiosynthese in Muskeln ist mTOR, der durch mechanische Signale und Nährstoffver-

füßbarkeit aktiviert wird und die Translation von Muskelproteinen fördert (Laplante & Sabatini, 2012). Anschließend werden die neu gebildeten Polypeptide gefaltet und modifiziert, wodurch funktionsfähige Proteine entstehen. Diese Faltungsprozesse sind entscheidend, damit Proteine wie Aktin ihre Aufgabe in der Muskelkontraktion und Zellstruktur wahrnehmen können (Braun & Gautel, 2011). Die Muskelproteinsynthese ist essenziell für den Wachstum und die Reparatur von Muskelgewebe.

### 3.1.5.3 Aufgabe und Funktion der wichtigsten Muskelproteine

Die Synthese dieser Muskelproteine wird durch die Transkription der entsprechenden Protein-Gene und der Translation in den Ribosomen katalysiert. Hierzu werden acht essenziellen Aminosäuren benötigt (Binder, et. al., 2024). Jedes der in Tabelle 5 dargestellte Protein übernimmt eine spezifische Aufgabe bei der Synthese.

	<b>Funktion</b>	<b>Aufgabe</b>
<b>Aktin</b>	Bildet die dünnen Filamente im Sarkomer und ist essenziell für die Muskelkontraktion.	Dient als Schiene, entlang derer Myosinfilamente gleiten, was zur Verkürzung des Sarkomers führt.
<b>Myosin</b>	Bildet die dicken Filamente im Sarkomer und ist verantwortlich für die Kraftentwicklung während der Muskelkontraktion.	Bindet und verschiebt Aktinfilamente durch ATP-Hydrolyse, was zur Kontraktion des Muskels führt.
<b>Titin</b>	Verläuft von der Z-Scheibe zur M-Linie und stabilisiert die Myosinfilamente. Sorgt für die passive Elastizität des Muskels.	Fungiert als molekulare Feder, die die Spannung im Sarkomer reguliert und die Rückkehr zur Ruheposition nach der Kontraktion unterstützt.
<b>Nebulin</b>	Wirkt als molekulares Lineal entlang der Aktinfilamente und reguliert deren Länge.	Stellt sicher, dass die Aktinfilamente eine einheitliche Länge haben, was für die strukturelle Integrität und optimale Kontraktionsfähigkeit des Sarkomers wichtig ist.

<b>Tropomyosin</b>	Wickelt sich um die Aktinfilamente und blockiert die Myosin-Bindungsstellen.	Verhindert die Bindung von Myosin an Aktin während der Muskelentspannung; wird bei der Kontraktion durch Calciumionen und Troponin aus dem Weg geräumt.
<b>Troponin</b>	Komplex aus drei Untereinheiten, der an Tropomyosin und Aktin bindet und die Muskelkontraktion reguliert.	Regelt die Position von Tropomyosin und ermöglicht die Bindung von Myosin an Aktin in Anwesenheit von Calciumionen.

**Tabelle 5: Aufgabe und Funktion der im Sarkomer beteiligten Proteine** (modifiziert nach Binder, Hirokawa & Windhorst, 2024)

Die Synthese und Akkumulation von Aktin und Myosin in den Muskelzellen wird durch mechanische Belastung und entsprechende Signale wie die Aktivierung des mTOR-Signalwegs gefördert, was letztlich zu einer Vergrößerung der Muskelfasern führt (Goodman, 2010; Baar, 2006). Diese Prozesse tragen zur Zunahme des Muskelquerschnitts und damit zur Hypertrophie bei.

### 3.2 Hypertrophie

Der Begriff „Hypertrophie“ kommt aus dem griechischen und setzt sich aus den Wörtern „hyper“ - „über“ und „trophé“ - „Ernährung“ zusammen. Frei übersetzt: „Überernährung“. Schon Goldberg, Etlinger, Goldspink & Jablecki, S. 185–198, 1975) und McGlory, C., Devries & Phillips, 2017), führten die Muskelhypertrophie größtenteils auf die Plastizität des Skelettmuskelgewebes als Reaktion auf eine übermäßige Ernährung zurück.

Die genaue Definition der Muskelhypertrophie ist bis heute in wissenschaftliche Gemeinschaften diskutiert (Damas et al., 2015; Figueiredo, 2019; Haun, Vann, Roberts, Vigotsky, Schoenfeld, & Roberts, 2019; Joannis, Lim, McKendry, Mcleod, Stokes, Phillips, 2020.). Im Rahmen dieser Arbeit, wird die Muskelhypertrophie bei Menschen als die Zunahme der Skelettmuskelmasse und des Muskelquerschnitts auf der Ebene des gesamten Gewebes und der Zellen definiert (Haun et al., 2019; Joannis et al., 2020). Dies bezieht sich gezielt auf die Zunahme der kontraktilen Proteine Aktin und Myosin. Als Hauptbestandteile der Myofibrillen in den Muskelzellen führt ein Überschuss dieser Proteine zur Proliferation und Hypertrophie der Sarkomere (Schoenfeld, 2010)

Während sich die Muskelhypertrophie auf die Steigerung des Querschnitts der Muskelfasern bezieht, wird die Zunahme der Muskelmasse durch die Vermehrung der Anzahl der Muskelfasern als Muskelhyperplasie bezeichnet (Kumar, Abbas, & Aster, S. 34-36, 2014).

### **3.2.1 Net Muscle Protein Balance - Nettomuskelproteinbilanz (nmpb)**

Die Skelettmuskelmasse wird hauptsächlich durch die sogenannte Nettoproteinbilanz reguliert, das ist das Gleichgewicht zwischen den Raten der Muskelproteinsynthese (MPS) und dem Muskelproteinabbau (Muscle-Protein-Breakdown, MPB). Die Nettomuskelproteinbilanz ergibt sich folglich aus der Differenz von Muskelproteinsynthese und -degradation (Tipton & Phillips, (2013). Perioden positiver NMPB müssen über einen längeren Zeitraum und mit größerer Intensität als negative Perioden sein, damit Muskelwachstum stattfinden kann. Insbesondere Veränderungen im Gleichgewicht der myofibrillären Proteine sind verantwortlich für Veränderungen der Muskelmasse.

Dieser ständige Umsatz von Proteinen im Körper ist essenziell, um die Ansammlung beschädigter Proteine zu verhindern, Zellfunktionsstörungen vorzubeugen und die Proteostase aufrechtzuerhalten. Üblicherweise wird Muskelanabolismus als Ergebnis einer erhöhten Muskelproteinsyntheserate betrachtet. Allerdings kann dieser auch durch eine Unterdrückung des Muskelproteinabbaus durch gezielte Proteinzufuhr angesehen werden (Millward, Garlick, Nnanyelugo, et al., 1976).

### **3.2.2 Hypertrophie auslösende Faktoren**

Widerstandstraining spielt eine bedeutende Rolle bei der Stimulation der MPS. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass eine akute Phase von Widerstandstraining die Muskelproteinsyntheserate steigert (Wohlann, Warneke, Kalder, Behm, Schmidt, Schiemann, 2024). Dieser Effekt kann bis zu 24 Stunden nach dem Training anhalten (Phillips, Tipton, Aarsland, et al., 1997). Unterstützend dazu berichten Borgenvik, Apró & Blomstrand (2012) von einer erhöhten mRNA-Expression.

Die mechanische Muskelspannung ist einer der Hauptauslöser für Muskelhypertrophie und spielt eine entscheidende Rolle bei der Stimulation der MPS. Die mechanische Spannung führt zu einer Extension und Kontraktion der Muskelfasern, was wiederum mechanosensitive Signalwege aktiviert. Proteine an der Zellmembran, wie Integrine und FAK (Focal Adhesion Kinase) leiten mechanische Signale ins Zellinnere (Hoppeler & Flück, 2002). Im inneren der Zelle aktivieren sie den PI3K/Akt-Signalweg. Dies sind wichtige Regulatoren des Zellwachstums und der Zellüberlebenswege (Sandri, 2008). Durch die Phosphorylierung wird TSC2 (Tuberous Sclerosis Complex 2) aktiviert, wodurch die Synthesehemmung von

mTOR aufgehoben wird. Dies führt zur Aktivierung von mTORC1 (mTOR Complex 1), dem aktiven Komplex, der für die Stimulation der Proteinsynthese verantwortlich ist (Bodine & Baehr, 2014). Wie in 3.1.5.1 beschrieben stimuliert eine Aktivierung des mTOR-Signalwegs die Translation, was zu einer erhöhten MPS führt (Bodine & Baehr, 2014).

Neben der mechanischen Muskelspannung trägt auch der metabolische Stress signifikant zur Muskelhypertrophie bei. Metabolischer Stress entsteht durch die Akkumulation von Metaboliten wie Laktat, anorganischem Phosphat und Wasserstoffionen während intensiver Trainingseinheiten. Insbesondere bei anaeroben Übungen, kommt es zu einer verstärkten Glykolyse, die zur Produktion von Laktat führt. Laktat und andere Metaboliten wie anorganisches Phosphat und Wasserstoffionen (H<sup>+</sup>) häufen sich im Muskelgewebe an und verursachen metabolischen Stress (Schoenfeld, 2013). Der entstandene metabolische Stress kann die Freisetzung von anabolen Hormonen wie Insulin und IGF-1 erhöhen, was die MPS fördert (Kraemer & Ratamess, 2005). Darüber hinaus wird die Aktivierung intrazellulärer Signalwege, darunter der mTOR-Signalweg, stimuliert.

Nicht nur das Training, sondern auch die Ernährung beeinflusst die MPB-Raten. Studien von Carbon, Pasiakos, Vislocky, et al. (2014) haben eine Erhöhung der MPB-Raten als Reaktion auf Energieeinschränkung gezeigt. Während Hector, McGlory, Damas, et al. (2018) keine signifikanten Veränderungen in ihren Studien nachwies. Theoretisch könnten Ernährungsstrategien, die durch Training verursachte MPB-Erhöhungen unterdrücken, zu einer positiveren Netto-Proteinbilanz (NPB) beitragen und so den Aufbau von Muskelmasse als Reaktion auf Widerstandstraining erleichtern. Es wirken verschiedene ernährungsphysiologische Faktoren auf die MPS. Hauptsächlich werden direkt mTORC1-Komplexe aktiviert. In erster Instanz bindet Leucin durch eine angemessene Proteineinnahme an spezifische Rezeptoren in der Zelle und aktiviert direkt den mTORC1-Komplex. Dies fördert wiederum die Translation bestimmter mRNAs, die für das Muskelwachstum entscheidend sind (Kimball & Jefferson, 2006).

Der mTOR-Signalweg kann auch durch Insulin in einer proteinreichen Lösung stimuliert werden. Dabei wird die Aufnahme von Aminosäuren in die Muskelzellen gefördert und der mTOR-Signalweg aktiviert (Hernandez, Fedele, & Farrell, 2012).

Zuletzt ist eine gute Nährstoffverfügbarkeit essenziell da ausreichend Aminosäuren für die Proteinsynthese vorhanden sein müssen, um die durch das Training induzierten Muskelschäden zu reparieren und neues Muskelgewebe aufzubauen (Tipton & Wolfe, 2001).

## 4 Methodik

### 4.1 Forschungsfrage

Um die Forschungsfrage zu formulieren, wurde das PICO-Schema angewandt. Das PICO-Schema beschreibt eine Vorgehensweise der evidenzbasierten Medizin, mit der Antworten auf konkrete therapeutische Fragestellungen erarbeitet werden. PICO selbst steht für:

(P): Population (Population),

(I): Intervention (Intervention),

(C): Comparison (Vergleich),

(O): Outcome (Ergebnis).

In der Forschungsfrage entspricht die Population den gesunden Erwachsenen im Alter von 18 bis 75 Jahren, die Intervention umfasst die Einnahme tierischer Proteinquellen, der Vergleich stellt die Vergleichbarkeit mit pflanzlichen Proteinquellen her, und das Ergebnis beschreibt die Wirkung dieser Proteinquellen auf die Muskelhypertrophie.

Es lässt sich folgende Forschungsfrage ableiten:

„Welche Auswirkungen haben tierische im Vergleich zu pflanzlichen Proteinquellen auf die Muskelhypertrophie bei gesunden Erwachsenen im Alter von 18 bis 75 Jahren?“

Durch die Spezifizierung der Zielgruppe auf gesunde Erwachsene im Alter von 18 bis 75 Jahren stellt die Frage sicher, dass die Ergebnisse auf eine relevante und homogene Population anwendbar sind. Der Vergleich zwischen tierischen und pflanzlichen Proteinquellen ermöglicht die Analyse der unterschiedlichen Einflüsse dieser Proteinquellen auf die Muskelhypertrophie

### 4.2 Suchstrategie

#### 4.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Nachfolgend sind die Einschlusskriterien, die für die Bearbeitung des systematischen Reviews verwendet wurden, erklärt und in Tabelle 6 dargestellt.

Um Sprachbarrieren zu vermeiden und die Qualität der Datenerhebung zu gewährleisten, werden nur Studien in englischer oder deutscher Sprache eingeschlossen. Englisch gilt als die dominierende Sprache der medizinischen Wissenschaft, wodurch die Mehrzahl der relevanten Studien berücksichtigt werden kann. Darüber hinaus, werden nur Studien berücksichtigt, die Teilnehmer im Altersbereich von 18 bis 75 Jahren einschließen. Dies ermöglicht es,

die Auswirkungen von verschiedenen Proteinquellen auf die Hypertrophie bei einer repräsentativen Bevölkerungsgruppe zu untersuchen.

Der in dieser Arbeit verwendete Suchfilter „Artikeltyp“ wird auf „RCT“ (Randomized Controlled Trial)“ und „CTs“ (Clinical Trials) festgelegt. Randomized Controlled Trials gelten als Goldstandard in der klinischen Forschung, da sie die höchste Evidenz für kausale Zusammenhänge bieten. Durch die zufällige Zuweisung von Teilnehmern zu Behandlungs- und Kontrollgruppen erhöhen RCTs die Wirksamkeit und Sicherheit von Interventionen. Zudem werden ausschließlich Humanstudien in die Bewertung mit aufgenommen. „Clinical Trials“, werden verwendet, da so direkt relevante, evidenzbasierte Studien mit hoher methodischer Qualität gefiltert werden.

Die Ausschlusskriterien umfassen Studienteilnehmer mit bestehenden Erkrankungen, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse spezifisch die Auswirkungen der Proteinquellen auf die Hypertrophie widerspiegeln. Erkrankungen könnten die Aussagekraft der Studie verfälschen.

Der voreingestellte Filter "Free Full Text" wurde nicht aktiviert, da PubMed auf externe Seiten verweist, auf denen die Studien im vollen Umfang verfügbar sind. Dadurch wird vermieden, dass relevante Studien im Vorfeld ausgeschlossen werden.

<b>Verwendete Datenbank</b>	
PubMed - National Library of Medicine	
<b>Filter für Studien</b>	
Artikeltyp	RCT (Randomized Controlled Trial) & Clinical Trials
Spezies	Human only

**Tabelle 6: Datenbank und Filtereinstellungen** (eigene Darstellung)

#### **4.2.2 Datenbanken und Suchmaschinen**

Die Suche dieser Arbeit stützt sich auf die Datenbank von PubMed - National Library of Medicine. Mit über 30 Millionen Quellen deckt PubMed ein breites Spektrum von Forschungsartikeln, klinischen Studien und Übersichtsarbeiten ab. Diese umfassende Abdeckung garantiert, dass verwendete Studien aktuell und relevant sind. Weitere Datenbanken werden ausgeschlossen, um Dubletten zu vermeiden und da angenommen werden kann, dass

hochwertige Studien ohnehin in PubMed indiziert sind. PubMed ist die größte biomedizinische Datenbank weltweit und wird kontinuierlich aktualisiert, wodurch gewährleistet wird, dass die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse verfügbar sind. Der strenge Peer-Review-Prozess in PubMed indiziert, dass die enthaltenen Studien von hoher wissenschaftlicher Qualität sind.

### 4.2.3 Suchbegriffe

Bei der Recherche werden Boolesche Operatoren angewandt, durch dessen Verwendung verschiedene Suchbegriffe miteinander verbunden, erweitert oder auszuschließen werden (Schultka, 2003). Es wurden AND-, OR- und NOT-Verknüpfungen angewandt.

Durch eine initiale Suche in PubMed wurden gezielt Synonyme identifiziert, die sich mit den Einflüssen tierischer und pflanzlicher Proteine auf die Hypertrophie befassen.

Für die Suche der tierische Proteinquellen, wurden die Begriffe „animal protein“, „whey protein“, „casein protein“, „meat protein“, „egg protein“, „milk protein“, „dairy protein“, „beef protein“, „chicken protein“ und „fish protein“ identifiziert.

Für die Suche der pflanzlicher Proteinquellen, werden die Begriffe „plant protein“, „dietary plant protein“, „vegetable protein“, „soy protein“, „pea protein“, „legume protein“, „rice protein“, „hemp protein“, „wheat protein“, „plant-based protein“, „vegetarian protein“ und „vegan protein“ gewählt.

Für die Suche der Hypertrophie, wurden die Begriffe „muscle hypertrophy“, „muscle growth“, „muscle mass“, „muscle development“, „muscle strength“, „muscle power“, „muscular hypertrophy“, „muscular growth“, „muscular mass“ und „muscle size“ verwendet, um alle relevanten Aspekte der Muskelhypertrophie zu erfassen.

Um ausschließlich Studien mit gesunden Probanden zu erfassen, werden für die Suche der gesunden Probanden, die Begriffe „healthy“, „healthy subjects“, „healthy adults“, „healthy individuals“ verwendet.

Die Kategorien tierischer und pflanzlicher Proteine, Hypertrophie und gesunder Probanden wurden durch den Operator "AND" verknüpft und durch Klammern katalogisiert. Tabelle 7 zeigt die Zusammenfassung des genutzten Suchbefehls.

#### 4.2.4 Suchbefehle

Es ergibt sich der Suchbefehl:

---

##### **Vollständiger Suchbefehl**

---

("animal protein" OR "dietary animal protein" OR "whey protein" OR "casein protein" OR "meat protein" OR "egg protein" OR "milk protein" OR "dairy protein" OR "beef protein" OR "chicken protein" OR "fish protein") AND ("plant protein" OR "dietary plant protein" OR "vegetable protein" OR "soy protein" OR "pea protein" OR "legume protein" OR "rice protein" OR "hemp protein" OR "wheat protein" OR "plant-based protein" OR "vegetarian protein" OR "vegan protein") AND ("muscle hypertrophy" OR "muscle growth" OR "muscle mass" OR "muscle development" OR "muscular hypertrophy" OR "muscular growth" OR "muscular mass" OR "muscle strength" OR "muscle power" OR "muscle size") AND ("healthy" OR "healthy subjects" OR "healthy adults" OR "healthy individuals")

**Tabelle 7: Suchbefehl** (eigene Darstellung)

## 4.3 Selektion

### 4.3.1 Darstellung der Trefferzahlen

Die Trefferzahlen der Suchen sind in Abbildung 4 dargestellt.

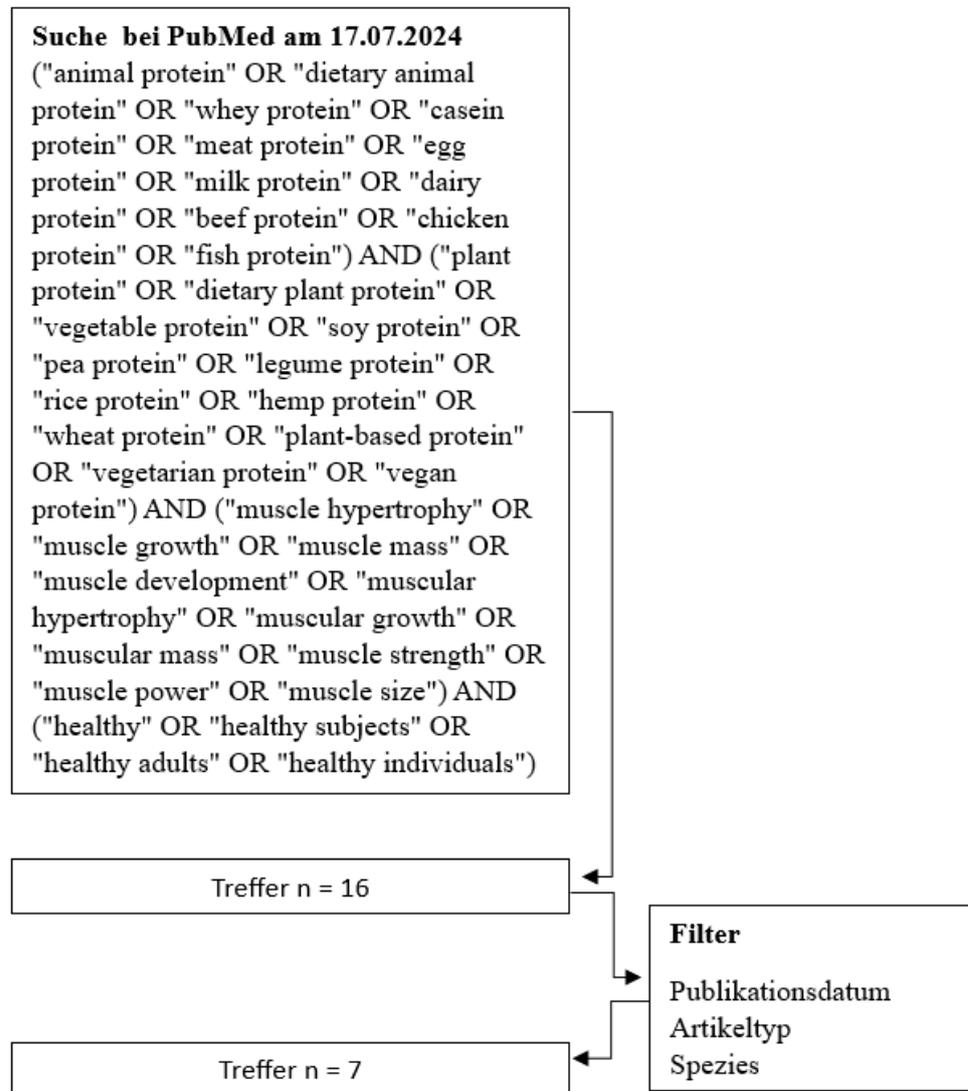


Abbildung 4: Darstellung der Trefferzahlen im Suchverlauf zwei (eigene Darstellung)

### 4.3.2 Selektionsstufe 1 – Titelprüfung

Die Titelprüfung stellt den ersten essenziellen Schritt im Selektionsprozess des systematischen Reviews dar. In dieser Phase werden die sieben identifizierten Studien anhand ihrer Titel einer ersten Evaluierung unterzogen. So wird eine adäquate Vorauswahl getroffen. Studien, die offensichtlich nicht den vorab definierten Inklusions- und Exklusionskriterien entsprechen werden so ausgeschlossen. Durch diese erste Selektionstufe wird die Anzahl der

Studien, die für die weiterführende Analyse in Betracht kommen, reduziert. Nach dieser initialen Titelprüfung verblieben sieben Studien, die potenziell relevant für die weitere Analyse sind.

### **4.3.3 Selektionsstufe 2 – Abstrakttextprüfung**

Nach der Titelprüfung erfolgt die Prüfung des Abstrakttextes (auch „Abstract“) der verbliebenen Studien. In dieser Selektionsstufe wird detaillierter geprüft, ob die Studien den festgelegten Inklusions- und Exklusionskriterien entsprechen. Abstracts bieten eine kompakte Zusammenfassung der Studienziele, Methoden und Ergebnisse, wodurch es möglich ist, unpassende Studien auszuschließen, die trotz eines passenden Titels nicht relevant für die Forschungsfrage sind. Eine Studie wurde aussortiert, da der Abstrakttext erkennen ließ, dass es sich um einen Vergleich zweier tierischer Proteinpräparate handelt und nicht auf den Vergleich von pflanzlichen und tierischen Proteinen abzielt. Nach der Abstrakttextprüfung verblieben sechs Studien.

### **4.3.4 Selektionsstufe 3 - Prüfung Volltextzugriff**

Die dritte Selektionsstufe überprüft, ob der Volltext der Studien verfügbar ist, da ohne Zugang zum vollständigen Text eine detaillierte Analyse nicht möglich ist. In dieser Stufe wurde eine Studie ausgeschlossen, da der Volltext nicht zugänglich war. Somit verbleiben fünf Studien für die weitere Betrachtung.

### **4.3.5 Selektionsstufe 4 - Eignungsprüfung Volltexte**

In der vierten Selektionsstufe erfolgt eine umfassende Eignungsprüfung der Volltexte der Studien, die nach den vorherigen Selektionsschritten übriggeblieben sind. Dieser Schritt stellt sicher, dass die Studien nicht nur oberflächlich, sondern auch inhaltlich und methodisch den vorab festgelegten Inklusions- und Exklusionskriterien entsprechen.

Es wird ebenfalls überprüft, ob die Studien eine ausreichende methodische Qualität aufweisen, alle notwendigen Daten liefern und ob ihre Ergebnisse und Schlussfolgerungen valide und zuverlässig sind. Studien, die diesen Anforderungen nicht genügen, werden ausgeschlossen, um die Integrität und Aussagekraft der finalen Analyse zu gewährleisten.

Dieser Schritt stellt sicher, dass nur die qualitativ hochwertigsten und relevantesten Studien in die endgültige Analyse einfließen.

Neben den inhaltlichen Ein- und Ausschlusskriterien (vgl.: Abschnitt 4.2.1) bildet eine unzureichende Qualität der Studien einen weiteren Ausschlussgrund. Die Qualität einer kon-

trollierten Studie wird von verschiedenen Dimensionen bestimmt, die von Design, Durchführung und Analyse bis zur klinischen Relevanz und Berichtsqualität reichen. Eine wesentliche Dimension ist die Validität von Studienergebnissen, die aufgrund von systematischen Fehlern (auch Bias genannt) eingeschränkt sein könnte (Buchberger, Elm, Gartlehner, Hupertz, Antes, Wasem, & Meerpohl, 2014).

Im Rahmen dieses systematischen Reviews wird das „Risk of Bias“ (RoB) Tool leicht modifiziert angewandt, entwickelt von der Cochrane Collaboration. Dieses standardisierte Instrument zur systematischen Bewertung des Biasrisikos in RCTs, untersucht sieben Hauptdomänen: Selection Bias (Auswahlverzerrung), Performance Bias (Leistungsverzerrung), Detection Bias (Erkennungsverzerrung), Attrition Bias (Ausfallverzerrung), Reporting Bias (Berichterstattungsverzerrung) und andere Biasquellen. Durch die strukturierte Analyse dieser Kategorien ermöglicht das RoB-Tool eine fundierte Einschätzung der internen Validität und der Qualität der Studienergebnisse (Higgins et al., 2011). Die Bewertung der Studienqualität wird anhand des RoB-Tools erläutert. Tabelle 8 und Tabelle 9 zeigen die Bewertungsmethode und die Punkteverteilung für jede Bias-Domäne:

<b>Bias</b>	<b>Bias-Definition</b>	<b>Wert</b>
<b>Selectionsbias</b>	<b>Niedriges Risiko:</b> Zufallssequenz klar beschrieben und korrekt angewendet.	1
	<b>Mittleres Risiko:</b> Zufallssequenz unklar beschrieben oder Details fehlen.	2
	<b>Hohes Risiko:</b> Zufallssequenz nicht beschrieben oder ungeeignet.	3
<b>Performance Bias</b>	<b>Niedriges Risiko:</b> Verblindung der Teilnehmer und des Personals vorhanden und umfassend.	1
	<b>Mittleres Risiko:</b> Verblindung teilweise vorhanden, aber nicht umfassend.	2
	<b>Hohes Risiko:</b> Keine oder unzureichende Verblindungsmaßnahmen beschrieben.	3
<b>Detection Bias</b>	<b>Niedriges Risiko:</b> Outcome-Assessoren geblindet.	1
	<b>Mittleres Risiko:</b> Verblindung der Outcome-Assessoren teilweise beschrieben oder es fehlen Details.	2
	<b>Hohes Risiko:</b> Keine oder unzureichende Verblindungsmaßnahmen für Outcome-Assessoren beschrieben.	3
<b>Attrition Bias</b>	<b>Niedriges Risiko:</b> Wenige oder keine fehlenden Daten, und diese sind angemessen berichtet.	1

<b>Mittleres Risiko:</b> Einige fehlende Daten, aber die Auswirkung auf die Ergebnisse ist angemessen berichtet und analysiert.	2
<b>Hohes Risiko:</b> Hohe Abbruchrate oder unzureichender Umgang mit fehlenden Daten, was die Ergebnisse beeinflussen könnte.	3

**Tabelle 8:** „RoB-Tool“ Bias Definition, Tabelle 1 (eigene Darstellung)

<b>Bias</b>	<b>Bias-Definition</b>	<b>Wert</b>
<b>Reporting Bias</b>	<b>Niedriges Risiko:</b> Alle vorgesehenen Endpunkte sind berichtet.	1
	<b>Mittleres Risiko:</b> Einige vorgesehene Endpunkte fehlen in der Berichterstattung.	2
	<b>Hohes Risiko:</b> Wichtige Endpunkte fehlen oder sind selektiv berichtet, was die Ergebnisse verzerren könnte.	3
<b>Andere Bias Quellen</b>	<b>Niedriges Risiko:</b> Potenzielle Einflussfaktoren sind gut kontrolliert.	1
	<b>Mittleres Risiko:</b> Einfluss von Co-Faktoren ist unklar kontrolliert oder teilweise beschrieben.	2
	<b>Hohes Risiko:</b> Einfluss von Co-Faktoren ist nicht kontrolliert oder unzureichend beschrieben.	3

**Tabelle 9:** „RoB-Tool“ Bias Definition, Tabelle 2 (eigene Darstellung)

Der Selektions-Bias beschreiben wesentliche Unterschiede in Patientencharakteristika, wie Alter oder Demografie, die zu Verzerrungen in den Studienergebnissen führen können. Für eine erfolgreiche Randomisierung sind drei Faktoren maßgeblich: eine ausreichend große Studienpopulation, die Wahl einer adäquaten Randomisierungsmethode und die Geheimhaltung des Randomisierungsschemas.

Ein Performance-Bias sind Unterschiede in der Behandlung der Probanden, die zusätzlich zur Intervention und den Rahmenbedingungen entstehen. Verschiedene Faktoren wie die Aufmerksamkeit und die Sorgfalt des Personals, die Häufigkeit der Beobachtungen und die Qualität der Betreuung fließen mit ein.

Der Detection-Bias entsteht, wenn bekannt ist, welcher Behandlungsgruppe ein Patient zugeordnet ist und dies die Ergebnismessung beeinflusst.

Ein Attrition-Bias entsteht durch den Studienabbruch einzelner Teilnehmer. Hohe Ausfallzahlen, sowie Unterschiede zwischen den Gruppen können, den Effekt einer Randomisierung aufheben. Andere Bias Quellen sind jene, die nicht durch die genannten Kategorien abgedeckt werden. Diese umfassen beispielsweise finanzielle Interessen oder methodische Schwächen der Studie.

Eingeschlossene Studien werden nach niedrigen-, mittlerem-, oder hohem Biasrisikos bewertet. Ausschließlich Studien mit einem durchschnittlichen Bias-Wert unter 2,0 werden als Valide betrachtet.

<b>Studie</b>	<b>Muscle strength gains during resistance exercise training are attenuated with soy compared with dairy or usual protein intake in older adults: A randomized controlled trial</b>					
	<b>Selectionsbias</b>	<b>Performance Bias</b>	<b>Detection Bias</b>	<b>Attrition Bias</b>	<b>Reporting Bias</b>	<b>Andere Biasquellen</b>
<b>Bewertung</b>	Mittel (2):	Mittel (2):	Gering (1):	Mittel (2):	Mittel (2):	Mittel (2):
<b>(Wert):</b>	Die Methodik zur Randomisierung ist entweder nicht vollständig transparent oder nicht umfassend beschrieben.	Verblindung ist nicht durchgängig oder nur für einige Teilnehmer und Personal durchgeführt.	Durchgängige und effektive Verblindung der Ergebnisbewerter. Ergebnisbewerter möglicherweise nicht maskiert.	Einige fehlende Daten, aber die Auswirkung auf die Ergebnisse ist angemessen berichtet und analysiert.	Nicht alle vorgesehenen Endpunkte wurden berichtet oder es gibt Hinweise auf selektive Ergebnisberichterstattung.	Mögliche nicht erfasste Verzerrungen durch Studiendesign oder -ausführung. Einfluss von Co-Faktoren (z.B. Ernährungsgewohnheiten) nicht vollständig kontrolliert.
<b>Begründung</b>						
<b>Studie</b>	<b>Efficacy of Pea Protein Supplementation in Combination with a Resistance Training Program on Muscle Performance in a Sedentary Adult Population: A Randomized, Comparator-Controlled, Parallel Clinical Trial</b>					
	<b>Selectionsbias</b>	<b>Performance Bias</b>	<b>Detection Bias</b>	<b>Attrition Bias</b>	<b>Reporting Bias</b>	<b>Andere Biasquellen</b>
<b>Bewertung</b>	Gering (1):	Gering (1):	Gering (1):	Gering (1):	Mittel (2):	Gering (1):
<b>(Wert):</b>	Randomisierung und Zuordnung sind klar und angemessen beschrieben.	Durchgängige und effektive Verblindung der Teilnehmer und des Personals.	Durchgängige und effektive Verblindung der Ergebnisbewerter.	Wenige oder keine fehlenden Daten, angemessen berichtet und analysiert.	Nicht alle Endpunkte wurden berichtet oder es gibt Hinweise auf selektive Berichterstattung.	Keine offensichtlichen zusätzlichen Verzerrungen identifiziert.
<b>Begründung</b>						

**Tabelle 10: RoB-Bewertung der eingeschlossenen Studien (1)** (eigene Darstellung)

<b>Studie</b>	<b>Protein Supplementation Has Minimal Effects on Muscle Adaptations during Resistance Exercise Training in Young Men: A Double-Blind Randomized Clinical Trial</b>					
	<b>Selectionsbias</b>	<b>Performance Bias</b>	<b>Detection Bias</b>	<b>Attrition Bias</b>	<b>Reporting Bias</b>	<b>Andere Biasquellen</b>
<b>Bewertung (Wert):</b>	Gering (1):	Gering (1):	Gering (1):	Mittel (2):	Gering (1):	Gering (1):
<b>Begründung</b>	Randomisierung und Zuordnung sind klar und angemessen beschrieben.	Durchgängige und effektive Verblindung der Teilnehmer und des Personals.	Durchgängige und effektive Verblindung der Ergebnisbeurter.	Einige fehlende Daten, aber die Auswirkung auf die Ergebnisse ist angemessen berichtet und analysiert.	Vollständige und transparente Berichterstattung aller vorgesehenen Endpunkte.	Keine offensichtlichen zusätzlichen Verzerrungen identifiziert.
<b>Studie</b>	<b>Ingestion of Wheat Protein Increases In Vivo Muscle Protein Synthesis Rates in Healthy Older Men in a Randomized Trial</b>					
	<b>Selectionsbias</b>	<b>Performance Bias</b>	<b>Detection Bias</b>	<b>Attrition Bias</b>	<b>Reporting Bias</b>	<b>Andere Biasquellen</b>
<b>Bewertung (Wert):</b>	Mittel (2):	Gering (1):	Gering (1):	Mittel (2):	Mittel (2):	Mittel (2):
<b>Begründung</b>	Die Methodik zur Randomisierung ist entweder nicht vollständig transparent oder nicht umfassend beschrieben.	Durchgängige und effektive Verblindung der Teilnehmer und des Personals.	Durchgängige und effektive Verblindung der Ergebnisbeurter.	Einige fehlende Daten, aber die Auswirkung auf die Ergebnisse ist angemessen berichtet und analysiert.	Nicht alle Endpunkte wurden berichtet oder es gibt Hinweise auf selektive Ergebnisberichterstattung.	Mögliche nicht erfasste Verzerrungen durch Studiendesign oder -ausführung. Einfluss von Co-Faktoren.

**Tabelle 11: RoB-Bewertung der eingeschlossenen Studien (2)** (eigene Darstellung)

<b>Studie</b>	<b>Neither Chia Flour nor Whey Protein Supplementation Further Improves Body Composition or Strength Gains after a Resistance Training Program in Young Subjects with a Habitual High Daily Protein Intake</b>					
	<b>Selectionsbias</b>	<b>Performance Bias</b>	<b>Detection Bias</b>	<b>Attrition Bias</b>	<b>Reporting Bias</b>	<b>Andere Biasquellen</b>
<b>Bewertung</b>	Mittel (2):	Mittel (2):	Mittel (2):	Mittel (2):	Mittel (2):	Gering (1):
<b>(Wert): Begründung</b>	Die Methodik zur Randomisierung ist entweder nicht vollständig transparent oder nicht umfassend beschrieben.	Verblindung ist nicht durchgängig oder nur für einige Teilnehmer und Personal durchgeführt.	Keine klaren Informationen zur Verblindung der Ergebnisbewerter oder nur teilweise Verblindung.	Einige fehlende Daten, aber die Auswirkungen auf die Ergebnisse ist angemessen berichtet und analysiert.	Nicht alle Endpunkte wurden berichtet oder es gibt Hinweise auf selektive Ergebnisberichterstattung.	Keine offensichtlichen zusätzlichen Verzerrungen identifiziert.

**Tabelle 12: RoB-Bewertung der eingeschlossenen Studien (3)** (eigene Darstellung)

Nach einer rigorosen Bewertung wurden alle aufgeführten Studien (siehe Tabelle 10, Tabelle 11, Tabelle 12) als methodisch solide und valide eingestuft, sodass sie im weiteren Verlauf der Analyse berücksichtigt werden. Die Bewertungen der Studien basieren auf ihrem jeweiligen RoB-Wert (vgl.: Abschnitt 4.3.5), der die methodische Qualität und das Risiko von Verzerrungen in den Ergebnissen widerspiegelt. Der Durchschnitt der einzelnen Bias ergibt den RoB-Wert (vgl.: Tabelle 10, Tabelle 13 und Tabelle 12). Insgesamt erfüllen alle eingeschlossenen Studien die notwendigen Qualitätsstandards, um relevante und zuverlässige Ergebnisse zu liefern.

<b>Studie / Autoren</b>	<b>RoB-Wert</b>
Muscle strength gains during resistance exercise training are attenuated with soy compared with dairy or usual protein intake in older adults: A randomized controlled trial (2016).	<b>1,83</b>
Efficacy of Pea Protein Supplementation in Combination with a Resistance Training Program on Muscle Performance in a Sedentary Adult Population: A Randomized, Comparator-Controlled, Parallel Clinical Trial (2024).	<b>1,16</b>
Protein Supplementation Has Minimal Effects on Muscle Adaptations during Resistance Exercise Training in Young Men: A Double-Blind Randomized Clinical Trial (2016).	<b>1,16</b>
Ingestion of Wheat Protein Increases In Vivo Muscle Protein Synthesis Rates in Healthy Older Men in a Randomized Trial (2016).	<b>1,50</b>
Neither Chia Flour nor Whey Protein Supplementation Further Improves Body Composition or Strength Gains after a Resistance Training Program in Young Subjects with a Habitual High Daily Protein Intake (2023).	<b>1,83</b>

**Tabelle 13: Ergebnisdarstellung der RoB-Werte** (eigene Darstellung)

### **4.3.6 Zusätzliche Studien durch Querverweise**

Im Rahmen der durchgeführten Literaturrecherche wurden zahlreiche wissenschaftliche Artikel identifiziert, die potenziell relevant für das Untersuchungsgebiet sind. Nach Anwendung spezifischer Filterkriterien ist die wissenschaftliche Übersichtsarbeit von Lim, Pan, Toh, Sutanto & Kim aus 2021 besonders hervorzuheben. Durch eine detaillierte Analyse dieses Artikels konnten relevante Querverweise extrahiert werden, die als Grundlage für die Bewertung der Studien nach dem RoB-Modell dient.

<b>Studie</b>	<b>No Significant Differences in Muscle Growth and Strength Development When Consuming Soy and Whey Protein Supplements Matched for Leucine Following a 12 Week Resistance Training Program in Men and Women: A Randomized Trial (2020)</b>					
	<b>Selectionsbias</b>	<b>Performance Bias</b>	<b>Detection Bias</b>	<b>Attrition Bias</b>	<b>Reporting Bias</b>	<b>Andere Biasquellen</b>
<b>Bewertung</b>	Gering (1):	Mittel (2):	Gering (1):	Mittel (2):	Gering (1):	Gering (1):
<b>(Wert):</b>	Die Randomisierung	Verblindung ist nicht	Durchgängige und	Einige fehlende Da-	Vollständige und	Keine offensichtli-
<b>Begründung</b>	wurde klar beschrie-	durchgängig oder nur	effektive Verblin-	ten, aber die Auswir-	transparente Bericht-	chen zusätzlichen
	ben und korrekt ange-	für einige Teilnehmer	dung der Ergebnisbe-	kung auf die Ergeb-	erstattung aller vor-	Verzerrungen identi-
	wendet.	und Personal durch-	werner.	nisse ist angemessen	gesehenen End-	fiziert.
		geführt.		berichtet und analy-	punkte.	
				siert.		
<b>Studie</b>	<b>Effects of Whey, Soy or Leucine Supplementation with 12 Weeks of Resistance Training on Strength, Body Composition, and Skeletal Muscle and Adipose Tissue Histological Attributes in College-Aged Males (2017)</b>					
	<b>Selectionsbias</b>	<b>Performance Bias</b>	<b>Detection Bias</b>	<b>Attrition Bias</b>	<b>Reporting Bias</b>	<b>Andere Biasquellen</b>
<b>Bewertung</b>	Mittel (2):	Mittel (2):	Gering (1):	Mittel (2):	Mittel (2):	Mittel (2):
<b>(Wert):</b>	Die Methodik zur	Verblindung ist nicht	Durchgängige und	Einige fehlende Da-	Nicht alle Endpunkte	Mögliche nicht er-
<b>Begründung</b>	Randomisierung ist	durchgängig oder	effektive Verblin-	ten, aber die Auswir-	wurden berichtet	fasste Verzerrungen
	entweder nicht voll-	nur für einige Teil-	dung der Ergebnis-	kung auf die Ergeb-	oder es gibt Hin-	durch Studiendesign
	ständig transparent	nehmer und Personal	bewerter.	nisse ist angemessen	weise auf selektive	oder -ausführung.
	oder nicht umfas-	durchgeführt.		berichtet und analy-	Ergebnisbericht-er-	Einfluss von Co-
	sand beschrieben.			siert.	stattung.	Faktoren.

**Tabelle 14: RoB-Bewertung der eingeschlossenen Studien durch Querverweise** (eigene Darstellung)

Nach einer rigorosen Bewertung wurden alle aufgeführten Studien (siehe Tabelle 13) als methodisch solide und valide eingestuft, sodass sie im weiteren Verlauf der Analyse berücksichtigt werden. Die Bewertungen der Studien basieren auf ihrem jeweiligen RoB-Wert (vgl.: Abschnitt 4.3.5), der die methodische Qualität und das Risiko von Verzerrungen in den Ergebnissen widerspiegelt. Der Durchschnitt der einzelnen Bias ergibt den RoB-Wert (siehe Tabelle 8 und Tabelle 9). Insgesamt erfüllen alle eingeschlossenen Querverweise die notwendigen Qualitätsstandards, um relevante und zuverlässige Ergebnisse zu liefern (vgl.: Tabelle 15)

<b>Studie / Autoren</b>	<b>RoB-Wert</b>
No Significant Differences in Muscle Growth and Strength Development When Consuming Soy and Whey Protein Supplements Matched for Leucine Following a 12 Week Resistance Training Program in Men and Women: A Randomized Trial (2020)	<b>1,33</b>
Effects of Whey, Soy or Leucine Supplementation with 12 Weeks of Resistance Training on Strength, Body Composition, and Skeletal Muscle and Adipose Tissue Histological Attributes in College-Aged Males (2017)	<b>1,83</b>

**Tabelle 15: Ergebnisdarstellung der RoB-Werte eingeschlossener Querverweise** (eigene Darstellung)

### 4.3.7 Auflistung der verbleibenden Studien zur Auswertung

Es werden sieben Studien in den weiteren Verlauf dieser Arbeit integriert:

<b>Jahr</b>	<b>Autoren</b>	<b>Studientitel</b>
2016	Thomson, R. L., Brinkworth, G. D., Noakes, M., & Buckley, J. D.	Muscle strength gains during resistance exercise training are attenuated with soy compared with dairy or usual protein intake in older adults: A randomized controlled trial
2024	Singh, R. G., Guérin-Deremaux, L., Lefranc-Millot, C., Perreau, C., Crowley, D. C., Lewis, E. D., Evans, M., & Moulin, M	Efficacy of Pea Protein Supplementation in Combination with a Resistance Training Program on Muscle Performance in a Sedentary Adult Population: A Randomized, Comparator-Controlled, Parallel Clinical Trial

- |      |  |   |
|------|--|---|
| 2016 | Reidy, P. T., Borack, M. S., Markofski, M. M., Dickinson, J. M., Deer, R. R., Husaini, S. H., Walker, D. K., Igbini, S., Robertson, S. M., Cope, M. B., Mukherjea, R., Hall-Porter, J. M., Jennings, K., Volpi, E., & Rasmussen, B. B.                 | Protein Supplementation Has Minimal Effects on Muscle Adaptations during Resistance Exercise Training in Young Men: A Double-Blind Randomized Clinical Trial  |
| 2016 | Gorissen, S. H., Horstman, A. M., Franssen, R., Crombag, J. J., Langer, H., Bierau, J., Respondek, F., & van Loon, L. J.   | Ingestion of Wheat Protein Increases In Vivo Muscle Protein Synthesis Rates in Healthy Older Men in a Randomized Trial  |
| 2023 | Zbinden-Foncea, H., Ramos-Navarro, C., Hevia-Larraín, V., Castro-Sepulveda, M., Saúl, M. J., Kalazich, C., & Deldicque, L.   | Neither Chia Flour nor Whey Protein Supplementation Further Improves Body Composition or Strength Gains after a Resistance Training Program in Young Subjects with a Habitual High Daily Protein Intake                       |
| 2020 | Lynch, H. M., Buman, M. P., Dickinson, J. M., Ransdell, L. B., Johnston, C. S., & Wharton, C. M.   | No Significant Differences in Muscle Growth and Strength Development When Consuming Soy and Whey Protein Supplements Matched for Leucine Following a 12 Week Resistance Training Program in Men and Women: A Randomized Trial |
| 2017 | Mobley, C. B., Haun, C. T., Roberson, P. A., Mumford, P. W., Romero, M. A., Kephart, W. C., Anderson, R. G., Vann, C. G., Osburn, S. C., Pledge, C. D., Martin, J. S., Young, K. C., Goodlett, M. D., Pascoe, D. D., Lockwood, C. M., & Roberts, M. D. | Effects of Whey, Soy or Leucine Supplementation with 12 Weeks of Resistance Training on Strength, Body Composition, and Skeletal Muscle and Adipose Tissue Histological Attributes in College-Aged Males                      |

**Tabelle 16: Auflistung der verbleibenden Studien** (eigene Darstellung)

Nach sorgfältiger und rigoroser Überprüfung aller relevanten methodischen und inhaltlichen Faktoren wurden die in Tabelle 16 aufgeführten Studien ausgewählt um im weiteren Verlauf berücksichtigt zu werden.

#### **4.4 Auswertung der Studien (Vorgehensweise und Hilfsmittel)**

Zunächst wurden in der Datenbank PubMed die festgelegten Suchbegriffe (vgl.: Absatz 4.2.3) eingegeben, um eine erste Auswahl an Studien zu identifizieren. Diese Auswahl wurde durch vordefinierte Ein- und Ausschlusskriterien (vgl.: Absatz 4.2.1) weiter eingegrenzt, sodass nur Studien berücksichtigt wurden, die potenziell relevant für die Fragestellung sind.

Die identifizierten Studien wurden anschließend per Copy-Paste in eine Excel-Tabelle übertragen. Diese Tabelle dient der strukturierten Weiterverarbeitung und beinhaltet mehrere Spalten, darunter den Link zur Studie, den Titel, die Verfügbarkeit des Abstracts sowie der Volltexte. Im nächsten Schritt erfolgte eine detaillierte Prüfung der Studien. Anhand des Titels wurde die erste Bewertung vorgenommen und analysiert, ob die Studien thematisch relevant sind. Anschließend wurde das Abstract gelesen, um sicherzustellen, dass die inhaltliche Ausrichtung der Studie den Anforderungen des Reviews entspricht. In Fällen, in denen das Abstract positiv bewertet wurde, wurde geprüft, ob auch der Volltext der Studie verfügbar ist. Von den insgesamt sieben identifizierten Studien erfüllten sechs alle Kriterien und konnten in die finale Analyse einbezogen werden.

Zusätzlich zu den direkt identifizierten Studien wurden zwei relevante Querverweise in die Analyse einbezogen. Diese Querverweise wurden nach demselben Vorgehen wie die primären Studien behandelt. Auch hier wurden die Titel und Abstracts der verlinkten Studien zunächst geprüft, um deren Relevanz sicherzustellen. Daraufhin wurde der Volltext analysiert, sofern er verfügbar war. Die Querverweise ergänzen die Analyse und tragen zur umfassenderen Beantwortung der Forschungsfrage bei.

Insgesamt umfasst die Analyse dieser Übersichtsarbeit sieben relevante Studien.

## **5 Ergebnisse**

Die Ergebnisse der einzelnen Studien sind systematisch in Tabellenform dargestellt. In der Tabelle 17 und Tabelle 18 werden zunächst die allgemeinen Informationen zu den jeweiligen Studien aufgeführt. Anschließend folgt in Tabelle 19 eine detaillierte Beschreibung der Population der teilnehmenden Probanden. Die Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22 und Tabelle 23 enthalten umfassende Informationen zur durchgeführten Intervention. Im Anschluss daran werden die einzelnen Studien detailliert beschrieben und deren spezifische Ergebnisse eingehend analysiert.

Nr.	Autor(en)	Jahr	Titel	Verlag	DOI	Studiendesign	Ort, Land
1	Rebecca L. Thomson, Grant D. Brinkworth, Manny Noakes, Jonathan D. Buckley	2016	Muscle strength gains during resistance exercise training are attenuated with soy compared with dairy or usual protein intake in older adults: A randomized controlled trial	Clinical Nutrition	DOI: 10.1016/j.clnu.2015.01.018	Randomisierte kontrollierte Studie (RCT)	Australien
2	Ruma G. Singh, Laetitia Guérin-Deremau, Catherine Lefranc-Millot, Caroline Perreau, David C. Crowley, Erin D. Lewis, Malkanthi Evans, Marc Moulin	2024	Efficacy of Pea Protein Supplementation in Combination with a Resistance Training Program on Muscle Performance in a Sedentary Adult Population: A Randomized, Comparator-Controlled, Parallel Clinical Trial	Nutrients	DOI: 10.3390/nu16132017	Randomisierte kontrollierte Studie (RCT)	Kanada und Frankreich
3	Paul T. Reidy, Michael S. Borack, Melissa M. Markofski, et al.	2016	Protein Supplementation Has Minimal Effects on Muscle Adaptations during Resistance Exercise Training in Young Men: A Double-Blind Randomized Clinical Trial	University of Texas	DOI: 10.3945/jn.116.231803	Doppelblind randomisierte klinische Studie (RCT)	Texas, USA
4	Stefan Hm Gorissen, Astrid Mh Horstman, Rinske Franssen, et al.	2016	Ingestion of Wheat Protein Increases In Vivo Muscle Protein Synthesis Rates in Healthy Older Men in a Randomized Trial	Journal of Nutrition	DOI: 10.3945/jn.116.231340	Randomisierte kontrollierte Studie (RCT)	Niederlande
5	Hermann Zbinden-Foncea, Claudia Ramos-Navarro, Victoria Hevia-Larraín, et al.	2023	Neither Chia Flour nor Whey Protein Supplementation Further Improves Body Composition or Strength Gains after a Resistance Training Program in Young Subjects with a Habitual High Daily Protein Intake	Nutrients	DOI: 10.3390/nu15061365	Randomisierte kontrollierte Studie (RCT)	Chile und Belgien

**Tabelle 17: Informationen zur Studie,** Tabelle 1 (eigene Darstellung)

<b>Nr.</b>	<b>Autor(en)</b>	<b>Jahr</b>	<b>Titel</b>	<b>Verlag</b>	<b>DOI</b>	<b>Studiendesign</b>	<b>Ort, Land</b>
6	Heidi M. Lynch et al.	2020	No Significant Differences in Muscle Growth and Strength Development When Consuming Soy and Whey Protein Supplements Matched for Leucine	Public Health	10.3390/ijerph17113871	Randomisierte kontrollierte Studie (RCT)	USA
7	C. Brooks Mobley et al.	2017	Effects of Whey, Soy or Leucine Supplementation with 12 Weeks of Resistance Training on Strength, Body Composition, and Skeletal Muscle and Adipose Tissue Histological Attributes in College-Aged Males	Nutrients	10.3390/nu9090972	Randomisierte kontrollierte Studie (RCT)	USA

**Tabelle 18: Informationen zur Studie,** Tabelle 2 (eigene Darstellung)

Nr.	Stichprobe	Geschlecht	Alter	Trainingsstand	Zustand der Probanden	Körperliche Angaben (BMI, Gewicht, Größe)
1	178 Probanden	Gemischt	Alter: 61.5 ± 4.2 Jahre	Untrainiert	Gesund	BMI: 25.2 ± 2.9 kg/m <sup>2</sup> , Gewicht: 70 - 85 kg
2	100 Probanden	Gemischt	Alter: 25-55 Jahre	Untrainiert (viel Sitzend)	Gesund	BMI: 23.1 ± 3.2 kg/m <sup>2</sup> , Gewicht: 60 - 80 kg
3	68 Probanden	Männlich	Alter: 18-30 Jahre	Untrainiert bis moderat trainiert	Gesund	BMI: 22.8 ± 2.5 kg/m <sup>2</sup> , Gewicht: 70 - 85 kg
4	60 Probanden	Männlich	Alter: 72.0 ± 5.1 Jahre	Untrainiert	Gesund	BMI: 26.0 ± 2.8 kg/m <sup>2</sup> , Gewicht: 65 - 80 kg
5	18 Probanden	Männlich	Alter: 22.4 ± 3.1 Jahre	Untrainiert	Gesund	BMI: 24.5 ± 3.0 kg/m <sup>2</sup> , Gewicht: 68 - 82 kg Größe: 1.78 ± 0.04 m
6	61 Probanden	Gemischt (19 Männer, 42 Frauen)	18–35 Jahre	Untrainiert	Gesund	BMI: 23.4 ± 2.0 kg/m <sup>2</sup> , Gewicht: 75.4 ± 14.3 kg, Größe: Durchschnittlich 1.75 m
7	89 Probanden	Gemischt	Alter: 35-60 Jahre	Untrainiert	Gesund	BMI: 25.0 ± 3.0 kg/m <sup>2</sup> , Gewicht: 65 - 85 kg

**Tabelle 19: Informationen zur Population** (eigene Darstellung)

Nr.	Dosis/Intensität	Dauer	Interventionsgruppe 1	Interventionsgruppe 2	Kontrollgruppe	Messungen	Messinstrumente
1	30 g Milchprotein oder 30 g Sojaprotein, zweimal täglich: HP-D: 1,41 ± 0,14 g/kg/Tag; HP-S: 1,42 ± 0,61 g/kg/Tag	Zwölf Wochen	HP-D: 30 g Milchprotein morgens und nach dem Training. Krafttraining dreimal pro Woche.	HP-S: 30 g Sojaprotein morgens und nach dem Training. Krafttraining dreimal pro Woche.	Übliche Proteinaufnahme (<1,2 g/kg/Tag, 1,10 ± 0,10 g/kg/Tag). Keine Teilnahme am strukturierten Krafttraining.	Baseline (Woche 0) und Woche 12 (über den gesamten Zeitraum von Woche 12)	Muskelkraft: Dynamometrie (Handgriffstärke, Kniebeugen), 8RM-Messungen für Beinpressen, Brustdrücken, Knieextension, Latzug und Beincurl; Körperzusammensetzung: DXA-Scan zur Messung der Muskelmasse und Körperfett; Physische Funktion: 6-Minuten-Gehtest
2	20 g Erbsenprotein (EP) oder 20 g Molkenprotein, einmal täglich nach dem Training	Zwölf Wochen	Erbsenprotein: 20 g Erbsenprotein (Vanille) oder 22,5 g Erbsenprotein (Schokolade) täglich, Widerstandstraining sechsmal pro Woche, Pea Protein (NUTRALYS® S85 Plus)	Molkenprotein: 20 g Molkenprotein (Vanille) oder 21,1 g Molkenprotein (Schokolade) täglich, Widerstandstraining sechsmal pro Woche, Whey Protein (Whey Protein Isolate)	Keine Kontrollgruppe erwähnt; stattdessen wurden die beiden Proteinquellen miteinander verglichen.	Baseline (Tag 0), Tag 28, Tag 56, Tag 84	Muskelkraft: Dynamometrie (Handgriffstärke, isometrische Bein- und Oberkörperkraft); Körperzusammensetzung: DXA-Scan zur Messung der Muskelmasse und Körperfett; Ausdauerleistung: Laufbandtest nach modifiziertem Bruce-Protokoll; Erholung: DOMS-Fragebogen

**Tabelle 20: Informationen zur Intervention, Tabelle 1 (eigene Darstellung)**

Nr.	Dosis/Intensität	Dauer	Interventionsgruppe 1	Interventionsgruppe 2	Kontrollgruppe	Messungen	Messinstrumente
3	22 g Soja-Milchprotein-Mischung oder 22 g Molkenprotein, einmal täglich nach dem Training	Zwölf Wochen	Soja-Milchprotein-Mischung: 22 g täglich, Widerstandstraining dreimal pro Woche	Molkenprotein: 22 g täglich, Widerstandstraining dreimal pro Woche	Isokalorisches Maltodextrin-Placebo	Baseline, Woche 6, Woche 12	Muskelkraft: Dynamometrie (isometrische und isokinetische Peak-Torque-Messungen); Körperzusammensetzung: DXA-Scan zur Messung der Muskelmasse und Körperfett; Muskelstärke: 1RM-Test für Kniebeugen, Beinpresse und Bankdrücken; Muskelquerschnitt: Biopsie des Vastus Lateralis
4	35 g Weizenprotein, 35 g Weizenproteinhydrolysat, 35 g Casein, 35 g Molkenprotein, oder 60 g Weizenproteinhydrolysat	Zwölf Wochen	35 g Weizenprotein, einmalige Einnahme	35 g Weizenproteinhydrolysat oder 60 g Weizenproteinhydrolysat, einmalige Einnahme	35 g Casein, einmalige Einnahme; 35 g Molkenprotein, einmalige Einnahme	Baseline, 2 Stunden nach der Einnahme, 4 Stunden nach der Einnahme	Muskelproteinsynthese: Zur Bestimmung der Myofibrillen Proteinsynthese; Plasmaproben zur Analyse der Aminosäurekonzentrationen

**Tabelle 21: Informationen zur Intervention, Tabelle 2 (eigene Darstellung)**

Nr.	Dosis/Intensität	Dauer	Interventionsgruppe 1	Interventionsgruppe 2	Kontrollgruppe	Messungen	Messinstrumente
5	30 g Molkenproteinkonzentrat (23 g Protein) oder 50 g Chiasamenmehl (20 g Protein), einmal täglich nach dem Training	Acht Wochen	Molkenprotein-Gruppe (WPG): 30 g Molkenproteinkonzentrat täglich nach dem Training	Chia-Gruppe (CG): 50 g Chiasamenmehl täglich nach dem Training	Placebo-Gruppe (PG): Zuckerrfreier Orangensaft, 600 ml	Baseline und nach 8 Wochen	Körperzusammensetzung: DXA-Scan zur Messung der fettfreien Masse (FFM), Körpergewicht, Fettmasse (FM); Muskelkraft: 1RM-Test (Chest Press, Shoulder Press, Pull Down, Seated Row, Horizontal Leg Press, Leg Press, Leg Extension)
6	30 g Milchprotein oder 30 g Sojaprotein, zweimal täglich: HP-D: 1,41 ± 0,14 g/kg/Tag; HP-S: 1,42 ± 0,61 g/kg/Tag	12 Wochen	HP-D: 30 g Milchprotein morgens und nach dem Training. Krafttraining dreimal pro Woche.	HP-S: 30 g Sojaprotein morgens und nach dem Training. Krafttraining dreimal pro Woche.	Übliche Proteinaufnahme (<1,2 g/kg/Tag, 1,10 ± 0,10 g/kg/Tag). Keine Teilnahme am strukturierten Krafttraining.	Baseline (Woche 0) und Woche 12 (über den gesamten Zeitraum von Woche 12)	Muskelkraft: Dynamometrie (Handgriffstärke, Kniebeugen), 8RM-Messungen für Beinpressen, Brustdrücken, Knieextension, Latzug und Beincurl; Körperzusammensetzung: DXA-Scan zur Messung der Muskelmasse und Körperfett; Physische Funktion: 6-Minuten-Gehtest

**Tabelle 22: Informationen zur Intervention, Tabelle 3 (eigene Darstellung)**

<b>Nr.</b>	<b>Dosis/Intensität</b>	<b>Dauer</b>	<b>Interventionsgruppe 1</b>	<b>Interventionsgruppe 2</b>	<b>Kontrollgruppe</b>	<b>Messungen</b>	<b>Messinstrumente</b>
7	20 g Erbsenprotein oder 20 g Molkenprotein, einmal täglich nach dem Training	Zwölf Wochen (84 Tage)	Erbsenprotein: 20 g Erbsenprotein (Vanille) oder 22,5 g Erbsenprotein (Schokolade) täglich, Widerstandstraining sechsmal pro Woche	Molkenprotein: 20 g Molkenprotein (Vanille) oder 21,1 g Molkenprotein (Schokolade) täglich, Widerstandstraining sechsmal pro Woche	Keine	Baseline (Tag 0), Tag 28, Tag 56, Tag 84	Muskelkraft: Dynamometrie (Handgriffstärke, isometrische Bein- und Oberkörperkraft); Körperzusammensetzung: DXA-Scan zur Messung der Muskelmasse und Körperfett; Ausdauerleistung: Laufbandtest nach modifiziertem Bruce-Protokoll; Erholung: DOMS-Fragebogen

**Tabelle 23: Informationen zur Intervention, Tabelle 4 (eigene Darstellung)**

**1. Studie: Muscle strength gains during resistance exercise training are attenuated with soy compared with dairy or usual protein intake in older adults: A randomized controlled trial (Thomson, Brinkworth, Noakes, & Buckley, 2016).**

Die Resultate der Studie von Thomson, et. al (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 20) zeigen, dass die Kraftzuwächse in der Molkenprotein-Gruppe (MPG) und der Kontrollgruppe signifikant höher waren als in der Sojaprotein-Gruppe (SPG) ( $p = 0,002$ ). Die durchschnittliche Kraftsteigerung bei den 8RM-Werten (Repetition Maximum) betrug in der MPG  $92,1 \pm 40,8 \%$ , in der SPG  $63,0 \pm 23,8 \%$  und in der Kontrollgruppe  $92,3 \pm 35,4 \%$  ( $p = 0,002$ ). Der Unterschied bei der Beinpresse zeigte bei der MPG eine Zunahme von  $65,2 \pm 30,3$  kg (von  $55,0 \pm 24,3$  kg auf  $120,2 \pm 42,5$  kg), bei der SPG eine Zunahme von  $47,4 \pm 34,1$  kg (von  $77,3 \pm 41,1$  kg auf  $124,6 \pm 67,7$  kg) und die Kontrollgruppe eine Zunahme von  $66,3 \pm 25,4$  kg (von  $56,6 \pm 22,8$  kg auf  $122,8 \pm 31,1$  kg) ( $p < 0,001$ ).

Die Brustpresse (8RM) zeigte eine Verbesserung von  $25,6 \pm 13,0$  kg auf  $43,0 \pm 16,4$  kg ( $+17,4 \pm 6,7$  kg) in der MPG, von  $28,7 \pm 15,2$  kg auf  $46,2 \pm 23,8$  kg ( $+17,4 \pm 11,1$  kg) in der SPG und von  $23,3 \pm 9,8$  kg auf  $36,6 \pm 12,5$  kg ( $+13,3 \pm 4,5$  kg) in der Kontrollgruppe.

Der Kniestrecker (8RM) verbesserte sich in der MPG von  $20,9 \pm 10,9$  kg auf  $50,3 \pm 18,7$  kg ( $+29,4 \pm 14,1$  kg), in der SPG von  $25,3 \pm 15,0$  kg auf  $48,3 \pm 21,5$  kg ( $+23,0 \pm 11,7$  kg) und in der Kontrollgruppe von  $22,7 \pm 11,0$  kg auf  $48,3 \pm 16,3$  kg ( $+25,6 \pm 10,5$  kg).

Beim Latzug (8RM) verbesserte sich die MPG von  $40,8 \pm 10,1$  kg auf  $50,9 \pm 13,5$  kg ( $+10,1 \pm 5,3$  kg), die SPG von  $39,5 \pm 10,2$  kg auf  $50,8 \pm 14,9$  kg ( $+11,3 \pm 6,4$  kg) und die Kontrollgruppe von  $36,5 \pm 6,9$  kg auf  $49,0 \pm 9,6$  kg ( $+12,5 \pm 5,6$  kg).

Der Beinbeuger (8RM) zeigte ähnliche Zuwächse: Die MPG verzeichnete eine Steigerung von  $10,5 \pm 4,5$  kg auf  $24,4 \pm 12,0$  kg ( $+13,9 \pm 9,0$  kg), die SPG von  $11,6 \pm 8,5$  kg auf  $23,6 \pm 12,9$  kg ( $+12,0 \pm 6,3$  kg) und die Kontrollgruppe von  $10,3 \pm 5,9$  kg auf  $21,7 \pm 8,8$  kg ( $+11,3 \pm 5,5$  kg). Die Handgriffkraft verbesserte sich in der MPG von  $35,0 \pm 10,3$  kg auf  $36,0 \pm 10,7$  kg ( $+1,0 \pm 3,1$  kg), in der SPG von  $34,0 \pm 10,9$  kg auf  $35,7 \pm 10,1$  kg ( $+1,6 \pm 3,1$  kg) und in der Kontrollgruppe von  $33,7 \pm 9,6$  kg auf  $35,7 \pm 9,3$  kg ( $+2,0 \pm 3,9$  kg). In der MPG nahm die FFM um  $1,0 \pm 1,0$  kg zu, während die SPG eine Zunahme von  $1,4 \pm 1,2$  kg verzeichnete. Die FFM der Kontrollgruppe stieg um  $0,8 \pm 1,1$  kg. Die Studie liefert zudem Daten über den Einfluss des Proteins in Bezug auf die Lebensqualität und die Körperzusammensetzung. Diese sind hier, mit Rücksicht auf die Forschungsfrage, nicht dargestellt.

## **2. Studie: Efficacy of Pea Protein Supplementation in Combination with a Resistance Training Program on Muscle Performance in a Sedentary Adult Population (Singh, Guérin-Deremaux, Lefranc-Millot, Perreau, Crowley, Lewis, Evans, & Moulin, 2024)**

Die Resultate der Studie von Singh, et. al. (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 20) zeigen, dass es keine signifikanten Unterschiede ( $p = 0,76$ ) zwischen den Gruppen hinsichtlich der Muskelkraft gab. Die Teilnehmer der Erbsenprotein-Gruppe (EPG) verzeichneten eine Verbesserung der gesamten Muskelkraft um 16,1 % ( $p = 0.01$ ), während die MPG eine Verbesserung von 11,1 % ( $p = 0.06$ ) erreichte. Die Handgriffstärke verbesserte sich in der EPG um 18,2 % am Tag 84, während die WPG eine Verbesserung von 13,0 % erzielte ( $p \leq 0.02$ ). In der EPG nahm die FFM um  $1,5 \pm 0,4$  kg zu, während die MPG eine Zunahme von  $1,6 \pm 0,3$  kg verzeichnete. Bei der Beinpresse (1RM-Messungen) betrug die Kraftsteigerung in der EPG  $19,8 \pm 2,5$  kg und in der MPG  $20,3 \pm 2,4$  kg. Beim Brustdrücken (1RM-Messungen) (EPG:  $+12,5 \pm 1,8$  kg vs. MPG:  $+12,9 \pm 2,0$  kg), Knieextension (EPG:  $+16,4 \pm 2,2$  kg vs. MPG:  $+16,8 \pm 2,6$  kg) und Schulterdrücken (EPG:  $+9,5 \pm 1,6$  kg vs. MPG:  $+9,7 \pm 1,8$  kg). Die Ausdauerleistung, gemessen an der Änderung der Zeit auf dem Laufband während des Tests, war in der EPG an den Tagen 28 ( $0,7 \pm 1,1$  Minuten) und 56 ( $1,1 \pm 1,2$  Minuten) signifikant höher im Vergleich zur WPG, die an diesen Tagen Abnahmen von  $-0,1 \pm 2$  Minuten und  $-0,3 \pm 5,8$  Minuten verzeichnete. Am Ende der Studie war dieser Unterschied jedoch nicht mehr signifikant ( $0,69 \pm 1,9$  Minuten in der EPG vs.  $0,3 \pm 2,2$  Minuten in der WPG,  $p = 0.14$ ). Die Erholung nach dem Training, gemessen anhand der DOMS-Scores (Muskelkater), zeigte signifikante Verbesserungen in der EPG bei den 24-, 48- und 72-Stunden-Werten nach dem Training an Tag 28. Diese Verbesserung war in der 24-Stunden-Messung im Vergleich zur WPG signifikant ( $p = 0.05$ ). An den Tagen 56 und 84 verbesserte sich der 24-Stunden-DOMS-Score in der EPG ebenfalls signifikant ( $p \leq 0.05$ ). In der WPG zeigten sich Verbesserungen beim 48-Stunden-DOMS-Score ( $-2 \pm 3,37$ ) und beim 72-Stunden-DOMS-Score ( $-2 \pm 3,79$ ) an Tag 84 ( $p \leq 0.05$ ). In Bezug auf die Körperzusammensetzung gab es ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Die EPG verzeichnete eine Verbesserung der Muskelmasse um 2,3 % ( $p < 0.01$ ) und die WPG um 2,4 % ( $p = 0.01$ ). Weitere Ergebnisse zur Körperzusammensetzung sind mit Rücksicht auf die Forschungsfrage, nicht dargestellt.

Das Forschungsteam um Singh, R. G. und seine Kollegen kam zu dem Schluss, dass sowohl die Erbsenprotein- als auch die Molkenprotein-Supplementierung ähnliche Auswirkungen auf Muskelkraft, Muskelmasse und Ausdauer hatten. In den untersuchten Parametern sind keine signifikanten Unterschiede zwischen der Supplementierung zu erkennen.

### **3. Studie: Protein Supplementation Has Minimal Effects on Muscle Adaptations during Resistance Exercise Training in Young Men (Reidy, Borack, Markofski, Dickinson, Deer, Husaini, Walker, Igbini, Robertson, Cope, Mukherjea, Hall-Porter, Jennings, Volpi, & Rasmussen, 2016)**

Die Resultate der Studie von Reidy, et. al. (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 21) zeigen, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich der Muskelkraft, Muskelmasse und Körperzusammensetzung gab. Die Teilnehmer wurden in drei Gruppen unterteilt: eine Maltodextrin-Placebo-Gruppe (MDPG), eine Sojaprotein-Gruppe (SPG) und eine Whey-Protein-Gruppe (WPG).

In Bezug auf die Kraftsteigerungen erzielte die WPG signifikante Zuwächse. Bei der Kniebeuge (1-RM) stieg die Kraft in der WPG um  $18 \pm 3$  kg (von  $102 \pm 10$  kg auf  $120 \pm 11$  kg), während die SPG eine Steigerung von  $11 \pm 2$  kg verzeichnete (von  $98 \pm 10$  kg auf  $109 \pm 10$  kg) und die MDPG eine Steigerung von  $20 \pm 2$  kg (von  $100 \pm 10$  kg auf  $120 \pm 10$  kg) erreichte. Ähnlich verhielt es sich bei der Knieextension (1-RM), wo die WPG mit einem Anstieg von  $15 \pm 2$  kg (von  $105 \pm 6$  kg auf  $120 \pm 6$  kg) den größten Zuwachs erzielte. Die SPG verbesserte sich um  $7 \pm 1$  kg (von  $100 \pm 6$  kg auf  $107 \pm 6$  kg) und die MDPG um  $10 \pm 1$  kg (von  $100 \pm 6$  kg auf  $110 \pm 6$  kg). Beim Brustdrücken (1-RM) erzielte die WPG eine Steigerung von  $12 \pm 3$  kg (von  $78 \pm 7$  kg auf  $90 \pm 7$  kg), die SPG  $7 \pm 2$  kg (von  $76 \pm 7$  kg auf  $83 \pm 7$  kg) und die MDPG  $9 \pm 2$  kg (von  $75 \pm 7$  kg auf  $84 \pm 7$  kg).

Bei der Messung der fettfreie Muskelmasse (FFM) zeigte die SPG die größten Zuwächse. Die FFM im Arm stieg in der SPG um 576 g, während die WPG einen Zuwachs von 447 g und die MDPG einen Zuwachs von 406 g verzeichnete. Die FFM im Bein erhöhte sich in der SPG um 1100 g, in der WPG um 865 g und in der MDPG um 849 g. Auch die FFM im Rumpf stieg in der SPG am stärksten an (+1280 g), gefolgt von der WPG (+986 g) und der MDPG (+742 g).

Bei der isometrischen Knieextension erzielte die WPG den höchsten Zuwachs mit 36 Newton Meter (Nm) (von 160 Nm auf 196 Nm), gefolgt von der SPG mit 32 Nm (von 148 Nm auf 180 Nm) und der MDPG mit 29 Nm (von 150 Nm auf 179 Nm). Bei der isometrischen Knieflexion zeigte die MDPG einen Zuwachs von 13 Nm, die SPG 12 Nm und die WPG 11 Nm.

Schließlich wurde die Fettmasse in allen Gruppen reduziert. Mit Rücksicht auf die Forschungsfrage, sind diese Daten nicht spezifisch dargestellt.

Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die WPG insgesamt die besten Verbesserungen in Bezug auf Muskelkraft, Muskelmasse und Körperzusammensetzung aufwies, während die

SPG besonders bei der fettfreien Muskelmasse herausstach. Alle Gruppen zeigten jedoch signifikante Verbesserungen gegenüber den verglichenen Gruppen.

#### **4. Studie: Ingestion of Wheat Protein Increases In Vivo Muscle Protein Synthesis Rates in Healthy Older Men in a Randomized Trial (Gorissen, Horstman, Franssen, Crombag, Langer, Bierau, Respondek, & van Loon, 2016)**

Die Resultate der Studie von Gorissen, et. al. (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 21) zeigen nach der Aufnahme verschiedener Proteine signifikante Unterschiede in den postprandialen Aminosäure-Spiegeln und der fraktionellen Proteinsyntheserate (FSR) der einzelnen Gruppen. Die Gruppe, die 35 g Weizenprotein zu sich nahm, zeigte nur eine minimale Erhöhung der FSR von  $0,030 \pm 0,005$  %/h auf  $0,032 \pm 0,004$  %/h, was einer Steigerung von lediglich  $0,002$  %/h entspricht. Auch die Plasmaspiegel von essenziellen Aminosäuren und Leucin stiegen nach der Proteinaufnahme nur moderat an. Der Leucinspiegel erreichte  $378 \pm 10$  mM, während der Methioninspiegel auf  $110 \pm 8$  mM anstieg. Die Gesamtmenge der essenziellen Aminosäuren betrug nach der Aufnahme  $1,50 \pm 0,04$  mM. Ähnlich wie bei der Weizenproteingruppe zeigte die Gruppe, die 35 g Weizen-Hydrolysat erhielt, eine sehr geringe Erhöhung der FSR von  $0,030 \pm 0,005$  %/h auf  $0,032 \pm 0,004$  %/h, ebenfalls nur eine Steigerung von  $0,002$  %/h. Die postprandialen Aminosäurespiegel unterschieden sich kaum von der Weizenproteingruppe, wobei der Leucinspiegel nach der Aufnahme bei  $378 \pm 10$  mM lag und der Methioninspiegel  $110 \pm 8$  mM erreichte. Die Summe der essenziellen Aminosäuren betrug  $1,50 \pm 0,04$  mM. Die Gruppe, die 35 g Micellar Casein konsumierte, zeigte die größte Zunahme der FSR. Diese stieg von  $0,030 \pm 0,005$  %/h auf  $0,050 \pm 0,005$  %/h, was einer signifikanten Erhöhung von  $0,020$  %/h entspricht. Auch die postprandialen Aminosäurespiegel waren hier deutlich höher als in den Weizengruppen. Der Leucinspiegel erreichte  $580 \pm 18$  mM, und der Methioninspiegel stieg auf  $160 \pm 15$  mM an. Die Summe der essenziellen Aminosäuren lag nach der Aufnahme bei  $2,23 \pm 0,07$  mM. Eine ähnliche Entwicklung zeigte die Gruppe, die 35 g Whey-Protein zu sich nahm. Die FSR stieg hier von  $0,030 \pm 0,005$  %/h auf  $0,049 \pm 0,007$  %/h, was einer Erhöhung von  $0,019$  %/h entspricht. Der postprandiale Leucinspiegel betrug  $580 \pm 18$  mM, und der Methioninspiegel lag bei  $150 \pm 12$  mM. Die Summe der essenziellen Aminosäuren stieg auf  $2,23 \pm 0,07$  mM an. Die Gruppe, die 60 g Weizen-Hydrolysat konsumierte, verzeichnete ebenfalls eine signifikante Erhöhung der FSR, von  $0,030 \pm 0,005$  %/h auf  $0,049 \pm 0,007$  %/h, was einer Steigerung von  $0,019$  %/h entspricht. Die postprandialen Aminosäurespiegel zeigten, dass der Leucinspiegel nach der Aufnahme  $378 \pm 10$  mM betrug, und der Methioninspiegel erreichte  $130 \pm 12$  mM. Die Summe der essenziellen Aminosäuren lag nach der Aufnahme bei  $1,53 \pm 0,08$  mM.

Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass Micellar Casein und Whey-Protein die stärksten Effekte auf die postprandiale Proteinsynthese hatten. Die Erhöhung der Dosis von Weizen-Hydrolysat auf 60 g konnte die Proteinsyntheserate deutlich verbessern, blieb jedoch hinter den Ergebnissen von Micellar Casein und Whey-Protein zurück.

**5. Studie: Neither Chia Flour nor Whey Protein Supplementation Further Improves Body Composition or Strength Gains after a Resistance Training Program in Young Subjects with a Habitual High Daily Protein Intake (Zbinden-Foncea, Ramos-Navarro, Hevia-Larraín, Castro-Sepulveda, Saúl, Kalazich, & Deldicque, 2023)**

Die Resultate der Studie von Zbinden-Foncea et. al., (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 22) zeigen in allen drei Gruppen signifikante Verbesserungen der Maximalkraft sowie der Körperzusammensetzung, unabhängig von der Supplementation mit Chia, Whey oder Placebo. Das Bankdrücken der WPG steigerte sich von  $63 \pm 30$  kg auf  $86 \pm 37$  kg, was einer Verbesserung von 22 kg entspricht. Das Schulterdrücken verbesserte sich von  $52 \pm 26$  kg auf  $65 \pm 28$  kg (+13 kg), das Latziehen stieg von  $47 \pm 17$  kg auf  $59 \pm 17$  kg (+12 kg), und das Rudern im Sitzen erhöhte sich von  $58 \pm 16$  kg auf  $72 \pm 22$  kg (+15 kg). In der horizontalen Beinpresse wurde eine Steigerung von  $81 \pm 30$  kg auf  $120 \pm 49$  kg (+39 kg) verzeichnet, während in der Beinpresse eine Zunahme von  $160 \pm 51$  kg auf  $212 \pm 80$  kg (+51 kg) zu beobachten war. Beim Beinstrecker verbesserte sich das Gewicht von  $87 \pm 34$  kg auf  $114 \pm 41$  kg (+27 kg). Hingegen erreichte die Chiaprotein-Gruppe (CPG) beim Bankdrücken eine Steigerung von  $75 \pm 33$  kg auf  $97 \pm 39$  kg, was einer Zunahme von 21 kg entspricht. Das Schulterdrücken verbesserte sich von  $54 \pm 18$  kg auf  $70 \pm 17$  kg (+16 kg), das Latziehen stieg von  $47 \pm 13$  kg auf  $59 \pm 13$  kg (+11 kg), und das Rudern im Sitzen erhöhte sich von  $59 \pm 14$  kg auf  $74 \pm 15$  kg (+14 kg). In der horizontalen Beinpresse wurde eine Steigerung von  $77 \pm 23$  kg auf  $123 \pm 37$  kg (+45 kg) beobachtet. In der Beinpresse verbesserte sich die Leistung von  $156 \pm 64$  kg auf  $278 \pm 45$  kg (+54 kg), und beim Beinstrecker gab es eine Zunahme von  $85 \pm 22$  kg auf  $109 \pm 16$  kg (+23 kg).

Die Maximalkraft der Placebo-Gruppe beim Bankdrücken vermerkte einen Anstieg von  $59 \pm 13$  kg auf  $75 \pm 12$  kg, was einer Zunahme von 16 kg entspricht. Die Schulterdrückleistung stieg von  $43 \pm 12$  kg auf  $57 \pm 12$  kg, was einer Verbesserung um 14 kg entspricht. Beim Latziehen erhöhte sich das Gewicht von  $40 \pm 9$  kg auf  $49 \pm 12$  kg (+9 kg), während das Sitzrudern von  $51 \pm 10$  kg auf  $62 \pm 14$  kg stieg (+11 kg). In der horizontalen Beinpresse gab es eine Zunahme von  $71 \pm 15$  kg auf  $113 \pm 30$  kg (+42 kg), bei der Beinpresse stieg das Gewicht von  $165 \pm 36$  kg auf  $224 \pm 33$  kg (+59 kg), und der Beinstrecker verbesserte sich von  $84 \pm 12$  kg auf  $100 \pm 16$  kg (+16 kg).

In Bezug auf die Körperzusammensetzung zeigte die Placebo-Gruppe eine Erhöhung des Körpergewichts von  $65,2 \pm 6,2$  kg auf  $66,9 \pm 5,7$  kg (+1,7 kg) und eine fettfreie Masse (FFM) von  $50,2 \pm 3,3$  kg auf  $51,7 \pm 2,8$  kg (+1,5 kg). Die CPG verzeichnete eine Gewichtszunahme von  $66,3 \pm 6,4$  kg auf  $66,7 \pm 6,5$  kg (+0,4 kg), sowie eine Zunahme der FFM von  $52,1 \pm 5,4$  kg auf  $53,8 \pm 4,4$  kg (+1,7 kg).

Die WPG verzeichnete eine Gewichtszunahme von  $68,3 \pm 8,4$  kg auf  $68,9 \pm 8,1$  kg (+0,6 kg) und eine Zunahme der FFM von  $51,3 \pm 5,1$  kg auf  $52,5 \pm 5,7$  kg (+1,2 kg). Die Studie liefert weitere Daten zur Körperzusammensetzung, die mit Rücksicht auf die Forschungsfrage nicht spezifisch dargestellt sind.

Die Autoren verweisen darauf, dass alle Gruppen signifikante Verbesserungen sowohl in der Maximalkraft als auch in der fettfreien Masse aufweisen. Es ist kein Vorteil der Supplementationsgruppen gegenüber der Placebo-Gruppe nachzuweisen.

#### **6. Muscle strength gains during resistance exercise training are attenuated with soy compared with dairy or usual protein intake in older adults: A randomized controlled trial (Lynch, Buman, Dickinson, Ransdell, Johnston, & Wharton, 2020)**

Die Studie von Lynch, et. al. (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 22) zeigt auf, dass sowohl die WPG als auch die SPG signifikante Verbesserungen in verschiedenen Parametern verzeichneten. Die Teilnehmer der WPG verzeichneten eine signifikante Zunahme der FFM von  $44,5 \pm 8,7$  kg auf  $46,0 \pm 8,9$  kg, was einem Anstieg von 1,5 kg entspricht. Die Fettmasse nahm von  $20,2 \pm 6,3$  kg auf  $19,6 \pm 6,2$  kg ab (-0,6 kg), was auch mit einer Körperfettreduktion von  $31,4 \pm 8,2$  % auf  $29,7 \pm 8,9$  % (-1,7 %) einherging. Der Umfang des Musculus Vastus lateralis nahm von  $2,3 \pm 0,5$  cm auf  $2,5 \pm 0,5$  cm zu, was einem Zuwachs von 0,12 cm entspricht. Der Umfang des Musculus Vastus intermedius stieg von  $1,4 \pm 0,2$  cm auf  $1,6 \pm 0,2$  cm, was einer Zunahme von 0,2 cm entspricht. Das maximale Drehmoment der Knieextension erhöhte sich von  $124,4 \pm 39,9$  Nm auf  $164,6 \pm 39,4$  Nm, was einer Steigerung von 30,5 Nm entspricht. Ähnlich verbesserte sich das maximale Drehmoment bei Knieflexion von  $60,5 \pm 15,9$  Nm auf  $80,9 \pm 18,0$  Nm, was eine Zunahme um 14,2 Nm darstellt.

In der SPG stieg die FFM von  $44,1 \pm 10,3$  kg auf  $45,2 \pm 10,3$  kg, was einem Anstieg von 1,2 kg entspricht. Gleichzeitig nahm die Fettmasse von  $19,7 \pm 6,8$  kg auf  $18,8 \pm 6,8$  kg ab (-0,9 kg), was mit einer Verringerung des Körperfettanteils von  $30,9 \pm 8,2$  % auf  $29,8 \pm 7,8$  % (-1,1 %) einherging. Der Umfang des Musculus Vastus lateralis nahm in dieser Gruppe von  $2,2 \pm 0,3$  cm auf  $2,3 \pm 0,3$  cm zu, was einem Zuwachs von 0,15 cm entspricht. Der Umfang des Musculus Vastus intermedius stieg von  $1,3 \pm 0,2$  cm auf  $1,5 \pm 0,2$  cm, was einem Zuwachs von 0,2 cm entspricht. Das maximale Drehmoment der Knieextension erhöhte sich

von  $132,0 \pm 44,9$  Nm auf  $160,4 \pm 43,8$  Nm (+19,7 Nm), während sich das maximale Drehmoment der Knieflexion von  $64,3 \pm 15,0$  Nm auf  $80,6 \pm 20,0$  Nm (+11,4 Nm) verbesserte. Die Autoren der Studie kommen zu dem Schluss, dass beide Proteinquellen zu ähnlichen Verbesserungen führen, obwohl die verabreichte Proteingrammzahl unterschiedlich war. Lediglich der Leucin- und Isoleucinanteil der Aminosäuresupplementation war nahezu identisch.

### **7. Effects of Whey, Soy or Leucine Supplementation with 12 Weeks of Resistance Training on Strength, Body Composition, and Skeletal Muscle and Adipose Tissue Histological Attributes in College-Aged Males (Mobley, Haun, Roberson, Mumford, Romero, Kephart, Anderson, Vann, Osburn, Pledge, Martin, Young, Goodlett, Pascoe, Lockwood, & Roberts, 2017)**

Die Studie von Mobley, et al. (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 22) zeigt, dass die Supplementierung in der Placebo-Gruppe (PLAG), der Whey-Protein-Konzentrat-Gruppe (WPCG), der Whey-Protein-Hydrolysat-Gruppe (WPHG), der Soja-Protein-Konzentrat-Gruppe (SPCG) sowie der Leucin-Gruppe (LEUG) signifikante Verbesserungen erzielte.

In der Placebo-Gruppe stieg die FFM von 36,5 kg auf 38,9 kg, was einer Zunahme von 2,4 kg entspricht. Weitere Ergebnisse zur Körperzusammensetzung sind mit Rücksicht auf die Forschungsfrage, nicht dargestellt. Der Muskelquerschnitt des M. Vastus lateralis stieg von 2,3 cm auf 2,7 cm (+0,4 cm). Die Leistung der Kniebeuge (3-RM) verbesserte sich von 70 kg auf 111 kg (+41 kg), und die Leistung im Bankdrücken (3-RM) stieg von 60 kg auf 79 kg (+19 kg). Die maximale Kraft wurde über das „Isometric Mid-Thigh Pull“-Verfahren getestet (IMTP) und stieg von 3,2 Kilonewton (kN) auf 3,7 kN (+0,5 kN). Die Querschnittsfläche der Typ-I-Muskelfasern wuchs um  $394 \pm 25 \mu\text{m}^2$ , während die Typ-II-Muskelfasern eine Zunahme von  $927 \pm 50 \mu\text{m}^2$  verzeichneten. Die Anzahl der Satellitenzellen stieg um 5 %.

In der WPCG stieg die FFM von 37,4 kg auf 39,7 kg (+2,3 kg). Weitere Ergebnisse zur Körperzusammensetzung sind mit Rücksicht auf die Forschungsfrage, nicht dargestellt. Der Muskelquerschnitt des M. Vastus lateralis stieg von 2,5 cm auf 3,0 cm (+0,5 cm). Die Leistung der Kniebeugen (3-RM) verbesserte sich von 83 kg auf 118 kg (+35 kg), und die Leistung im Bankdrücken stieg von 68 kg auf 89 kg (+21 kg). Die maximale Kraft (IMTP) stieg von 3,4 kN auf 3,9 kN (+0,5 kN). Die Querschnittsfläche der Typ-I-Muskelfasern wuchs um  $400 \pm 20 \mu\text{m}^2$ , während die Typ-II-Muskelfasern eine Zunahme von  $935 \pm 45 \mu\text{m}^2$  verzeichneten. Die Anzahl der Satellitenzellen erhöhte sich um 12 %.

Die FFM in der WPHG stieg von 37,4 kg auf 39,3 kg (+1,9 kg). Weitere Ergebnisse zur Körperzusammensetzung sind mit Rücksicht auf die Forschungsfrage, nicht dargestellt. Der Muskelquerschnitt des M. Vastus lateralis stieg von 2,3 cm auf 2,6 cm (+0,3 cm). Die Leistung der Kniebeugen (3-RM) verbesserte sich von 83 kg auf 120 kg (+37 kg), und die Leistung im Bankdrücken stieg von 73 kg auf 89 kg (+16 kg). Die maximale Kraft (IMTP) erhöhte sich von 3,2 kN auf 3,6 kN (+0,4 kN). Die Querschnittsfläche der Typ-I-Muskelfasern wuchs um  $397 \pm 21 \mu\text{m}^2$ , während die Typ-II-Muskelfasern eine Zunahme von  $932 \pm 48 \mu\text{m}^2$  verzeichneten. Die Anzahl der Satellitenzellen stieg um 11 %.

In der SPCG nahm die FFM von 37,3 kg auf 39,9 kg (+2,6 kg) zu. Weitere Ergebnisse zur Körperzusammensetzung sind mit Rücksicht auf die Forschungsfrage, nicht dargestellt. Der Muskelquerschnitt des M. Vastus lateralis stieg von 2,5 cm auf 3,0 cm (+0,5 cm). Die Leistung der Kniebeugen (3-RM) stieg von 82 kg auf 118 kg (+36 kg), und die Leistung im Bankdrücken stieg von 65 kg auf 82 kg (+17 kg). Die maximale Kraft (IMTP) erhöhte sich von 3,2 kN auf 3,6 kN (+0,4 kN). Die Querschnittsfläche der Typ-I-Muskelfasern wuchs um  $395 \pm 24 \mu\text{m}^2$ , während die Typ-II-Muskelfasern um  $929 \pm 51 \mu\text{m}^2$  zunahmen. Die Anzahl der Satellitenzellen stieg um 9 %.

Die Teilnehmer der LEUG verzeichneten eine Zunahme der FFM von 36,4 kg auf 38,3 kg (+1,9 kg). Weitere Ergebnisse zur Körperzusammensetzung sind mit Rücksicht auf die Forschungsfrage, nicht dargestellt. Der Muskelquerschnitt des M. Vastus lateralis erhöhte sich von 2,3 cm auf 2,8 cm (+0,5 cm). Die Leistung der Kniebeugen (3-RM) verbesserte sich von 85 kg auf 112 kg (+27 kg), und die Leistung im Bankdrücken stieg von 68 kg auf 82 kg (+14 kg). Die maximale Kraft (IMTP) stieg von 3,3 kN auf 3,7 kN (+0,4 kN). Die Querschnittsfläche der Typ-I-Muskelfasern wuchs um  $396 \pm 22 \mu\text{m}^2$ , während die Typ-II-Muskelfasern um  $930 \pm 52 \mu\text{m}^2$  zunahmen. Die Anzahl der Satellitenzellen erhöhte sich um 6 %.

Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass alle Supplementgruppen, unabhängig von der Art des Proteins, signifikante Verbesserungen in der Körperzusammensetzung, Muskelkraft und Muskelhypertrophie aufweisen, es aber keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gibt. Jedoch zeigte sich, dass Whey Protein (insbesondere in der Konzentrat- und Hydrolysatform) die Anzahl der Satellitenzellen stärker erhöht.

## 6 Diskussion

Im Anschluss an die Darstellung der Forschungsergebnisse werden diese zusammengefasst und in Hinblick auf ihre Bedeutung für die Forschungsfrage diskutiert. Dabei stehen die zentralen Erkenntnisse im Vordergrund, die kritisch im Kontext der Forschungsfrage bewertet werden. Anschließend wird die methodische Vorgehensweise reflektiert, um die Aussagekraft und Validität der Ergebnisse zu beurteilen. Es erfolgt eine Einordnung der Ergebnisse in den wissenschaftlichen Kontext sowie ein Ausblick auf weiterführende Forschung und die praktische Relevanz der gewonnenen Erkenntnisse.

### 6.1 Ergebnisdiskussion

In der einleitenden Darstellung der Ergebnisdokumentation werden zunächst die einzelnen Studien detailliert analysiert, bevor deren Ergebnisse systematisch in einen übergeordneten Kontext integriert und miteinander in Relation gesetzt werden.

Die Studie von Thomson, et. al (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 20) zeigt, dass die Proteinaufnahme in der MPG und der SPG höher ist als in der Kontrollgruppe. Die Kraftzuwächse in der SPG sind signifikant geringer als in der MPG und der Kontrollgruppe. Muskelmasse, körperliche Funktion und geistige Gesundheit verbessern sich in allen Gruppen, jedoch ohne signifikante Unterschiede. Ein zentraler Kritikpunkt der Studie ist die hohe Abbruchrate. Von den anfänglich 179 eingeschriebenen Probanden beendeten lediglich 83 die Untersuchung, was einer Abbruchquote von etwa 54 % entspricht. Der Rückgang der Stichprobe kann die Generalisierbarkeit der Resultate stark beeinträchtigen. Es wird angegeben, dass die Abbruchrate gleichmäßig auf die Gruppen verteilt war, allerdings fehlt eine differenzierte Analyse der Gründe für den Studienabbruch. Dies eröffnet die Möglichkeit methodischer Verzerrungen, insbesondere, wenn Aspekte wie Unverträglichkeiten oder die Motivation der Probanden nicht hinreichend erfasst wurden. Eine weitere Einschränkung der Studie besteht darin, dass die genaue Proteinzufuhr möglicherweise unterschätzt wurde, was die Interpretation der Ergebnisse erschwert. Dabei wurden nicht alle biologischen Mechanismen erfasst, die für die geringere anabole Wirkung von Sojaprotein verantwortlich sein könnten. Die Studie von Singh, et al. (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 20) kommt zu dem Schluss, dass sowohl in der EPG als auch in der MPG vergleichbare Verbesserungen in Muskelstärke und Muskelmasse erzielt wurden. Es treten keine signifikanten Unterschiede in der Häufigkeit von Nebenwirkungen oder klinisch relevanten Veränderungen zwischen der EPG und der MPG auf. Das Ergebnis muss jedoch kritisch betrachtet werden, da die

geringe Stichprobengröße von lediglich 50 Teilnehmern, verbunden mit einer Abbruchrate von 15 Personen, eine wesentliche Limitation der Studie darstellt. Diese Abbruchrate birgt zudem das Risiko einer verzerrten Ergebnisinterpretation, insbesondere, da detaillierte Informationen über die Gründe für den Ausstieg der Probanden fehlen. Ein weiterer methodischer Schwachpunkt dieser Studie liegt in der Selbstüberwachung des Trainings. Da die Probanden ihre Übungen zu Hause ohne kontinuierliche Aufsicht durch einen Trainer durchführten, besteht die Möglichkeit, dass Trainingsintensität und -qualität zwischen den Gruppen variierte.

Letztlich fehlt eine genaue Messung der n-3-Fettsäurezufuhr, was die Muskelproteinsynthese beeinflusst haben könnte. Außerdem erfolgt keine Messung des Muskelquerschnitts, wodurch das tatsächliche Muskelwachstum nicht eindeutig bewertet werden kann.

Die Studie von Reidy, et al. (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 21) verweist darauf, dass die Supplementierung in der SPG möglicherweise zu einem marginalen Anstieg der fettfreien Körpermasse führt, jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Beinmuskelmasse hat. Muskelhypertrophie, die eine Verbesserung in Muskelgröße und -funktion aufweisen, tritt unabhängig von der Supplementierung in allen drei Gruppen auf. Bei genauer Betrachtung der Studie bringt die geringe Stichprobengröße von nur 59 Teilnehmern, mit einer Abbruchrate von 24 %, eine bedeutende Einschränkung der Aussagekraft mit sich. Ein weiterer methodischer Schwachpunkt ist die fehlende Kontrolle der Trainingsüberwachung außerhalb des Labors. Obwohl das Training überwiegend unter Aufsicht durchgeführt wurde, gibt es Hinweise darauf, dass die Intensität und Qualität des Trainings in den Eigenheiten der Probanden variiert. Ein relevanter Kritikpunkt dieser Studie ist die unzureichende Kontrolle der Kalorienzufuhr. Aus den Daten zur Energieaufnahme geht hervor, dass die Kalorienzufuhr in der SPG von  $2460 \pm 158$  kcal/Tag zu Beginn auf  $2270 \pm 161$  kcal/Tag nach 12 Wochen sank, während in der WPG ein Anstieg von  $2490 \pm 179$  kcal/Tag auf  $2670 \pm 194$  kcal/Tag beobachtet wurde. Die MDPG zeigte weitgehend stabile Kalorienwerte mit minimalen Schwankungen ( $2220 \pm 189$  kcal/Tag auf  $2200 \pm 195$  kcal/Tag). Diese signifikanten Unterschiede in der Kalorienaufnahme zwischen den Gruppen könnten die Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich der Muskelmasse und Körperzusammensetzung erheblich beeinflussen.

Die Ergebnisse der Studie von Gorissen, et al. (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 21) deuten darauf hin, dass pflanzliche Proteine durch die Erhöhung der Einnahmemenge eine vergleichbare anabole Wirkung wie tierische Proteine erzielen können, wobei jedoch höhere Mengen erforderlich sind. Eine methodische Einschränkung der Studie besteht darin, dass alle Probanden männlich waren und ein Durchschnittsalter von 71 Jahren hatten. Alter und

Geschlecht haben entscheidenden Einfluss auf die Interpretation der Ergebnisse. Ältere Erwachsene neigen zu einer altersbedingten anabolen Resistenz, wodurch der Muskelaufbau weniger stark auf Proteinzufuhr reagiert. Es gibt keine Angaben über eine genaue Kontrolle der Kalorienzufuhr während der Studie, abgesehen von der Standardisierung der Mahlzeit am Vorabend des Tests. Dies könnte zu einer ungewollten Variabilität in der Energieaufnahme geführt haben, die sich potenziell auf die Ergebnisse bezüglich der Muskelproteinsynthese ausgewirkt haben könnte. Da sich diese Studie ausschließlich auf die postprandiale Muskelproteinsynthese nach Proteinzufuhr ohne begleitendes Widerstandstraining konzentriert, weist sie einen wesentlichen methodischen Unterschied zu anderen Untersuchungen auf, die den kombinierten Effekt von Proteinsupplementation und Widerstandstraining auf das Muskel- oder Kraftwachstum untersuchen. Darüber hinaus wurden in dieser Studie die Aminosäurekonzentrationen im Blut gemessen, nicht jedoch die Muskelmasse oder der Kraftzuwachs. Dies erschwert die Vergleichbarkeit mit den anderen in dieser Arbeit einbezogenen Studien. Letztlich untersuchte die Studie lediglich die Auswirkungen der MPS bei Männern, was die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Allgemeinheit einschränkt.

Die Studie von Zbinden-Foncea, et al. (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 22) zeigt, dass weder in der CPG, der WPG noch in der Placebogruppe die FFM oder die Kraftzuwächse signifikant unterschiedlich sind. Ein wesentlicher Kritikpunkt ist die geringe Stichprobengröße. Mit nur 18 Probanden ist die statistische Aussagekraft der Studie für sich eingeschränkt. Zudem waren die Teilnehmer ausschließlich junge, untrainierte Männer, was die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Populationen einschränkt. Ein Schreibfehler in der „Result Tabelle 2“ erschwert zudem die korrekte Interpretation der Kalorienaufnahme in der Chia-Gruppe. Es bleibt unklar, ob die Energieaufnahme in dieser Gruppe im Vergleich zur Baseline tatsächlich reduziert oder gesteigert wurde, wodurch die Validität der Resultate verzerrt wird. Die Studiendauer von 8 Wochen ist ebenfalls als kritisch zu hinterfragen. Eine Aussage zum langfristigen Unterschied der Gruppen bleibt aus. Muskelhypertrophie und signifikante Anpassungen an das Krafttraining benötigen oft längere Zeiträume, um sichtbar zu werden.

Die Studie von Lynch, et. al. (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 22) verweist darauf, dass sowohl in der SPG als auch in der WPG vergleichbare Zuwächse an FFM und Muskelkraft erreicht werden, wenn sie auf den gleichen Leucingehalt abgestimmt sind. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass die Probandengruppe ausschließlich aus jungen Männern besteht, wodurch die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Allgemeinheit eingeschränkt wird.

Zwar wurde das Training von geschulten Trainern begleitet, jedoch fehlen detaillierte Angaben zur Standardisierung der Trainingsprotokolle. Ohne klare Informationen darüber, ob

alle Probanden einheitlich trainiert und überwacht wurden, ist es schwierig, die Auswirkungen des Trainings auf die Ergebnisse objektiv zu bewerten. Das Fehlen von Kontrollgruppen schränken die Aussagekraft der Untersuchung zur Wirkung des Leucingehalt ebenfalls ein. Letztlich muss die Studie von Mobley, et. al., (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 23) kritisch betrachtet werden. Die kleine Stichprobengröße und die kurze Studiendauer schränken die Generalisierbarkeit der Ergebnisse ein. Weiterhin ist die demografische Homogenität der Probanden kritisch zu hinterfragt. Dennoch wurden keine zusätzlichen Vorteile durch die Protein-Supplementierung bezüglich Muskelwachstum oder Kraftsteigerung verzeichnet. Es sollte zudem berücksichtigt werden, dass die vorliegenden Studien alle in Kombination mit einem Trainingsprogramm stattgefunden haben. Widerstandstraining hat einen signifikanten Einfluss auf die MPS.

Die direkte Vergleichbarkeit der Studien ist aufgrund unterschiedlicher Messmethoden eingeschränkt, da Studie 1 den 8-RM-Test, Studien 3, 4, 5 und 6 den 1-RM-Test und Studie 7 den 3-RM-Test zur Ergebnissicherung nutzen. Hinzu kommen variierende Proteinpräparate und heterogene Probandengruppen, was die Vergleichbarkeit weiter erschwert. Diese methodischen Unterschiede machen eine direkte Gegenüberstellung der Ergebnisse komplex. Dennoch ermöglicht eine präzise Betrachtung der Studien, die wesentlichen Trends und Erkenntnisse zu konsolidieren. Trotz der methodischen Unterschiede weisen die Studien eine ausreichende Übereinstimmung auf. Einheitlich wird aufgezeigt, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen pflanzlichen und tierischen Proteinquellen in Bezug auf die Zunahme von Muskelmasse und Kraft gibt. Diese Schlussfolgerung wird durch die Übereinstimmung der Studien gestützt. Dadurch gewinnt auch das Ergebnis von Zbinden-Foncea und Kollegen, trotz niedriger Probandenzahl, an Bedeutung.

Rückblickend auf die Forschungsfrage lässt sich nach Konsolidierung der Ergebnisse feststellen, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen tierischen und pflanzlichen Proteinquellen hinsichtlich der Muskelhypertrophie bei gesunden Erwachsenen im Alter von 18 bis 75 Jahren gibt. Die Studien zeigen, dass sowohl pflanzliche als auch tierische Proteine zu ähnlichen Zuwächsen an Muskelmasse und Kraft führen, wenn sie in ausreichender Menge konsumiert werden. Allerdings deuten die Ergebnisse von Reidy, et. al. darauf hin, dass tierische Proteine insbesondere bei jüngeren Menschen einen größeren Einfluss auf die Muskelhypertrophie haben können. Bei älteren Erwachsenen muss hingegen eine höhere Menge pflanzlicher Proteine konsumiert werden, um vergleichbare Effekte wie mit tierischen Proteinen zu erzielen, wie Gorissen und Kollegen erkennen lassen.

Diese Erkenntnisse stehen im Einklang mit der systematischen Übersichtsarbeit von Lim, Pan, Toh, Sutanto & Kim, (2021), welche übereinstimmend zu dem Ergebnis kommt, dass

pflanzliche und tierische Proteine vergleichbare Effekte auf die Muskelhypertrophie haben, vorausgesetzt die Proteinzufuhr ist ausreichend. Die Übersichtsarbeit von Lim, et. al., hebt ebenfalls hervor, dass tierische Proteine insbesondere bei jüngeren Erwachsenen (<50 Jahre) tendenziell eine höhere Wirksamkeit zeigen, während bei älteren Erwachsenen eine größere Menge pflanzlicher Proteine notwendig ist, um ähnliche Effekte zu erzielen. Dieses Ergebnis kann in dieser Übersichtsarbeit nicht reproduziert werden. Die genannten Übereinstimmungen verstärken die Validität der in dieser Arbeit betrachteten Studien, da die Relevanz der beobachteten Trends in verschiedenen Populationen bestätigt werden. Somit bestätigen die aktuellen Forschungsergebnisse die Gleichwertigkeit beider Proteinquellen, wenn diese kontextabhängig in ausreichender Menge konsumiert werden.

## **6.2 Methodendiskussion**

In der Methodendiskussion wird die angewandte Vorgehensweise kritisch reflektiert sowie die daraus resultierenden methodischen Limitationen aufgezeigt.

Zunächst lässt sich anhand der gestellten Forschungsfrage erkennen, dass die strenge Fokussierung auf den direkten Vergleich pflanzlicher und tierischer Proteinquellen zum Ausschluss von Studien führte, die nur eine der beiden Proteinkategorien untersuchten.

Die ausschließliche Verwendung von PubMed schränkte die Vollständigkeit der Literaturauswahl ein, da relevante Studien aus anderen wissenschaftlichen Datenbanken eventuell übersehen oder nicht berücksichtigt wurden. Einige Zugänge zu Studien sind durch institutionelle Logins gesperrt, weshalb möglicherweise nicht alle zutreffenden Studien einbezogen wurden. Dadurch bleibt eine gewisse methodische Einschränkung hinsichtlich der Breite der Literaturlbasis bestehen.

Zusätzlich führt die Anwendung strenger Ein- und Ausschlusskriterien, wie die Fokussierung auf RCTs und CTs dazu, dass Studien, die nur eine der beiden Proteinkategorien (pflanzlich oder tierisch) untersuchten, nicht berücksichtigt wurden. Dadurch ging möglicherweise wertvolle Evidenz verloren, die alternative Ergebnisse ergänzt hätte. Dies betrifft insbesondere Studien, die sich spezifisch mit der Langzeitwirkung einer einzelnen Proteinkategorie beschäftigen und somit wichtige Erkenntnisse für die Fragestellung hätten liefern können.

Auch die Entscheidung, Studien nur ab einem bestimmten Publikationsjahr einzuschließen, schränkte die Breite der analysierten Literatur erheblich ein. Studien, die wichtige methodische Ansätze untersuchen, wurden nicht gescreent und möglicherweise ohne Prüfung ausgeschlossen. Dazu gehört unter anderem die Studie von Candow, Burke, Smith-Palmer &

Burke (2006), die die Auswirkungen von Molken- und Sojaproteinsupplementierung in Kombination mit Widerstandstraining auf Muskelkraft und Körperzusammensetzung bei jungen Erwachsenen untersucht. Zudem führten die eng gefassten Suchbegriffe dazu, dass relevante Studien, die weniger spezifische Terminologien nutzen, nicht erfasst wurden.

Die Generalisierbarkeit der Ergebnisse wird dadurch eingeschränkt, dass in den eingeschlossenen Studien ausschließlich gesunde Probanden untersucht wurden, während Personen mit Vorerkrankungen, wie metabolischen Störungen oder Adipositas, nicht berücksichtigt wurden. Auch die untersuchten Populationen, Messmethoden und Interventionsdauern weisen trotz strenger Filterkriterien deutliche Unterschiede auf. Diese methodischen Variationen betreffen darüber hinaus die Trainingsintensität und die untersuchten Proteinquellen. Solche Unterschiede erschweren die Vergleichbarkeit der Ergebnisse und tragen zu einer Varianz in den Resultaten bei. Zusätzlich verstärkt ein möglicher Publikationsbias die Vergleichbarkeit, da Studien mit positiven Ergebnissen tendenziell häufiger veröffentlicht werden als Arbeiten mit negativen oder neutralen Resultaten. Diese Disparität kann zu einer verzerrten Datengrundlage führen.

Im Vergleich zu anderen systematischen Reviews, wie der Übersichtsarbeit von Lim et al. (2021), lag der Fokus dieser Arbeit auf einer strengeren Auswahl der Studien. Ein wichtiger Faktor war der Gesundheitszustand der Probanden. Während Lim et al. auch Probanden mit Vorerkrankungen, wie Adipositas oder metabolischen Störungen, einbezieht, umfasst diese Arbeit ausschließlich Studien mit gesunden Probanden. Diese Einschränkung reduzierte die Anzahl der eingeschlossenen Studien drastisch, gewährleistet jedoch eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Darüber hinaus wurden hohe Anforderungen an das Studiendesign gestellt. Einige der Studien, die in Lim et al. zitiert werden, wie die Studien von Banaszek et al. (2019) und Basciani et al. (2020), waren nicht verblindet oder untersuchten spezifische Bevölkerungsgruppen. Die strenge Fokussierung auf Studien mit hoher methodischer Qualität hat die Anzahl der einbezogenen Studien auf Kosten der Quantität reduziert.

Zu den genannten Faktoren stellt der eingeschränkte Zugang zu Volltexten eine methodische Limitation dar. Relevante Studien sind möglicherweise nicht in die Analyse einbezogen worden. Dies betrifft insbesondere Arbeiten, die hinter kostenpflichtigen Barrieren lagen. Der Ausschluss dieser Studien könnte zu einer unvollständigen Evidenzbasis führen. Trotz einer sorgfältigen und systematischen Literatursuche besteht die Möglichkeit, dass relevante Studien nicht erfasst wurden. Dies kann durch die Begrenzung auf eine spezifische Datenbank oder durch die gewählten Suchstrategien bedingt sein. Die Möglichkeit, dass Studien mit abweichenden Suchbegriffen publiziert wurden, sollte ebenfalls berücksichtigt werden.

Abschließend lässt sich erkennen, dass auch, wenn sich die angewandte Methodik durch eine hohe Qualität und strikte Ein- und Ausschlusskriterien auszeichnet, festzustellen ist, dass diese Strenge möglicherweise die Aussagekraft der Analyse eingeschränkt hat. Der Ausschluss älterer Studien sowie die Fokussierung auf RTCs haben die Anzahl der einbezogenen Arbeiten deutlich reduziert und so die Breite der evidenzbasierten Aussagen begrenzt. Ebenso hätte die Nutzung weiterer Datenbanken die Vollständigkeit der Literaturlbasis erhöhen und zusätzliche Perspektiven eröffnen können. Es ist daher von zentraler Bedeutung, sich der methodischen Einschränkungen bewusst zu sein, um die Aussagekraft der Ergebnisse realistisch einzuschätzen zu können.

### **6.3 Schlussfolgerung und Ausblick**

Die Ergebnisse zeigen, dass die Proteinquelle für die Muskelproteinsynthese ab einer bestimmten Menge nicht mehr entscheidend ist. Solange eine ausreichende Aminosäurekonzentration erreicht wird, scheint es unerheblich zu sein, ob diese Aminosäuren aus tierischen oder pflanzlichen Quellen stammen. Der Schwellenwert für die notwendige Aminosäuremenge, insbesondere in Bezug auf die Aminosäure Leucin, wurde in dieser Arbeit jedoch nicht untersucht. In zukünftigen Forschungen sollten insbesondere der Leucinschwellenwert sowie der spezifische Leucinbedarf und dessen optimale Aufnahme eingehend untersucht werden, um präzisere Handlungsempfehlungen für die Proteinzufuhr zu entwickeln.

Die Forschungsfrage, ob tierische oder pflanzliche Proteinquellen besser für das Muskelwachstum geeignet sind, lässt sich somit wie folgt beantworten: Ab einer ausreichenden Proteinzufuhr mit einer bestimmten Aminosäurekonzentration ist die Quelle des Proteins für die Muskelproteinsynthese von geringer Bedeutung. Bei älteren Personen könnte jedoch eine Empfehlung ausgesprochen werden, hochwertige Proteine aus tierischen Quellen zu bevorzugen. Zukünftige Studien sollten untersuchen, ab welchem Lebensalter dieser Effekt signifikant abnimmt und ob pflanzliche Proteine im Alter durch Anpassungen effektiver genutzt werden können. Zudem wäre es relevant zu klären, ob eine Kombination aus pflanzlichen und tierischen Proteinen ähnliche Effekte wie rein tierische Proteine bei älteren Menschen erzielen kann. Zudem sollten zukünftige Studien die Auswirkungen von Nährstoffen auf die MPS unabhängig von Trainingsreizen eingehender untersuchen. Ein vertieftes Verständnis der MPS unter isolierten Ernährungsbedingungen könnte wesentliche Erkenntnisse über die spezifische Rolle von Nährstoffen im Muskelstoffwechsel liefern.

Die Analyse der Ergebnisse dieser Untersuchung zeigt, dass die vorliegenden Befunde im Einklang mit der aktuellen wissenschaftlichen Literatur stehen. Es wird angenommen, dass

die Proteinquelle und die Menge der Proteinzufuhr zentrale Faktoren für die Muskelhypertrophie sind. Dabei können sowohl tierische als auch pflanzliche Proteine zur Unterstützung des Muskelwachstums beitragen, wobei die individuellen Eigenschaften und die spezifische Zufuhr berücksichtigt werden müssen.

## 7 Zusammenfassung

Gegenstand dieses systematischen Reviews ist es, den Einfluss tierischer und pflanzlicher Proteinquellen auf die Muskelhypertrophie bei Erwachsenen im Alter von 18 bis 75 Jahren zu untersuchen. Die Relevanz dieser Untersuchung ergibt sich aus dem wachsenden Interesse an pflanzlichen Ernährungsformen. Ihre potenzielle Vergleichbarkeit mit tierischen Proteinen im Hinblick auf die Hypertrophie ist von wissenschaftlichem und gesellschaftlichem Interesse (IfD Allensbach, 2023). Im Fokus dieser Arbeit stand eine differenzierte Analyse der Wirkung pflanzlicher und tierischer Proteinquellen auf die Muskelmasse. Dabei wurden die Effekte unter kontrollierten Ernährungs- und Trainingsbedingungen untersucht. Es wurden ausschließlich randomisierte kontrollierte und kontrollierte Studien einbezogen, die den Vergleich zwischen dem Einfluss tierischer und pflanzlicher Proteine auf die Muskelhypertrophie bei gesunden Erwachsenen analysierten. Dabei wurden insgesamt sieben geeignete Studien in der Datenback von Pubmed identifiziert und in die Untersuchung mit eingeschlossen. Die methodische Qualität der Studien wurde mittels eines Risiko-Bias-Assessments bewertet.

Die zentralen Ergebnisse der Arbeit verdeutlichen, dass sowohl tierische als auch pflanzliche Proteine signifikante Effekte auf die Hypertrophie haben. Es wird deutlich, dass die Art der Proteinquelle eine untergeordnete Rolle spielt, sofern eine ausreichende Aminosäurezufuhr gewährleistet ist. Dennoch zeigen tierische Proteine, insbesondere bei jüngeren Menschen, eine stärkere Wirkung auf die Muskelhypertrophie

Die Ergebnisse des Reviews legen nahe, dass pflanzliche Proteine eine wirksame Alternative zu tierischen Proteinen für den Muskelaufbau darstellen können. Zukünftige Studien sollten sich jedoch auf Langzeiteffekte und optimale Kombinationen pflanzlicher Proteine konzentrieren, um deren vollständiges Potenzial zu erfassen. Auch die unterschiedliche Wirkung für verschiedene Altersgruppen ist relevant. Zudem sind weitere Untersuchungen notwendig, um die individuellen Unterschiede bei verschiedenen Trainingsarten zu verstehen. Dies wird langfristig helfen, pflanzliche Proteine als gleichwertige Option für die Muskelgesundheit zu etablieren

## 8 Literaturverzeichnis

Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Molecular Biology of the Cell* (6th ed.). Garland Science.

Antwerpes, F., Güler, I., Meznerits, I., Meiners, J., Mathies, L., & Hircin, E. (2024) Sarkomer, <https://flexikon.doccheck.com/de/Sarkomer> (Besucht: 05.11.2024)

Ajomiwe, N., Boland, M., Phongthai, S., Bagiyal, M., Singh, J., Kaur, L., Ajomiwe, N., Boland, M., (2024). Protein Nutrition: Understanding Structure, Digestibility, and Bioavailability for Optimal Health. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods13111771>

Banaszek A., Townsend J.R., Bender D., Vantrease W.C., Marshall A.C., Johnson K.D. The Effects of Whey vs. Pea Protein on Physical Adaptations Following 8-Weeks of High-Intensity Functional Training (HIFT): A Pilot Study. *Sports*. 2019;7:12. doi: 10.3390/sports7010012.

Basciani S., Camajani E., Contini S., Persichetti A., Risi R., Bertoldi L., Strigari L., Prossomariti G., Watanabe M., Mariani S., et al. Very-Low-Calorie Ketogenic Diets With Whey, Vegetable, or Animal Protein in Patients with Obesity: A Randomized Pilot Study. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2020;105:2939–2949. doi: 10.1210/clinem/dgaa336.

Baranauskas, M., Kupčiūnaitė, I., Stukas, R. (2023), Dietary Intake of Protein and Essential Amino Acids for Sustainable Muscle Development in Elite Male Athletes, Institute of Health Sciences, Faculty of Medicine, Department of Public Health, Vilnius University, 01513 Vilnius, Lithuania, <https://doi.org/10.3390/nu15184003>. (besucht: 03.06.2024).

Bloom, I.; Shand, C.; Cooper, C.; Robinson, S.; Baird, J. Diet Quality and Sarcopenia in Older Adults: A Systematic Review. *Nutrients* 2018, 10, 308. <https://doi.org/10.3390/nu10030308> (Besucht: 04.11.2024)

Boland, M., Phongthai, S., Bagiyal, M., Singh, J., & Kaur, L. (2024). Protein nutrition: Understanding structure, digestibility, and bioavailability for optimal health. *Foods*, 13(11), 1771. <https://doi.org/10.3390/foods13111771> (Besucht: 10.10.2024).

Booth, A., Papaioannou, D., & Sutton, A. (2012). *Systematic Approaches to a Successful Literature Review*. SAGE Publications.

Bodine, S. C., & Baehr, L. M. (2014). Skeletal muscle atrophy and the E3 ubiquitin ligases MuRF1 and MAFbx/atrogen-1. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 307(6), E469-E484. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00204.2014> (Besucht: 08.07.2024).

Buchberger, B., von Elm, E., Gartlehner, G., Huppertz, H., Antes, G., Wasem, J., & Meerpohl, J. J. (2014). Bewertung des Risikos für Bias in kontrollierten Studien. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 57(12), 1432-1438. <https://doi.org/10.1007/s00103-014-2065-6> (Besucht: 10.10.2024).

Candow, D. G., Burke, N. C., Smith-Palmer, T., & Burke, D. G. (2006). Effect of whey and soy protein supplementation combined with resistance training in young adults. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 16(3), 233–244. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.16.3.233>

Carbone, JW, Pasiakos, SM, Vislocky, LM (2014) Effects of short-term energy deficit on muscle protein breakdown and intramuscular proteolysis in normal-weight young adults.

Calik, M. (11 August 2023), *The Muscle Structure and Function*. In: Kaya Utlu, D. (eds) *Functional Exercise Anatomy and Physiology for Physiotherapists* Springerverlag, [https://doi.org/10.1007/978-3-031-27184-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-27184-7_4) (besucht: 04.07.2024).

DAK. (26. April, 2024). Krankenstand von DAK-Versicherten in Deutschland nach Geschlecht und Altersgruppe im Jahr 2023 [Graph]. In Statista. Zugriff am 04. November 2024, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/291166/umfrage/krankenstand-von-dak-versicherten-in-deutschland-nach-geschlecht-und-altersgruppe/>

Binder, M. D., Hirokawa, N., Uwe Windhorst, U., (2024) *Encyclopedia of Neuroscience* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg ISBN: 978-3-540-23735-8

Braun, T., & Gautel, M. (2011). Transcriptional mechanisms regulating skeletal muscle differentiation, growth and homeostasis. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**

Borgenvik, M, Apró, W & Blomstrand, E (2012) Intake of branched-chain amino acids influences the levels of MAFbx mRNA and MuRF-1 total protein in resting and exercising human muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab*.

gbe-bund.de, (22. April, 2024), Jährliche Gesundheitsausgaben in Deutschland in den Jahren von 1992 bis 2022 (in Millionen Euro) [Graph]. In *Statista*. Zugriff am 04. November 2024, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/5463/umfrage/gesundheitssystem-in-deutschland-ausgaben-seit-1992/>

Deldicque, L., (2020). "Protein Intake and Exercise-Induced Skeletal Muscle Hypertrophy: An Update" *Nutrients* 12, no. 7: 2023. <https://doi.org/10.3390/nu12072023> (besucht 07.07.2024).

Eurostat. (22. Juli, 2024). Europäische Union<sup>1</sup> & Eurozone<sup>2</sup>: Durchschnittsalter der Bevölkerung von 2013 bis 2023 (Altersmedian in Jahren) [Graph]. In *Statista*. Zugriff am 04. November 2024, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/361632/umfrage/durchschnittsalter-der-bevoelkerung-in-eu-und-euro-zone/>

Ferrari L, Panaite S-A, Bertazzo A, Visioli F., (2022) Animal- and Plant-Based Protein Sources: A Scoping Review of Human Health Outcomes and Environmental Impact. *Nutrients*.; 14(23):5115. <https://doi.org/10.3390/nu14235115> (besucht: 07.07.2024).

Gaucher, E., Cox, V. (2015). Protein. In: Gargaud, M., et al. *Encyclopedia of Astrobiology*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-44185-5\\_1287](https://doi.org/10.1007/978-3-662-44185-5_1287) (Besucht: 10.10.2024).

Graf, E., & Eaton, J. W. (1990). Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radical Biology and Medicine*, 8(1), 61-69. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(90\)90146-A](https://doi.org/10.1016/0891-5849(90)90146-A). (besucht 07.07.2024).

Gaudard-de Weck, D., Hischenhuber, C., & Kruseman, J. (1994). Proteins - definition, nutritional aspects and evaluation methods: a review. *Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène*, 85(3), 317-339. DOI: 10.5169/seals-982762. (besucht: 03.06.2024).

Gerdes, S. K., & Kenney, A. (2003). *U.S. Whey ingredients and weight management*. U.S. Dairy Export Council.

Goldberg, A.L., Etlinger, J.D., Goldspink, D.F., & Jablecki, C. (1975). Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 7(3).

Gordon, E. E., Kowalski, K., and Fritts, M. (1967). Adaptations of muscle to various exercises. Studies in rats. *JAMA* 199, 103–108. doi: 10.1001/jama.1967.03120020097018.

Haun, C.T., Vann, C.G., Roberts, B.M., Vigotsky, A.D., Schoenfeld, B.J., & Roberts, M.D. (2019). A critical evaluation of the biological construct skeletal muscle hypertrophy: Size matters but so does the measurement. *Frontiers in Physiology*, 10, 247. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00247> (besucht: 03.06.2024).

Heeransh D. Dave<sup>1</sup>, Micah Shook, Matthew Varacallo, *Skeletal Muscle* (28. August, 2023) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537236/>, (besucht: 04.07.2024).

Hector, AJ, McGlory, C, Damas, F,. (2018) Pronounced energy restriction with elevated protein intake results in no change in proteolysis and reductions in skeletal muscle protein synthesis that are mitigated by resistance exercise.

Henderickx, H. (1963), Biological value and chemical score <https://doi.org/10.1007/BF02018675> (besucht: 06.06.2024).

Hernandez, J. M., Fedele, M. J., & Farrell, P. A. (2012). Time course evaluation of protein synthesis and glucose uptake after acute resistance exercise in rats. *Journal of Applied Physiology*, 92(4), 1443-1450. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01188.2001> (Besucht: 10.10.2024).

Higgins, J. P. T., Altman, D. G., Gøtzsche, P. C., Jüni, P., Moher, D., Oxman, A. D., Savović, J., Schulz, K. F., Weeks, L., Sterne, J. A. C., Cochrane Bias Methods Group, & Cochrane Statistical Methods Group. (2011). The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*, 343, d5928. <https://doi.org/10.1136/bmj.d5928> (Besucht: 10.10.2024).

Hoppeler, H., & Flück, M. (2002). Exercise-induced muscle growth: what is the stimulating factor? *Journal of Applied Physiology*, <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01064.2001>. (Besucht: 08.07.2024).

IfD Allensbach. (19. Juni, 2023). Interesse der Bevölkerung in Deutschland an gesunder Ernährung und gesunder Lebensweise von 2019 bis 2023 (Personen in Millionen) [Graph]. In Statista. Zugriff am 04. November 2024, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/170913/umfrage/interesse-an-gesunder-ernaehrung-und-lebensweise/>

IfD Allensbach. (19. Juni, 2023). Personen in Deutschland, die sich selbst als Veganer einordnen oder als Leute, die weitgehend auf tierische Produkte verzichten, in den Jahren 2015 bis 2023 [Graph]. In Statista. Zugriff am 10. April 2024, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/445155/umfrage/umfrage-in-deutschland-zur-anzahl-der-veganer/>.

Joanisse, S., Lim, C., McKendry, J., Mcleod, J.C., Stokes, T., & Phillips, S.M. (2020). Recent advances in understanding resistance exercise training-induced skeletal muscle hypertrophy in humans. *F1000Research*, 9, 141–152. <https://doi.org/10.12688/f1000research.21588.1>. (besucht: 03.06.2024).

Joye I., (2019) Protein Digestibility of Cereal Products. *Foods*. 8(6):199. <https://doi.org/10.3390/foods8060199> (Besucht: 10.10.2024).

Kapp, L. D., & Lorsch, J. R. (2004). The molecular mechanics of eukaryotic translation. *Annual Review of Biochemistry*, 73, 657-704.

Katsanos, C. S., Kobayashi, H., Sheffield-Moore, M., Aarsland, A., & Wolfe, R. R. (2006). A high proportion of leucine is required for optimal stimulation of the rate of muscle protein synthesis by essential amino acids in the elderly. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 291(2), E381-E387.

Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2005). Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Medicine*, 35(4), 339-361. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535040-00004> (besucht: 08.07.2024).

Kumar, V., Abbas, A. K., & Aster, J. C., 9. Auflage, 2014, Basis of Disease.

Kimball, S. R., & Jefferson, L. S. (2006). Signaling pathways and molecular mechanisms through which branched-chain amino acids mediate translational control of protein synthesis. *Journal of Nutrition*, 136(1), 227S-231S. <https://doi.org/10.1093/jn/136.1.227S> (Besucht: 10.10.2024).

K. Munk und C. Abröll, Hrsg., (2008) *Biochemie, Zellbiologie. Taschenlehrbuch Biologie*. Stuttgart: Thieme.

Lamb, D. A., Moore, J. H., Smith, M. A., Vann, C. G., Osburn, S. C., Ruple, B. A., Fox, C. D., Smith, K. S., Altonji, O. M., Power, Z. M., Cerovsky, A. E., Ross, C. O., Cao, A. T., Goodlett, M. D., Huggins, K. W., Fruge, A. D., Young, K. C., & Roberts, M. D. (2020). The effects of resistance training with or without peanut protein supplementation on skeletal muscle and strength adaptations in older individuals. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 17(1), 66. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00397-y> (besucht: 03.06.2024).

Lehninger, A., Nelson, D., and Cox, M. (2005). *Principles of biochemistry*. 4th editio. New York.

Lim, M. T., Pan, B. J., Toh, D. W. K., Sutanto, C. N., & Kim, J. E. (2021). Animal Protein versus Plant Protein in Supporting FFM and Muscle Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients*, 13(2), 661. <https://doi.org/10.3390/nu13020661>

Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., ... & Matsudaira, P. (2016). *Molecular Cell Biology* (8th ed.).

Markets and Markets. (2024, May). Plant-based protein market by source (soy, wheat, pea, canola oats, rice & potato, beans & seeds, fermented protein), type (concentrates, isolates, textured), form (dry, liquid), nature (conventional, organic), application - Forecast to 2029

Marston, S., Zamora, J.E. Troponin structure and function: a view of recent progress. *J Muscle Res Cell Motil* 41, 71–89 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10974-019-09513-1>, (besucht: 04.07.2024).

Millward, DJ, Garlick, PJ, Nnanyelugo, DO, et al. (1976) The relative importance of muscle protein synthesis and breakdown in the regulation of muscle mass.

McGlory, C., Devries, M. C., & Phillips, S. M. (2017). Skeletal muscle and resistance exercise training; the role of protein synthesis in recovery and remodeling. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 122(3), 541–548. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00613.2016>. (besucht: 03.06.2024).

Mobley, C. B., Haun, C. T., Roberson, P. A., Mumford, P. W., Romero, M. A., Kephart, W. C., Anderson, R. G., Vann, C. G., Osburn, S. C., Pledge, C. D., Martin, J. S., Young, K. C., Goodlett, M. D., Pascoe, D. D., Lockwood, C. M., & Roberts, M. D. (2017). Effects of Whey, Soy or Leucine Supplementation with 12 Weeks of Resistance Training on Strength, Body Composition, and Skeletal Muscle and Adipose Tissue Histological Attributes in College-Aged Males. *Nutrients*, 9(9), 972. <https://doi.org/10.3390/nu9090972>. (besucht: 03.06.2024).

Morton, R. W., Murphy, K. T., McKellar, S. R., Schoenfeld, B. J., Henselmans, M., Helms, E., ... & Phillips, S. M. (2018). A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *British Journal of Sports Medicine*, 52(6), 376-384. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097608> (Besucht: 10.10.2024).

Norton, L. E., & Layman, D. K. (2006). Leucine regulates translation initiation of protein synthesis in skeletal muscle after exercise. *Journal of Nutrition*,

Phillips, SM, Tipton, KD, Aarsland, A, et al. (1997) Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol*.

Rampp. M. S., (2016) Spektroskopische Untersuchungen lichtinduzierter, ultraschneller Konformationsdynamiken von Modellpeptiden, Dissertation, Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München.

Russell, B., Motlagh, D., & Ashley, W.W. (2000). Form follows function: How muscle shape is regulated by work. *Journal of Applied Physiology*, 88(3), 1127–1132. <https://doi.org/10.1152/jap.2000.88.3.1127> (besucht: 03.06.2024).

Rose, G. D., Fleming, P. J., Banavar J. R und Maritan, A., (Juli 2006), A backbone-based theory of protein folding. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(45) S. 16623–16633.

Sadava, D., David M. Hillis, H. Craig Heller, Sally D. Hacker. (2019). *Purves Biologie*. Springer.

Sandri, M. (2008). Signaling in muscle atrophy and hypertrophy. *Physiology*, 23(3), 160-170. <https://doi.org/10.1152/physiol.00041.2007> (Besucht: 08.07.2024)

Schoenfeld, Brad J. (2010) The Mechanisms of Muscle Hypertrophy and Their Application to Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24(10):p 2857-2872, October | DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181e840f3.

Schoenfeld, B. J. (2013). Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Medicine*, 43(3), 179-194. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0017-1> (Besucht: 10.10.2024).

Schultka, H. (2003) Informationsvermittlung. Zur Vermittlung der Funktionsweise der Booleschen Operatoren AND, OR, NOT, *Bibliotheksdienst*, vol. 37, no. 11, 2003, pp. 1438-1449. <https://doi.org/10.1515/bd.2003.37.11.1438> (Besucht: 10.10.2024).

Sexton, C. L., Smith, M. A., Smith, K. S., Osburn, S. C., Godwin, J. S., Ruple, B. A., Hendricks, A. M., Mobley, C. B., Goodlett, M. D., Frugé, A. D., Young, K. C., & Roberts, M. D. (2021). Effects of Peanut Protein Supplementation on Resistance Training Adaptations in Younger Adults. *Nutrients*, 13(11), 3981. <https://doi.org/10.3390/nu13113981>. (besucht: 03.06.2024).

Tipton, K. D., & Wolfe, R. R. (2001). Exercise, protein metabolism, and muscle growth. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*.

Tipton, K. D., & Phillips, S. M. (2013). *Dietary Protein for Muscle Hypertrophy*. Health and Exercise Sciences Research Group, University of Stirling, Stirling, Scotland, UK; Department of Kinesiology, MacMaster University, Hamilton, ON, Canada.

Westphal, G., Gerber, G., & Lipke, B. (2003). *Proteine - nutritive und funktionelle Eigenschaften*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-55583-1> (Besucht: 10.10.2024).

Wohlann T, Warneke K, Kalder V, Behm DG, Schmidt T, Schiemann S. Influence of 8-weeks of supervised static stretching or resistance training of pectoral major muscles on maximal strength, muscle thickness and range of motion. *Eur J Appl Physiol*. 2024 Jun;124(6):1885-1893. doi: 10.1007/s00421-023-05413-y. Epub 2024 Jan 19. PMID: 38240811; PMCID: PMC11129965.

World Health Organization. (1973). Energy and protein requirements (Technical Report Series No. 552). World Health Organization.