



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Auswirkungen eines Okklusionstrainings auf die Kraft und funktionelle Leistungsfähigkeit – eine systematische Literaturrecherche“

verfasst von / submitted by

Matthias Hadatsch

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2019 / Vienna, 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 482 313

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramt
UF Bewegung und Sport
UF Geschichte, Sozialkunde, Polit. Bild.

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Danksagung

Zunächst gilt es Danke zu sagen. Ich bedanke mich ganz aufrichtig bei den Menschen, die mir die Möglichkeit gegeben haben, diese Diplomarbeit zu erstellen und ebenso bei denen, die mich auf diesem Weg unterstützt und begleitet haben.

Diese Arbeit wäre nicht möglich gewesen, wenn mir Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan nicht die Chance gegeben hätte, in meinem Interessensbereich ein Thema zu finden und dazu ein Werk zu verfassen. Vielen Dank für die gegebene Möglichkeit, die Unterstützung, die Betreuung und ebenso die Begleitung beim Verfassen dieser Diplomarbeit.

Ein ganz spezieller Dank gilt meiner gesamten Familie, meinen Eltern und meinen Brüdern, ohne deren Hilfe und Unterstützung diese Diplomarbeit nicht durchführbar gewesen wäre. Meinem Vater möchte ich von ganzem Herzen für die langjährige finanzielle Unterstützung und darüber hinaus für die herausragende Arbeit als Lektor in vielen Phasen dieses Studiums danken. Meiner Mutter möchte ich ebenso herzlich für die langjährige Unterstützung danken, die immer mit Rat und Tat an meiner Seite gestanden ist.

Ein weiteres Dankeswort richte ich an Renate. Herzlichen Dank für Deine umfangreiche Unterstützung, Deinen Rat sowie deine motivierende und wertschätzende Gesellschaft.

Zu guter Letzt möchte ich meinen Kollegen und Kolleginnen danken, die ich in den letzten Jahren kennenlernen durfte und die mir treue Weggefährten waren. Vielen Dank richte ich speziell an meine „Diplomarbuddies“ Willy, Robert und Manuel, die mich stets während des Schreibprozesses motivierten. Nicht weniger möchte ich meinen guten FreundInnen Jakob, Sebi, Jana, Kathi, Conny, Carina, Simo, Thomas, Daniel, Gerd, Mathias, Philipp, Alex, Lukas u.v.m. danken.

Zusammenfassung

Einleitung: Die Bedeutung des Krafttrainings hat sich in den letzten Jahren einer gesellschaftlichen Wandlung unterzogen. Längst hat es nicht nur Einzug in den Leistungssport gehalten, sondern ist schon ein alltäglicher Bestandteil des Fitness-, Breiten- und Gesundheitssports. Eine Zunahme an Muskelmasse dient nicht nur dem ästhetischen Zweck, sondern spielt auch im präventiven Alterssport eine erhebliche Rolle. Dabei wird eine Vergrößerung des Muskelquerschnitts mit einer Erhaltung der Mobilität assoziiert und wird darüber hinaus noch mit weiteren positiven Aspekten in Verbindung gebracht. Generell wird ein Muskelwachstum mit Trainingsintensitäten jenseits der 60% des Einwiederholungsmaximums erreicht. Eine weitere Methode, die mit wesentlich geringeren Intensitäten und einer Unterbindung des venösen Blutflusses eine Hypertrophie der Skelettmuskulatur erzielen kann, ist die des Blood Flow Restriction Trainings.

Zielsetzung: Die Intention der Diplomarbeit war es herauszufinden, ob ein Blood Flow Restriction Training einen größeren Muskelquerschnitt hervorrufen kann als ein herkömmliches Hypertrophietraining und welche Unterschiede bei einer exzentrischen und konzentrischen Übungsausführung entstehen. Darüber hinaus war es das Ziel festzustellen, ob diese Trainingsmethode Vorteile für ältere Menschen birgt.

Methode: Eine wissenschaftlich fundierte Beantwortung der Fragestellung wurde mittels einer systematischen Literaturrecherche angestrebt. Zu diesem Zweck wurden die Onlinedatenbanken „Pubmed“, „Web of Science“ und „Science Direct“ zu Rate gezogen. Nach einem systematischen Ausschlussverfahren wurden zehn Studien ausgewählt, beschrieben und diskutiert.

Ergebnisse: Ein Blood Flow Restriction Training vergrößert signifikant den Muskelquerschnitt. Die Studienlage zeigte jedoch, dass größere Erfolge im Hinblick auf eine Vergrößerung des Querschnitts der Muskulatur durch ein herkömmliches Hypertrophietraining erzielt werden konnten. Besonders für ältere Personen und jene die durch postoperative Einschränkungen und Krankheitsmuster - die den Bewegungsapparat betreffen - gezeichnet sind, stellt das Okklusionstraining allerdings eine wertvolle Alternative dar.

Schlüsselwörter: Blood Flow Restriction Training, Muskelwachstum, Muskelquerschnitt

Abstract

Introduction: In the last couple of years the importance of strength training has undergone a societal transformation. It has not only been part of competitive sports, but has already become a daily part of fitness, grassroots and health sports. An increase in muscle mass not only serves an aesthetic purpose, it also plays an important role in prevention in senior sports. An enlargement of the muscle cross sectional area is associated with greater preservation of mobility and is further associated with other positive aspects. In general, muscle growth is achievable with intensities beyond 60% of the repetition maximum. Another method with significantly lower intensities and suppression of venous blood flow which achieves hypertrophy of the skeletal muscle is the so called Blood Flow Restriction Training.

Objective: The intention of the thesis was to assess whether Blood Flow Restriction Training can produce a larger muscle cross sectional area than a conventional hypertrophy training and what differences occur in an eccentric and concentric exercise execution. Furthermore, the goal was to determine whether this training method has bears advantages for older people.

Method: A scientifically based answer to the question was attempted through a hermeneutical literature research. For this purpose, the online databases "Pubmed", "Web of Science" and "Science Direct" were consulted. Following a systematic exclusion procedure, ten studies were selected, described and discussed.

Results: Blood Flow Restriction Training significantly increases muscle cross sectional area. The study showed, however, that greater success could be achieved by conventional hypertrophy training. However, occlusal training presents a valuable alternative, especially for older people and those who are marked by postoperative limitations and disease patterns affecting the musculoskeletal system.

Keywords: Blood Flow Restriction Training, muscle growth, cross sectional area

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
1.1	Forschungsfragen der Arbeit.....	9
1.2	Methode	9
1.2.1	Ein- und Ausschlusskriterien.....	10
1.3	Gliederung der Arbeit	11
2	Ein Überblick von Kraft- und Muskelaufbautraining	13
2.1	Muskulatur	14
2.1.1	Aufbau eines Muskels.....	15
2.1.2	Arbeitsweisen der Muskulatur.....	19
2.2	Krafttraining.....	27
2.2.1	Bedeutung der Kraft.....	30
2.2.2	Belastungsnormativa	31
2.2.3	Hypertrophietraining.....	34
2.3	Blood Flow Restriction Training	43
2.3.1	Manschetten.....	43
2.3.2	Anwendungsbereich.....	44
2.3.3	Hypertrophie beim BFR Training	44
3	Studien Blood Flow Restriction Training	46
3.1	Prisma Chart / Flussdiagramm der Studienauswahl	46
3.2	PEDro Skala.....	47
3.2.1	Skalakriterien.....	48
3.2.2	Übersichtstabelle PEDro Skala.....	49
3.3	Studienübersicht.....	50
3.4	Analyse der ausgewählten Studien	55
3.4.1	Effects of 4 weeks of low-load unilateral resistance training, with and without blood flow restriction, on strength, thickness, V wave, and H reflex of the soleus muscle in men.....	55

3.4.2	Early phase adaptations in muscle strength and hypertrophy as a result of low-intensity blood flow restriction resistance training.....	58
3.4.3	Effects of blood flow restricted exercise training on muscular strength and blood flow in older adults.....	61
3.4.4	Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training.....	64
3.4.5	Comparison of the increase of both muscle strength and hypertrophy of biceps brachii muscle in strengthening exercise with low-intensity resistance training with and without the application of blood flow restriction and high-intensity resistance training.	69
3.4.6	Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow restriction and high-intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly.....	72
3.4.7	Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study.....	75
3.4.8	Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size	77
3.4.9	Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults	82
3.4.10	Effects of short-term detraining following blood flow restricted low-intensity training on muscle size and strength	85
4	Diskussion	88
5	Fazit	106
	Literaturverzeichnis	109
	Abbildungsverzeichnis	117
	Tabellenverzeichnis	118
	Eidesstaatliche Erklärung	119

1 Einleitung

Das fitnessorientierte Krafttraining ist in unserer heutigen Gesellschaft weit verbreitet und hat nicht nur im Leistungssport, sondern auch im Breitensport Einzug gehalten. Vor allem aber boomen Fitnesscenter und können sich an immer größer werdenden Mitgliederzahlen erfreuen (Hohmann, Lames, & Letzelter, 2010). Es ist allgemein bekannt, dass sich die Bedeutung der Muskelkraft stetig verändert. Früher war der Mensch auf ein bestimmtes Maß an Kraft und Muskelmasse angewiesen, da dies eine Notwendigkeit für viele Berufsfelder darstellte. Heutzutage hat sich dieser Umstand grundlegend geändert, da Maschinen mittlerweile die harte Arbeit übernehmen können. Dementsprechend wird ein überdurchschnittliches Maß an Muskelkraft für die meisten Arbeitsfelder nicht mehr benötigt.

Die letzten Jahrzehnte zeigen eine klare Tendenz zur Überalterung der Gesellschaft. Besonders in den Industrienationen ist dieser Effekt gut zu beobachten (Diemer, 2015). Zu Beginn des Jahres 2019 sind 19,4% der Bevölkerung Österreichs unter 20 Jahre alt, was im Zehnjahresverlauf eine deutliche Abnahme aufzeigt. Eine recht konstante Gruppe stellt die Altersklasse zwischen 20 und 64 Jahren (61,8%) dar. Die Gruppe der älteren Bevölkerung ist jedoch in den letzten Jahren stetig gestiegen und beträgt mittlerweile 18,8% (Statista, 2019a). Laut Statista (2019b) wird eine Zunahme der 65jährigen und älteren Personen 2020 auf 19,1% steigen.

Somit erhält das Krafttraining den Anspruch, für unterschiedliche Zielgruppen passende Lösungen zu bieten, um auf der einen Seite auf gesundheitliche Wirkungen, Verbesserungen der Leistungsfähigkeit und ästhetische Wirkungen eingehen zu können, sowie auf der anderen Seite positive psychische Wirkungen zu steigern, die zu einer erhöhten Selbstzufriedenheit und einem höheren Selbstbewusstsein beitragen können (Hohmann et al., 2010). Ein Training zur Erhöhung des Muskelquerschnitts dient jedoch nicht nur der Ästhetik, sondern wirkt sich auch positiv auf die Gesundheit aus, sofern es mit richtiger und angepasster Technik durchgeführt wird. Um einen Erhalt der Muskelmasse oder sogar eine Steigerung zu bewirken, sind normalerweise Intensitäten von zumindest 65% der persönlichen Maximalkraft erforderlich (Güllich & Krüger, 2013). Leistungssportler aber auch Freizeitsportler trainieren heutzutage mit Gewichten, die über 80 Prozent ihrer Maximalkraft liegen. Dabei sind die Sportler einer erheblichen Gelenkbelastung ausgesetzt, da bei einem intensiven Training sehr hohe Kompressionskräfte im Kniegelenk entstehen können (Diemer, 2015). Somit wird deutlich, dass ein Krafttraining und vor allem ein Krafttraining mit Gewichten, nur dann zu empfehlen ist, wenn der Sportler die Anforderungen für ein Training erfüllt, auch wenn in

vielen Beschwerdefällen eine kräftige Muskulatur von großem Vorteil ist. So schrieb Diemer (2015) zum Beispiel, dass ein Patient mit Gonarthrose einen wesentlichen Nutzen aus einem kräftigen Quadrizeps ziehen könnte, jedoch diesen nicht trainieren kann, wenn sein Gelenk nicht belastbar ist.

Zahner, Donath, Faude, und Bopp (2015) stellten fest, dass diverse Untersuchungen von einer 30-50% Abnahme der Skelettmuskelmasse im Alter zwischen 40 und 80 Jahren ausgehen. Dabei wird der Rückgang der Muskelmasse, Muskelkraft und Funktion als Sarkopenie bezeichnet (Cruz-Jentoft et al., 2019). Dabei besonders betroffen sind die unteren Extremitäten, welche für alltägliche Bewegungsabläufe besonders wichtig sind. Zaciorskij und Kraemer (2016) erwähnen dabei besonders die schnell zuckenden Typ II Muskelfasern, die im fortschreitenden Alterungsprozess bevorzugt verloren gehen. Laut Zahner et al. (2015) steigt die Zahl der Menschen im Alter von 75 Jahren, welche gesundheitswirksamen Sport betreiben sollten rapide an. Ein relativ hoher Prozentsatz, nämlich 44,8 % der 75jährigen erfüllen die empfohlenen zweieinhalb Stunden Bewegung nicht, die im fortschreitenden Alter besonders wichtig sind (Lamprecht, Stamm, & Fischer, 2015). Gerade hier gewinnt das Kraft- und Gleichgewichtstraining eine sehr hohe Bedeutung, da durch das fehlende Training die Lebensqualität massiv eingeschränkt werden kann.

Es gibt mittlerweile viele Methoden des Krafttrainings. Eine sinnvolle, vor allem für ältere Menschen, ist die des Muskelaufbautrainings (Hypertrophietraining). Eine von Manini et al. (2007) durchgeführte Studie zeigt, dass ein Mindestwert an Kraft wichtig ist, um ein mögliches Sturzrisiko zu senken und Mobilitätseinschränkungen bestmöglich zu verhindern und vorzubeugen. Das vorrangige Ziel eines altersgerechten Krafttrainings für ältere Menschen, ist somit die Aufrechterhaltung der Beweglichkeit, Eigenständigkeit und Lebensqualität (Zahner et al., 2015). In der Literatur wird das Hypertrophietraining ausführlich behandelt. Güllich und Krüger (2013) sprechen dabei von einer Methode submaximaler Krafteinsätze, die bis zur Ermüdung gehen. Dabei wird mit einer Intensität von 65-85% des Einwiederholungsmaximum (1RM) trainiert. Für Fortgeschrittene empfehlen sie einen Umfang von zwei bis vier Sätzen mit sechs bis fünfzehn Wiederholungen.

Einen ganz anderen Ansatz bietet das „Okklusions- oder Blood Flow Restriction Training (BFR – T)“. Hier wird im Gegensatz zu einem wie oben beschriebenen Training, mit niedrigen Intensitäten, bei einer Okklusion des venösen Blutflusses, trainiert. Trotz der geringen Anstrengung (20-40% 1 RM) können ebenso Hypertrophie und Maximalkraftzuwächse erreicht werden (Scott, Loenneke, Slaterry, & Dascombe, 2015). Diemer (2015) spricht in

diesem Zusammenhang von einer niederintensiven Trainingsmethode. In der Literatur sind keine einheitlichen Intensitäten dafür angegeben. Die empfohlenen Belastungsintensitäten weichen hier leicht voneinander ab. Jedoch unterscheiden sich die Belastungsempfehlungen deutlich von einem herkömmlichen Hypertrophietraining.

Die Studie von Yamanaka, Farley, und Caputo (2012) zeigte, dass Fußballspieler durch niederintensive Kraftübungen in Kombination mit BFR – T (20% 1RM) größere Muskelhypertrophie und signifikant höhere Muskelkraftsteigerungen aufwiesen. Im Gegensatz zu vielen anderen Studien, bestand die Testgruppe aus trainierten Athleten die durchschnittlich neunzehn Jahre alt waren.

Kim et al. (2017) fanden in einer vierwöchigen Studie heraus, dass junge und ältere Personen von einem gezielten BFR - T der Unterarme profitieren können. Besonders bei älteren Menschen stellte sich das BFR – T als überlegen dar. Im Gegensatz zu herkömmlichen hochintensiven Trainingsmethoden, konnten bessere Ergebnisse im Bereich einer Vergrößerung des Umfanges der Unterarme erzielt werden.

Das Ziel dieser Arbeit besteht nun darin, herauszufinden, wie sich ein Blood Flow BFR – T auf den Muskelquerschnitt, im Gegensatz zu einem herkömmlichen Hypertrophietraining auswirkt. Im Verlauf dieser wissenschaftlichen Abhandlung, soll ebenso erörtert werden, welche Vorteile ein BFR – T für Menschen haben kann, die nicht im Stande sind, ein herkömmliches Muskelaufbautraining zu absolvieren.

1.1 Forschungsfragen der Arbeit

1. Kann durch ein Low Intensity Blood Flow Restriction Training ein größerer Muskelquerschnitt erzeugt werden, als bei einem herkömmlichen Hypertrophietraining und welche Unterschiede entstehen dabei bei einer exzentrisch und konzentrischen Übungsausführung?
2. Welche Vorteile birgt diese Trainingsmethode für ältere Menschen?

1.2 Methode

Die der wissenschaftlichen Arbeit vorausgehenden Forschungsfragen werden hermeneutisch mithilfe einer systematischen Literaturrecherche bearbeitet. Diese erfolgt durch eine umfangreiche online Literatursuche, bei welcher fachspezifische Literatur bis einschließlich des

Jahres 2019 berücksichtigt wird. In weiterer Folge wird mit den Onlinedatenbanken „Pubmed“, „Web of Science“ und „Science Direct“ gearbeitet. Mithilfe dieser werden relevante Studien herausgesucht, welche im Anschluss maßgeblich für die Beantwortung der Forschungsfragen verantwortlich sind. Dazu werden zunächst Ein- und Ausschlusskriterien definiert, welche die gefundenen Studien auf ein sinnvolles Maß reduzieren und ein verantwortungsvolles Arbeiten ermöglichen. Die gefundenen Studien werden anschließend gesammelt, miteinander verglichen und veranschaulicht, was dem Zweck einer sorgfältigen und dem bisherigen Forschungsstand konformen Beantwortung der Fragestellung dient. Zuletzt werden die Ergebnisse zusammenfassend, möglichst übersichtlich, dargestellt.

1.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Die Onlineliteraturrecherche umfasste folgende Operatoren und Suchbegriffe, die in Kombination in die Datenbanken eingegeben wurden:

- Blood Flow Restriction
- Kaatsu
- Occlusion Training
- BFR Training
- Hypertrophy
- Muscle growth
- Muscle cross section
- Gain in strength
- Muscle adaption
- Resistance Training

Im Anschluss wurden die Operatoren wie folgt, in die Suchmaschinen eingegeben:

("Blood Flow Restriction" OR "kaatsu" OR "Occlusion Training" OR "BFR Training") AND ("hypertrophy" OR "muscle growth" OR "muscle cross section" OR "gain in strength" OR "muscle adaption" OR "resistance Training")

Wenn möglich, wurde gleich bei der Suchanfrage nach Studien („clinical trials“), Menschen und nach dem Publikationsjahr (2008 – 2019) gesucht. Dabei gestaltete sich die Suche mit „Web of Science“ relativ schwierig, da hier nicht nur die gewollten Studien angezeigt werden konnten, sondern diese mit Reviews und anderen Artikeln aufgelistet waren. Pubmed hingegen ermöglichte eine einfachere Suche, da hier die Möglichkeit der genaueren Selektierung bestand.

So konnten folgende Filterkriterien bei der Suche eingesetzt werden:

- „clinical trials“
- „humans“
- „10 years“
- „english“

Die gefundenen Studien wurden nach Entfernen der Duplikate nach dem Titel aussortiert. Die verbleibenden Studien wurden anschließend nach den Ein- und Ausschlusskriterien weiter durchleuchtet. Gesucht waren junge und alte Menschen, die länger kein regelmäßiges Krafttraining betrieben haben. Wobei Kinder ein klares Ausschlusskriterium darstellten. Die ProbandInnen mussten gesund sein und durften sportlich anderweitig aktiv sein. Die Teilnehmer durften keine Verletzungen aufweisen und ebenso keine aktiven Profisportler sein. Dabei wurden Studien, entsprechend meines Wissensstandes, in englischer und deutscher Sprache gesucht, wobei im Endeffekt nur englische Studien verwendet wurden.

1.3 Gliederung der Arbeit

Die hier vorliegende Abhandlung gliedert sich in fünf Kapitel. Den Anfang teilen sich eine kurze Einleitung, die Forschungsfragen sowie ein methodischer Überblick, wobei letzterer im Prinzip das Grundgerüst des Werkes näher erläutert, worauf diese systematische Literaturrecherche aufbaut. Die Methode zeigt hierbei nicht nur wie die Studien gefunden wurden, sondern auch welche Ein- und Ausschlusskriterien letztendlich die Suche einschränkten.

Kapitel 2 gibt auf etwa 29 Seiten einen Überblick über den Aufbau der Muskulatur, über ein Krafttraining sowie Empfehlungen für ein Hypertrophietraining. Nachdem allgemeine Funktionen der Muskulatur und des klassischen Muskelaufbautrainings abgehandelt worden sind, wird anschließend noch mit einem generellen Überblick über das BFR Training das Kapitel geschlossen.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit den ausgewählten Studien. Dabei wird zunächst ein tabellarischer Überblick gegeben und anschließend erfolgt eine genauere Analyse dieser. Zuvor gibt ein Prisma Chart noch einen Überblick, wie es zur Aussortierung der Studien und schlussendlich zur Auswahl der zehn Studien kam.

Anschließend wurde in Kapitel 4 ein Vergleich der Studien angestrebt und ausführlich darüber diskutiert. Ebenso wird hier näher auf das BFR Training eingegangen, welches in Kapitel 2 nur kurz angeschnitten wird. Die Diskussion handelt hierbei die wichtigsten Mechanismen des Okklusionstrainings ab, die in der Literatur diskutiert werden.

Ein Ende findet die Arbeit in einem abschließenden Fazit, welches sich auf die Beantwortung der Forschungsfragen besinnt, ein schließendes Resümee liefert und damit die Diplomarbeit inhaltlich abrundet.

2 Ein Überblick von Kraft- und Muskelaufbautraining

In diesem Kapitel soll ein grober Überblick über das Krafttraining gegeben werden. Dieses sehr komplexe Thema wird hinsichtlich der Thematik dieser Diplomarbeit spezifisch behandelt und überblicksmäßig mit dem Fokus auf ein Hypertrophie- und Blood Flow Restriction Training dargestellt.

Hottenrott und Neumann (2016) schrieben, um das Zusammenspiel von Kraft und Muskulatur besser verstehen zu können, dass Körperbewegungen erst infolge eines harmonischen Zusammenspiels von Muskelkräften erfolgen können. Dabei sind Kraftübertragungen in der Art von Brems- und Beschleunigungskräften, sowie Kräften und Hubkräften involviert. Überdies sind Trägheits-, Strömungs- und Reibungskräfte in die Wirkung von Muskelkräften verstrickt. Im Sport erfordert jede ausgeführte Technik einen Krafteinsatz, was zu dem Umkehrschluss führt, dass ohne Krafteinsatz keine Sporttechnik durchgeführt werden kann. Somit gilt laut Hottenrott und Neumann (2016, S. 155) auch im Sport das zweite Newtonsche Axiom, was folgende physikalische Beziehung der Kraft hervorbringt:

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung} (F = m \times a)$$

Hingegen aus rein trainingswissenschaftlicher Betrachtungsweise, handelt es sich bei der Kraft um eine konditionelle Fähigkeit mit unterschiedlichen Ausprägungs- und Erscheinungsformen, schrieben Hottenrott und Neumann (2016). Dabei können durch den Einsatz von Muskelkraft, Widerstände überwunden werden, ihnen entsprechend in nachgebender Weise entgegengewirkt werden oder sie können ebenfalls gehalten werden (Hottenrott & Neumann, 2016).

Hottenrott und Neumann (2016, S. 155) definieren die Kraft dabei wie folgt:

Kraft ist eine motorische (konditionelle) Fähigkeit des Menschen, die es ermöglicht, durch Muskelaktivität Widerstände zu überwinden, ihnen entgegenzuwirken oder sie zu halten.

Die dabei entstehende unterschiedliche Arbeitsweise der Muskulatur, erlaubt es im Sport sowie im Alltag, unterschiedliche Bewegungen auszuführen, worauf im Laufe dieser Abhandlung noch genauer eingegangen wird.

2.1 Muskulatur

Das wichtigste Organ im menschlichen Körper, um Sport betreiben zu können, ist neben dem Muskel das Gehirn. „Die Motorzentren im Gehirn und Rückenmark innervieren über Motoneurone die Muskelfasern, um die 640 Muskeln im menschlichen Körper zu aktivieren“ (Bachl et al., 2018, S. 106). Die Entstehung der Muskelzelle, die ein Teil des Muskels ist, wird als Myogenese (Abbildung 1) bezeichnet. Dabei handelt es sich um ein hochkomplexes Gewebe, welchem viele Aufgaben im menschlichen Organismus zukommen. Die Myonuklei (Zellkerne) erwachsener Personen besitzen die Fähigkeit nicht mehr sich zu teilen, obwohl dieser Vorgang, wenn Muskeln wachsen oder repariert werden müssen, dringend be-

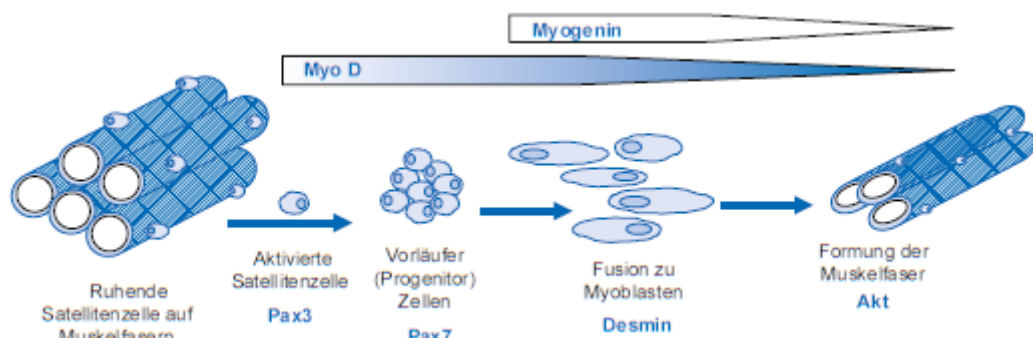


Abbildung 1: Phasen der adulten Myogenese mit vorherrschenden Faktoren (Bachl, Löllgen, Tschan, Wackerhage, & Wessner, 2018, S. 107)

nötigt wird. Aus diesem Grund wird dieser Vorgang ausgelagert und von Satellitenzellen übernommen, die die Haus-Stammzellen von Muskelfasern sind, schrieben Bachl et al. (2018, S. 106). Werden Satellitenzellen aktiviert, so spricht man von „Myoblasten“, welche sich bei einer Aktivierung auch teilen können. Dieser Vorgang kann entweder durch eine Verletzung oder durch ein Krafttraining in Gang gesetzt werden. Dabei können die aktivierten Satellitenzellen zwei unterschiedliche Wege einschlagen. Ersterer führt zu einer Differenzierung und Verschmelzung mit bereits vorhandenen Muskelfasern. Zweiterer bildet die Grundlage für eine neue Muskelfaserbildung beziehungsweise führt zur Erneuerung der Satellitenzellen, die anschließend wieder in den Ruhezustand übergehen (Bachl et al., 2018). In Bezug auf ein Krafttraining wurde festgestellt, dass der durch das Training hervorgerufene Muskelschaden das Muskelwachstum verbessert, da eine vermehrte Satellitenzellenaktivierung stattfindet und die anschließende Differenzierung zu einer größeren Zunahme der Kerne in der einzelnen Muskelfaser führt, was laut Beardsley (2019) durch die klare Rolle der Satellitenzellen bei Reparatur und Regeneration, ein zentrales Thema darstellt.

2.1.1 Aufbau eines Muskels

Der Bewegungsapparat des Menschen wird in einen aktiven und einen passiven Teil untergliedert. Der aktive Part dabei, umfasst die willkürlich ansteuerbare Skelettmuskulatur, die eine Bewegung durch aktives Kontrahieren (Zusammenziehen) der Muskulatur erlaubt. Es wird dabei zwischen einer quer gestreiften und glatten Muskulatur unterschieden. Erstere bezieht ihren Namen durch die quergestreifte Anordnung der Myofilamente im Mikroskop. Dazu zählt auch die Herzmuskulatur, die im Gegensatz zur Skelettmuskulatur, nicht willkürlich ansteuerbar ist. Die glatte Muskulatur ist in fast allen inneren Organen, den Blutgefäßen aufzufinden und wie bereits beim Herzmuskel erwähnt, nicht willkürlich ansteuerbar (Güllich & Krüger, 2013). Jeder Muskel setzt sich hierbei aus einer Vielzahl von Muskelfasern zusammen, die wiederum aus vielen Hundert Myofibrillen bestehen. Die Myofilamente (Abbildung 2) „Aktin“ und „Myosin“ (kontraktile Elemente, Proteine) dienen dabei dazu die Kontraktionsfähigkeit der Myofibrillen zu ermöglichen. Dafür ist eine Anordnung vorhanden, in der sie die Möglichkeit haben sich zu verbinden und zusätzlich ineinandergleiten können (Güllich & Krüger, 2013). Um eine Verbindung sowie ein Gleiten zwischen den

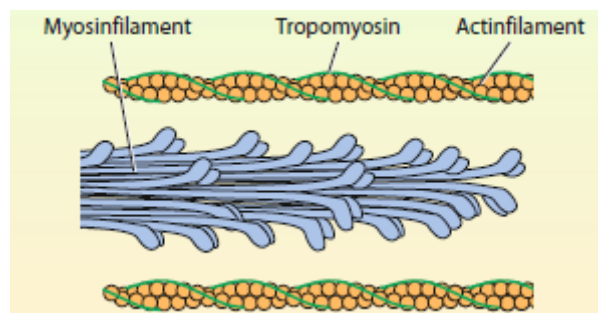


Abbildung 2: Aktin- und Myosinfilamente (Fritsche, 2015, S. 218)

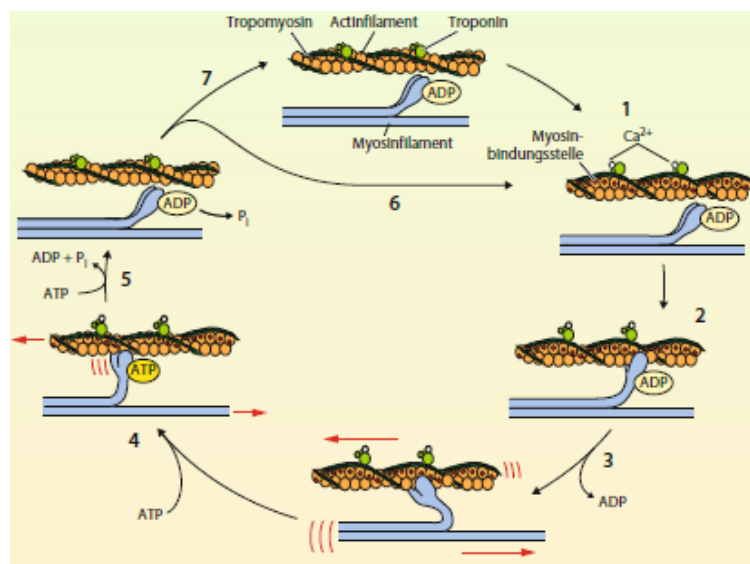


Abbildung 3: Die Muskelkontraktion (Fritsche, 2015, S. 218)

Aktin- und Myosinfilamenten zu verhindern, ist zusätzlich ein weiteres Eiweißmolekül (Tropomyosin) vorhanden, das um das Aktinfilament gewunden ist. Das Troponinmolekül gibt die Bindungsstelle für die zwei angesprochenen Filamente dann frei, wenn durch ein Aktionspotenzial (Neurotransmitter Acetylcholin) Ca^{2+} in der Muskelzelle abgesondert wird. Dadurch wird unter der Verwendung von Adenosintriphosphat (ATP) - ein Vorgang bei dem chemische Energie in mechanische Energie umgewandelt wird - ein Ineinandergleiten der kontraktile Elemente ermöglicht, was zur Folge hat, dass sich die Muskulatur verkürzt und eine Kontraktion stattfindet (Güllich & Krüger, 2013).

Um diesen Vorgang besser zu verstehen, erstellte Fritsche (2015) zur Abfolge der Muskelkontraktion eine Grafik (Abbildung 3), die einen Überblick über den Ablauf der Kontraktion gibt. Er handelt den Kreislauf hierbei mit sieben Schritten ab, wobei die Muskelkontraktion, wie er beschreibt, einsetzt wenn Kalziumionen an Troponin gebunden werden und somit das gekoppelte Tropomyosin verrutscht und die Bindestellen am Aktin für Myosin zugänglich macht. Infolgedessen kommt es mit dem Kopfteil von Myosin zu einem Andockvorgang am Aktin. Dabei werden durch einen Ruderschlag die Filamente gegeneinander verschoben und durch die anschließende Bindung von ATP löst sich das Myosin wieder und das Köpfchen wird wieder in die Ausgangslage versetzt. Dies geschieht durch die Hydrolyse des Energieträgers. Sollten weitere Aktionspotenziale auftreten, die Kalzium freisetzen, würde der Vorgang erneut ablaufen, andernfalls bewegt sich der Muskel wieder in die anfängliche Stellung, die Ausgangslage, zurück (Fritsche, 2015). Zur besseren

Veranschaulichung stellen Güllich und Krüger (2013) zusätzlich in einer adaptierten

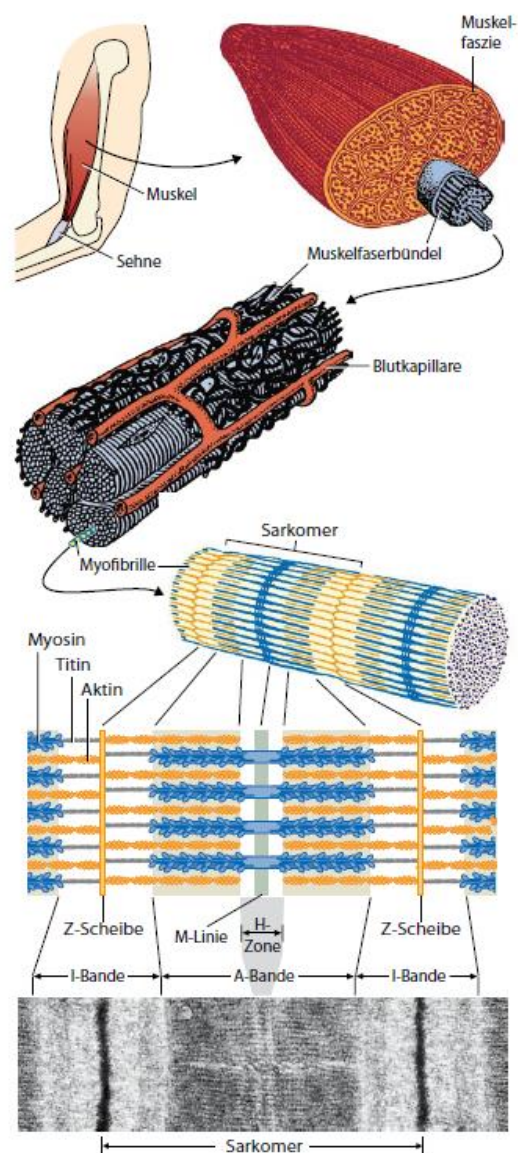


Abbildung 4: Aufbau der Muskulatur (Güllich & Krüger, 2013, S. 101)

Illustration nach Fritsche (2010), den Aufbau eines Muskels (Abbildung 4) in einer übersichtlichen Form dar.

Jeder Skelettmuskel setzt sich aus zahlreichen Muskelfasern zusammen, welche lange und zylindrische Muskelzellen sind. Die einzelne Faser besteht dabei aus mehreren Myofibrillen, die parallel zueinander verlaufen, die sich wiederum aus einigen Einheiten (Sarkomeren) zusammensetzen. Die Sarkomere sind wiederum aus dünnen Filamenten (Aktin) und dickeren Filamenten (Myosin) aufgebaut, welche zuvor bereits thematisch behandelt wurden (Zaciorskij & Kraemer, 2016).

Wird von einem Skelettmuskel gesprochen, der aus vielen Muskelfaserbündeln und somit auch aus zahlreichen Muskelfasern besteht, muss zusätzlich erwähnt werden, dass es unterschiedliche Fasertypen gibt. Zaciorskij und Kraemer (2016) haben dabei die Haupttypen in Tabelle 1 zusammengefasst. Sie unterscheiden sich dabei in drei Arten, wobei Typ I der langsamste, Typ IIA schnell jedoch ermüdungsresistent und IIX schnell und nicht wirklich ermüdungswiderstandsfähig ist, schrieben Zaciorskij und Kraemer (2016).

Tabelle 1: Muskelfaserhaupttypen

Typ	I	IIA	IIX
Zuckungsfrequenz	Langsam	Schnell	Schnell
Ermüdungswiderstandsfähigkeit	Hoch	Durchschnittlich	Gering
Atmungstyp	Aerob	Aerob-anaerob	Anaerob
Kapillare	Viele	Viele	Wenige

Quelle: Zaciorskij und Kraemer (2016, S. 103)

Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass ein Training keinen Einfluss auf die Änderung von Typ I zu Typ II Muskelfasern hat. Beardsley (2019) unterstützt diese Annahme und nimmt ebenfalls wie Zaciorskij und Kraemer (2016) eine weitere Klassifikation in Hybridfasern vor, die als IIAX bezeichnet werden und ihre Proteincharakteristika von einer Typ II Faser zu einer anderen wechseln können.

Hottenrott und Neumann (2016) differenzieren die Muskelfasern in Slow- (Typ 1, STF) und Fast twitch (Typ 2, FTF) Fasern. Darüber hinaus nehmen sie eine Unterscheidung der Typ 2 Muskelfasern in Typ 2a/FTO und Typ2 b/FTG vor. Die verschiedenen Fasertypen setzen

sich aus einer unterschiedlichen Myosinstruktur zusammen, da es schwere und leichte Molekülketten gibt. Aktin hingegen ist, wie Hottenrott und Neumann (2016) beschreiben, kongruent aufgebaut. Durch ein Training sollen die Myosinketten teilweise veränderbar sein. Jedoch als gesichert schreiben die Autoren, dass durch ein Ausdauertraining die FTF auf einer molekularen Ebene, in langsam kontrahierende Slow twitch Fasern verändert werden können. Eine komplette Veränderung der FTF in STF und umgekehrt, soll laut Hottenrott und Neumann (2016) einzig und alleine nur durch unphysiologische Elektrostimulation oder durch eine Nervenverpflanzung im Zuge eines operativen Eingriffs und das lediglich im Tierexperiment möglich sein. Eine Analyse von erfolgreichen Sportlern im Jahre 1999, in diesem Fall sind wahrscheinlich nur Männer gemeint, brachte zum Vorschein, dass die Verteilung der Muskelfasern, bei den verschiedenen Sportlern sehr unterschiedlich war. So wurden bei Sprintern und Springern ungefähr 73% an schnell und nur 27% an langsam kontrahierenden Fasern gemessen. Demgegenüber fand man heraus, dass Marathonläufer lediglich 15% schnell zuckende und eine beachtliche Menge von 85% langsam zuckenden Muskelfasern hatten (Badtke, 1999). Zudem haben Frauen, gegenüber Männern, generell gesehen eine geringere Muskelfaserfläche und können deswegen eine um ungefähr 20% geringere Kraftfähigkeit aufbringen (Hottenrott & Neumann, 2016).

Beim Krafttraining und der Entwicklung von Muskelkraft, spielt das zentrale Nervensystem (ZNS) eine große Rolle. Die gewünschte Kraft wird nicht nur allein durch die Größe der aktivierten Muskelmasse erzielt, da dieser Vorgang zusätzlich auch wesentlich durch die willkürliche Aktivierung einzelner Muskelfasern bestimmt wird, was auch als intramuskuläre Koordination bezeichnet wird. Eine koordinierte Aktivierung mehrerer Muskelgruppen, die zum Beispiel für das Erreichen der Maximalkraft notwendig ist, wird hingegen als intermuskuläre Koordination benannt, führten Zaciorskij und Kraemer (2016) an.

2.1.1.1 Die Muskelfaszie

Die Muskelfaszie ist ein straffes Bindegewebe und dient als Schutzhülle für Muskeln. Die bindegewebigen Faszien umgeben dabei äußerlich die Muskelfasern und sorgen so für eine bestimmte Formgebung und bieten zusätzlich Halt. Sie ist unentbehrlich, um einen flüssigen Bewegungsablauf durchzuführen und kann einzelne Muskeln sowie auch ganze (synergistische) Muskelgruppen umgeben. Daneben dient sie, neben ihren bereits erwähnten Aufgaben, als Ursprungs- sowie Ansatzflächen der Muskelfasern, hielten Güllich und Krüger (2013) fest. Die Faszie besteht zu einem großen Teil aus Wasser, da sie dieses in ihren Zellen, sowie

auch rund um ihre fasserreichen Stränge einlagert. Ihr Inneres kann als eher klebrig bezeichnet werden, was eine reichliche Wasserversorgung bedingt. Mangelercheinungen hemmen die Gesundheit, da die Funktionen der Zellen und die Zellerneuerung gestört werden. Die Muskelfaszie ist zugleich biegsam, kann jedoch nicht brechen, was vergleichbar mit einem Schwamm ist, der wenn er eingedrückt wird, wieder zurück federt (Miller, 2015). Sie ist mit einer Vielzahl an Funktionen ausgestattet, wobei sich zwei fundamentale Eigenschaften herauskristallisieren. Wie schon Güllich und Krüger (2013) erwähnten, dient die Faszie dazu, um einerseits Stabilität und andererseits Beweglichkeit sicherzustellen. Die Faszie bildet hierbei eine Gewebeskette, welche Knochen, Muskeln und sämtliche Organe umgibt und somit die Struktur des Körpers erhält, schrieb Slomka (2015).

2.1.2 Arbeitsweisen der Muskulatur

Die Muskelkontraktion, wie Feigenspan (2017) beschreibt, wird auf der myofibrillen Ebene durch eine cytoplasmatische Ca^{2+} -Konzentration reguliert. Um eine Bewegung durchzuführen, werden für die Abfolge jener, viele Muskelfasern benötigt, die in unterschiedliche Muskeln untergliedert sind. Deshalb müssen alle an einer Bewegungsabfolge beteiligten Muskelfasern, die an einer Kontraktion beteiligt sind, räumlich und zeitlich genauestens koordiniert werden, um die gewünschte Bewegung durchführen zu können. Hier kommt dem Nervensystem eine zentrale Rolle zu, da es die Aufgabe übernimmt, speziell die Muskeln mit der nötigen Stärke zu aktivieren, die benötigt werden um eine akkurat differenzierte Kraftentwicklung durch ein motorisches Programm ablaufen lassen zu können. Zu diesem Zweck werden neben vielen neuronalen Kontroll- und Steuerregionen ebenso eine bestimmte morphologische, genauer gesagt anatomische, Relation zwischen Muskelfasern und Motoneuronen die im Rückenmark und Hirnstamm angesiedelt sind (Feigenspan, 2017), benötigt.

Eine Schätzung dieser Motoneuronen, die sich im Rückenmark befinden und als Endpunkte des Nervensystems dienen und dadurch Bewegungen erlauben zu denen Sprechen, Gehen, Sprinten, Gewichtheben aber auch Augenbewegungen, die Gestik sowie sehr schwierige Handlungen wie verschiedene turnerische Übungen zählen, beläuft sich auf ungefähr 120.000, die 100 Millionen Muskelfasern innervieren (Kanning, Kaplan, & Henderson, 2010). Durch die Vielfalt an möglichen Bewegungen, zu denen ein Mensch fähig ist, wird deutlich, dass die Präzision, Intensität und Dauer von Muskelkontraktionen stark differiert und daher unterschiedliche Typen von Motoneuronen, Muskelfasern und motorischen

Einheiten vorhanden sind, die für Kraft, Präzision, Schnelligkeit und Ausdauer verschiedenartig adaptiert sein müssen (Bachl et al., 2018).

2.1.2.1 Die motorische Einheit

Feigenspan (2017) schrieb, dass Motoneuronen jede Muskelfaser einzeln innervieren. Die Menge an Muskelfasern, die im menschlichen Körper vorhanden sind, zwingt die Motoneuronen mithilfe des Axons, Synapsen mit einer Vielzahl von Muskelfasern zu bilden. Dabei sind die innervierten Muskelfasern keine direkten Nachbarn, vielmehr sind sie verstreut über den ganzen Muskel anzufinden, was laut Feigenspan (2017) auf der einen Seite eine harmonischere Kraftentwicklung des Muskels und auf der anderen Seite bei Ausfall eines Motoneurons, keine Einschränkungen oder einen Funktionsverlust, in einem Part des Muskels bedeutet. Kommt es zu einem Aktionspotenzial im Motoneuron, so werden alle Muskelfasern, die synaptisch mit diesem verbunden sind, ebenfalls aktiviert und es wird eine Kontraktion ausgelöst. Als motorische Einheit, wird dabei die kleinste funktionelle Einheit, die für eine Kraftentwicklung eines Muskels notwendig ist, bezeichnet, die sich aus einem Motoneuron und der gesamten Anzahl seiner postsynaptischen Muskelfasern zusammensetzt, schrieben Feigenspan (2017). In diesem Kontext erwähnten Güllich und Krüger (2013), dass typische Merkmale mit der Größe einer motorischen Einheit verknüpft sind, die kennzeichnend für solch funktionelle Einheiten sind und diese charakterisieren.

Zaciorskij und Kraemer (2016) schrieben, dass die motorischen Einheiten (mE) als Grundelement für eine anstehende Kraftaufbringung des motorischen Systems dienen. Dabei erwähnen sie, dass eben angesprochene Einheiten, aus Motoneuronen, Axonen, motorischen Endplatten und den Muskelfasern, die von den Motoneuronen aktiviert wurden, zusammengesetzt werden. Die Axonen verästeln sich hierbei mit den einzelnen Muskelfasern. Ihr Weg führt sie dabei von der motorischen Einheit direkt zum Muskel, wo die verschiedenen Fasern angesprochen werden, die der Einheit untergeordnet sind. Weiters gibt es Feinjustierungen zwischen großen und kleinen Muskeln. Dafür enthalten zum Beispiel die motorischen Einheiten der „Extraokularmuskeln“, die für die Justierung des Auges verantwortlich zeichnen, ungefähr 23 Muskelfasern. Demgegenüber haben die mE des „Rectus femoris“, ein Muskel des vierköpfigen Oberschenkelmuskels, annähernd 2.000 Fasern, was sich natürlich unterschiedlich auf die mögliche Feinjustierung der Muskeln auswirkt. Feigenspan (2017) schrieb in diesem Kontext, dass die motorischen Einheiten nicht nur in der Größe divergieren, sondern wie schon zuvor erwähnt, auch unterschiedlich viele Muskelfasern innervieren. Kleinere Kraftentwicklungen ergeben sich hierbei aus kleinen Motoneuronen die nur begrenzte

Muskelfaser Synapsen ausbilden. Demgegenüber können große Motoneuronen, mit wesentlich mehr synaptischen Verbindungen, einen deutlich höheren Krafteinsatz entwickeln.

Darüber hinaus kann eine Einteilung angesichts der kontraktilen Eigenschaften der motorischen Einheiten vorgenommen werden, führen Zaciorskij und Kraemer (2016) an. Es gibt sie in langsamer Form, welche dabei als Slow-twitch mE bezeichnet werden, die speziell für längere Einsätze, bei niedrigerem Tempo ausgelegt sind (Zaciorskij & Kraemer, 2016). Kennzeichnend dafür sind:

- kleine Motoneuronen, die eine geringe Ansprechschwelle und Entladefrequenz haben
- eine ziemlich geringe Übertragungsschnelligkeit der Axonen
- an länger durchzuführende, aerobe Arbeit adaptierte motorische Fasern

Daneben muss in schnelle motorische Einheiten, die Fast-twitch mE genannt werden, unterschieden werden. Sie sind besonders für relativ kurze Einsatzzeiten, dafür mit einer großen Leistungsabgabe mit hohen Geschwindigkeiten und dementsprechend schneller Kraftentwicklung gedacht (Zaciorskij & Kraemer, 2016). Kennzeichnend für sie sind:

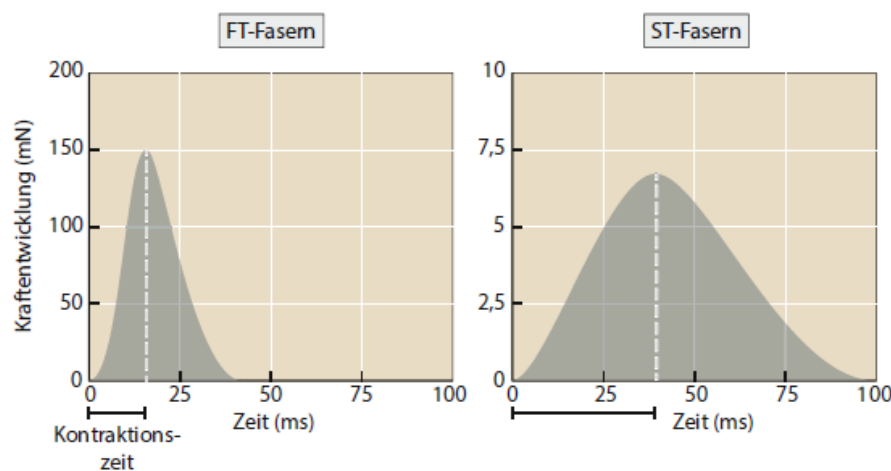
- die hohe Ansprechschwelle und große Entladefrequenz der großen Motoneuronen
- eine hohe Übertragungsschnelligkeit der Axonen
- an explosive und anaerobe Arbeit adaptierte motorische Fasern

Eine detailliertere Darstellung, bringt drei Arten von Muskelfasern zu Tage, die bereits in Kapitel 2.1.1 erwähnt wurden. Zudem gibt Tabelle 1 in eben erwähntem Abschnitt, einen Überblick darüber.

2.1.2.2 Das Größenprinzip

Zaciorskij und Kraemer (2016) formulierten, dass eine Aktivierung der motorischen Einheiten nach dem Alles-oder-nichts Prinzip erfolgt. Ab einem gewissen Punkt gibt es entweder aktivierte oder inaktivierte mE, denn es erfolgt keine Differenzierung in der Erregungsintensität der Motoneuronen. Unterschiedliche Krafteinsätze werden durch die Veränderung der Entladefrequenzen in den motorischen Einheiten erzielt (Zaciorskij & Kraemer, 2016). Bachl et al. (2018) fügten hinzu, dass sportliche Tätigkeiten die Frequenz und Häufigkeit der Aktionspotenziale maßgeblich beeinflussen, die mithilfe der Alpha Motoneuronen in die beanspruchten Muskeln gefeuert werden.

Die Kontraktionszeiten divergieren dabei in den langsamen- (90-110ms) und den schnellen (40-84ms) motorischen Einheiten. Abbildung 5 illustriert den Unterschied zwischen eben genannten Einheiten und verdeutlicht zusätzlich die Kraftentwicklung, die dabei entsteht. Würde man sich nur auf die Flächeneinheit der einzelnen mE beziehen, kann festgestellt werden, dass die langsamen und schnellen motorischen Einheiten ähnliche Kräfte entwickeln. Schnelle mE haben jedoch größere Querschnitte und erzeugen darüber hinaus höhere Kräfte in der separaten motorischen Einheit. Kontextuell muss festgehalten werden, dass menschliche Muskeln zum einen langsame und zum anderen auch schnelle motorische Einheiten beinhalten. Der Unterschied besteht in der unterschiedlichen Ausprägung, genauer gesagt, dem Verhältnis zwischen den schnellen und langsamen mE im Muskel. Marathonläufer haben verhältnismäßig mehr langsame mE, wohingegen bei Kraftsportlern die schnelleren motorischen Einheiten überwiegen (Zaciorskij & Kraemer, 2016).



Schnelle und langsame motorische Einheiten. Die Grafiken zeigen die Kraftentwicklung einer Muskelfaser als Reaktion auf ein zum Zeitpunkt $t = 0$ ausgelöstes Aktionspotenzial. Die FT-Fasern weisen im Vergleich zu den ST-Fasern eine deutlich kürzere Kontraktionszeit auf. Außerdem ist die Kraftentwicklung bei den schnellen Fasern wesentlich höher

Abbildung 5: Kraftentwicklung langsamer und schneller mE (Feigenspan, 2017, S. 511)

Um den Zusammenhang zwischen erzeugter Kraft und den dazu notwendigen Aktionspotenzialen, welche von mE in Richtung des Muskels abgefeuert werden, besser verstehen zu können, rückt das „Größenprinzip der Motoneuronenrekrutierung“ in den Vordergrund, was von Zaciorskij und Kraemer (2016) unterstützt durch eine Grafik (Abbildung 6) erläutert wird. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die Kraftentwicklung im Muskel einen stetigen Anstieg durch die Reihenfolge der Rekrutierung von mE zur Folge hat. Größere motorische Einheiten, werden im Gegensatz zu kleineren später angesprochen und bei Erhöhung des Kraftpotenzials, was für kurze aber anstrengende Bewegungsabfolgen spricht,

zugeschaltet (Feigenspan, 2017). Zaciorskij und Kraemer (2016) sprechen in diesem Kontext von Willkürkontraktionen, bei welchen eine Rekrutierung in Reihenfolge der Größe der Motoneuronen bestimmt wird, was als „Größenordnungsprinzip“ bezeichnet wird. Der Logik zufolge werden die kleineren Motoneuronen, wie schon zuvor erwähnt, zu allererst rekrutiert und anschließend, wenn größere Kräfte benötigt werden, ebenso die nächstgrößeren dazugeschaltet. Die höchste Ansprechschwelle haben mE, die die größten Motoneuronen mit der schnellsten und stärksten Kontraktion vereinen, was eine Einbeziehung erst am Ende der Rekrutierungsreihenfolge bedeutet. Diese Tatsache impliziert, dass vorrangig die langsamen motorischen Einheiten in den Muskeln angesprochen werden, ungeachtet dessen wie hoch die muskuläre Spannung und erzeugte Geschwindigkeit ausfällt. Die komplette Aktivierung der schnellen motorischen Einheiten ist dabei laut Zaciorskij und Kraemer (2016) nur schwer realisierbar, was besonders für untrainierte Menschen zutrifft. Wird eine spezielle Bewegung durchgeführt, dann steht die Rekrutierungsreihenfolge der motorischen Einheiten für ein und denselben Muskel prinzipiell fest, auch wenn eine Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeit und der Kraftentwicklung erfolgen sollte. Multifunktionale Muskeln, die bei mehreren Bewegungsabfolgen mitwirken können, haben die Besonderheit, dass sie in der Lage sind, die Rekrutierungsreihenfolge bei den unterschiedlichen Bewegungen zu verändern.

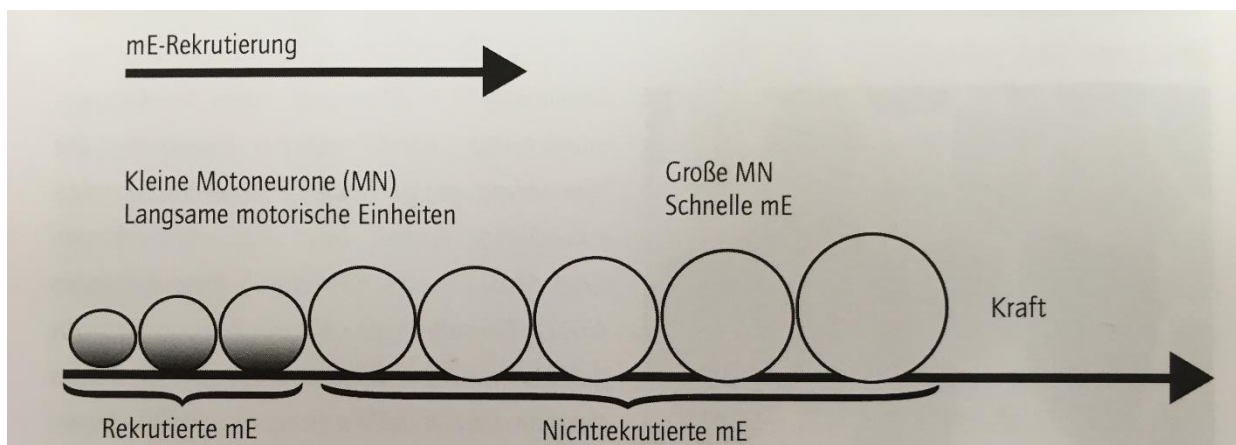


Abbildung 6: Größenprinzip der Motoneuronenrekrutierung (Zaciorskij & Kraemer, 2016, S. 104)

2.1.2.3 Energiebereitstellung und Energieverbrauch

Die Arbeit der Muskulatur wird nicht nur durch das Größenprinzip bestimmt, sondern erfordert auch eine Energiebereitstellung, die essenziell für die Arbeitsweise der Muskulatur ist. Wie das Auto Treibstoff für die Fortbewegung benötigt, so braucht der Muskel ebenso Energie, um arbeiten zu können. Dabei hat der Muskel einen Vorteil, da er durch den

belastungsbedingten Mangel von Substraten, Signale zur Vergrößerung der Speicher in der Muskulatur aussendet. Durch extensive- und intensive Trainingsmethoden ist es möglich, die Speicherkapazität von Kreatinphosphat, intramuskulären Triglyzeriden und Glykogen zu verbessern, schrieben Hottenrott und Neumann (2016). Besonders bei sportlichen Aktivitäten, kommt der Energiebereitstellung der Muskelzellen eine tragende Rolle zu, wobei jedoch nur ein Bestandteil der gewonnenen Energie auch wirklich in eine physikalische Betätigung beziehungsweise Leistung umgewandelt werden kann, fügten Güllich und Krüger (2013) hinzu. Adenosintriphosphat stellt dabei das Verbindungsstück zwischen den energieerzeugenden und energieverbrauchenden Wirkungsweisen der Zelle dar, was den Mittelpunkt der Energiebereitstellung der Skelettmuskulatur bildet. Die Energiebereitstellungsmechanismen, haben dabei die Aufgabe, sich in kürzester Zeit auf das Anforderungsprofil einzustellen und Energie bereitzustellen (Marées, 2003).

2.1.2.4 Energiebereitstellung bei der Muskelkontraktion

Kontrahiert ein Muskel, so wird energiegeladenes ATP in ein energieärmeres Phosphat, namens Adenosindiphosphat (ADP), unter der Freisetzung von Energie, gespalten, was auch als Hydrolyse bezeichnet wird. (Güllich & Krüger, 2013; Hottenrott & Neumann, 2016).

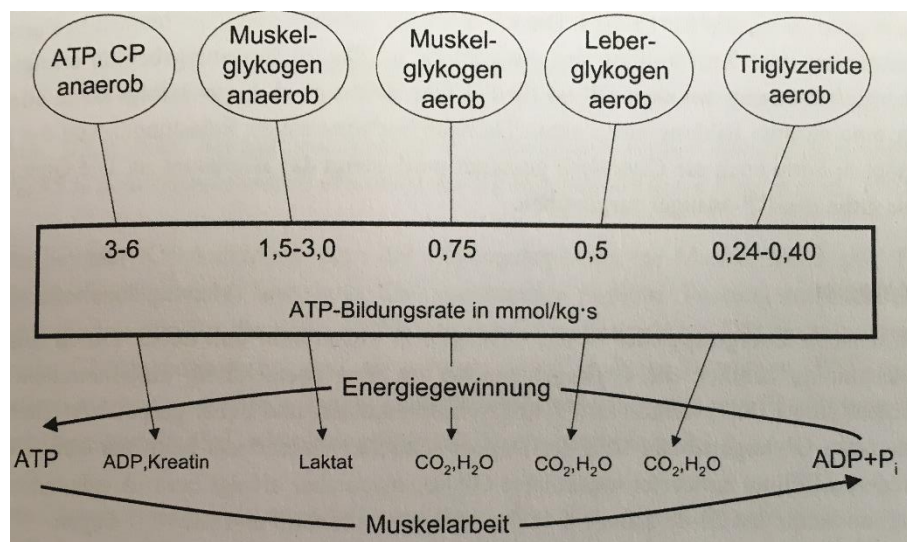


Abbildung 7: Geschwindigkeit der Bildungsrate von ATP durch die Substrate Kreatinphosphat, Glykogen und freie Fettsäuren (Hottenrott & Neumann, 2016, S. 69)

Eine Wiedergewinnung, was in diesem Kontext Resynthese genannt wird, kann durch mehrere Stoffwechselvorgänge vonstattengehen. Das zuvor in ADP gesplante ATP wird hierbei durch unterschiedliche Vorgänge resynthetisiert. Abbildung 7 zeigt dabei die unterschiedlichen Formen und Geschwindigkeiten der Energierückgewinnung, die durch die Stoffwechselvorgänge möglich sind. Die ATP Speicher selbst, haben nur ein bedingtes Depot für wenige Muskelkontraktionen, weswegen nach Verbrauch dieser, auf Kreatinphosphat (CP) zurückgegriffen werden muss. Dieses energiereiche Phosphat ist für hochintensive Beanspruchungen für maximal 6 – 8 Sekunden konzipiert und kann bei niedrigeren Intensitäten 15 –

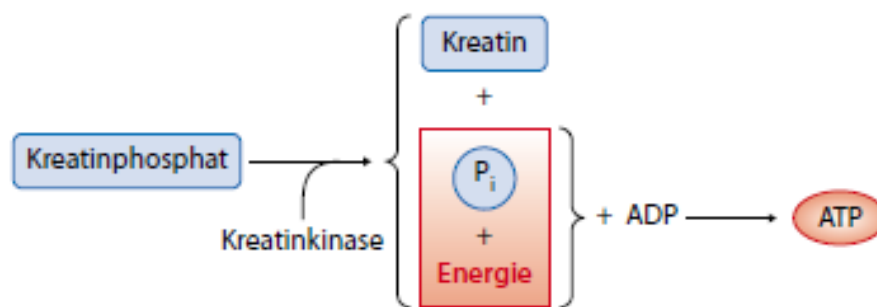


Abbildung 8: ATP-Resynthese aus Kreatinphosphat (Güllich & Krüger, 2013, S. 70)

20 Sekunden anhalten (Hottenrott & Neumann, 2016). Der Kreatinphosphatspeicher ist grundsätzlich größer als jener des ATP und fasst zum Teil das Fünffache mehr. Wenn der ATP-Speicher bei sportlicher Belastung abnimmt, wird dieser direkt aus dem CP-Pool resynthetisiert. Im Zuge dieses Resynthetisierungsprozesses (Abbildung 8), wird ATP aus dem Kreatinphosphat durch das Enzym Kreatinkinase (Lohmann-Reaktion) katalysiert und somit wieder Energie bereitgestellt (Güllich & Krüger, 2013).

Eine weitere Möglichkeit der Energiebeschaffung sind die Glykogenspeicher, die in der Muskulatur und Leber angesiedelt sind. Hottenrott und Neumann (2016) schrieben in ihrer Abhandlung, dass durch ein Ausdauertraining diese Speicher zunehmen können und die überschüssigen Kohlenhydrate (KH) die eben genannten Speicher mit Glykogen füllen. Die anaerobe Glykolyse ist dabei neben der Resynthese von ATP durch CP eine ebenfalls schnelle anaerobe Methode, um Energie freizusetzen. Auch wenn die Speicherkapazität hier höher ist, braucht es circa fünf bis zehn Sekunden, bis eine optimale Durchsatzrate erreicht werden kann, bemerkten (Güllich & Krüger, 2013). Bei der Glykolyse selbst handelt es sich um den Abbau von Glykogen beziehungsweise Glukose (ohne Sauerstoff) bis zur Phase der Produktion von Brenztraubensäure (Pyruvat), was kennzeichnend für den anaeroben

Energiestoffwechsel ist. Aus dem Pyruvat entsteht als Zwischenprodukt des anaeroben Stoffwechsels Milchsäure (2-Hydroxypropansäure), wobei die entstehenden Salze und Ester als Laktate bezeichnet werden. Kann das Pyruvat nicht gänzlich abgebaut werden, da die Produktion zu hoch ist, so entsteht ein Pyruvatstau, was zur sogenannten Laktatbildung führt, formulierten Hottenrott und Neumann (2016). Die anaerobe Glykolyse ist im Stande den Energiebedarf, wie Bachl et al. (2018) aufzeigten, zum Beispiel bei einem Sprint für circa 60 bis 120 Sekunden zu sichern. Darüber hinaus gewinnt die aerobe Glykolyse an Bedeutung, mit welcher nicht hochintensive Belastungen von 90 bis 120 Minuten bewerkstelligt werden können. Ebenfalls stellen sie klar, dass von allen Kohlenhydraten, Glukose als wichtigster Energielieferant des Körpers dient. Glykogen nimmt dabei aber nicht nur den Part des Speichermediums wahr, sondern kann laut neuesten Erkenntnissen auch aktiv in den Prozess der Stoffwechselregulation eingreifen, fügten Bachl et al. (2018) hinzu. Kommt es zu einer längeren Belastungsdauer, greift der Körper auf intramuskuläre Triglyzeride (freie Fettsäuren) zurück, die im Vergleich nur sehr langsam ATP resynthetisieren können. Zusätzlich entsteht bei der aeroben Glykolyse, neben dem wiedergewonnenen Adenosintriphosphat, CO₂, welches abgeatmet werden muss (Hottenrott & Neumann, 2016).

Zusammengefasst bedeutet dies, dass die ATP-Resynthese generell auf drei Arten erfolgen kann. Erstens über die Hydrolyse von Kreatinphosphat, zweitens durch Glykose (anaerob und aerob) und drittens aus freien Fettsäuren (intramuskuläre Triglyzeride) (Güllich & Krüger, 2013). Fokussiert auf ein Krafttraining, werden jedoch eher die energiereichen Phosphate ATP und CP und gegebenenfalls die anaerobe Glykolyse relevant, verdeutlichten Hottenrott und Neumann (2016).

2.1.2.5 Kontraktionsformen des Muskels

Wie bereits zuvor erwähnt, kann ein Muskel entweder kontrahieren oder nicht. Es gibt keine Zwischenstufe. Der Muskel kann dabei durch verkürzende-, dehnende- oder beibehaltende Längenart Kräfte auf Knochen übertragen. Zaciorskij und Kraemer (2016) erwähnten in diesem Kontext die konzentrische oder miometrische Kontraktion (Muskelverkürzung), die exzentrische oder plyometrische Kontraktion (Muskeldehnung) sowie die statische oder isometrische Kontraktion (Beibehaltung der Muskellänge)

Güllich und Krüger (2013) unterscheiden zwischen zwei verschiedenen Arten von Kontraktionen. Zum einen differenzieren sie zwischen einer statischen Kontraktionsart, zu welcher

die isometrischen Kontraktionen gehören. Bei dieser bleibt die Muskellänge fast gleich, die Muskelspannung verändert sich jedoch, wie zum Beispiel beim Halten einer Last. Zum anderen differenzieren sie in dynamische Kontraktionen. Zu diesen gehören laut Güllich und Krüger (2013):

- isotonische Kontraktionen (Muskelverkürzung mit gleichbleibender Spannung) und isokinetische Kontraktionen (der Muskel kontrahiert bei einer gleichbleibenden Verkürzungsgeschwindigkeit), können nur maschinell zu Stande kommen und sind nicht Teil natürlicher Bewegungen
- auxotone Kontraktionen: welche die Besonderheit haben, dass sich Muskellänge sowie Muskelspannung in der Kontraktion verändern, nahezu alle natürlichen Bewegungen beruhen auf auxotonen Kontraktionen
- exzentrische Kontraktionen: es findet eine Muskelverlängerung mit nachgebender Weise, beziehungsweise ein Entgegenwirken gegen eine nicht haltbare Last statt
- konzentrische Kontraktion: der Muskel verkürzt sich beim anheben oder überwinden eines Widerstandes

Häufig kommt es bei der Durchführung von sportlichen Bewegungsabläufen zu einer Kombination aus exzentrisch- und konzentrischen Kontraktionen, wie zum Beispiel beim Bankdrücken. Zunächst wird der Last nachgebend entgegengewirkt (exzentrisch) und anschließend wird das Gewicht gehoben (konzentrisch), wobei es zu einer Verkürzung des Muskels kommt (Güllich & Krüger, 2013).

2.2 Krafttraining

Generell muss hier erwähnt werden, dass der Begriff des Trainings sich im Laufe der Zeit gewandelt hat, was vor allem dem Wandel der gesellschaftlichen Bedürfnisse zugeschrieben wird. Früher war das Training eher dem Ziel untergeordnet, Höchstleistungen im Sport zu erreichen, als zum Beispiel der Gesundheit fördernd durch ein Training zu Gute zu kommen (Hottenrott & Neumann, 2016).

Hottenrott und Neumann (2016, S. 12) definieren Training dabei wie folgt:

Training ist ein komplexer Handlungsprozess, der auf systematischer Planung, Ausführung und Evaluation basiert und nachhaltige Ziele in den verschiedenen Anwendungsfeldern des Sports, der Prävention und Rehabilitation verfolgt

Weineck (2010, S. 21) definiert den Begriff Training sehr allgemein:

Der Begriff „Training“ lässt sich im allgemeinen Sprachgebrauch für die verschiedensten Bereiche (physisch, psychisch, motorisch, kognitiv, affektiv etc.) verwenden und beinhaltet dabei meist einen Übungsprozess, der eine Verbesserung im jeweiligen Zielbereich anstrebt.

Aus sportpraktisch-orientierter Anschauung trifft Wineck (2010, S. 21) folgende Definition:

Aus sportpraktisch-orientierter Sichtweise definiert sich sportliches Training als ein komplexer Handlungsprozess mit dem Ziel der planmäßigen und sachorientierten Entwicklung der sportlichen Leistungsfähigkeit sowie der Fähigkeit zur optimalen Leistungspräsentation im Wettkampf.

Ein Training dient heutzutage nicht mehr nur um Ziele im Hochleistungssport zu erreichen, sondern ist mittlerweile sehr vielfältig geworden. Es kann dabei den Konnex zwischen Alt und Jung schaffen, dient der Gesundheit und unterstützt auch erzieherische Ziele. Abbildung 9 zeigt einen groben Überblick, wie universal der Begriff des Trainings heute zu verstehen



Abbildung 9: Anwendungsfelder eines sportlichen Trainings (Hottenrott & Neumann, 2016, S. 12)

ist. Das sportliche Training umfasst alle Altersgruppen, was zugleich bedeutet, dass hier eine Differenzierung vorgenommen werden muss und spezifisch an die Zielgruppe angepasst werden sollte. FitnesssportlerInnen haben mit großer Sicherheit andere Ziele als LeistungssportlerInnen. Alterssportlerinnen und Alterssportlern wird es im Gegensatz zu AbenteuersportlerInnen nicht so sehr um das Erlebnis gehen, sondern vielmehr um eine Aufrechterhaltung der Mobilität und Gesundheit im höheren Alter. Aus den hier genannten Gründen, lässt sich sehr leicht erkennen, dass das Erstellen von Trainingsplänen spezifisch an die Trainingsgruppe angepasst werden muss und bereits weit über die Zielvorstellungen des Leistungssports hinausgeht, fassten Hottenrott und Neumann (2016) zusammen

Wie bereits zu Beginn des 2. Kapitels erwähnt wurde, handelt es sich bei der Kraft, aus trainingswissenschaftlicher Sicht, um eine konditionelle Fähigkeit. Zaciorskij und Kraemer (2016, S. 44) schrieben in diesem Kontext, dass die *„Kraft als die Fähigkeit zur Überwindung oder zum Zusammenwirken mit äußeren Widerständen durch muskuläre Anstrengung“* verstanden werden kann. Die muskulären Kraftfähigkeiten nehmen hierbei in unterschiedlichster Art und Weise Einfluss auf eine Vielzahl an möglichen Bewegungsformen, nicht zuletzt auch durch ihre Beteiligung an Halte- und Stabilisierungsvorgängen, ergänzten Hottenrott und Neumann (2016). Aufgrund dessen erwähnen sie, dass eine Aufteilung der verschiedenartig zu schulenden Kräfte in Subkategorien wichtig ist. Eine Einteilung der Autoren erfolgt hierbei in der ersten Kraftebene in Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer (Hottenrott & Neumann, 2016).

Weineck (2010) nimmt zunächst eine allgemeinere Einteilung der Kraftarten vor, da er zwischen einer allgemeinen, sportartenunabhängigen Kraft (allgemeine Muskelgruppen) und einer speziellen, sportartenbezogenen Kraft (spezifische Muskelgruppen) unterscheidet. In diesem Zusammenhang führt Wineck (2010) an, dass die Kraft in unterschiedlichen Sportarten nie alleine auftritt, sondern immer eine ausgeklügelte Mischform konditioneller und physischer Leistungsaspekte ist. Darüber hinaus unterteilen Wineck (2010) sowie Hottenrott und Neumann (2016) wie viele andere Autoren in:

- die Maximalkraft: Sie *„stellt die höchstmögliche Kraft dar, die das Nerv-Muskel-System bei maximaler willkürlicher Kontraktion auszuüben vermag“* (Weineck, 2010, S. 371)

- die Schnellkraft: Sie „beinhaltet die Fähigkeit des Nerv-Muskelsystems, den Körper, Teile des Körpers (z.B. Arme, Beine) oder Gegenstände (z.B. Bälle, Kugeln, Speere, Disken etc.) mit maximaler Geschwindigkeit zu bewegen“ (Weineck, 2010, S. 374).
- die Reaktivkraft: Sie beschreibt „die Fähigkeit, im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) eine erhöhte Schnellkraftleistung zu erbringen (z.B. Kombination von exzentrischer und konzentrischer Muskelanspannung bei Sprüngen)“ (Hottenrott & Neumann, 2016, S. 158).
- die Kraftausdauer: Sie „lässt sich als Ermüdungswiderstandsfähigkeit gegenüber Belastungen größer als 30% des individuellen isometrischen Kraftmaximums definieren“ (Weineck, 2010, S. 379).

2.2.1 Bedeutung der Kraft

Die unterschiedlichen Formen der Kraft spielen in fast jeder Sportart eine wichtige Rolle. So dient ein Krafttraining, zur Erreichung einer gut ausgeprägten Muskulatur, nicht nur als Verletzungsprophylaxe, sondern darüber hinaus auch als Voraussetzung für eine bessere Belastungsverträglichkeit. Zudem ermöglicht es auch die kräftigende Kompensation für Muskeln, die zur Abschwächung neigen und kann zusätzlich als Ausgleichs- oder Ergänzungstraining dienen (Weineck, 2010). Prinzipiell wird die Muskelkraft von mehreren Faktoren bestimmt, zu welchen die Bewegungsgeschwindigkeit, der Muskelfaserquerschnitt und die neuro-tendo-muskulären Eigenschaften zählen, schreiben (Hottenrott & Neumann, 2016). In

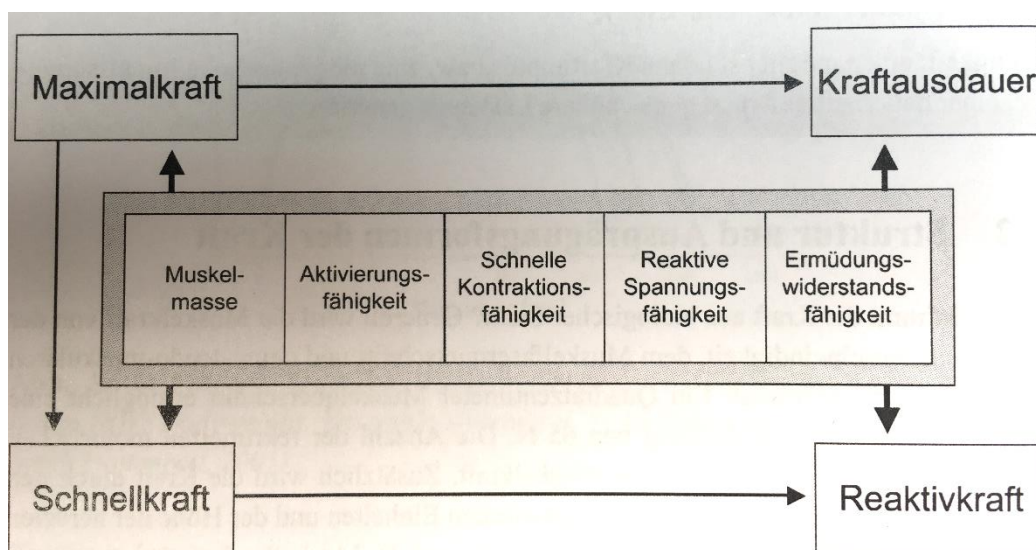


Abbildung 10: Dimensionen der Kraft sowie ihre Zuordnung zu einzelnen Kraftfähigkeiten (Hottenrott & Neumann, 2016, S. 162)

diesem Kontext, wie schon in Kapitel 2.1.2.1 und folgenden beschrieben wurde, wird die Muskelkraft von den rekrutierten motorischen Einheiten entscheidend bestimmt. Dabei sind Einflussgrößen wie die Rekrutierung, Frequentierung und Synchronisation bestimmende Faktoren, worauf jedoch im Zuge dieser Diplomarbeit nicht mehr genauer eingegangen wird (Hottenrott & Neumann, 2016).

Abbildung 10 zeigt die komplexen Zusammenhänge zwischen den Dimensionen der Kraft und deren Zuordnung zu einzelnen Kraftfähigkeiten, wodurch die Ausprägungsformen der Kraft bestimmt werden. Rückt man die Maximalkraft in den Fokus, so kann gesagt werden, dass diese einerseits von der vorhandenen Muskelmasse und andererseits von der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit abhängt (Hottenrott & Neumann, 2016). Nimmt man Bezug auf die Schnellkraft, so rücken die Muskelmasse, eine schnelle Kontraktionsfähigkeit der Fast-twitch Muskelfasern sowie deren neuromuskuläre Aktivierungsfähigkeit ins Licht. Die Schnellkraft und die Kraftausdauer stehen dabei bei hohen bis sehr hohen Widerständen in einer Abhängigkeit zur Maximalkraft (Hohmann et al., 2010; Hottenrott & Neumann, 2016). Die Reaktivkraft zählt zu den komplexeren Kraftarten, da sie neben der Maximalkraft und einer schnellen Kontraktionsfähigkeit in erster Linie von der reaktiven Spannungsfähigkeit abhängt. Der Aussage von Hohmann et al. (2010) nach, kann sie deswegen als eine eigene, von der Schnellkraft unabhängige motorische Eigenschaft gesehen werden. Die Kraftausdauer hingegen, ist eine sportmotorische Fähigkeit, die - unter statischer beziehungsweise dynamischer Arbeit der Muskulatur - höhere Anteile der Maximalkraft sowie Schnellkraft über einen längeren Zeitraum nutzbar macht (Hottenrott & Neumann, 2016).

2.2.2 Belastungsnormativa

Die Belastungsnormativa, welche auch als Belastungsvariablen, Belastungskomponenten, Belastungsmerkmale, Belastungsnormative beziehungsweise Belastungsfaktoren bezeichnet werden, sind ein wichtiges Instrument um ein auf ein Ziel fokussiertes Krafttraining im Verlauf einer Trainings- und Leistungssteuerung durchzuführen zu können (Hottenrott & Neumann, 2016; Weineck, 2010). Die Adaption der Belastungsfaktoren ist dabei maßgeblich verantwortlich für die Entwicklung der sportlichen Leistungsfähigkeit, was verdeutlicht, wie wichtig die Rücksichtnahme auf bestimmte Kriterien wie Geschlecht, Lebens- und Trainingsalter, Leistungs- und Erholungsfähigkeit, Trainingsziel und die individuelle Belastbarkeit ist, bemerkten Hottenrott und Neumann (2016). Die Belastungskomponenten setzen sich aus den nachfolgenden Faktoren zusammen.

2.2.2.1 Belastungsumfang

Mitunter eine der essenziellsten Belastungsnormativa, die zur Erstellung einer Trainingsplanung notwendig sind, ist der Belastungsumfang. Er ist charakterisierend für die Summe der Belastungswirkung, die über einen bestimmten Trainingszeitraum (Mikro-, Meso-, Makrozyklus) auf SportlerInnen einströmt. Dabei wird im speziellen - auf ein Krafttraining bezogen - die Gesamtheit der Belastungsreize verstanden, die in einer Trainingseinheit gemeistert werden. Für ein Widerstandstraining werden dabei Lastangaben (Kilogramm, Tonne), Belastungszeit und die Anzahl der Wiederholungen (Anzahl Sätze, Anzahl der Serien) interessant. Zu berücksichtigen, neben allgemeinen Faktoren wie Geschlecht, Alter, Trainingszustand, Belastungsfähigkeit und Ziel, ist in jeder Trainingseinheit in jedem Fall ebenso der Ermüdungszustand, die Erholungsfähigkeit, Trainingsfrequenz und Qualität der auszuführenden Übungen, schrieben Hottenrott und Neumann (2016)

2.2.2.2 Volumen

Anstelle des Belastungsumfanges wird auch teilweise vom Volumen gesprochen, welches aber eher eine Bezeichnung in der gängigen Trainingspraxis ist und den Ursprung nicht in der Wissenschaft hat. Ein hohes Volumen bedeutet dabei die Durchführung vieler Sätze und wird in Verbindung mit dem Bodybuilding gesetzt. Es wird dabei von einem Volumentraining gesprochen, welches eine gängige, jedoch umstrittene Form des Hypertrophietrainings ist (Heiduk & Preuß, 2007).

2.2.2.3 Belastungsintensität

Eine Planung der Belastungsintensität erfolgt immer in Bezugnahme auf andere Belastungsvariablen, wie Qualität und Güte der Bewegungsausführung. Sie beschreibt dabei die Höhe eines Belastungsreizes, der in einer bestimmten Zeitspanne durchgeführt wird. Bezogen auf ein Krafttraining bedeutet dies, dass eine Steuerung der Belastungsintensität durch den Belastungsgrad und die unterschiedliche Durchführung der Übung erfolgt. Die Werte zur Bestimmung der Belastungsintensität können ausgedrückt in absoluten Zahlen in Kilogramm (Last), in prozentuellen Angaben des 1RM sowie nach eigenem Intensitätsbefinden (Borg-Skala) dargebracht werden, schrieben Hottenrott und Neumann (2016) nieder. Weineck (2010) sowie Hottenrott und Neumann (2016) verorten jedoch bei der prozentuellen Intensitätsangabe des 1RM ein Problem, da diese von mehreren Faktoren wie zum Beispiel

Geschlecht, beanspruchter Muskelgruppe, ausgeführter Übung und der Wiederholungszahl abhängig ist. Obschon die Angabe der Belastungsintensität häufig durch prozentuelle Angaben des 1RM erfolgt, merkten Hottenrott und Neumann (2016) an, dass eine Steuerung des Krafttrainings durch andere Werte womöglich sinnvoller sei.

2.2.2.4 Bewegungsausführung

Durch die unterschiedlichen Möglichkeiten wie eine Bewegung ausgeführt werden kann, sind dem Sport in vielerlei Hinsicht keine Grenzen gesetzt. Eine Bewegung kann fließend, rhythmisch, ästhetisch, aber auch eckig und abgehakt sein. Ein Krafttraining kann durch die Größe Bewegungsausführung komplett differenziert geplant werden, wenngleich Belastungsdichte, Belastungshäufigkeit und Belastungsumfang keine Änderung erfahren. Die Ausführung, die einen maßgeblichen Anteil an den Adaptionprozessen der Muskulatur hat, kann langsam, zügig beziehungsweise schnell sowie in explosiver Art und Weise erfolgen. Zudem können genaue Angaben bezüglich der Geschwindigkeit angegeben werden, in welcher eine Übungsausführung erfolgen soll. Aus genannten Gründen, muss in Hinsicht sportartenspezifischer Trainingsplanung, der Bewegungsausführung in jedem Fall eine hohe Bedeutung zukommen, führten Hottenrott und Neumann (2016) aus.

2.2.2.5 Belastungsdauer

Die Belastungsdauer gibt die Zeit (Dauer) an, in welcher ein Training durchgeführt wird. Das heißt, wenn man es auf eine Ballsportart ummünzt, dass hier die Spielzeit oder ferner auch die Zweikampfzeit verstanden werden kann. Im Kontext eines Krafttrainings, bezeichnet die Belastungsdauer jedoch die Zeit, in der ein Muskel während eines Satzes unter Anspannung ist. Die Anspannungsdauer wird hier auch als Time under Tension (TUT) betitelt (Hottenrott & Neumann, 2016).

2.2.2.6 Belastungsdichte

Unter der Belastungsdichte wird die Zeitdauer zwischen mehreren Belastungen verstanden. Damit beschreibt sie die Pausenzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Reizen. Im Hintergrund eines Krafttrainings kennzeichnet die Belastungsdichte somit die Pausen zwischen den Sätzen oder Serien in einer Trainingseinheit (Hottenrott & Neumann, 2016).

2.2.2.7 Belastungshäufigkeit

Die Belastungshäufigkeit ist eine Kennzahl für die Häufigkeit der Trainingsbelastungen innerhalb eines gewissen Zeitraums. Die Trainingsplanung muss dabei berücksichtigen, wie leistungs- und erholungsfähig die SportlerInnen sind und spezifisch für die individuelle Person angepasst werden. Im Gesundheits- und Breitensport wird hierbei von zwei bis fünf Einheiten pro Woche gesprochen, was sich jedoch vom Leistungssport deutlich abgrenzt. Hier können zum Teil mehrere Einheiten für einen Tag angesetzt werden, was eine klare Differenzierung zu Hobbysportlern und Hobbysportlerinnen bedeutet, hielten Hottenrott und Neumann (2016) fest.

2.2.3 Hypertrophietraining

Die verschiedenen Kraftfähigkeiten, die in Kapitel 2.2.1 bereits oberflächlich abgehandelt wurden, werden anhand spezieller Trainingsmethoden geschult. Dabei sollte zunächst, als Grundlage für die weitere Kraftentwicklung, ein allgemeines Kraftausdauertraining durchgeführt werden.

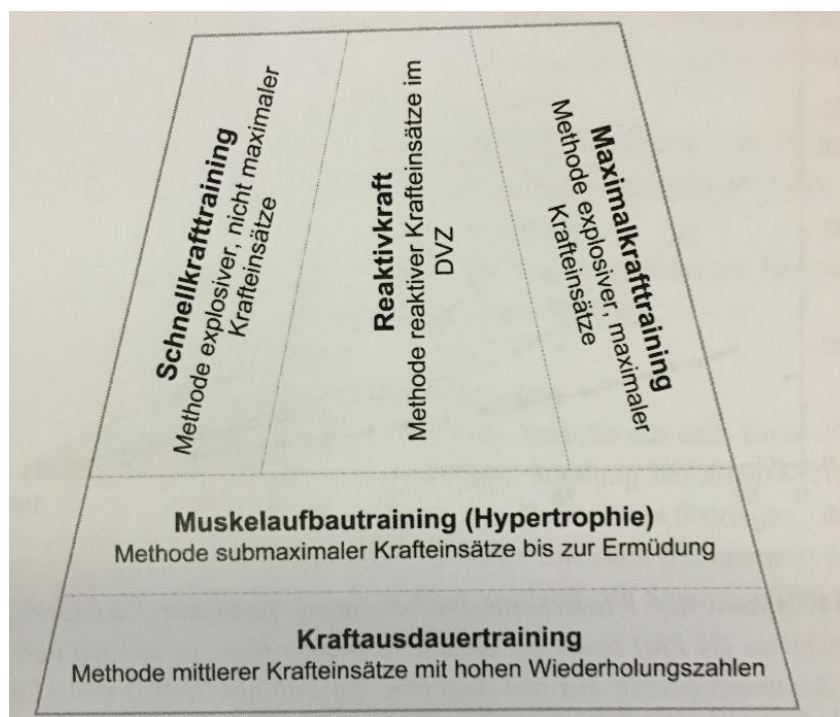


Abbildung 11: Methoden des Krafttrainings zur Ausprägung allgemeiner und spezifischer Kraftfähigkeiten (Hottenrott & Neumann, 2016, S. 170)

geführt werden. Hottenrott und Neumann (2016) illustrierten in ihrer Abhandlung zur Trainingswissenschaft eine Grafik (Abbildung 11), die einen Überblick über die Methodik des Krafttrainings gibt. Es gilt den Weg von unten nach oben zu beschreiten, eine Basis zu schaffen und anschließend den Fokus auf die speziellen Kraftfähigkeiten zu legen. Güllich und

Krüger (2013) sind ähnlicher Ansicht und beschreiben das allgemeine Krafttraining als Grundvoraussetzung für einen kontrollierten Leistungsaufbau sowie einer Erhaltung der Mobilität und Gesundheit im fortschreitenden Lebensverlauf. Dies gilt nicht nur für bereits ausgewachsene Personen, sondern richtet sich genauso an Heranwachsende, um eine umfassende neurotendomuskuläre Kraftfähigkeit zu entwickeln, die für eine generelle „gesunde körperliche Gesamtentwicklung als auch zur Entwicklung einer hohen sportlichen Leistungsfähigkeit“ ist (Güllich & Krüger, 2013, S. 471).

Da diese Arbeit sich näher mit dem Hypertrophie- und Okklusionstraining auseinandersetzt, wird nicht näher auf die anderen Kraftfähigkeiten eingegangen. Generell kann gesagt werden, dass sich das gesundheitsorientierte Fitnesstraining in den ersten zwei Stufen abspielt, veranschaulichten Güllich und Krüger (2013).

Das Muskelaufbautraining, auch Hypertrophietraining genannt, bildet die Grundlage für eine erhöhte Muskelkraft. Nicht zuletzt auch im vorangeschrittenen Alter, sollte diese Trainingsmethode angewandt werden, da häufig durch den Mindergebrauch der Muskulatur, Muskelmasse verloren geht (Atrophie) und so lebensqualitative Einschränkungen auftreten können (Richter, Greiff, & Weidemann-Wendt, 2016). Ein optimales Training beinhaltet dabei mindestens drei Krafttrainingseinheiten pro Woche, da ein bestimmter Trainingsumfang sinnvoller Weise auf mehrere Einheiten übertragen wird und nicht in wenigen durchgeführt werden sollte (Zaciorskij & Kraemer, 2016). Um eine Muskelhypertrophie überhaupt erst auslösen zu können, wie Hottenrott und Neumann (2016, S. 172) beschrieben, bedarf es „wiederholte submaximale Krafteinsätze, bei langsamer Bewegungsausführung, bis zur lokalen Muskelermüdung“. Vor allem sollte bei dieser Methode die langsame Bewegungsausführung fokussiert werden, da dieser für die Herausbildung von Muskelmasse wichtig ist. Im Speziellen stellt ein Hypertrophietraining einen Trainingsreiz dar, der den Fokus auf die Querschnittsflächenvergrößerung der Muskelfasern legt.

2.2.3.1 Muskelwachstum

Die menschliche Muskulatur setzt sich, wie bereits in früheren Kapiteln erörtert, aus mehreren Muskelfasertypen zusammen. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die schnell zuckenden Fasern (FT Typ II), die schnell ermüden, jedoch viel Kraft in kurzer Zeit entwickeln können, durch einen hypertrophen Reiz eine deutliche Ausprägung erfahren können (Zaciorskij & Kraemer, 2016). Weineck (2010) hielt in diesem Kontext fest, dass der

Querschnitt des Muskels maßgeblich für seine Kraft verantwortlich ist. Das bedeutet vereinfacht, je größer der Muskelquerschnitt ist, umso mehr Kraft kann auch letztendlich erzeugt werden. Die Körpermasse setzt sich dabei zwischen den Geschlechtern unterschiedlich zusammen, da die Muskeln bei Frauen circa 31% und bei Männern ungefähr 38% der gesamten Masse ausmachen (Bachl et al., 2018).

Rückt man das Muskelwachstum in den Fokus, so spielen Begriffe wie Muskelfaserhypertrophie und Muskelhyperplasie eine entscheidende Rolle. Muskelfasern können theoretisch vermehrt werden (Hyperplasie) oder in ihrem Querschnitt wachsen (Hypertrophie). In Studien mit Nagetieren konnte beispielsweise herausgefunden werden, dass geteilte Fasern oft mit einer vermehrten Muskelfaseranzahl beobachtet wurden. Daneben erfahren sie ebenso eine Spaltung, wenn sie Kontusionen erleiden, die das Muskelwachstum jedoch nicht stimulieren. Dieser Effekt kann entweder eine nützliche Anpassung, oder eine Nebenwirkung des hervorgerufenen Muskelschadens sein, was jedoch unklar ist, schrieb Beardsley (2019). Studien, in denen Menschen ein Krafttraining vollzogen, haben gezeigt, dass ebenso eine Faseraufspaltung stattfinden kann. Dennoch gibt es laut Beardsley (2019) keine handfesten Belege dafür, dass eine anzahlmäßige Vermehrung der Muskelfasern durch ein langfristiges Krafttraining induziert werden kann. Darüber hinaus schrieb er über Studien die BodybuilderInnen und untrainierte Personen verglich, wobei beide Gruppen eine ähnliche Anzahl an Muskelfasern hatten. Somit ist es eher unwahrscheinlich, dass nach einem Krafttraining die Muskelhyperplasie einen nennenswerten Einfluss auf das gesamte Muskelwachstum nimmt (Beardsley, 2019). Bachl et al. (2018) teilen diese Meinung, da sie in ihrer Abhandlung Studien erwähnten, die über wenige Monate gingen und Hyperplasie einen höchstens sehr geringen Anteil am Muskelwachstum hatte. Bachl et al. (2018) und Beardsley (2019) gehen ebenfalls davon aus, dass eine Größenanpassung der trainierten Muskelgruppen durch eine Muskelfaserquerschnittserhöhung, genauer gesagt durch einen hypertrophierten Muskel, erfolgt. Generell kann eine Hypertrophie als Erhöhung des Zellvolumens beziehungsweise der Zellmasse gesehen werden (Bachl et al., 2018). Ein interessanter Fakt, den Beardsley (2019) in diesem Zusammenhang erwähnte ist, dass die Muskelfasern in der Lage sind, entweder im Durchmesser, in der Querschnittsfläche oder in der Länge zuzunehmen, obwohl sich Ursprung und Ansatz des ganzen Muskels nicht ändern können.

Die Adaption an ein Krafttraining erfolgt durch mehrere Reize, die während eines Trainings auf den Muskel wirken. Diskutiert werden hierbei die Muskeldehnung, die Muskelzellschwellung, eine hohe Muskelspannung oder die Muskelzerstörung (Hottenrott & Neumann,

2016). Gesichert ist hingegen, dass nach einem Krafttraining die Proteinsynthese für 72 Stunden im trainierten Muskel anhalten kann. Die Synthese ist somit deutlich länger als nach einer Nahrungszunahme, bei welcher Proteine eingenommen werden (Bachl et al., 2018; Hottenrott & Neumann, 2016). Bachl et al. (2018) schlussfolgern, dass ein Krafttraining die Proteinsynthese im trainierten Muskel steigert, was nach einer längeren Phase an Proteinsynthese-Wellen, die durch Nahrungsaufnahme und Krafttraining gekennzeichnet sind, im Endeffekt zu einer positiven Proteinbilanz führt und somit auch zur Muskelhypertrophie.

Beim Menschen löst ein gezieltes Krafttraining eine Hypertrophie der Skelettmuskulatur aus. Die Anpassungen, die daraus resultieren, werden hierbei durch Variablen in Gang gesetzt, die sich bei einer Kontraktion der Muskulatur verändern. Zunächst werden die Sensorproteine aktiv, wie zum Beispiel Calmodulin, die Informationen übermitteln, analysieren und verstärken. Am Ende der Signalkette befinden sich Anpassungsproteine, die die Adaption überwachen, die wiederum von Signalübertragungsproteinen reguliert werden, erläuterten Bachl et al. (2018).

Ein Hauptregulator des Muskelwachstums nach mechanischen Belastungen, anders ausgedrückt, nach der anschließenden Proteinsynthese, ist das Protein „mammalian Target of Rapamycin“ (mTOR). Dabei hat der mTOR-Signalweg laut Bachl et al. (2018) zwei Komplexe, die unterschiedlich verortet werden. Die zwei Komplexe „mTORC1“ und „mTORC2“ sind jedoch von unterschiedlicher Bedeutung für Sportphysiologen, da ersterer in diesem Zusammenhang eine wichtigere Rolle spielt, weil er nach einer Krafttrainingseinheit die Proteinsynthese reguliert. Der mTORC2 dagegen ist für die Regulation der Glukose Aufnahme zuständig, die durch Insulin stimuliert wird. Eine Aktivierung des mTORC1, der in diesem Kontext interessanter ist, kann erstens durch Wachstumsfaktoren wie IGF-1 (Insulinalgrowth factor 1) und Insulin, zweitens durch Aminosäuren oder drittens durch ein Krafttraining erfolgen. Beim Widerstandstraining handelt es sich jedoch um einen bis heute noch nicht charakterisierten Mechanorezeptor, der von mTORC1 reguliert wird, untermauerten Bachl et al. (2018). Beardsley (2019) erwähnte zusätzlich, dass eine Signalübertragung über den mTOR Signalweg auch nach einem passiven Dehnreiz erfolgen kann und somit eine Hypertrophie auslöst, die eine sehr ähnliche molekulare Signalübertragung wie nach einem Krafttraining hat.

Ein weiterer Signalweg der für die Muskelhypertrophie zuständig ist, ist der Myostatin-Smad-Signalweg. Bachl et al. (2018, S. 312) formulierten dies metaphorisch mit den Worten, „der mTOR-Signalweg und der Myostatin-Smad-Signalweg sind für das

Muskelwachstum das Gaspedal und die Bremse oder das Yin und Yang“. Auf den Muskelzuwachs bezogen heißt das, dass mTOR für die Hypertrophie verantwortlich ist und Myostatin-Smad ist für die Limitation der Muskelgröße zuständig. Es ist jedoch bis heute ungeklärt, wie Myostatin genau das Muskelwachstum verursacht und gehört deswegen, wie Bachl et al. (2018) verweisend mitteilten, zu den wichtigsten ungelösten Rätseln der Sportmedizin.

Ein weiterer Aspekt, der in diesem Kontext diskutiert wird, ist der Einfluss von Satellitenzellen auf das Muskelwachstum. Da bereits in Kapitel 2.1 die Satellitenzellen im Mittelpunkt der Thematik standen, wird hier nicht mehr näher darauf eingegangen. Zusammenfassend kann jedoch festgehalten werden, dass sie für eine akute Hypertrophie nicht von Bedeutung sind, jedoch auf längere Sicht, um die Muskelhypertrophie in Gang zu halten, wieder in den Fokus rücken und benötigt werden. Für eine Muskelregeneration beziehungsweise eine Muskelverletzung, sind sie indessen unerlässlich (Bachl et al., 2018).

Generell können zwei Arten von Hypertrophie beobachtet werden (Abbildung 12). Zaciorskij und Kraemer (2016) beschrieben zum einen die sarkoplasmatische Hypertrophie, die durch eine Anreicherung an Sarkomerplasma und nichtkontraktilen Eiweißen, welche nicht direkt in Zusammenhang mit der Kraftentwicklung des Muskels stehen, charakterisiert wird. Zum anderen erwähnten die Autoren die myofibrilläre Hypertrophie, die eine Vermehrung der Myofibrillen und damit der Aktin- und Myosinfilamente zur Folge hat. Dabei werden kontraktile Proteine synthetisiert, was eine Zunahme der Filamentdichte bedeutet. Diese Art der Hypertrophie ist mit einer deutlichen Steigerung der Kraft verbunden die für Gewichtheber essenziell ist, wohingegen der sarkoplasmatische Muskelzuwachs eher für Bodybuilder geeignet ist, da er vor allem einen ausgeprägteren optischen Effekt hat, bemerkten Zaciorskij und Kraemer (2016).

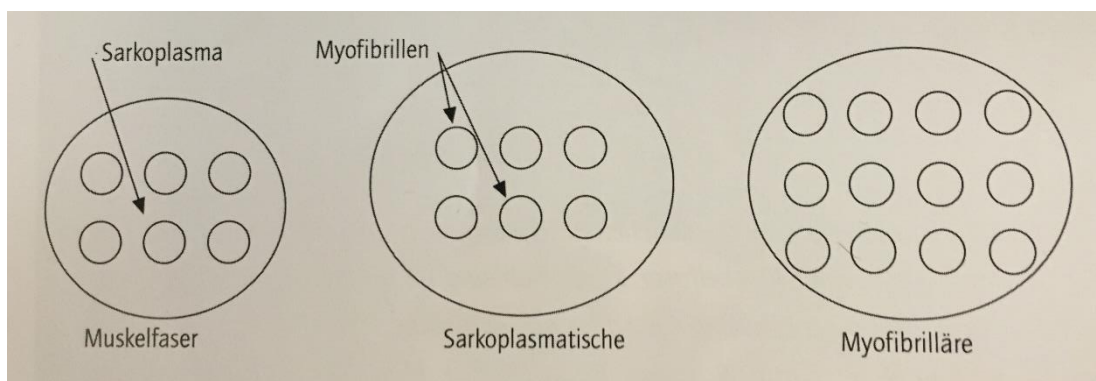


Abbildung 12: Sarkoplasmatische und myofibrilläre Hypertrophie (Zaciorskij & Kraemer, 2016)

Muskeln können mechanische Spannungen aktiv oder passiv empfangen. Einerseits wenn sie entweder passiv gedehnt werden, andererseits sich aktiv kontrahieren. Die mechanische Spannung konnte dabei mit einer Änderung der Muskelgröße in Beziehung gesetzt werden, bestätigte Beardsley (2019), womit ihr eine Schlüsselrolle des Muskelwachstums zukommt. Ein mechanisches Spannungssignal, welches die Signalgebung für eine Hypertrophie des Muskels auslöst, wird von einzelnen Muskelfasern gesendet. Mechanorezeptoren, die wahrscheinlich auf der Membran jeder Muskelzelle angesiedelt sind, erfassen hierbei wahrscheinlich das Signal.

Muskeln verändern ihre Form, da sie sich während einer Kontraktion beugen, was dazu führt, dass sie einer Fülle an äußeren Einschränkungen ausgesetzt werden. Dadurch kommt es zu abweichenden Faserverkürzungsgeschwindigkeiten, mechanischer Spannung und Längenänderungen, die sich in unterschiedlicher Art und Weise auf Muskelfasern bestimmter Regionen auswirken als auf andere. Dies mag wahrscheinlich auch ein Grund für die unterschiedliche Adaption der Muskeln nach einem Krafttraining sein, hypothesisierte Beardsley (2019).

Rekapitulierend kann gesagt werden, dass ein Muskel nach mehreren Kontraktionen ermüdet und die benötigte Kraft nicht mehr erzeugen kann. Diese Gegebenheit bildet die Grundlage für eine Rekrutierung motorischer Einheiten mit höherer Ansprechschwelle und deren Muskelfasern. Daneben führt eine Ermüdung zur Verlangsamung der Kontraktionsgeschwindigkeit während eines Satzes, was eng mit dem metabolischen Stress in Verbindung steht. Während Sätzen mit beliebiger Last, die zu einer Ermüdung führen, kommt es zu einer Aktivierung der eben angesprochenen hochschwelligen motorischen Einheiten. Diese zugeschalteten Muskelfasern, die sehr langsam kontrahieren, bilden eine große Anzahl von Actin-Myosin-Brücken, erfahren dadurch eine mechanische Spannung auf der Faser, was im Endeffekt die Muskelfaser letztendlich zum Wachsen anregt, beziehungsweise den Muskel hypertrophiert. Die Faserkontraktionsgeschwindigkeit ist hierbei von einer externen Last oder einer Ermüdung abhängig und verlangsamt sich bei Erhöhung des Widerstandes beziehungsweise der Erschöpfung des Muskels (Beardsley, 2019).

Abschließend muss hervorgehoben werden, dass früher viel diskutierte Mysterien, wie zum Beispiel die des metabolischen Stresses und der Muskelschäden und deren Auswirkungen auf eine Hypertrophie, mittlerweile an Bedeutung verloren haben, da sie sich heute eher leichter mit der Höhe der mechanischen Last erklären lassen (Beardsley, 2019). In diesem Zusammenhang scheint es nicht verwunderlich, dass die Reparatur der Muskelschäden mit

einem separaten Prozess, abseits des Muskelwachstums, assoziiert wird, fügte Beardsley (2019) hinzu.

2.2.3.2 Empfehlungen eines Hypertrophietrainings

Wie schon einleitend erwähnt, gibt es kein allgemeines Rezept, um die bestmögliche Hypertrophie eines Muskels zu erreichen. Diese Tatsache kristallisiert sich nach einer längeren Literaturrecherche deutlich heraus, da es auf diesem Gebiet einige Trainingsmeinungen unterschiedlicher Autoren gibt, die zum Teil ihre Trainingskonzepte als das Richtige darstellen wollen. Bachl et al. (2018) verwiesen hier kritisch auf den Fakt, dass es kein „perfektes“ Krafttrainingsprogramm gibt und in weiterer Folge eine Adaption an das Programm stets von der Person und deren Trainierbarkeit abhängig ist. Das Ergebnis mehrerer Studien, die sich näher mit der Forschung zur Vererbbarkeit von Kraft und deren Größen auseinandergesetzt haben, zeigen ein deutliches Bild. So sollen auch ohne Krafttraining, große Unterschiede in der Anzahl der Muskelfasern, in der Trainierbarkeit der Kraft sowie in einer Vererbung von Muskelmasse herrschen (Peeters, Thomis, Beunen, & Malina, 2009). Zwar trifft es zu, dass ein Training mit ein bis fünf Sätzen bei jeweils sechs bis zwölf Wiederholungen mit einer Last, die einen Erschöpfungszustand hervorruft, bei dem Großteil aller Menschen signifikante Krafterhöhungen zur Folge hat. Dennoch bleibt die Tatsache bestehen, dass die Muskelmasse und Kraft bei den verschiedensten Individuen sehr stark auseinandergehen, was zum Beispiel von Umweltfaktoren, wie der Ernährung abhängt, jedoch auch maßgeblich durch die Genetik bestimmt wird (Bachl et al., 2018).

Tabelle 2 stellt einen Trainingsplan der Autoren Zaciorskij und Kraemer (2016) dar. Sie empfehlen dabei ein Training von höchstens zwei bis drei Muskelgruppen pro Einheit. Diese Methode des Trainings wird auch als Splittraining bezeichnet und hat das Ziel, die Muskelgruppen, die in der Einheit trainiert werden, vollkommen zu ermüden.

Tabelle 2: Trainingsplan Muskelhypertrophie und Muskelkraft

Trainingsvariable	Muskelhypertrophie	Muskelkraft
Zielstellung	Aktivierung und Ermüdung der einbezogenen Muskeln	Rekrutierung einer maximalen Anzahl motorischer Einheiten mit optimaler Entladefrequenz
Intensität (Wiederholungsmaximum)	Von 5-7 bis 10-12	1-5
Pausenzeiten • Zwischen Serien • Zwischen Trainingseinheiten, die auf die gleichen Muskelgruppen zielen	Kurz (1-2 Minuten) Lang (48-72 Stunden)	Lang (2-5 Minuten) Kurz (24-48 Stunden)
Übungen in einer Trainingseinheit	3 oder weniger Muskelgruppen (Splitsystem)	Viele Muskelgruppen
Aufeinanderfolge von Übungen in einer Trainingseinheit	Variationen für Übungen einer Muskelgruppe möglich, Übungen für verschiedene Muskelgruppen wechseln einander nicht ab	Empfehlenswert
Trainingsumfang (Last, Wiederholungen, Serien)	Groß (4-5 x)	Geringer (4-5 x)

Quelle: mod. n. Zaciorskij und Kraemer (2016, S. 251)

Auffallend ist, dass die Autoren keine Intensitätsangaben geben, sondern sich auf eine Wiederholungszahl berufen. Ebenfalls betonten Zaciorskij und Kraemer (2016), dass für dieselbe Muskelgruppe unterschiedliche Übungen in unterschiedlicher Reihenfolge erfolgen können, jedoch der trainierte Muskel nicht abgewechselt werden soll. Was bedeutet, dass alle Übungen für eine Muskelgruppe hintereinander durchgeführt werden und anschließend die Nächste der Einheit trainiert wird. Der Muskel erfährt dabei eine völlige Ermüdung während der Trainingseinheit und benötigt eine Regenerationszeit von 48-72 Stunden.

Im Gegensatz dazu, gingen Hottenrott und Neumann (2016) näher auf die Intensität der Last beziehungsweise des Widerstandes ein. Sie empfehlen circa 65-85% des 1RM. Generell gehen sie spezifischer auf das Muskelaufbautraining ein, da sie zusätzlich unter anderem die

Ausführungsdauer, die Häufigkeit der verschiedenen Zielgruppen und Voraussetzungen in ihre Übersicht über das Hypertrophietraining einbeziehen. Tabelle 3 zeigt die Empfehlung der Autoren für ein Muskelaufbautraining. Zusätzlich erwähnten Hottenrott und Neumann (2016) unterschiedliche Umfänge, die für Anfänger, Fortgeschrittene und Leistungssportler logischerweise anders ausfallen.

Tabelle 3: Hypertrophietraining, Methode des submaximalen Krafteinsatzes bis zur Ermüdung

Intensität	Last/Widerstand	65-85% Einwiederholungsmaximum
Ausführung	Sequenz/ Geschwindigkeit	2 s-0 s-2 s bis 4 s-2 s-4 s-0 s (Kontraktion-Halten-nachgebende Kontraktion-Pause)
Umfang	Stationen/Übungen Satzzahl Wiederholungen	Einsatztraining: 10-15; Mehrsatztraining: 6-10 AnfängerInnen: 1; Fortgeschrittene: 2-4; LeistungssportlerInnen: 3-6 6-15 pro Satz
Dichte	Satzpause Serienpause	1-3 min; abhängig vom Leistungsniveau sowie von der Organisationsform 3-6 Minuten
Häufigkeit	Pro Woche	48 Stunden Pause zwischen den gleichen Muskelgruppen AnfängerInnen: 1x; Fortgeschrittene: 2x; LeistungssportlerInnen 2-3x bzw. 4-6x bei Splittraining
Haupteffekt	Muskelmassenzunahme; Steigerung der Maximalkraft	
Einsatzgebiet	Aufbautraining; Zunahme der Belastbarkeit, Bodybuilding	

Quelle: mod. n. Hottenrott und Neumann (2016, S. 172)

Schoenfeld, Ogborn, und Krieger (2016) diskutierten in diesem Zusammenhang in ihrer Metaanalyse über die Vorteilhaftigkeit eines Split-Trainings. Eine Split-Routine hat dabei den Vorteil, bei gleichbleibender Intensität ein höheres Trainingsvolumen pro Muskelgruppe zu erreichen. Zusätzlich kamen sie zu der Erkenntnis, dass die Vorteilhaftigkeit eines dreimaligen Trainings gegenüber einem zweimaligen Training einzelner Muskelgruppen pro Woche,

nicht unbedingt zu favorisieren ist, da auf diesem Gebiet noch näher geforscht werden müsse.

2.3 Blood Flow Restriction Training

Das Kaatsu Training, hierzulande näher bekannt als Blood Flow Restriction beziehungsweise Okklusionstraining, ist eine Trainingsmethode, bei welcher mit niedrigen Intensitäten trainiert wird (Hwang & Willoughby, 2017). Das Konzept dahinter wurde in den frühen 1960er Jahren von Yoshiaki Sato in Japan entwickelt (Jeremy P. Loenneke, Abe, Wilson, Ugrinowitsch, & Bemben, 2012). Yamanaka et al. (2012) schrieben, dass das Besondere am BFR Training die Anbringung von elastischen Gurten an den proximalsten Regionen der oberen und unteren Extremitäten sei, mit welchen bei einem bestimmten Druck, ein Gefäßverschluss bewirkt werden kann, der bei einem Widerstandstraining die positiven Effekte der Muskelhypertrophie zu Tage bringt. Ferner kommt es bei einem BFR Training neben dem angesprochenen Muskelzuwachs und einer Hormonausschüttung ebenso zu weniger Muskelschäden, die im Vergleich bei einem klassischen Hypertrophietraining mit höheren Intensitäten und ohne Einschränkung der Blutzufuhr entstehen können. Mit einfachen Worten ausgedrückt, wird bei einem BFR Training der Blutfluss zu einem aktiven Muskel durch Verwendung einer Verschlussvorrichtung wie unter anderem einer Blutdruckmanschette vermindert, schlussfolgerten (J. P. Loenneke et al., 2013b).

2.3.1 Manschetten

Ein traditionelles Kaatsu Training wird mit einem eigens entwickelten Kaatsu-Master - einem patentierten Trainingsband - welcher ein Gürtel mit einem inkludierten Airbag und einer elektrischen Druckregelung ist, welcher mit einem Kontrollsystem verbunden ist und den Restriktionsdruck überwacht, durchgeführt (Yamanaka et al., 2012). Der Okklusionsdruck wird dabei aus Kostengründen mit den unterschiedlichsten Systemen herbeigeführt, da der klassische Kaatsu-Master vergleichsweise eine teure Alternative darstellt. Eine Methode, um eine Okklusion vornehmen zu können, ist die Verwendung eines Tourniquet-Abbindesystems (J. P. Loenneke, Wilson, Wilson, Pujol, & Bemben, 2011; Yasuda et al., 2011). Nebstdem können Blutdruckmanschetten, Kniewickelungen oder eben eigens dafür entwickelte, patentierte, meistens in der Anschaffung sehr teure Gurte, den Blutfluss des aktiven Muskels limitieren (J. P. Loenneke et al., 2013b).

Die diversen Abbinde-systeme divergieren zum Teil sehr stark in der Herstellung. So sind die meisten schmalen Manschetten aus elastischen Materialien und die Breiteren aus Nylon produziert, erwähnten J. P. Loenneke, C. A. Fahs, L. M. Rossow, V. D. Sherk, et al. (2012). Daher kann hypothesisiert werden, dass die Materialunterschiede unterschiedliche Auswirkungen auf die Effektivität der Blutzufuhreinschränkung haben können und somit Auswirkungen auf den effektiven Okklusionsdruck haben (Hwang & Willoughby, 2017).

2.3.2 Anwendungsbereich

Die Anwendung eines BFR Krafttrainings, mit einer Intensität von 20-50% des 1RM, ist ein wirksames Mittel um eine Skelettmuskelhypertrophie ohne hohe mechanische Belastungen zu erlangen. Daher ist es naheliegend, dass dieses Training besonders für ältere Menschen, für Personen in einer Rehabilitation und für SportlerInnen, die sich von Verletzungen erholen, eine sinnvolle und wirksame Alternative ist. Daneben kann es zusätzlich neben einem klassischen Krafttraining den Trainingsreiz verändern (Slysz, Stultz, & Burr, 2016). Weiters kann ein Okklusionstraining insofern sinnvoll sein, als eine kräftemäßige Progression bei gleichzeitiger Belastungsminderung des Bewegungsapparats, respektive der Muskeln, Sehnen, Gelenke und Knochen, erzielt werden kann, merkten Slysz et al. (2016) an.

Um der Vollständigkeit Genüge zu tun, muss ergänzend erwähnt werden, dass ein BFR Training nicht nur im Bereich des Krafttrainings eingesetzt werden kann, sondern ebenso unter anderem bei moderaten Ausdauerbelastungen wie Gehen, langsamen Radfahren (J. P. Loenneke, Wilson, Marin, Zourdos, & Bembien, 2012) sowie bei Aerobic Belastungen (Bennett & Slattery, 2019) erfolgreich angewendet wurde.

2.3.3 Hypertrophie beim BFR Training

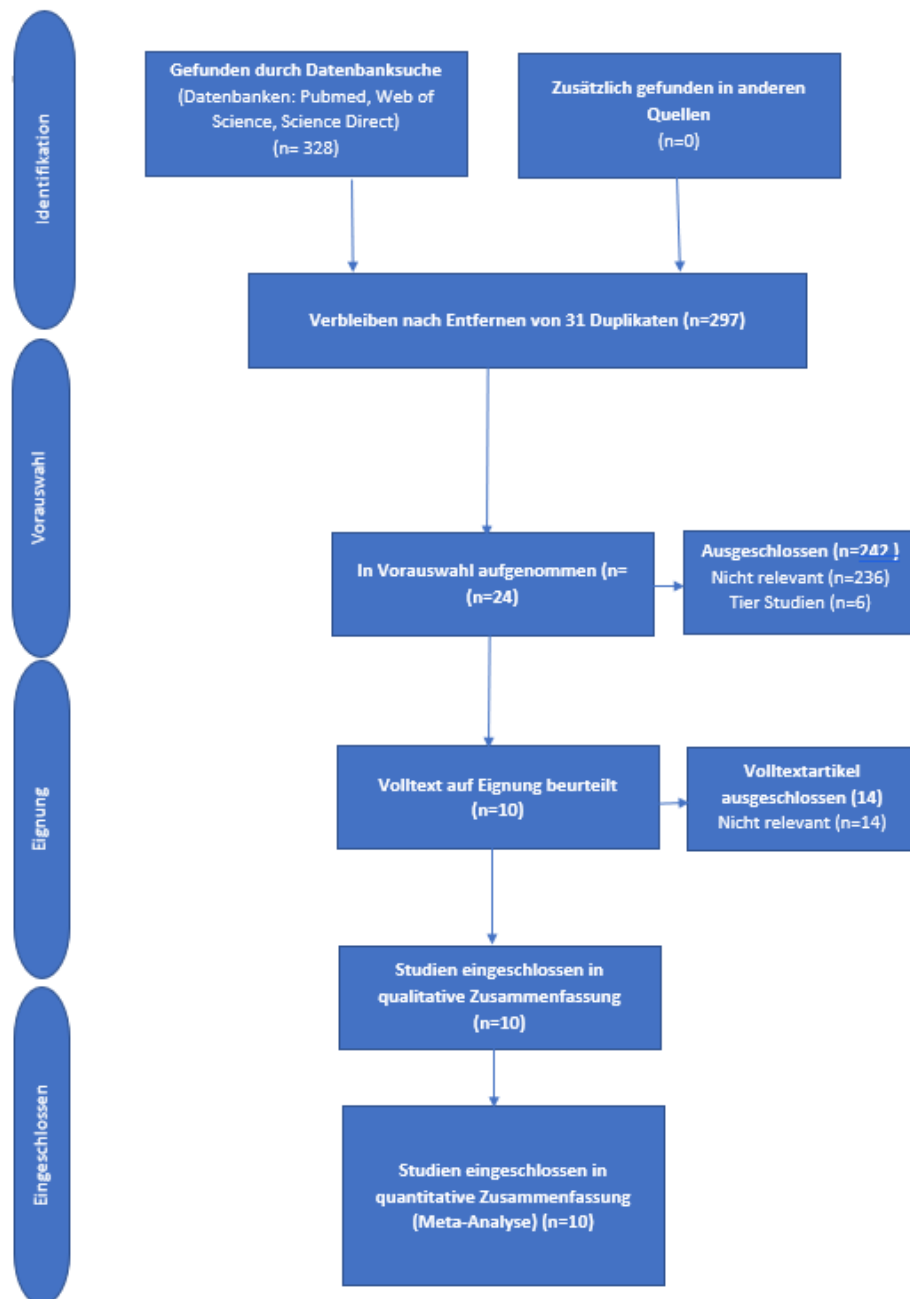
Die Hauptmechanismen, die zu einer Stimulation der Hypertrophie der Skelettmuskulatur, durch ein Okklusionstraining, führen, werden an dieser Stelle zusammenfassend angeführt.

Dazu gehören laut Hwang und Willoughby (2017) unter anderem Stoffwechselansammlungen, die anabole Wachstumsfaktoren stimulieren können, eine Analyse einer erhöhten Muskelproteinsynthese über bestimmte intrazelluläre Signalwege, die mechanische Transduktion, Muskelschäden, Rekrutierungsmuster der Muskelfasertypen, Hinweise auf potentielle Aktivität der Satellitenzellen sowie eine Produktion von freien Radikalen (ROS, reactive oxygen species). Eben genannte Mechanismen werden in Kapitel 4, der abschließenden

Diskussion der Abhandlung, näher beleuchtet und hinsichtlich der Forschungsfrage genauer diskutiert.

3 Studien Blood Flow Restriction Training

3.1 Prisma Chart / Flussdiagramm der Studienauswahl



Die Datenbanksuche ergab 328 Studien, die nach festgelegten Filterkriterien, wie schon in Kapitel 1.2.1 beschrieben, gefunden wurden. Dazu mussten zuvor gefundene Reviews und Artikel der Datenbank „Web of Science“ entfernt werden. Die im Anschluss entfernten Duplikate brachten die Einschränkung auf 297 Studien. Eine Titelanalyse ergab dann letztendlich eine Vorauswahl von 24 Studien, die sich aus den Datenbanken Pubmed, Web of Science

und Science Direct erschlossen. Erwähnenswert ist, dass mehr als die Hälfte der Studien, der Datenbank Pubmed entnommen wurde.

Die in die Vorauswahl aufgenommenen 24 Studien wurden nun gründlich durchgelesen und auf ihre Eignung anhand der Ein- und Ausschlusskriterien geprüft. Im Zuge dieser Selektion, stellten sich 14 Studien als nicht relevant für die Beantwortung der Forschungsfragen dar. Der Hauptgrund für die Verwerfung der Studien war, dass die Probanden verletzungsfrei sein mussten, was in den vorher erwähnten Studien nicht der Fall war. Somit verblieben zehn Untersuchungen, die sich im Selektierungsprozess als geeignet herausstellten und für die wissenschaftliche Abhandlung herangezogen wurden.

3.2 PEDro Skala

Die Evidenzdatenbank PEDro ist eine frei zugängliche Plattform der Physiotherapie-Forschung. Die Datenbank enthält mehr als 20.000 randomisierte kontrollierte Studien, Reviews und Praxisleitlinien, die sich mit der Physiotherapie auseinandersetzen. Sie dient vor allem der Bewertung von klinischen Studien. Dabei zeigt die PEDro Skala (0-10 Punkte) an, ob eine Studie intern valide ist und ausreichend statistische Informationen bereitstellt, um die Ergebnisse interpretieren zu können. Darüber hinaus liefert die Datenbank bibliographische Details zu den Studien, Leitlinien und Reviews und bietet im Optimalfall auch einen Link zu den Volltexten an (Physio-Akademie, 2019).

Unter den zehn Studien, die das Grundgerüst dieser Arbeit bilden, wurden nur drei in der PEDro Datenbank gefunden. Die verbliebenen sieben Forschungen werden anhand der PEDro Skala vom Autor der Abhandlung persönlich bewertet. Die in der Datenbank gefundenen Studien werden in der nachfolgenden Tabelle hervorgehoben. Diese Übersicht soll dabei Aufschluss über die erfüllten und nicht erfüllten Kriterien gemäß der PEDro Skala geben. Zuvor darf eine kurze Nennung der Skalakriterien nicht fehlen, die von Stefan Hengscheidt, Angela Harth und Erwin Scherfer 2008 ins Deutsche übersetzt wurden und im Februar 2010 nochmals eine Änderung erfuhren (CEBP, 2019).

3.2.1 Skalakriterien

Die nachfolgenden Kriterien entstammen der Webseite der Physiotherapy Evidence Database, wobei Punkt 1 den Punktestand nicht beeinflusst (CEBP, 2019):

1. *„Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert“*
2. *„Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Fall von Crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Probanden randomisiert zugeordnet)“*
3. *„Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen“*
4. *„Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren ähnlich“*
5. *„Alle Probanden waren geblindet“*
6. *„Alle Therapeut/Innen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblindet“*
7. *„Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren geblindet“*
8. *„Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen“*
9. *„Alle Probanden, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine „intention to treat“ Methode analysiert“*
10. *„Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet“*
11. *„Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome“*

3.2.2 Übersichtstabelle PEDro Skala

Autoren der Studie	Titel	Erfüllte Kriterien laut PEDro Skala
Colomer-Poveda et al. (2017)	Effects of 4 weeks of low-load unilateral resistance training with and without blood flow restriction, on strength, thickness, V wave, and H reflex of the soleus muscle in men	2, 4, 8, 10, 11
Hill et al. (2018)	Early phase adaptations in muscle strength and hypertrophy as a result of low-intensity blood flow restriction resistance training	2, 4, 8, 10, 11
Kim et al. (2017)	Effects of blood flow restricted exercise training on muscular strength and blood flow in older adults	2, 4, 10, 11
Martin-Hernandez et al. (2013)	Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training	2, 4, 8, 10, 11
Sugiarto et al. (2017)	Comparison of the increase of both muscle strength and hypertrophy of biceps brachii muscle in strengthening exercise with low-intensity resistance training with and without the application of blood flow restriction and high-intensity resistance training	1, 2, 4, 8, 10, 11
Vechin et al. (2015)	Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow restriction and high intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly	2, 4, 10, 11
Yasuda, Fujita, Ogasawara, Sato, und Abe (2010)	Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study	2, 4, 8, 10, 11
Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al. (2014)	Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults	2, 4, 8, 10, 11
Yasuda, Loenneke, Ogasawara, und Abe (2015)	Effects of short-term detraining following blood flow restricted low-intensity training on muscle size and strength	2, 4, 8, 10, 11
Yasuda et al. (2011)	Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size	2, 4, 8, 10, 11

3.3 Studienübersicht

Das in 3.1 angeführte Prisma Model zeigt den Verlauf beziehungsweise die Filterung der Studien anhand angeführter Ein- und Ausschlusskriterien. Am Ende blieben zehn Studien übrig, die in dieser Arbeit beschrieben, diskutiert und analysiert werden konnten. Um einen Überblick darüber zu schaffen, werden diese zehn ausgewählten Studien zunächst in einer Tabelle überblicksmäßig dargestellt und in kommenden Kapiteln näher beschrieben. Insgesamt wurden 251 Probanden durch die Ein- und Ausschlusskriterien zu den Studien zugelassen. Davon wurden 55 randomisiert den Kontrollgruppen und 196 den Interventionsgruppen zugewiesen. Als Abschluss folgt eine vergleichende Diskussion und ein Fazit, um die Forschungsfragen der wissenschaftlichen Arbeit bestmöglich beantworten zu können.

Studie & Design	Titel	TN	Alter	Interventionsgruppe(n)	Kontrollgruppe	Trainingsperiode & Trainingshäufigkeit	Muskelgruppe & Arbeitsweise der Muskulatur	Okklusionsdruck	Messmethode	Ergebnisse
Colomer-Poveda et al. 2017	Effects of 4 weeks of low-load unilateral resistance training, with and without blood flow restriction, on strength, thickness, V wave, and H reflex of the soleus muscle in men	n=22m	18-27 Jahre	BFR-LLRT n=7 LLRT n=7	n=8	4 Wochen/ 3 Tage die Woche	Soleus Isometrische Kontraktionen (2s Kontraktion, 2s Pause)	150–210 mmHg	Muscle thickness mittels Ultraschalls	MVC: BFR-LLRT +33% LLRT +22% Muscle thickness: BFR-LLRT: +9,5% LLRT: +6,5%
Hill et al. 2018	Early phase adaptations in muscle strength and hypertrophy as a result of low-intensity blood flow restriction resistance training	n=36f	20-25 Jahre	Ecc-vBFR n=12 Con-vBFR n=12	n=12	4 Wochen/ 3 Tage die Woche	Biceps brachii Kontraktion: Nur konzentrisch oder nur exzentrisch	40% des Drucks der benötigt wurde, um die Arteria brachialis komplett zu okklusieren.	Muscle thickness mittels Ultraschalls	Peak Torque: Ecc-vBFR +35% Con-vBFR +31,2% Muscle thickness: Ecc-vBFR +12,8% Con-vBFR +9,9%
Kim et al. 2017	Effects of blood flow restricted exercise training on muscular strength	n=27	19-25 & 60-80 Jahre	Y-BFRE n=8 O-BFRE n=9 O-HI n=10	n=0	4 Wochen/ 3 Tage die Woche	Forearm isometrische Handgriff Kontraktionen (2s Kontraktion, 2s Pause)	150–160 mmHg	Messung des Unterarmumfangs	MVC: O-BFRE 33,4 ± 4,7 zu 36,3 ± 4,7kg Y-BFRE 37,2 ± 4,9 zu 43 ± 5 kg O-HI 34 ± 4,4 zu 39,8 ± 4,4kg

	and blood flow in older adults									Unterarmumfang: O-BFRE 26,3 ± 1,1 zu 26,7 ± 1,1cm Y-BFRE 23,9 ± 0,9 zu 25,1 ± 1,5cm
Martin-Hernandez et al. 2013	Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training	n=39m	19-23 Jahre	BFRT LV n=10 BFRT HV n=10 HIT n=11	n=8	5 Wochen/ 2 Tage die Woche	Rectus femoris, Vastus lateralis isotonische Kontraktion (1,5s, 1,5s)	110 mmHg	Muscle thickness mittels Ultrasonics	1RM: BFRT LV +7,03% BFRT HV +6,24% HIT +18,86% Muscle thickness: Keine Interventionsgruppenunterschiede: Rectus femoris +7,5% Vastus lateralis +9,9%
Sugiarto et al. 2017	Comparison of the increase of both muscle strength and hypertrophy of biceps brachii muscle in strengthening exercise with low-intensity resistance training with and without the application of blood flow restriction and high-intensity resistance training	n=18m	26-45 Jahre	HIRT n=6 LIRT+BFR n=6 LIRT n=6	n=0	5 Wochen/ 2 Tage die Woche	Biceps brachii isotonische Kontraktion	50 mmHg	Armumfang mittels Maßbandes Peak torques mittels isokinetischem dynamometer	Armumfang li: HIRT: +1,58cm LIRT+BFR: +1,48cm LIRT: +0,32cm
Vechin et al. 2015	Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow	n=23m/f	59-71 Jahre	HRT n=8 LRT-BFR n=8	n=7	12 Wochen/ 2 Tage die Woche	Quadriceps Kontraktion:	Ø71 mmHg	CSA mittels MRI	Quadriceps-CSA: HRT: + 7,9% LRT-BFR: + 6,6% 1RM:

	restriction and high intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly						konzentrisch (2s) & exzentrisch (2s) Kontraktionen			HRT: +54% LRT-BFR: +17%
Yasuda et al. 2010	Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study	n=10m	23-38 Jahre	BFR-T n=5 CON-T n=5	n=0	2 Wochen/ 6 Tage die Woche	Triceps brachii, Pectoralis Major Kontraktion: konzentrisch & exzentrisch	160 mmHg (ab der 7 Einheit)	Muscle thickness mittels Ultraschalls	1RM: BFR-T +6% Muscle thickness: BFR-T: Triceps brachii +8% Pectoralis Major +16%
Yasuda et al. 2014	Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults	n=19m/f	61-84 Jahre	BFR-RT n=9	n=10	12 Wochen/ 2 Tage die Woche	Quadriceps, Hamstrings Adductors, Gluteus Maximus Kontraktion: Konzentrisch & exzentrisch (Leg press: 1s konzentrisch, 1s exzentrisch; knee extension: 1,3 s konzentrisch, 1,3 s exzentrisch)	120-270 mmHg	CSA mittels MRI	CSA BFR-RT: Quadriceps: +8% Adductors: +6,5% Gluteus Maximus: +4,4% 1RM BFR-RT: Leg extension +26,1% Leg press +33,4%
Yasuda et al. 2015	Effects of short-term detraining following blood flow restricted low-intensity training on muscle size and strength	n=17m	22-27	LI-BFR n=10 HI n=7	n=0	6 Wochen/ 3 Tage die Woche	Pectoralis Major, Triceps brachii Kontraktion: konzentrisch & exzentrisch	160 mmHg (ab der 7 Einheit)	CSA mittels MRI	CSA: HI: TB und Pm → Post und Detraining höher LI-BFR: TB und PM → nach Posttraining höher 1RM: LI-BFR und HI nach dem Post und Detraining höher

Yasuda et al. 2011	Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size	n=40m	22-32 Jahre	HI-RT n=10 LI-BFR n=10 CB-RT n=10	n=10	6 Wochen/ 3 Tage die Woche	Pectoralis major, Triceps brachii Kontraktion: konzentrisch & exzentrisch	160 mmHg (ab der 7 Einheit)	CSA MRI mittels	1RM: HI-RT +19,9% CB-RT +15,3% LI-BFR +8,7% CSA: TB: HI-RT +8,6% CB-RT +7,2% LI-BFR +4,4% PM: HI-RT +17,6% CB-RT +10,5% LI-BFR +8,3%
---------------------------	--	-------	-------------	---	------	-------------------------------	--	-----------------------------	---------------------------	--

CSA = cross sectional Area; **MTH** = Muscle thicknes; **MRI/MRT** = Magnetresonanztomographie; **MVC** = Maximum voluntary Contraction; **1RM** = One repetition maximum
PM = Pectoralis major; **TB** = Triceps brachii
MTH + CSA= 2 unterschiedliche Messmethoden zur Ermittlung der Muskelquerschnittsfläche

3.4 Analyse der ausgewählten Studien

3.4.1 Effects of 4 weeks of low-load unilateral resistance training, with and without blood flow restriction, on strength, thickness, V wave, and H reflex of the soleus muscle in men

Colomer-Poveda et al. (2017) wollten in ihrer Studie die Auswirkungen eines vierwöchigen unilateralen Low Load Widerstandstrainings mit und ohne Okklusions testen. Dabei wurden die maximale willkürliche Kraft (MVC), die Muskeldicke (MTH) und neuronale Anpassungen (volitional wave und Hoffman Reflex) des Soleus Muskels getestet.

Der Studie standen 22 gesunde männliche Probanden zur Verfügung, welche zwei bis drei Stunden Sport die Woche betrieben. Das dominante Bein aller Teilnehmer war das Rechte, sie hatten darüber hinaus keine Erfahrung mit Krafttraining und ebenso keine Vorerkrankungen der unteren Extremitäten. Es erfolgte eine randomisierte Zuordnung der Probanden in die CTR (Kontrollgruppe, n=8), die BFR-LLRT (n=7) sowie die LLRT (n=7) Gruppe. Keiner der jungen Studienteilnehmer hatte zum Testungszeitpunkt das 30. Lebensjahr überschritten. Die Studie fand im Einklang mit der neuesten Version der Deklaration von Helsinki statt, die vom Weltärztebund herausgegeben wurde. Zudem musste eine schriftliche Einwilligung abgegeben werden, bevor die Teilnahme und die Zuordnung in die verschiedenen Gruppen möglich waren. Die Messung der Muskeldicke erfolgte mittels eines Ultraschallgerätes.

Methode:

Alle Studienteilnehmer kamen eine Woche vor Beginn der Studie in das Trainingslabor, um sich mit den Anforderungen der Studie vertraut zu machen. Dabei mussten sie sich unter anderem mit den Manschetten zur Okklusion des Blutflusses, sowie der MVC Messung auseinandersetzen. Darüber hinaus wurden die Probanden dazu angehalten, keine koffein- oder alkoholhaltigen Getränke zu konsumieren und 48 Stunden vor Beginn der Testungen sportliche Aktivitäten zu vermeiden.

Die 22 Männer im Alter von 18 – 27 Jahren wurden durch Zufallsprinzip in drei Gruppen eingeteilt. Dabei bestand die CTR Gruppe aus 8, die BFR-LLRT Gruppe aus 7 und die LLRT Gruppe ebenfalls aus 7 Probanden. Beide Versuchsgruppen (BFR-LLRT und LLRT) führten dasselbe isometrische Trainingsprogram durch, welches an einer speziellen Soleus-Isolationsmaschine einseitig praktiziert wurde. Dabei befanden sich die Hüfte, die Knie und die

Knöchel in einer 90 Grad Position. Das Training fand an drei alternierenden Tagen in der Woche für vier Wochen statt. Somit wurden von allen Probanden der Experimentiergruppen, 12 Trainingseinheiten durchgeführt.

MVC:

Die maximale willkürliche Kraft (MVC) wurde wöchentlich neu bestimmt. Das Verfahren wurde dabei jeweils drei Mal wiederholt. Nach drei gültigen Versuchen wurde im Anschluss aus den zwei höchsten Kontraktionen ein arithmetisches Mittel errechnet.

Ultraschall:

Der Muskelquerschnitt wurde mittels Ultraschallmessung bestimmt. Dazu lagen die Probanden auf einem Untersuchungstisch. Die Scans wurden an zwei verschiedenen Stellen durchgeführt, wobei jeweils 50% (MT50%) und 70% (MT70%) aus der Position zwischen dem proximalen Teil des Abstands der Kniekehle und dem mittleren Teil des Malleolus lateralis im mittleren Bereich der lateralen Hälfte als Messpunkt dienten. Das Ergebnis der Messung, resultierte aus der Mittelung der dreimalig gescannten Werte.

Okklusionsdruck:

Die Okklusion wurde mit einer 13cm breiten pneumatischen Blutdruckmanschette, bei einem Manschettendruck von 150 – 210 mmHg, durchgeführt. Entscheidend für den gewählten Okklusionsdruck waren letztendlich der Oberschenkelumfang des Probanden und die von J. P. Loenneke et al. (2013a) vorgeschlagenen Werte.

Training:

BFR-LLRT Trainingsumfang: 30-15-15-15

 Trainingsintensität: 25% MVC

 Satzpause: 30s

LLRT Trainingsumfang: 30-15-15-15

 Trainingsintensität: 25% MVC

Satzpause: 30s

CTR kein Training

Studienergebnisse:

Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt die Mittelwerte sowie die Standardabweichung der MVC und Muscle thickness Messungen vor und nach einem vierwöchigen einseitigen isometrischen Soleus Training.

Tabelle 4: Mittelwerte / Standardabweichung von MVC und MTH Messungen

	Control leg		Trained leg	
	Pre	Post	Pre	Post
MVC (N)				
BFR-LLRT	699 ± 220	848 ± 186*	668 ± 124	866 ± 82**
LLRT	765 ± 234	832 ± 233	772 ± 248	931 ± 258*
CTR	760 ± 166	758 ± 232	809 ± 217	768 ± 252
Thickness at 50% (mm)				
BFR-LLRT	15.4 ± 2.1	15.7 ± 2.4	15.8 ± 3.1	17.2 ± 2.9**
LLRT	15.9 ± 1.6	16.1 ± 1.4	15.6 ± 1.6	16.7 ± 1.9*
CTR	15.7 ± 2.5	16.0 ± 2.5	15.6 ± 2.9	15.8 ± 2.8
Thickness at 70% (mm)				
BFR-LLRT	14.8 ± 2.2	15.1 ± 2.4	15.3 ± 2.9	16.5 ± 3.1**
LLRT	14.9 ± 1.8	14.9 ± 1.8	14.6 ± 1.8	15.5 ± 1.8*
CTR	14.7 ± 2.6	14.9 ± 2.6	15.0 ± 2.6	15.2 ± 2.4

CTR control group, *BFR-LLRT* blood flow restriction low-load resistance training, *LLRT* low-load resistance training

* $P < 0.01$, ** $P < 0.001$

Quelle: Colomer-Poveda, Romero-Arenas, Vera-Ibanez, Vinuela-Garcia, und Marquez (2017)

Die Grafik zeigt, dass die MVC Messungen für das trainierte Bein im Posttest statistisch höher als im Pretest für die Gruppen BFR-LLRT ($P < 0,001$) und LLRT ($P < 0,01$) waren. Die CTR Gruppe hingegen, wies keine Veränderungen auf. Das nichttrainierte Bein zeigte bei der MVC Messung im Vergleich nur in der BFR-LLRT Gruppe eine signifikante Verbesserung auf. Im Zuge einer Varianzanalyse mit Messwiederholungen wurden signifikante Veränderungen der MVC in der BFR-LLRT (33%, $P < 0,01$) und der LLRT (22%, $P < 0,05$) Gruppe im Gegensatz zur CTR Gruppe für das trainierte Bein gemessen.

In Bezug auf die Soleus MTH des trainierten Beines, konnte festgestellt werden, dass beide experimental Gruppen signifikant höhere Werte im Post-Test als im Pre-Test aufwiesen. Das untrainierte Bein hingegen, zeigte keine signifikanten Veränderungen in allen drei Gruppen auf. Weiters konnten signifikant höhere Werte zwischen der BFR-LLRT und der Kontrollgruppe festgestellt werden. Hier wurden Unterschiede bei MT50% von 9,5 vs. 1,0% ($P < 0,05$) und bei MT70% von 7,8 vs. 1,0% ($P < 0,05$) gemessen.

3.4.2 Early phase adaptations in muscle strength and hypertrophy as a result of low-intensity blood flow restriction resistance training

Hill et al. (2018) führten eine Studie durch, deren Ziel die Untersuchung des zeitlichen Verlaufs von Veränderungen der Muskelkraft, der Hypertrophie und der neuromuskulären Anpassung nach einem 4-wöchigen einseitigem Unterarmbeuger (Biceps brachii) Training war. Das Besondere an der Studie ist, dass nur Frauen an der Untersuchung teilnahmen. Frauen stellen in der einschlägigen Fachliteratur eine noch zu wenig erforschte Bevölkerungsgruppe dar, was die Autoren dazu veranlasste, die Studie nur dem weiblichen Geschlecht zu widmen. Dabei lag der Fokus auf den Auswirkungen eines BFR Trainings im Hinblick auf die Muskelkraft und Muskelhypertrophie (Hill et al., 2018).

Zu diesem Zweck nahmen 36 junge gesunde Frauen an der experimentellen Untersuchung teil. Die Probandinnen, die freizeitmäßig sportlich aktiv waren, wurden randomisiert in drei Gruppen (Ecc-vBFR, Con-vBFR und Kontrollgruppe) eingeteilt und hatten zumindest die letzten sechs Monate kein Widerstandstraining mehr absolviert. Die Teilnehmerinnen mussten einen Fragebogen zu ihrer Gesundheitsgeschichte ausfüllen und unterzeichneten eine schriftliche Einverständniserklärung. Die Studie wurde vom University Institutional Review Board for Human Subjects genehmigt.

Methode:

Die jungen Studienteilnehmerinnen, welche alle das 26. Lebensjahr zum Zeitpunkt der Studie noch nicht überschritten hatten und nicht jünger als 20 waren, konnten sich ausgiebig mit der Trainingsmaschine, an der zu Studienzwecken trainiert wurde, vertraut machen. Dafür wurde extra eine Einheit im Trainingslabor festgesetzt. Die Frauen hatten keine wissenschaftlich bekannten kardiovaskulären, pulmonalen, metabolischen, muskulären sowie koronaren

Herzkrankheiten. Ebenso nahmen sie keine regelmäßig verschreibungspflichtigen Medikamente.

Die 36 Probandinnen wurden durch Randomisierung in eine der drei Gruppen eingeteilt. Die Ecc-vBFR-, die Con-vBFR- und die Kontrollgruppe bestanden hierbei jeweils aus zwölf Teilnehmerinnen, wobei nur die zwei erstgenannten Gruppen die Interventionsgruppen waren. Das Training wurde an einer Unterarmbeugemaschine (Cybex 6000 isokinetic dynamometer) durchgeführt. Die konzentrischen und exzentrischen Muskelaktionen wurden in einem Bewegungsumfang von 120 Grad durchgeführt, wobei die Trainingsintervention zufällig dem dominanten oder nicht dominanten Arm zugeordnet wurde. Die Aktionen wurden entweder von einer passiven konzentrischen beziehungsweise exzentrischen Muskelbewegung gefolgt, die vom anwesenden Prüfer unterstützt wurde. Die relative Intensität war hierbei immer gleich, wobei die Ecc-vBFR Trainingsgruppe 75 exzentrische Wiederholungen der Unterarmbeugemuskeln bei 30% des maximalen exzentrischen Drehmoments und die Con-vBFR Gruppe 75 Unterarmflexionsmuskelaktionen bei 30% des maximalen konzentrischen Drehmoments durchführte. So konnte sichergestellt werden, dass die relative Trainingsintensität, Geschwindigkeit, das Tempo, die durchgeführten Wiederholungen sowie die Satzpausen, bei beiden Interventionsgruppen identisch waren.

Das Training wurde für die Ecc-vBFR- und die Con-vBFR Gruppe an drei Tagen der Woche für vier Wochen durchgeführt. Die Kontrollgruppe hingegen führte kein Widerstandstraining durch und erhielt auch kein vBFR. Insgesamt besuchten die Testpersonen 15 Mal das Labor, was sich aus einer Einarbeitungseinheit, einer Ausgangslagenmessung und dreizehn Trainings- und Testeinheiten zusammensetzte. Das Testprozedere wurde immer zur selben Tageszeit durchgeführt.

MVIC:

Die maximale willkürliche isometrische Kraft (MVIC) wurde jeweils zwei Mal pro Testung, in einem 45 Grad Winkel, für drei Sekunden in der Trainingsmaschine gemessen. Die höchste Messung wurde anschließend für die Analyse verwendet. Die Daten dazu wurden bei der Ausgangslageeinheit in Woche null, zwei und vier erhoben.

Eccentric/Concentric Peak Torque:

Die Erhebungen der maximalen exzentrischen und konzentrischen Drehmomente wurden an denselben Testtagen wie die MVIC gemessen. Auch hier wurden jeweils zwei Messungen vorgenommen und die höheren Werte der einzelnen Messungen anschließend für die weitere Analyse verwendet. Diese Werte dienten dann in weiterer Folge zur Bestimmung der Trainingsintensitäten der Testpersonen.

Ultraschall:

Die MTH und die Echointensität wurden vor jeder Test- beziehungsweise Trainingseinheit mit einem Ultraschallgerät mit einer Abtastrate von 10 MHz und einer Verstärkung von 58 dB gemessen. Die Messung der Muskeldicke ergab sich aus dem Abstand der Fettgewebe-Muskel-Schnittstelle zur Knochen-Schnittstelle.

Okklusionsdruck:

Die Okklusion wurde mit einer 30mm breiten Manschette (KAATSU Master) am proximalsten Teil des Oberarms durchgeführt. Zunächst wurde 30 mmHg Druck ausgeübt und schrittweise über einen Zeitraum von 60 Sekunden auf den Soll Druck erhöht. Der Zieldruck wurde während der Basisuntersuchungen null und zwei Wochen als 40% des niedrigsten Drucks berechnet, der benötigt wurde, um die Arteria brachialis vollständig zu verschließen, was mittels Ultraschalles angezeigt wurde. Der gewählte Manschettendruck resultiert aus vorangegangenen Studien, die sich unter anderen, näher mit dem optimalen Okklusionsdruck auseinandergesetzt haben (J. P. Loenneke et al., 2017; J. P. Loenneke et al., 2013a).

Training:

Ecc-vBFR	Trainingsumfang: 30-15-15-15
	Trainingsintensität: 30% eccentric peak torque
	Satzpause: 30s
Con-vBFR	Trainingsumfang: 30-15-15-15
	Trainingsintensität: 30% concentric peak torque

Satzpause: 30s

CTR kein Training

Studienergebnisse:

Zwischen den Ausgangslagenmessungen und Woche 0 Messungen gab es keine signifikanten Unterschiede. Die Hauptergebnisse dieser Studie beziehen sich auf die Zugewinne von Muskelkraft und Muskelumfang, die durch exzentrisches und konzentrisches vBFR zustande gekommen sind. Die Muskelkraft wuchs beim Ecc-vBFR ähnlich wie beim Con-VBFR. Die Messung zeigte dabei einen Kraftanstieg von 13,9% (2. Woche) und 35% (4. Woche). Ähnliche Ergebnisse erzielte die konzentrische vBFR Gruppe. Hier ergab sich ein Kraftanstieg der Con-vBFR von 13,4% (2. Woche) und 31,2% (4. Woche). In beiden Fällen verdoppelte sich der Kraftanstieg von Woche Zwei auf Woche Vier. Die Ergebnisse der Muskelumfangmessung waren bei den beiden Interventionsgruppen ebenso sehr ähnlich. Hier konnte die Ecc-vBFR einen Anstieg von 11,4% (2. Woche) und 12,8 (4. Woche) erzielen. Die Con-vBFR hingegen verzeichnete einen Muscle thickness Anstieg von 9,1 (2. Woche) und 9,9 (4. Woche). Die Probandinnen der Kontrollgruppe hatten - bezogen auf die Muskelkraft und den Muskelumfang - keine Veränderungen aufzuzeigen.

3.4.3 Effects of blood flow restricted exercise training on muscular strength and blood flow in older adults

Die Intention hinter der Studie von Kim et al. (2017) war es, die Auswirkungen eines vierwöchigen BFRE-Trainingszyklus auf die Skelettmuskelstärke und den Blutfluss zwischen jungen und älteren Menschen herauszufinden. Daneben wollten sie ebenso die Unterschiede zwischen einem konventionellen Widerstandstraining und einem BFRE-Training bei älteren ProbandInnen ermitteln.

An der Studie nahmen insgesamt 27 alte und junge Menschen teil. Zuvor schieden elf Probanden aus, die unter anderem über Unbehagen beim BFRE-Training klagten. Die Testpersonen mussten Nichtraucher sein und durften keine Antikoagulanzen (Blutgerinnungshemmer) wie zum Beispiel Coumadin oder Plavix sowie Antihypertensiva (Blutdrucksenker) einnehmen. Kardiovaskuläre Erkrankungen, periphere Gefäßerkrankungen, Diabetes,

Hypertonie oder Arthritis der Hände waren klar definierte Ausschlusskriterien. Die ProbandInnen durften körperlich aktiv sein, jedoch nicht an einem regelmäßigen Widerstandstraining oder an Aktivitäten mit hoher Belastung der Unterarme (Klettern, Powerlifting) teilnehmen. Die Untersuchung wurde vom Institutional Review Board von Iowa genehmigt und fand im Einklang mit der neuesten Version der Deklaration von Helsinki statt.

Methode:

Die von der lokalen Gemeinde rekrutierten ProbandInnen setzten sich aus 8 jungen (19-25 Jahre) sowie aus 19 älteren (60-80) Erwachsenen zusammen. Es gab drei experimentelle Gruppen, wobei zwei davon für die älteren Probanden gedacht waren. Die O-BFRE (n=9), die O-HI (n=10) sowie die Y-BFRE (n=8) waren die Interventionsgruppen. Eine Kontrollgruppe, die keine Trainingsintervention unternahm, gab es bei dieser Studie nicht. Die älteren Testpersonen wurden randomisiert der O-BFRE oder O-HI Gruppe zugeteilt.

Die Messungen von Muskelstärke, Muskelumfang sowie Ruhe- und Spitzenblutfluss (FBF) wurden vor sowie nach den vierwöchigen Trainingsinterventionen bewertet. Das Training erfolgte mittels eines Handgriff-Dynamometers (Jamar-type handgrip dynamometer). Sowohl die BFRE als auch die HI Gruppen trainierten mit diesem isometrischen Trainingsgerät. Das Protokoll der O-HI Gruppe war bis auf die Trainingsintensität ident mit den beiden BFRE Gruppen und wurde nach fünf Minuten unabhängig von der Anzahl der Sätze und Kontraktionen beendet. Die Übung wurde hierbei immer von derselben Person angeleitet. Die Studie war für vier Wochen angesetzt, wobei drei Mal in der Woche trainiert wurde. Die ProbandInnen konnten sich bei der Ausgangslagenmessung mit dem Trainingsgerät auseinandersetzen und vertraut machen. Zeitgleich wurde eine Baseline-Messung für die Ausgangswerte vorgenommen.

MVC:

Die maximale willkürliche Kraft wurde bilateral ermittelt. Der größte Wert einer dreimaligen Griffstärkenmessung wurde als MVC bestimmt. Nach zwei Wochen wurden neue MVC Werte gemessen und die Last wurde je nach Bedarf an die neue Situation angepasst.

Okklusionsdruck:

Die fünf minütige Okklusion, wurde mit einer Blutdruckmanschette (16x30cm) die am Oberarm positioniert war, vorgenommen. Der letztendliche Manschettendruck ergab sich aus 130% des systolischen Blutdrucks der ProbandInnen. Im Durchschnitt betrug dieser bei den jungen Personen 150 mmHg und bei den älteren Testpersonen 16 mmHg. In Anlehnung an die Studie von Summer B. Cook, Clark, und Ploutz-Snyder (2007) entschied man sich für 130% des systolischen Blutdrucks. Den Autoren nach verursacht ein BFRE-Training mit vorher genannten Okklusionswerten eine Muskelanpassung und ruft eine Muskelermüdung hervor. Darüber hinaus wurde es als niedrig genug empfunden, um vor allem die Sicherheit der Teilnehmer zu erhöhen.

Training:

Y-BFRE	Trainingsumfang: 5min, max 3 Sätze, 2s Kontraktion & 2s Pause (bis zur Ermüdung, danach Satzpause, auch 5min durchgehend möglich) Trainingsintensität: 20% MVC, Satzpause: 60s wenn benötigt
O-BFRE	Trainingsumfang: 5min, max 3 Sätze, 2s Kontraktion & 2s Pause (bis zur Ermüdung, danach Satzpause, auch 5min durchgehend möglich) Trainingsintensität: 20% MVC Satzpause: 60s wenn benötigt
O-HI	Trainingsumfang: 5min, max 3 Sätze, 2s Kontraktion & 2s Pause (bis zur Ermüdung, danach Satzpause) Trainingsintensität: 75% MVC Satzpause: 60s wenn benötigt

Studienergebnisse:

Die von Kim et al. (2017) durchgeführte Studie kam zu einem interessanten Ergebnis zwischen den jungen und alten ProbandInnen. Wie in Tabelle 5 anschaulich dargestellt ist, erhöhte sich die Muskelkraft bei allen Testpersonen, die an der experimentellen Untersuchung teilgenommen haben. Es konnte eine signifikante Kraftzunahme in allen drei Trainingsgruppen festgestellt werden (Y-BFRE, $37,2 \pm 4,9$ bis $43,0 \pm 5,0$ kg; O-BFRE, $33,4 \pm 4,7$ bis $36,3 \pm 4,7$ kg; O-HI $34,0 \pm 4,4$ bis $39,8 \pm 4,4$ kg; für alle galt $p < 0,05$; Tabelle 5). Im Gegensatz dazu konnte bei der Ermittlung des Unterarmumfangs nach der vierwöchigen Trainingsintervention nur bei den BFRE Gruppen (Y-BFRE $23,9 \pm 0,9$ bis $25,1 \pm 1,5$ cm; O-BFRE $26,3 \pm 1,1$ bis $26,7 \pm 1,1$ cm; für beide galt $p < 0,05$; Tabelle 5) eine signifikante Zunahme beobachtet werden. Die O-HI Gruppe ($25,9 \pm 1,0$ bis $26,1 \pm 1,0$ cm; $p = 0,091$; Tabelle 5) die mit einer höheren Intensität aber ohne BFR-Manschetten trainierte, wies im Vergleich zu den zwei anderen Versuchsgruppen, jedoch keine statistisch signifikanten Veränderungen des Muskelumfanges auf.

Tabelle 5: Anthropometrische Eigenschaften der Probanden

	O-BFRE		O-HI		Y-BFRE	
	Pre training	Post training	Pre training	Post training	Pre training	Post training
Age (yrs)	63 ± 0.8		62.5 ± 1.1		22 ± 0.6	
Height (cm)	173.5 ± 3.4		167.0 ± 3.6		171.0 ± 3.9	
Weight (kg)	82.0 ± 6.5		81.7 ± 4.5		73 ± 4.9	
HR (beats·min ⁻¹)	59 ± 3		63.3 ± 3		62 ± 2	
MAP (mmHg)	85 ± 6	84 ± 5	84.3 ± 1.9	83.3 ± 2	78 ± 4	78 ± 2
Strength (kg)	33.4 ± 4.7	$36.3 \pm 4.7^*$	34 ± 4.4	$39.8 \pm 4.4^*$	37.2 ± 4.9	$43 \pm 5.0^*$
Girth (cm)	26.3 ± 1.1	$26.7 \pm 1.1^*$	25.9 ± 1.0	26.1 ± 1.0	23.9 ± 1.2	$25.1 \pm 1.2^*$

* $p < 0.05$; O-BFRE = older group performing blood flow restricted exercise training; O-HI = older group undergoing conventional high intensity resistance training; Y-BFRE = young group performing BFRE.

Quelle: Kim, Lang, Pilania, und Franke (2017, S. 130)

3.4.4 Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training

Die 2013 veröffentlichte Studie von Martin-Hernandez et al. (2013) hatte das Ziel einen Einblick in die Anpassungen der Muskelstärke und der Skelettmuskeldicke nach zwei verschiedenen Arten des Okklusionstrainings mit unterschiedlichem Volumen zu erhalten und anschließend einen Vergleich mit einem HIT-Training anzustellen.

An der experimentellen Untersuchung nahmen 39 sportlich aktive Universitätsstudenten im durchschnittlichen Alter von 21 Jahren teil, die sich freiwillig für diese Studie gemeldet hatten. Keiner der Probanden (nur Männer) machte zu diesem Zeitpunkt ein regelmäßiges Krafttraining. Als Ausschlusskriterien wurden alle bekannten kardiovaskulären

Erkrankungen oder Muskel-Skelett-Probleme definiert, da diese die Fähigkeit zum Widerstandstraining behindern konnten. Die Probanden wurden randomisiert vier Gruppen zugeteilt und erteilten im Vorfeld der Studie ihre schriftliche Einwilligung für die freiwillige Teilnahme an dieser. Das Forschungsprojekt wurde gemäß der damals neuesten Version der Deklaration von Helsinki durchgeführt und vom University Review Bord for use of Human Subjects genehmigt.

Methode:

Alle Testpersonen, ausschließlich Männer, kamen ins Trainingslabor, um an einer Gewöhnungseinheit teilzunehmen. Dort konnten sie sich mit dem Trainingsprotokoll vertraut machen und wurden ebenso einer Ausgangslagenmessung unterzogen. Jede Trainingseinheit wurde mit einem standardmäßigen Aufwärmprogramm gestartet, ehe die individuellen Trainingsinterventionen gestartet wurden. Die Probanden wurden per Zufallsprinzip in eine von vier Gruppen aufgeteilt. So konnten sie entweder der BFRT low volume (BFRT LV, n=10), BFRT high volume (BFRT HV, n=10), high-intensity training (HIT, n=11) oder der Kontrollgruppe (CON, n=8) zugeteilt werden. Die Testpersonen führten nach dem Warm-up bilaterale Knieextensionsübungen auf einem isotonischen Beinstrecker-Trainingsgerät (isotonic leg extension machine) durch. Um eine gleichmäßige Hubkadenz (1,5 s: 1,5s) für alle Gruppen bei einer Bewegungsausführung in höchstmöglicher Amplitude (Full Range of Motion) zu gewährleisten, kam ein Metronom zum Einsatz. Das fünfwöchige Training wurde zwei Mal pro Woche an nicht aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt, wobei die Kontrollgruppe dazu angehalten wurde, ihren Routineaktivitäten nachzugehen. Im Testlabor selbst unternahm sie keine Trainingsintervention.

1RM:

Um das Einwiederholungsmaximum korrekt ermitteln zu können, wurden die Probanden dazu angehalten, während der Übungsausführung an der Trainingsmaschine die Hände vor der Brust verschränkt zu halten, um jegliche synergistische Bewegung des Oberkörpers zu vermeiden. Der Rücken der Testpersonen war ständig in Kontakt mit dem Trainingsgerät. Der Bewegungsumfang im Kniegelenk betrug dabei etwa 90 Grad. Im Durchschnitt waren drei Versuche nötig, um das 1RM zu erzielen. Ein Versuch galt dann als gültig, wenn der Proband das Gewicht mit der richtigen Form, über den gesamten Bewegungsradius, bewegen konnte.

Isokinetische Knie Spitzendrehmomente:

Die Erhebungen der maximalen Drehmomentwerte bei konzentrischer isokinetischer Extension und Flexion des dominanten Beins, erfolgten 15 Minuten nach der Ermittlung des 1RM. Gemessen wurde dabei mit einem isokinetischen Dynamometer bei 60°/s und 180°/s. Die Probanden wurden fixiert, um Bewegungen der Hüfte zu vermeiden und die Unterstützung anderer Muskelgruppen bei der Messung so gut wie möglich zu unterbinden. Lediglich ein Satz bei 60°/s und 180°/s mit einer Satzpause von drei Minuten diente für die Ermittlung der Daten.

Ultraschall:

Die Muskeldicke wurde vor den Trainingsinterventionen mit einer Ultraschallsonde gemessen. Dabei wurde die MTH des Rectus femoris (RF) und des Vastus lateralis (VL) bewertet. Eine Messstelle wurde an einem Punkt in der Mitte zwischen dem größeren Trochanter (große Rollhügel, Ansatz der Gesäßmuskulatur) und dem lateralen Epicondylus (Knochenvorsprung) des Knies bestimmt und für die mehrmaligen Erhebungen gekennzeichnet. Die Messung der Testpersonen fand auf einem Untersuchungsbett bei vollständiger Streckung des Knies statt.

Okklusionsdruck:

In dieser Studie wurde während der BFRT Trainingseinheiten ein einheitlicher Manschetendruck von 110 mmHg in Anlehnung an die Studien von Patterson und Ferguson (2010) und Takarada et al. (2000) gewählt. Dieser konnte mit einer pneumatischen Blutdruckmanschette (140mm x 940mm) erreicht und aufrechterhalten werden. Die Manschetten wurden erst nach Beendigung eines Durchganges (4 Sätze) entfernt. Die BFRT HV Gruppe durfte für die fünf minütige Durchgangspause die Okklusion unterbrechen und stellte, zu Beginn des zweiten Durchlaufs, die Blutzufuhrrestriktion wieder her.

Training:

BFRT LV Trainingsumfang: 30-15-15-15

 Trainingsintensität: 20% 1RM,

Satzpause: 60s

BFRT HV Trainingsumfang: 30-15-15-15 + 30-15-15-15

Trainingsintensität: 20% 1RM

Satzpause: 60s

Durchgangspause: 5min

HIT Trainingsumfang: 8-8-8

Trainingsintensität: 85% MVC

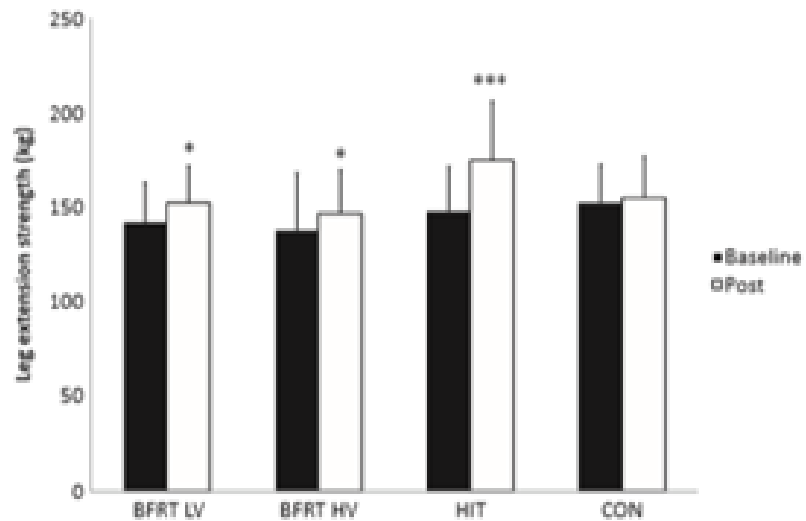
Satzpause: 60s

CON kein Training

Studienergebnisse:

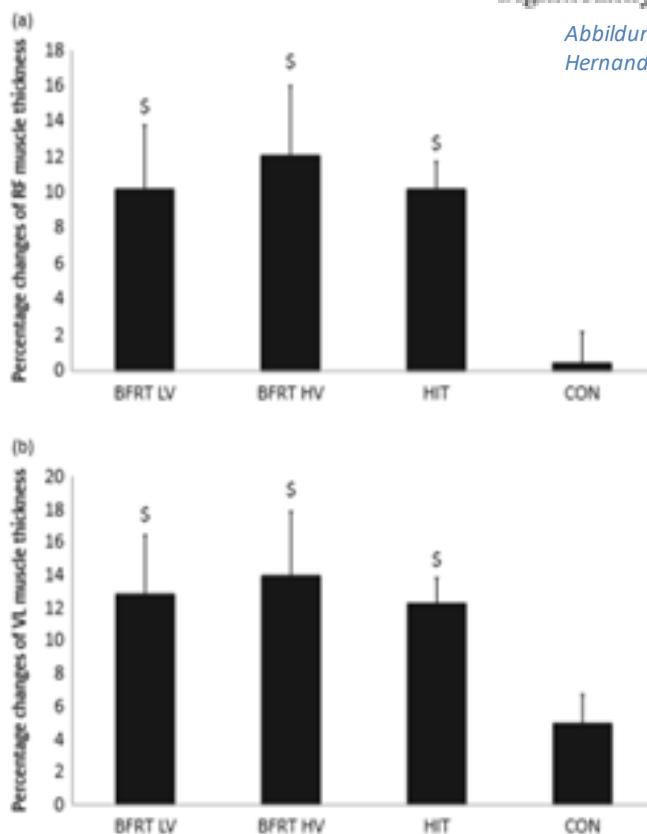
Bei der Eingangsmessung zeigten alle Gruppen relativ ähnliche isokinetische maximale Drehmomentwerte bei der Kniestreckung. Nach der Trainingsperiode konnte ein zeitlicher Haupteffekt für eine Erhöhung der Spitzendrehmomente bei 60°/s (3,9%, $p < 0,01$) und 180°/s (4,8%, $p < 0,01$) festgestellt werden. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass die Interventionsgruppen die Leistung beim 1RM ebenso steigern konnten, wie in Abbildung 13 anschaulich dargestellt ist. Die BFRT LV (7,03%, $p < 0,05$) und BFRT HV (6,24%, $p < 0,05$) Ergebnisse lagen jedoch deutlich unter jener der HIT (18,86%, $p < 0,001$) Gruppe, was der Grafik eindeutig zu entnehmen ist. Bei der Kontrollgruppe wurden keine Veränderungen beobachtet. Im Vergleich dazu war die Muskeldicke des RF und VL unabhängig von der Trainingsgruppe erhöht und zeigte einen signifikanten Unterschied zur Ausgangslagemessung. Bemerkenswert hierbei ist, dass sich die Muskeldicke entgegengesetzt zum 1RM verhielt. Wie Abbildung 14 übersichtlich darstellt, gab es bei allen Trainingsgruppen einen

signifikanten Anstieg, was jedoch, wie schon erwähnt, nicht auf die Trainingsgruppe zurückzuführen war (RF 7,5%, $p < 0,001$; VL 9,9%, $p < 0,001$).



Baseline and post-leg extension 1RM values for all conditions. *Significantly different from baseline ($P < 0.05$). ***Significantly different from baseline ($P < 0.001$).

Abbildung 13: 1RM Werte für alle Gruppen (Martin-Hernandez et al., 2013, S. 4)



Percentage changes of RF (a) and VL (b) muscle thickness for all conditions. Values are presented as means + SE. §Significantly different from baseline ($P < 0.05$).

Abbildung 14: Prozentuelle Änderungen der Muscle thickness (Martin-Hernandez et al., 2013, S. 4)

3.4.5 Comparison of the increase of both muscle strength and hypertrophy of biceps brachii muscle in strengthening exercise with low-intensity resistance training with and without the application of blood flow restriction and high-intensity resistance training.

Sugiarto et al. (2017) verfolgten das Ziel verschiedene Trainingsmethoden anhand ihres Kraft- und Muskelmassezuwachses zu vergleichen. Zu diesem Anlass wurde ein fünfwöchiges Biceps Brachii Training durchgeführt. Dieses erfolgte in einer high intensity resistance training Gruppe (HIRT), einer low-intensity resistance training kombiniert mit blood flow restriction Gruppe (LIRT+BFR) und einer low-intensity resistance training (LIRT) Gruppe.

Der experimentellen Testung durften 18 gesunde männliche Probanden beiwohnen, welche nicht unter die Ausschlusskriterien der Studie fielen. Die Testpersonen mussten dabei einen normalen Body-Mass-Index ($18,5 - 24,9 \text{ kg/m}^2$), einen systolischen Blutdruck zwischen 110 und 130 mmHg und einen diastolischen Blutdruck zwischen 70 und 80 mmHg aufweisen können. Daneben mussten sie eine Einwilligungserklärung unterzeichnen und die schon vorher angesprochenen Ausschlusskriterien nicht erfüllen. Zu diesen zählte ein routinemäßiges Kräftigungsprogramm innerhalb der letzten acht Monate, eine ischämische Herzkrankheit oder eine Krankheitsgeschichte beziehungsweise ein Risiko bezogen auf tiefe Venenthrombosen und periphere Arterienerkrankungen. Die Studie wurde vom Ethik Komitee for research in basic/clinical science im Dr. Soetomo General Hospital genehmigt.

Methode:

Die männlichen Testpersonen führten unabhängig von der Gruppe Kraftübungen für den linken Biceps Brachii durch und wurden durch Zufallsprinzip drei verschiedenen Gruppen zugeteilt. Die Interventionsgruppen untergliederten sich in eine HIRT- ($n=6$), eine LIRT+BFR- ($n=6$) und eine LIRT ($n=6$) Gruppe. Vor Beginn der Trainingsinterventionen erfolgte eine Ausgangslagemessung, bei welcher eine Erhebung des Umfangs des linken Arms und der maximalen Spitzendrehmomente der Beugung des linken Ellbogengelenks stattfand. Das Training mit unterschiedlichen Intensitäten und Blutzufuhrrestriktionen (LIRT+BFR) wurde an einer „EN-Tree pulley machine“ durchgeführt. Dabei erfolgte die Übungsausführung (Biceps-Curl) in einem Bewegungsradius von 0° Extension bis hin zu einer Flexion von 135° und anschließend wieder auf 0° Extension in die Ausgangslage. Die Trainingsinterventionen fanden an zwei nichtaufeinanderfolgenden Tagen für eine Dauer

von fünf Wochen statt. Eine Kontrollgruppe ohne Trainingsintervention und reinen Routinetätigkeiten gab es in dieser Studie nicht.

Armumfang und maximales Drehmoment:

Eine Messung erfolgte jeweils am Anfang und am Ende der Testung, wobei zur Ermittlung des linken Armumfanges ein Maßband zwölf Zentimeter oberhalb der Fossa cubitus ange-
setzt wurde. Der Proband war während der Messung in einer aufrechten Position und die
Arme befanden sich in einer anatomischen Position, was eine Entspannung des Biceps
Brachii gewährleistete. Die Erhebung des maximalen Drehmoments des linken Ellbogenge-
lenkes wurde hingegen mit einer isokinetischen Cybex Trainingsmaschine durchgeführt. Da-
bei wurden maximale Drehmoments Winkelgeschwindigkeiten von 60°/s, 120°/s und 180°/s
bestimmt.

1RM

Das 1RM wurde vor Übungsbeginn automatisch mittels einer EN-TreeM Messscheibenma-
schine ermittelt.

Okklusionsdruck:

Die Blutflussrestriktion wurde bei dieser Studie nicht wie so oft mit einem pneumatischen
Kaatsu Master, sondern mit einer 13cm breiten Blutdruckmessgerätmanschette (für Erwach-
sene) vorgenommen, da laut Aussage der Autoren eine Anschaffung in Indonesien sehr
schwer möglich war. Die Blutdruckmanschette wurde auf den proximalen Abschnitt der trai-
nierten Extremität platziert. Ein Druck von 50 mmHg wurde während der gesamten Übungs-
ausführung aufrechterhalten. Erst nach Beendigung des Trainings, in diesem Fall nach vier
Sätzen, entfernte der Prüfer die Manschette und löste damit die Okklusion.

Training:

HIRT Trainingsumfang: 12-12-12
 Trainingsintensität: 70% 1RM,
 Satzpause: 120s

LIRT+BFR Trainingsumfang: 30-15-15-15
 Trainingsintensität: 30% 1RM
 Satzpause: 30s

LIRT Trainingsumfang: 30-15-15-15
 Trainingsintensität: 30% 1RM
 Satzpause: 30s

Studienergebnisse:

Nach der fünfwöchigen Trainingsperiode war bei der HIRT und LIRT- +BFR Gruppe eine deutlich höhere Zunahme des linken Armumfanges zu beobachten als bei den Probanden der LIRT Gruppe. Zwischen HIRT und LIRT+BFR gibt es keinen signifikanten Unterschied bezogen auf den Umfang. Tabelle 6 zeigt hierbei sehr übersichtlich, wie sich die Erhöhung der Armumfänge in den drei Gruppen verhalten hat. Dieser zufolge gab es Zuwächse von 1,58 (HIRT), 1,48 (LIRT+BFR) und 0,32cm (LIRT) nach der Trainingsintervention.

Tabelle 6: Armumfang vor und nach fünfwöchigem Training

	Before exercise (cm)	After 5-week exercise (cm)	Increase (cm)	p value
High intensity	28,05 ± 1,1	29,63 ± 1,04	1,58 ± 0,34	< 0,0001*
Low intensity + blood flow restriction	27,17 ± 0,98	28,65 ± 1,21	1,48 ± 0,26	< 0,0001*
Low intensity	26,08 ± 1,56	26,40 ± 1,65	0,32 ± 0,65	0,026*

Note:

The number is mean ± standard deviation (SD)

* significant p value (p<0,05)

Quelle: (Sugiarto, Andriati, Laswati, & Kimura, 2017, S. 253)

Einen signifikanten Unterschied gibt es jedoch, wenn man die Unterschiede in der Erhöhung der maximalen Drehmomente (60°/s, 120°/s und 180°/s) des Ellbogengelenks zwischen den drei Gruppen betrachtet. Bei einer Winkelgeschwindigkeit von 60°/s verzeichnete die LIRT+BFR Gruppe den größten Anstieg des maximalen Drehmoments im Vergleich zu den anderen Trainingsgruppen. Ebenso konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der Erhöhung des maximalen Drehmoments des linken Ellbogengelenks bei 120°/s und 180°/s

zwischen LIRT+BFR und LIRT erwiesen werden. In Tabelle 7 ist eine Zusammenfassung der Erhöhung der maximalen Drehmomente für die drei gemessenen Winkelgeschwindigkeiten zu sehen.

Tabelle 7: Vergleich der Erhöhung der maximalen Drehmomente des linken Ellenbogengelenks

Angular velocity	High intensity (FtLbs)	Low intensity + blood flow restriction (FtLbs)	Low intensity (FtLbs)	p-value
60°/sec	5,50 ± 2,59 ^a	8,33 ± 2,07 ^b	0,67 ± 1,75 ^c	< 0,0001*
120°/sec	4,33 ± 4,55 ^{ab}	8,17 ± 3,66 ^a	0,50 ± 2,07 ^b	0,008*
180°/sec	3,33 ± 3,72 ^{ab}	5,50 ± 2,17 ^a	0,67 ± 1,63 ^b	0,022*

Note: different letter superscript shows significant difference (p<0.05)

Quelle: Sugiarto et al. (2017, S. 254)

3.4.6 Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow restriction and high-intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly

Vechin et al. (2015) fokussierten sich in ihrer Studie auf den Vergleich zwischen einem Blood-Flow-Restriction Training und einem High-Intensity Training in Hinsicht auf Muskelkraft und -masse älterer Menschen.

Die Testung erfolgte an 23 gesunden älteren Personen, wobei davon 14 Männer und neun Frauen in einem Alter von 59 bis 71 Jahren waren. Ein Studiendesign mit wiederholten Messungen wurde gewählt, die ProbandInnen wurden an dieser Stelle randomisiert drei Gruppen zugeteilt. Die High Intensity Resistance (HRT) und die Blood Flow Restriction (LRT-BFR) Gruppe gehörten zu den Interventionsgruppen. Im Gegenteil dazu gab es eine dritte Untersuchungsgruppe (Kontrollgruppe, CG), die keine Trainingsinterventionen unternahm. Die TeilnehmerInnen durften an keinem Resistance Training, zumindest sechs Monate vor Studienbeginn, teilgenommen haben. Zu den Einschlusskriterien zählten keine Herzerkrankungen, arterielle Hypertonie, Diabetes mellitus oder keine muskuloskelettalen Zustände in den unteren Extremitäten. Die ProbandInnen wurden über das Vorhaben der Studie aufgeklärt und mussten ihre schriftliche Einwilligung dafür geben. Das experimentelle Protokoll wurde von einer Ethikkommission genehmigt und fand im Einklang mit der Deklaration von Helsinki statt.

Methode:

Die ProbandInnen erhielten die Möglichkeit, zwei Wochen vor der ersten Trainingseinheit, in zwei Einarbeitungssitzungen sich mit der Beinpresse und dem Trainingsprotokoll vertraut zu machen. Darüber hinaus tasteten sie sich an das persönliche 1RM heran, damit bei der Pre-Messung ein reibungsloser Ablauf angestrebt werden konnte. Diese Messung wurde 48 Stunden nach der letzten Gewöhnungseinheit durchgeführt. Es erfolgte eine randomisierte Zuteilung in drei verschiedene Gruppen, wobei es eine Kontrollgruppe (n=7, keine Trainingsintervention), eine HRT (n=8) und eine LRT-BFR (n=8) gab. Das Training fand an zwei Tagen pro Woche für insgesamt zwölf Wochen statt. Eine Anpassung der Trainingslast erfolgte nach sechs Wochen und wurde nach einer neuerlichen Ermittlung des 1RM neu berechnet. Die Übung im Trainingslabor wurde an einer 45° „Beinpresse“ (G3-PL70) durchgeführt. Der Bewegungsumfang des Kniegelenks betrug während des Trainings an der Beinpresse 90°, wobei die konzentrische und exzentrische Phase für zwei Sekunden angedacht war und auch in diesem Tempo durchzuführen war.

1RM:

Die Ermittlung des One Repetition Maximums wurde, wie schon erwähnt 48 Stunden nach der letzten Einarbeitungseinheit durchgeführt. Nach einem allgemeinen und spezifischen Aufwärmen bezogen auf die Krafttestung, wurde die Testung mithilfe einer Beinpresse-Maschine durchgeführt. Die ProbandInnen hatten bis zu fünf Versuche, ihr 1RM zu erreichen, wobei ein drei minütiges Ruheintervall zwischen jedem Versuch gestattet war. Die höchste Last, die in einem Bewegungsbereich von 90° vollständig exzentrisch und konzentrisch bewegt werden konnte, wurde als 1RM betrachtet. Nach sechs Wochen wurde eine erneute Messung durchgeführt und die Trainingslast daran angepasst.

MRI:

Die Ermittlung der Quadriceps cross sectional area (CSA) wurde mittels einer Magnetresonanztomographie vorgenommen. Die Bildgebung der Muskelquerschnittsfläche der ProbandInnen wurde in Rückenlage mit ausgestreckten Knien und gestreckten Beinen vorgenommen.

Okklusionsdruck:

Die Blutflussrestriktion wurde mit einer 18cm breiten Manschette vorgenommen. Diese wurde auf den proximalen Teil des Oberschenkels gelegt und aufgeblasen. Nachdem eine Blutabwesenheit durch eine Auskultation (Abhören) mit einer vaskulären Dopplersonde beobachtet wurde, lies man den Druck so lange ab, bis der Prüfer wieder einen arteriellen Puls feststellen konnte, welcher der systolische Druck der Arteria tibialis (Schienbeinarterie) war. Der Okklusionsdruck betrug während des gesamten Versuchszeitraumes 50 % des maximalen Arteriendrucks der Tibia. Dieser Prozess wurde wöchentlich wiederholt, um Anpassungen, wenn nötig, vorzunehmen. Der durchschnittliche Manschettendruck betrug 71 mmHg. Die Manschette wurde erst nach der vollendeten Trainingseinheit (4 Sätze) abgenommen.

Training:

HRT Trainingsumfang: 10-10-10-10

Trainingsintensität: 70 (6 Wochen) + 80% (2ten 6 Wochen) 1RM,

Satzpause: 60s

LRT-BFR Trainingsumfang: 30-15-15-15

Trainingsintensität: 20 (6 Wochen) + 30% (für die 2ten 6 Wochen) 1RM

Satzpause: 60s

CG kein Training

Studienergebnisse:

Die Beinpresse 1RM Werte erhöhten sich bei beiden Trainingsgruppen ($p \leq 0,05$). Die HRT Gruppe konnte dabei einen signifikanten Anstieg von ungefähr 54% verzeichnen (vorher: $177 \pm 104\text{kg}$; nachher: $266 \pm 140\text{kg}$; $p < 0,001$). Bei der LRT-BFR Gruppe wurde hingegen ein Trend zu signifikant höheren 1RM Werten um circa 17% beobachtet (vorher: $273 \pm 114\text{kg}$; nachher: $316 \pm 141\text{kg}$; $p = 0,067$). Die Kontrollgruppe zeigte keine Differenzen zwischen den Pre- und Post-Testungen.

Die Quadriceps-CSA erhöhte sich bei beiden Interventionsgruppen, über den Trainingszeitraum, signifikant. Die HRT Gruppe (vorher: $56,9 \pm 14,9\text{cm}^2$, nachher: $61,1 \pm 14,8\text{cm}^2$; $p < 0,001$) und LRT-BFR Gruppe (vorher: $67,4 \pm 21,5\text{cm}^2$, nachher: $71,4 \pm 22,1\text{cm}^2$; $p < 0,001$) konnten sich jeweils um 7,9 und 6,6% steigern. Die CG Gruppe hingegen wies keine Veränderungen auf. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass HRT in der Studie größere Kraftzuwächse erzeugt hat, LRT-BFR jedoch ebenso eine effektive Trainingsmethode ist, die vor allem für ältere Personen nicht außer Acht zu lassen ist.

3.4.7 Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study

Yasuda et al. (2010) wollten in ihrer Pilotstudie die Auswirkungen eines Multijoint Blood Flow Restriction Trainings auf die durchblutungsbeschränkte Extremitätenmuskulatur (Oberarm) und die uneingeschränkte Brustmuskulatur herausfinden.

Die Studie konnte auf zehn junge Männer im Alter von 23 – 38 zurückgreifen, die sich freiwillig dafür gemeldet hatten. Die männlichen Probanden waren mehrmals in der Woche sportlich aktiv (Spazieren, Laufen oder Radfahren), führten aber für zumindest ein Jahr kein regelmäßiges Krafttraining, im speziellen Bankdrücken mehr durch. Die Untersuchung fokussierte sich auf zwei Interventionsgruppen, wobei eine mit einer Blutzufuhrrestriktion (BFR-T) und eine ohne (CON-T) trainierte. Die Testpersonen wurden über mögliche Risiken, die mit der Teilnahme an der Studie verbunden waren, informiert und mussten eine schriftliche Einwilligung geben, bevor die Untersuchung starten konnte. Die Testung wurde von einem Ethik Komitee genehmigt.

Methode:

Die männlichen Probanden konnten sich eine Woche vor Trainingsstart in einer Orientierungs-Einheit mit den Trainingsmodalitäten vertraut machen. Vor allem eine Gewöhnung an die Trainingsmittel und den 1RM Test wurden fokussiert behandelt. Die männlichen Teilnehmer wurden randomisiert entweder der BFR-T (n=5) oder der Con-T (n=5) Gruppe zugeteilt.

Die Trainingsintervention dauerte zwei Wochen (6 Tage pro Woche) und umfasste insgesamt 24 Trainingseinheiten. Die Trainingseinheiten wurden in der Früh und am Nachmittag,

mit mindestens vier Stunden Pause dazwischen, unternommen. Die Probanden unternahmen beim Bankdrücken dieselben Intensitäten, wobei die BFR-T Gruppe eine Okklusion am proximalsten Teil des Oberarmes vornahm. Eine Anpassung des 1RM sowie der Trainingslast während der zwei Wochen wurde nicht vorgenommen. Darüber hinaus gab es auch keine Kontrollgruppe, die kein Training, sondern nur den gewöhnlichen Tagesablauf verfolgte.

1RM

Die Ermittlung des 1RM fand drei Tage vor und drei Tage nach der letzten Trainingseinheit statt. Das Einwiederholungsmaximum wurde dabei mit schrittweiser Erhöhung beim Bankdrücken - bis der Proband das Gewicht nicht mehr heben konnte - bestimmt.

Ultraschall

Eine Ultraschallmessung der Muskeldicke (Triceps brachii und Pectoralis major) erfolgte an zwei anatomischen Stellen (Brustbereich und hinterer Oberarm). Dazu waren die Probanden angehalten, in aufrechter Position mit ausgestreckten und entspannten Ellenbogen zu stehen. Um eine ähnliche Positionierung des Messkopfes zu gewährleisten, wurden Markierungen am Körper angebracht. Die Messerhebung wurde jeden Morgen vor dem Training und vor dem Posttest durchgeführt.

Okklusionsdruck

Den Probanden der BFR-T legte man vor dem Training elastische Manschetten um den proximalsten Bereich beider Arme an. Die Manschetten wurden zunächst auf 30 mmHg eingestellt und allmählich auf 100 mmHg am ersten Tag aufgeblasen. An den kommenden Tagen wurde der Druck dann täglich um 10 mmHg erhöht, bis ein Druck von 160 mmHg erreicht wurde (7. Tag). Dieser Manschettendruck wurde dann bei den kommenden Trainingseinheiten weiterverwendet und nach dem letzten Satz einer Trainingseinheit sofort gelöst. Der Restriktionsdruck resultierte aus der Anlehnung an eine vorhergehende Studie von Yasuda et al. (2009).

Training:

BFR-T	Trainingsumfang: 30-15-15-15 (jeweils in der Früh und am Nachmittag) Trainingsintensität: 30% 1RM Satzpause: 30s
LLRT	Trainingsumfang: 30-15-15-15 (jeweils in der Früh und am Nachmittag) Trainingsintensität: 30% 1RM Satzpause: 30s

Studienergebnisse

Bei der Ausgangslagenmessung waren keine relevanten Unterschiede zwischen den beiden Interventionsgruppen festzustellen. Die BFR-T und die CON-T hatten annähernd dieselbe Triceps brachii Muskelquerschnitt ($3,62 \pm 0,39\text{cm}$ und $3,67 \pm 0,78\text{cm}$), Pectoralis major MTH ($2,34 \pm 1,9\text{cm}$ und $2,24 \pm 5,0\text{cm}$) sowie Bankdrücken 1RM ($58,5 \pm 5,5\text{kg}$ und $59 \pm 17\text{kg}$) Werte.

Die zweiwöchige Trainingsintervention der BFR-T Gruppe führte zu einer signifikanten Erhöhung des Triceps brachii MTH um 8% (vorher: $3,62 \pm 4,2\text{cm}$; nachher: $3,89 \pm 3,9\text{cm}$; $p < 0,05$). Der Pectoralis major MTH hingegen wuchs um 16% (vorher: $2,34 \pm 1,9\text{cm}$; nachher: $2,76 \pm 2,0\text{cm}$; $p < 0,05$). In der CON-T Gruppe wurden sowohl im Triceps brachii MTH (-1%) als auch im Pectoralis major MTH (2%) keine signifikanten Änderungen verzeichnet.

Bezogen auf die Muskelkraft, konnte im Vergleich zur CON-T Gruppe (-2%), ebenso nur die BFR-T Gruppe eine Kraftsteigerung um 6% (1RM) erringen.

3.4.8 Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size

Yasuda et al. (2011) untersuchten in der folgenden Studie die Effekte eines kombinierten Blood Flow Restriction und High Intensity Trainings, auf Muskelkraft und -größe.

Hierfür wurden vier Gruppen gebildet, in welche 40 männliche Probanden randomisiert zugeteilt wurden. Die experimentelle Untersuchung wurde ausschließlich an jungen Männern (22-32 Jahre) durchgeführt, wobei die Trainingsgruppen (HI-RT, LI-BFR und CB-RT) drei

Mal in der Woche ein Bankdrücktraining durchführten. Die Testpersonen waren in ihrer Freizeit sportlich aktiv, hatten jedoch zumindest für einen Zeitraum von sechs Monaten kein Krafttraining mehr absolviert. Lediglich neun der vierzig Personen, absolvierten in ihrem Leben bereits ein Widerstandstraining. Die Männer waren alle Nichtraucher, hatten keine chronischen Erkrankungen und keine regelmäßigen Medikationen. Die Probanden wurden über mögliche Risiken, die bei der Studie auftreten konnten, informiert und mussten ihre schriftliche Einwilligung geben. Die experimentelle Untersuchung wurde von der Ethikkommission der Universität Tokio genehmigt.

Methode:

Alle männlichen Studienteilnehmer konnten sich vor Beginn der Studie im Testlabor vorab mit den Gerätschaften und Bedingungen vertraut machen, die im Laufe der Testung auf sie zukamen. Dazu zählten unter anderem die Kaatsu Master Manschetten und natürlich auch die Bankdrückübung, welche im Laufe der Studie trainiert wurde. Ebenso wurden sie gebeten keine koffein- oder alkoholhaltigen Getränke vor den Testungen einzunehmen, die im Laufe der Studie durchgeführt wurden.

Die Studienteilnehmer wurden randomisiert vier Gruppen zugeteilt. Die Interventionsgruppen bestanden hierbei aus einer High Intensity Resistance Training (HI-RT, n=10), einer Low Intensity Blood Flow Restriction (LI-BFR, n=10) und einer kombinierten High Intensity Resistance Training und Low Intensity Blood Flow Restriction Gruppe (CB-RT, n=10). Daneben gab es eine Kontrollgruppe (n=10), die keine sportlichen Interventionen unternahm, aber dazu angehalten wurde, ihren normalen Tagesablauf weiter zu verfolgen. Um mögliche ernährungsbedingte Schwankungen bei der Messung von Muskelgröße und -stärke zu vermeiden, wurden die Probanden dazu angehalten ihre Ernährung einheitlich zu gestalten und vor und nach dem Training 24 Stunden keinen Alkohol und Koffein zu sich zu nehmen. Das Krafttraining fand an drei Tagen in der Woche (Montag, Mittwoch und Freitag) statt und wurde insgesamt sechs Wochen in diesem Rhythmus durchgeführt.

1RM:

Die Testung des Einwiederholungsmaximums wurde beim Bankdrücken mit freien Gewichten durchgeführt. Dabei begann man nach einer Aufwärmphase mit etwa 80% des vorhergesagten 1RM und tastete sich in 5%-Schritten nach oben. Konnte der Proband die Übung

nicht mehr sauber ausführen, beziehungsweise das Gewicht durch den vollen Bewegungsbereich führen, bedeutete dies das Ende der Testung. Ein Test wurde nur dann als gültig angesehen, wenn die Testperson die richtige Form verwendete und die gesamte Bewegung ohne Hilfe absolvieren konnte. Durchschnittlich wurden für die Ermittlung des 1RM nur fünf bis sechs Versuche benötigt. Nach drei Wochen wurde die Messung wiederholt und das Training an die neuen Werte angepasst.

MVC:

Die maximale willkürliche Kontraktionskraft (MVC der Ellenbogenstrecker) wurde mit einem isokinetischen Dynamometer bestimmt. Hierfür nahm die Testperson auf einem verstellbaren Stuhl Platz, wobei der Arm auf einem stabilen Tisch in Brusthöhe positioniert war und der Ellbogen in einem Winkel von 90° geneigt war. Das Handgelenk war am Ende des Dynamometerhebelarms in einer Position zwischen Supination und Pronation fixiert. Die Probanden wurden dazu angehalten, einen Versuch so schnell wie möglich durchzuführen, wobei sie zwei Versuche hatten und der höchste MVC Wert anschließend für die Analyse verwendet wurde.

MRI:

Die MRI Messung wurde vor dem Start der Studie sowie drei bis vier Tage danach durchgeführt. Die Probanden mussten dabei ruhend in Rückenlage, die Arme seitlich entlang des Rumpfes gestreckt, in der Röhre liegen. Die MRI Bilder wurden auf einen Computer übertragen und die CSAs von Triceps brachii und Pectoralis major wurden durch eine spezielle Software ermittelt.

Okklusionsdruck:

Die Probanden der CB-RT und der LI-BFR Gruppe konnten sich in einer Eingewöhnungseinheit mit der Trainingsmethode und vor allem mit den Kaatsu-Master Manschetten vertraut machen. Die Manschetten wurden dabei am proximalsten Teil der Arme fixiert. Das Training wurde mit einem Druck von 100 mmHg begonnen und erhöhte sich nach jeder Einheit um 10 mmHg, bis letztendlich ein Manschettendruck von 160 mmHg erreicht wurde. Dabei hielten sich die Autoren an frühere, von ihnen durchgeführte, Studien.

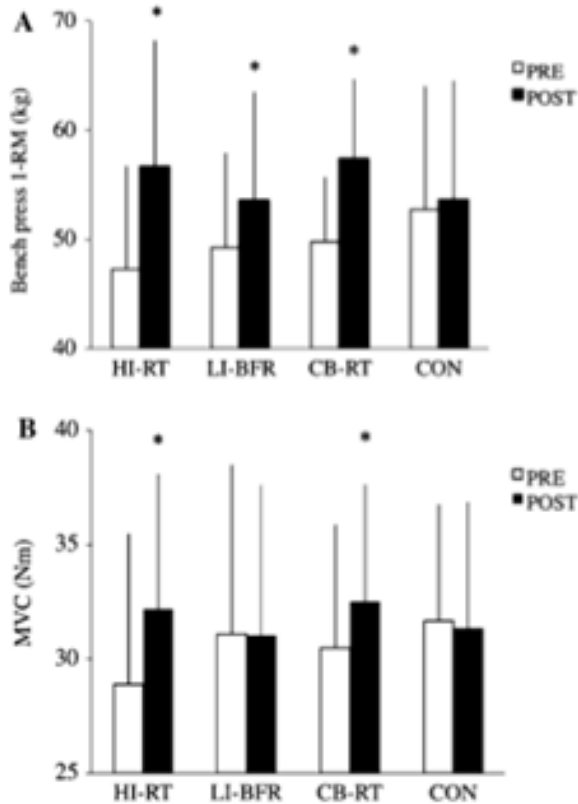
Training:

HI-RT	Trainingsumfang: 10-10-10
	Trainingsintensität: 75% 1RM
	Satzpause: 2-3min
LI-BFR	Trainingsumfang: 30-15-15-15
	Trainingsintensität: 30% 1RM
	Satzpause: 30s
CB-RT	Montag und Mittwoch LI-BFR:
	Trainingsumfang: 30-15-15-15
	Trainingsintensität: 30% 1RM
	Satzpause: 30s
	Freitag HI-RT:
	Trainingsumfang: 10-10-10
	Trainingsintensität: 75 1RM
	Satzpause: 2-3min
CON	kein Training

Studienergebnisse:

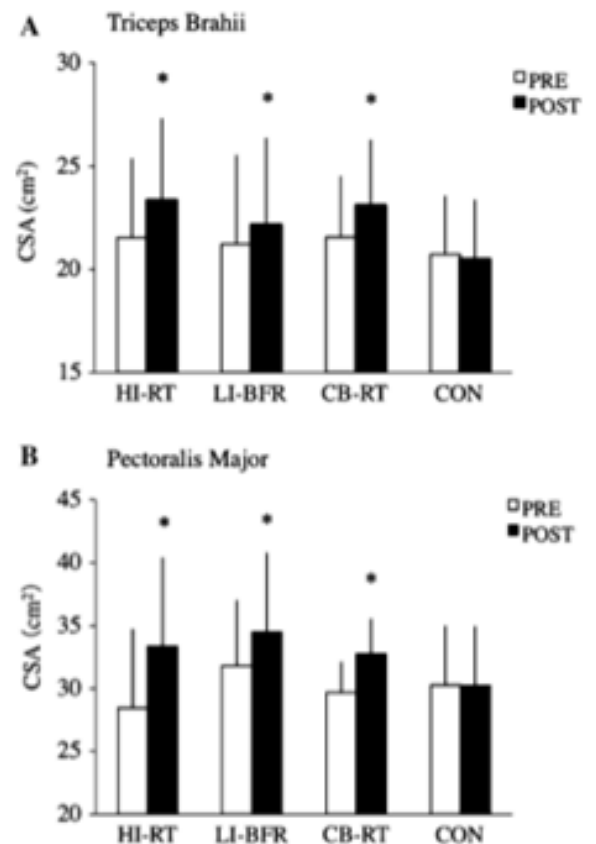
Zu Beginn der Studie im Zuge der Ausgangslagenmessung wurden keine Unterschiede betreffend Muskelkraft und Muskelquerschnittsflächen zwischen den vier Experimentalgruppen festgestellt.

Nach dem Training erhöhte sich das 1RM in den Interventionsgruppen ($p < 0,01$), in der CON Gruppe jedoch nicht. Prozentuell gesehen, stieg das 1RM in der HI-RT- (19,9%) und CB-RT Gruppe (15,3%) höher an, als jenes der LI-BFR Gruppe (8,7%; $p < 0,05$), was in Abbildung 15 deutlich zu erkennen ist.



Dynamic (bench press one repetition maximum [1-RM] strength) (a) and maximum isometric strength (MVC) of the elbow extensors; (b) responses following a 6-week training period. Data are presented as the mean $\pm$ standard deviation. *CB-RT* combination HI-RT and LI-BFR resistance training; *CON* non-training; *HI-RT* high-intensity resistance training; *LI-BFR* low-intensity resistance training with blood flow restriction. *Different from pre-training, $p < 0.05$

Abbildung 15: 1RM und MVC Messungen (Yasuda et al., 2011, S. 2529)



Cross-sectional area (CSA) of the triceps brachii (a) and pectoralis major muscles (b) following a 6-week training period. Data are presented as the mean $\pm$ standard deviation. *CB-RT* combination HI-RT and LI-BFR resistance training; *CON* non-training; *HI-RT* high-intensity resistance training, *LI-BFR* low-intensity resistance training with blood flow restriction. *Different from pre-training, $p < 0.05$

Abbildung 16: CSA Triceps Brachii und Pectoralis Major Messungen (Yasuda et al., 2011, S. 2529)

Die MVC Werte (Abbildung 15) hatten in der HI-RT- (11,3%) und der CB-RT Gruppe (6,6%) einen stärkeren Anstieg ($p < 0,01$) als jene der LI-BFR- und der CON Gruppe, welche keine Veränderung erfuhren.

Die Messung der CSA (Triceps brachii) kam zu dem Ergebnis ($p < 0,05$), dass die HI-RT- (8,6%), die CB-RT (7,2%) und die LI-BFR (4,4%) einen Anstieg verzeichnen konnten. Daneben ergab die Ermittlung des CSA (Pectoralis major; $p < 0,01$), dass die HI-RT Gruppe

(17,6%) einen prozentuell größeren Anstieg hatte, als die LI-BFR Gruppe (8,3%). Die CB-RT Gruppe (10,5%; $p < 0,05$) konnte sich im Gegensatz zur Kontrollgruppe ebenfalls steigern. Abbildung 16 gibt dabei einen guten Überblick über die beobachteten Muskelgruppen Triceps Brachii und Pectoralis Major.

3.4.9 Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults

Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al. (2014) fokussierten sich in ihrer Untersuchung auf die Auswirkungen eines Okklusionstrainings auf die Muskelgröße und arterielle Steifheit bei älteren Personen.

Die Studie wurde an 21 Frauen und Männern im Alter von 61-84 Jahren durchgeführt. Zwei Probanden schieden aber aus Gründen, die nicht mit der experimentellen Untersuchung zusammenhingen, aus. Die gesunden Testpersonen wurden randomisiert den zwei Untersuchungsgruppen der Studie zugeteilt, wobei es eine Blood Flow Restriction Training Gruppe (BFR-RT) und eine Kontrollgruppe (CON), die keine Trainingsinterventionen unternahm, gab. Freiwillige Personen, die Ausschlusskriterien wie schwere Hypertonie, orthopädische Erkrankungen, tiefe Venenthrombose, periphere Gefäßerkrankungen oder kognitive Dysfunktionen aufwiesen, wurden von der Untersuchung ausgeschlossen. Die ProbandInnen hatten zumindest für drei Jahre an keinem Widerstandstrainings mehr teilgenommen und litten auch an keinen chronischen Erkrankungen. Im Vorfeld der Studie wurden die TeilnehmerInnen genauestens aufgeklärt und über mögliche Risiken, die mit der Teilnahme verbunden waren, informiert. Die experimentelle Untersuchung fand im Einklang mit der Deklaration von Helsinki und unter den Richtlinien des American College of Sports Medicine statt.

Methode:

Die StudienteilnehmerInnen konnten sich vorab mit den Trainingsgeräten vertraut machen. Die ProbandInnen der BFR-RT Gruppe wurden zusätzlich an das Okklusionstraining herangeführt, was eine Gewöhnung an die Kaatsu Master Manschetten und das damit einhergehende Druckgefühl et cetera bedeutete. Die Messerhebungen (1RM und MRI) der Pre- und Posttests wurden drei bis sieben Tage davor und danach durchgeführt. Die Männer und

Frauen wurden darüber hinaus dazu angehalten, 24 Stunden vor den eben angesprochenen Testungen keinen Alkohol und Koffein zuzuführen, da dies Verfälschungen hervorrufen hätte können.

Die Testpersonen wurden wie schon erwähnt in zwei Gruppen aufgeteilt, wobei eine davon die BFR-RT (n=9, 3 Männer und 6 Frauen) Gruppe ein Widerstandstraining mit einer venösen Okklusion durchführte und die andere, die CON Gruppe (n=10, 2 Männer und 8 Frauen), nur ihren gewöhnlichen Tagesablauf verfolgte. Die Interventionsgruppe führte pro Einheit zwei bilaterale Übungen an einer Beinpresse und einer Kniestreckungsmaschine durch. Das Training wurde durch professionelles Personal begleitet und fand zwei Mal pro Woche für zwölf Wochen statt.

1RM:

Das 1RM wurde unter Verwendung einer isotonischen Kniestreckungsmaschine und einer Beinpresse ermittelt. Dazu wurde aufgewärmt und im Anschluss ein Testgewicht (80% 1RM) des vorhergesagten 1RM bestimmt. Zwischen den zwei Testungen hatten die ProbandInnen fünf Minuten Zeit, um zu rasten. Ein Versuch war nur dann gültig, wenn das Gewicht über den vollen Bewegungsumfang bewegt wurde.

MRI:

Die Muskel Querschnittsfläche wurde mittels eines MRI Scanners bestimmt. Die ProbandInnen ruhten dazu mit ausgestreckten Beinen in der MRI-Röhre. Die obere Kante des großen Trochanters wurde als Ursprungspunkt verwendet. Die Bilder wurden dabei von der oberen Kante des großen Trochanters bis zum lateralen Femurkondylus gemacht. Die MRI Daten wurden mithilfe eines PCs und einer Bildanalysesoftware genauestens analysiert. Unter die Lupe wurde der Quadrizeps, Adduktoren, Hamstrings und der Gluteus Maximus genommen.

Okklusionsdruck:

Die Okklusion der Blutzufuhr wurde mit einem 50mm Kaatsu Master an dem proximalsten Punkt beider Beine durchgeführt. Die Manschetten wurde am ersten Trainingstag auf 120 mmHg aufgeblasen. Bei jeder weiteren Trainingseinheit fand eine Erhöhung um 10 – 20

mmHg statt, bis schließlich ein endgültiger Okklusionsdruck von 270 mmHg erreicht wurde. Der Okklusionsdruck wurde gemäß einer früher durchgeführten Studie von Yasuda, Fukumura, Fukuda, Iida, et al. (2014) gewählt. Nach der Absolvierung der zwei Übungen, was ungefähr elf Minuten in Anspruch nahm, wurde der Kaatsu Master sofort entfernt.

Training:

HI-RT Trainingsumfang: 30-20-15-10 (jeweils knee extension und leg press)

 Trainingsintensität: 20% knee extension und 30% leg press 1RM

 Satzpause: 30s

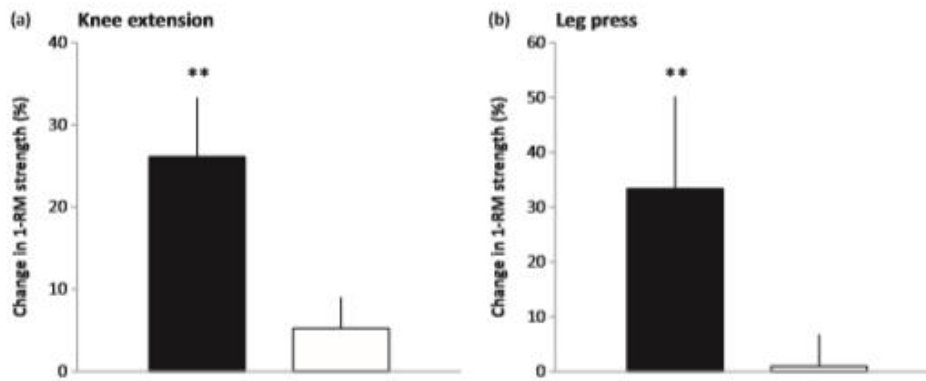
 Übungspause: 90s

CON kein Training

Studienergebnisse:

Vor Trainingsbeginn waren keine signifikanten Unterschiede (Alter und anthropometrische Variablen) zwischen den beiden Gruppen außer dem systolischen Blutdruck festzustellen. Danach wurden signifikante Unterschiede festgestellt. Die muscle CSA wuchs in der BFR-RT Gruppe beim Quadrizeps um 8% (vorher $44,0 \pm 9,5\text{cm}^2$; nachher $45,1 \pm 9,4\text{cm}^2$) bei den Adduktoren um 6,5% (vorher $22,2 \pm 8,4\text{cm}^2$; nachher $22,6 \pm 8,2\text{cm}^2$) und im Gluteus Maximus um 4,4% (vorher $37,5 \pm 7,3\text{cm}^2$; nachher $39,8 \pm 4,4\text{cm}^2$), jedoch nicht in den Hamstrings. In der CON Gruppe wurden keine Veränderungen festgestellt.

Die BFR-RT Gruppe konnte ebenso kraftbezogene Steigerungen gegenüber den CON Probanden erreichen. Das 1RM erhöhte sich, wie auf Abbildung 17 zu erkennen ist, bei der Kniestreckung um 26,1% (vorher $50 \pm 20\text{kg}$; nachher $64 \pm 26\text{kg}$) und bei der Beinpresse um 33,4% (vorher $145 \pm 47\text{kg}$; nachher $191 \pm 56\text{kg}$). Die Kontrollgruppe verzeichnete keine 1RM Steigerungen.



Percent changes in knee extension (a) and leg press (b) one-repetition maximal (1-RM) strength. Data are given as mean ($\pm$ standard deviation). ** $P < 0.01$, Blood flow-restricted resistance training (filled symbols) vs non-resistance training (unfilled symbols).

Abbildung 17: Prozentuelle Unterschiede 1RM (Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al., 2014, S. 5)

3.4.10 Effects of short-term detraining following blood flow restricted low-intensity training on muscle size and strength

Yasuda et al. (2015) beabsichtigten in ihrer Studie, die Effekte eines dreiwöchigen Detrainings auf die Muskelquerschnittsfläche und das One repetition Maximum, nach einem sechswöchigen Bankdrücktraining, herauszufinden.

Die Studie wurde an 17 männlichen Probanden durchgeführt, welche alle im Alter zwischen 22 und 27 Jahren waren. Die Testpersonen wurden als nicht trainiert eingestuft und nahmen zumindest sechs Monate vor der Untersuchung an keinem regelmäßigen Widerstandstraining teil. Es erfolgte eine Einteilung in zwei verschiedene Gruppen, die entweder ein Okklusionstraining (LI-BFR) oder ein High Intensity Training (HI) unternahmen. Eine Kontrollgruppe, die keine Trainingsinterventionen unternahm, gab es bei dieser Untersuchung nicht. Die Testpersonen wurden über die Studie und die damit verbundenen Risiken aufgeklärt und mussten vor der Teilnahme eine Einverständniserklärung unterzeichnen. In der Detrainingsphase vollzogen die Probanden wieder ihre normalen täglichen Aktivitäten und absolvierten kein Widerstandstraining mehr. Die experimentelle Studie fand unter den Richtlinien der Deklaration von Helsinki der Richtlinien des American College of Sports Medicine statt.

Methode:

Die Teilnehmer der Studie absolvierten ein sechswöchiges Widerstandstraining, wobei es zwei Gruppen gab. Die HI- (n=7) und die LI-BFR-Gruppe (n=10) trainierten bei unterschiedlichen Intensitäten und Umfang an drei Wochentagen für insgesamt sechs Wochen. Anschließend folgte eine dreiwöchige Detrainingsphase, wo der übliche Tagesablauf

verfolgt wurde. Die Autoren der Studie hatten ihren Fokus in dieser Untersuchung nicht nur auf die Effekte des sechswöchigen Trainings gerichtet, sondern auch speziell auf die dreiwöchige Trainingsentziehungsphase. Aus diesem Grund fanden alle Messungen (1RM, CSA) nicht nur vor (3-5 Tage) und nach (3-5 Tage) den Trainingseinheiten statt, sondern auch nach der angesprochenen Detrainingsphase.

Das Training wurde beim Bankdrücken mit freien Gewichten durchgeführt. Messungen erfolgten für den Pectoralis Major (PM) und den Triceps Brachii (TB).

1RM:

Um das Einwiederholungsmaximum zu ermitteln, wurde Bankdrücken mit freien Gewichten durchgeführt. Die Probanden wärmten dazu auf und führten dann mit circa 80% des vorhergesagten 1RM die Übung durch. Nach einer erfolgreichen Durchführung im gesamten Bewegungsbereich, wurde die Intensität um 5% erhöht. Das 1RM galt dann als gültig, wenn der Teilnehmer den gesamten Aufzug kontrolliert und ohne Unterstützung absolvierte. Durchschnittlich wurden 5 - 6 Wiederholungen durchgeführt, bis ein endgültiger Wert feststand. Zwischen den Durchgängen wurden 2 – 3 Minuten Ruhepause gehalten.

MRI:

Die muscle CSA wurde mittels eines MRI-Scanners erhoben. Dazu lagen die männlichen Probanden in Rückenlage in der Magnetröhre. Die Arme waren befanden sich dabei in einer ausgestreckten Position am Rumpf. Die Aufnahmen der Messung wurden zur Analyse an einen Personal Computer übertragen und mit einer Bildanalysesoftware bearbeitet. Die Messungen fanden für den Triceps brachii und den Pectoralis Major statt.

Okklusionsdruck

Die Okklusion der Blutzufuhr wurde mit elastischen Manschetten um die proximalste Region beider Arme erreicht. Am ersten Trainingstag stellte man einen Trainingsdruck von 100 mmHg ein, der nach jeder weiteren Einheit um 10 – 20 mmHg erhöht wurde. In der siebenten Einheit wurde ein endgültiger Manschettendruck von 160 mmHg eingestellt, der in den weiteren Trainingssessions nicht mehr erhöht wurde. Die elastischen Manschetten wurden nach Vollendung der Trainingseinheit sofort entfernt.

Training:

LI-BFR Trainingsumfang: 30-15-15-15

 Trainingsintensität: 30% 1RM

 Satzpause: 30s

HI Trainingsumfang: 10-10-10

 Trainingsintensität: 75% 1RM

 Satzpause: 30s

Studienergebnisse:

Bei den Pre-Messungen konnten keine signifikanten Unterschiede, bezogen auf Triceps Brachii und Pectoralis Major CSA, zwischen den Gruppen festgestellt werden. Die Muskelquerschnittsfläche des TB und PM war beim Post- und Detraining in der HI Gruppe ($p < 0,01$) signifikant höher. Im Gegensatz dazu war die Muskel-CSA bei der LI-BFR Gruppe ($p < 0,01$) nur nach dem Posttraining signifikant höher. Das 1RM war sowohl in der LI-BFR ($p < 0,01$) als auch in der HI Gruppe ($p < 0,01$) beim Post- und Detraining höher. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die Muskelkraft nach sechs Wochen sowie nach der dreiwöchigen Trainingsentziehungsphase gut erhalten blieb. Die Effekte werden jedoch in der HI- und der LI-BFR Gruppe auf unterschiedliche Ursachen zurückgeführt. Bei den Probanden der HI Gruppe geht man davon aus, dass die induzierte Muskelkraft sowohl beim Training als auch beim Detraining, auf neuronale Anpassungen sowie auf Muskelhypertrophie zurückzuführen ist. Im Unterschied dazu gehen die Autoren der Studie in der LI-BFR Gruppe in erster Linie von einer Muskelhypertrophie beim Training und neuronalen Anpassungen bei der Trainingsentziehungsphase aus.

4 Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die Studien, die in Kapitel 3.4 beschrieben und in Kapitel 3.3 in einer Übersichtstabelle dargestellt sind, nun interpretiert und kritisch beleuchtet. Vorweg kann gesagt werden, dass ein Vergleich der Untersuchungen keine leichte Aufgabe ist, da unterschiedliche Studiendesigns, eine unterschiedliche Anzahl an ProbandInnen, eine unterschiedliche Untersuchungsdauer, selektives Training verschiedener Muskelgruppen und verschiedene Untersuchungsmethoden einen Vergleich wesentlich erschweren.

Begutachtet man die Übersichtstabelle, kann man ohne Zweifel sehr leicht erkennen, dass zwischen den Studien ein zum Teil großer Altersunterschied herrscht. Hinzu kommen noch anthropometrische Unterschiede sowie Studien, welche innerhalb der Untersuchung eine hohe Altersspannweite haben. Die Studie von Kim et al. (2017) setzt hier an und versucht die Auswirkungen eines High Intensity Training, sowie eines Blood Flow Restriction Trainings auf die Skelettmuskelstärke und den Blutfluss zwischen jungen und älteren Menschen herauszufinden. Anzumerken ist hier, dass dies die einzige Studie ist, die sowohl junge und alte Testpersonen aufweisen kann. Angaben über das Geschlecht werden jedoch keine gemacht, was zweifelsohne zu beachten ist und worauf zu einem späteren Zeitpunkt noch näher eingegangen wird.

Kim et al. (2017) kamen zu dem Ergebnis, dass sich die Muskelkraft bei allen Testpersonen, die Trainingsinterventionen unternahmen, erhöhte, gleich welches Widerstandstraining sie durchführten. Der Unterarmumfang hingegen, konnte sich jedoch nur bei den Okklusionstrainingsgruppen erhöhen, nicht bei der High Intensity Gruppe. Versucht man hier einen Vergleich anzustellen, mit den Studien von Vechin et al. (2015) und Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al. (2014), muss man bedenken, dass die Studie von Kim wesentlich kürzer geführt wurde, als die zwei anderen, was einen Vergleich anhand nur dieses Gesichtspunktes mitunter schon schwierig macht. Eine Nebeneinanderstellung ist trotzdem erstrebenswert, da sich die Untersuchungen, im Gegensatz zu den verbleibenden, auf ältere Personen fokussieren.

Festgestellt werden kann, dass die drei Studien, bezüglich des Hypertrophen Effekts der Okklusionstrainingsgruppen, ähnliche Ergebnisse liefern. In allen drei Studien ist eine höhere Muskelquerschnittsfläche beziehungsweise ein höherer Armumfang festgestellt worden. Jedoch muss hier bereits zwischen den unterschiedlichen Messmethoden unterschieden werden und so kann lediglich gesagt werden, dass bezogen auf die BFR Gruppen, ein

Muskelumfangzuwachs erkennbar war. Diese Ergebnisse sind nur von sehr eingeschränkter Aussagekraft, da hier beispielsweise keine geschlechtsspezifischen Unterscheidungen zwischen Frauen und Männern angestellt wurden. Die Studien von Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al. (2014) und Vechin et al. (2015) wurden an Frauen und Männern durchgeführt, in der von Kim et al. (2017) waren hingegen keine näheren Angaben über das Geschlecht vorhanden.

Die Studien von Vechin et al. (2015) und Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al. (2014) haben jedoch im Vergleich zu anderen Untersuchungen mehrere Gemeinsamkeiten, wie unter anderem die Studiendauer, die trainierte Muskelgruppe, männliche und weibliche ProbandInnen sowie die Messmethode mittels Ultraschalls. Erstgenannte Untersuchung trainierte mit einem Okklusionsdruck von 71 mmHg und erreichte einen Muskelquerschnittzuwachs des Quadriceps um 6,6%. Vergleichsweise dazu konnten die Testpersonen der zweitgenannten Studie Muskel-CSA Zuwächse um 8% verzeichnen, die mit einem Okklusionsdruck von 120 – 270 mmHg arbeiteten. Jedoch muss hier erwähnt werden, dass bei dieser Studie nicht nur eine Beinpresseübung, sondern zusätzlich auch noch eine Kniestreckungsübung durchgeführt wurde. Beide BFR Gruppen bestanden aus untrainierten Personen, die seit längerem kein Widerstandstraining mehr durchgeführt hatten. Ebenso hatte die Studie von Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al. (2014) keine HI Gruppe. Vechin et al. (2015) führten ihre Untersuchung zusätzlich an einer High intensity Gruppe durch, die Muskelquerschnittszuwächse um 7,9% verzeichnen konnte.

Beobachtet man die CSA Zuwächse der beiden BFR Untersuchungsgruppen, so gibt es keine großen Differenzen, wobei natürlich die Frage aufkommt, inwieweit sich die zweite Übung auf den Zuwachs der Muskelquerschnittsfläche ausgewirkt hat. Zusätzlich kann beobachtet werden, dass die ProbandInnen der Studie von Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al. (2014) ein deutlich höheres Beinpresse 1RM (BFR) erzielten. Im Gegensatz dazu zeigt die Studie von Vechin et al. (2015), dass die HI Gruppe das 1RM nach einem 12-wöchigen Training um 54% steigern konnte, die BFR Gruppe hingegen nur um 17%. Ein möglicher Grund warum die ProbandInnen der High Intensity Trainingsgruppe größere Muskelquerschnittsflächenzuwächse und ein doch deutlich höheres 1RM im Gegensatz zur BFR Gruppe aufwiesen, kann der niedrige Okklusionsdruck von 71 mmHg sein. Jedoch haben Studien gezeigt, dass ähnliche Anstiege des 1RM mit weitaus höheren Okklusionsdrücken erreicht wurden und somit die höhere Druckstärke nicht allein der Faktor für die unterschiedlichen Ergebnisse ist. Vechin et al. (2015) gehen davon aus, dass die Manschettenbreite in diesem

Zusammenhang eine größere Rolle spielt. Je breiter die Blutdruckmanschette ist, umso geringer kann der Okklusionsdruck sein, was für ältere Testpersonen auch mehr Sicherheit bedeutet. Weiters gehen die Autoren davon aus, dass die vergleichsweise niedrigeren Reaktionen der BFR Gruppe (1RM) im Gegensatz zur HI Gruppe ihre Ursache in der geringen neuronalen Anpassung bei älteren Personen haben (Vechin et al., 2015).

Bereits J. P. Loenneke, C. A. Fahs, L. M. Rossow, V. D. Sherk, et al. (2012) setzte sich mit unterschiedlichen Manschettenbreiten zur arteriellen Okklusion der Beine auseinander, da zwei Kritikpunkte am BFR Training, die hohe wahrgenommene Anstrengung und die hohe Bewertung der subjektiv wahrgenommenen Schmerzen sind. Ein Grund für die Schmerzen dürften breitere Manschetten sein, die eine höhere Gewebekompression bewirken. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass keine allgemeinen Druckangaben, sondern abhängig vom Oberschenkelumfang, der Okklusionsdruck bestimmt werden sollte und die Auseinandersetzung mit Manschettenbreite und Manschettendruck beim BFR Training für ältere Personen sehr wichtig ist. Waren in früheren Studien die patentierten BFR Manschetten noch sehr weit verbreitet, die nicht nur mit hohen Kosten verbunden waren, sondern auch anwendungsbedingte Einschränkungen mit sich brachten, wird heute eher nach günstigeren Methoden gesucht. Im Speziellen erfordert ein BFR Training in größeren Gruppen, beispielsweise bei Athleten, einfachere praktischere Mittel zur Durchführung des Okklusionstrainings. In diesem Zusammenhang wurden elastische Wickel verwendet, die eine kostengünstigere Alternative darstellen (Hwang & Willoughby, 2017).

Schenkt man der Studie von J. P. Loenneke et al. (2017) Beachtung, kann davon ausgegangen werden, dass die unterschiedlichen Okklusionsdruckstärken keinen wesentlichen Unterschied bewirken, sondern bereits 40% einer geschätzten arteriellen Okklusion ausreichen. Vielmehr dürfte eine höhere Last den größeren Ausschlag für akute Veränderungen in der Muscle thickness geben, wenn nicht bis zur willkürlichen Ermüdung trainiert wird. So soll die Veränderung der MTH durch eine Erhöhung von zum Beispiel 20 auf 30% 1RM eine höhere Einflussgröße sein, als die Erhöhung des arteriellen Okklusionsdrucks von 40 auf 50%, was im Endeffekt für den Probanden angenehmer ist.

Eine weitere Einflussgröße, die ältere Menschen zu spüren bekommen, sind altersbedingte Funktionseinschränkungen. Güllich und Krüger (2013) nennen in diesem Kontext eine Verschlechterung des Herz-Kreislauf-Systems, der Lunge, des Bewegungsapparats, des Nervensystems, der Sinnesorgane und der Haut. Besonders beim Bewegungsapparat kommt es dabei zu einer Abnahme der Muskelmasse, der Knochendichte, der Zugfestigkeit von Sehnen

und Bändern sowie zu einem Verschleiß der Gelenkknorpel. Hormonelle Veränderungen sind der Grund dafür, dass weniger Wachstums- sowie Sexualhormone produziert werden und zeichnen sich somit für die Abnahme an Muskel- und Knochenmasse im Alterungsprozess verantwortlich (Güllich & Krüger, 2013). Eine reduzierte relative Skelettmuskelmasse ist eine häufige Erscheinung, die bei Amerikanern beobachtet wurde. Dabei wird sie signifikant und unabhängig von Funktionsstörungen und Behinderung, besonders mit älteren Frauen assoziiert. Janssen, Heymsfield, und Ross (2002) sprechen dabei von Beobachtungen, die die vorherrschende Ansicht stützen, dass Sarkopenie eine wichtige und möglicherweise reversible Ursache für Morbidität und Mortalität bei älteren Personen sein kann.

Sarkopenie bezeichnet dabei den altersbedingten Abbau von Skelettmuskelmasse, der zwischen 30 und 50%, zwischen dem 40 und 80 Lebensjahr, betragen kann, woraus sich ein Rückgang der Maximal- und Schnellkraft ergibt (Aagaard, Suetta, Caserotti, Magnusson, & Kjaer, 2010; Zahner et al., 2015). Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Altern durch den Verlust von motorischen Neuronen der Wirbelsäule (spinale MNs), von einer verringerten IGF-1 Signalisierung, erhöhten Mengen zirkulierender Cytokine (Proteine die das Wachstum und die Differenzierung von Zellen regeln) und von erhöhtem oxidativen Stress der Zellen gekennzeichnet ist. Der altersbedingte Verlust von spinalen MNs mündet in einer Verringerung der Anzahl und Größe der Muskelfasern (Sarkopenie), was eine Beeinträchtigung der mechanischen Muskelleistung hervorruft und zu einer verminderten Funktionsfähigkeit bei alltäglichen Aufgaben führt (Aagaard et al., 2010). Aagaard et al. (2010) erwähnen jedoch in diesem Kontext, dass ältere Personen eine anpassungsfähige Plastizität sowohl in der Skelettmuskulatur als auch im neuromuskulären System als Reaktion auf ein Krafttraining zeigen. Dadurch können die altersbedingte Abnahme von Muskelgröße und neuronalen Funktionen weitgehend kompensiert werden und auch noch im hohen Alter zu einer Verbesserung der Funktionsfähigkeit führen.

Ein Aspekt darf hier nicht außer Acht gelassen werden. Übungsrichtlinien für hohe Trainingsbelastungen für Menschen in höherem Alter herauszugeben, erscheint durch häufige Kontraindikationen jedoch sehr schwierig umzusetzen, verwies das American College of Sports Medicine (2009). Dessenungeachtet kommt dieser Altersgruppe der Fakt zugute, dass bereits Gehübungen mit einer Blutzufuhrrestriktion für Personen mit eingeschränkter Funktionsfähigkeit und Mobilität von großer Bedeutung sind (English & Paddon-Jones, 2010; Paterson, Jones, & Rice, 2007). Durch einen Blick auf den systematischen Review von Bittar, Pfeiffer, Santos, und Cirilo-Sousa (2018) wird ersichtlich, dass ein BFR Training

nicht nur förderlich für die Muskulatur ist, sondern auch den Knochenstoffwechsel positiv beeinflusst und daher auch als vorbeugende Maßnahme beziehungsweise sogar als Behandlungsmethode für Knochenkrankheiten wie Osteoporose angewandt werden kann. Gerade deswegen scheint das Okklusionstraining ein richtiger Ansatz für Personen, die sich hohen Trainingsbelastungen nicht mehr aussetzen sollten. Diese Empfehlung hatten Buford et al. (2015) bereits in den Raum gestellt, merkten jedoch an, dass noch weitere Studien erforderlich sind, um eine klare Position beziehen zu können.

S. B. Cook, LaRoche, Villa, Barile, und Manini (2017) fanden in einer zwölfwöchigen Studie heraus, dass ein HI und BFR Training bei älteren Männern und Frauen mit einem Durchschnittsalter von 75,6 Jahren (73,4-78,5) eine Verbesserung der Muskel CSA bewirken konnte. Die TeilnehmerInnen waren von Mobilitätseinschränkungen bedroht eingestuft worden, erfreuten sich jedoch ausgezeichneter Gesundheit, da sie vom Selektionsprozess der Studie, genauer gesagt durch Einschlusskriterien und ein Screening ausgewählt wurden. Nach sechs Wochen waren in der HI Gruppe ausgeprägtere Kraftzuwächse als in der Okklusionsgruppe zu beobachten, nach zwölf Wochen konnte die BFR Interventionsgruppe ähnliche Ergebnisse erzielen. Die Ergebnisse, die sich nach dem zwölfwöchigen Trainingsprogramm der experimentellen Gruppen einstellten, konnten jedoch interessanterweise nicht auf die Gehgeschwindigkeit und die Lebensqualität transferiert werden, was in Widerspruch mit einer durchgeführten Studie von Haraldstad et al. (2017) steht. Diese Studie testete 49 Männer im Alter von 60-81 Jahren. Dabei wurde ebenfalls ein Krafttraining, jedoch kein BFR Training unternommen. Die Untersuchung zeigte, dass sich nicht nur die Muskelkraft und die Mobilität steigerten, sondern ebenso soziale Fähigkeiten. Darüber hinaus verbesserte sich die Leistungsfähigkeit der älteren Personen und es konnten zusätzlich komplexere tägliche Aktivitäten bewältigt werden, bemerkten Haraldstad et al. (2017). Die Ergebnisse der Studie stützen, was die Autoren anmerkten, die Vorstellung, dass ein systematisches Krafttraining nicht nur der Muskulatur dienlich ist und sich vorteilhaft auf die Funktionsfähigkeit auswirkt, sondern weiters auch eine positive Wahrnehmung der Gesundheit generiert. McGrath, O'Malley, und Hendrix (2011) zufolge, können positive psychologische und physiologische Wirkungen auch durch die Zugehörigkeit zu einer Gruppe erklärt werden, die letztendlich für eine positivere Wahrnehmung verantwortlich ist.

S. B. Cook et al. (2017) sprachen in diesem Kontext die Empfehlung aus, die Forschung in Richtung eines kombinierten HI und BFR Trainings zu lenken, wobei sie sich dabei besonders auf Erwachsene mit tiefgreifender Muskelschwäche und Einschränkung der Mobilität

fokussieren. Hervorgehoben werden muss trotzdem, dass die Autoren ein BFR Training bevorzugen, wenn ein HI Training kontraindiziert ist, was bei akuten Verletzungen oder postoperativen Umständen der Fall sein kann. Hier wäre die hohe mechanische Belastung - vorsichtig ausgedrückt - unvorteilhaft, welche bei einem hochintensiven Training erreicht wird und könnte den weiteren Heilungsverlauf mitunter verlangsamen oder ferner den Zustand noch verschlimmern. Ebendaher spielt diese Trainingsmethode in der Rehabilitation eine nicht unbedeutende Rolle, da ein postoperatives Training wesentlich früher gegenüber einem klassischen Hypertrophietraining initiiert werden kann.

Die zehn durchgeführten Studien, die in dieser Arbeit behandelt werden, weisen eine unterschiedliche Dauer auf. Die kürzeste davon dauerte zwei- (Yasuda et al., 2010), die längste (Vechin et al., 2015) zwölf Wochen. Die verbleibenden acht Studien variieren in ihrer Dauer zwischen vier und acht Wochen. Darüber hinaus gibt es nicht nur einen Unterschied in der Dauer, sondern auch in den wöchentlich durchgeführten Trainingsinterventionen der Interventionsgruppen. So führten Yasuda et al. (2010) zum Beispiel eine zweiwöchige Studie mit sechs Trainingstagen durch, wobei zwei Mal am Tag trainiert wurde. Die Studie zeigte die Tatsache, dass sich bereits nach zwei Wochen (Bankdrücken mit freien Gewichten) ein signifikanter Unterschied zwischen Pre- und Postmessung einstellte. Die BFR Gruppe erzielte sowohl Zuwächse bei der MTH (Triceps brachii +8%, Pectoralis Major +16%) als auch beim 1RM (+6%). Die Vergleichsgruppe, die zwar mit derselben Intensität aber ohne Okklusion der Arme trainierte, hatte keine signifikanten Veränderungen. Die Resultate der Studie, sowie vorangegangene Untersuchungen, kamen zu dem Ergebnis, dass die in kürzester Zeit erreichte Muskelhypertrophie, einerseits nicht mit der Zellschwellung, die durch Muskelschäden hervorgerufen wird und andererseits nicht mit Entzündungen des Muskelgewebes assoziiert werden kann (Yasuda et al., 2010).

Somit wird die Frage aufgeworfen, wodurch der hypertrophe Effekt beim BFR-Training überhaupt entsteht und welchen Einfluss unterschiedliche Faktoren hier einnehmen. Pearson und Hussain (2015) zufolge bestehen zwei grundlegende Mechanismen, die für eine Hypertrophie der Skelettmuskulatur verantwortlich sind. Es handelt sich hier auf der einen Seite um die Anregung der Proteinsynthese, die auch als Autocrine benannt wird und auf der anderen Seite um die Aktivierung und Produktion von Satellitenzellen, die als Paracrine tituliert wird.

J. P. Loenneke, Fabs, Rossow, Abe, und Bemben (2012) stellten die Hypothese auf, dass nach einem BFR Training der Wassergehalt der Muskelzellen ansteigt, was in weiterer Folge

dazu führt, dass eine Kaskade intrazellulärer Signale auftritt. Es wird angenommen, dass der mTOR-pathway (mechanistic Target of Rapamycin, Bestandteil eines Proteinkomplexes) als Hauptnetzwerk regulierend für das Skelettmuskelwachstum wirkt. Kommt es zu einer Aktivierung, werden Signale gesendet, die auf nachgeschaltete Ziele wirken, um die Muskelproteinsynthese zu erhöhen, was letztendlich zu einer Hypertrophie der Skelettmuskel führt. Zelluläre Dehydration kann möglicherweise die mTOR Signale herunterregulieren, was zu dem Umkehrschluss führt, dass bei einer Durchführung einer venösen Okklusion, eine Abschwächung der Atrophie sogar ohne Bewegung erfolgen kann, da bereits nur nach einer Blutzufuhrrestriktion der Wassergehalt in den Muskelzellen ansteigen soll (J. P. Loenneke, C. A. Fabs, L. M. Rossow, T. Abe, et al., 2012; Yasuda et al., 2015). Pearson und Hussain (2015) sprachen weiters von einer Theorie, die dem BFR Training in Summe ähnliche Reize wie nach einem Training mit hohen Lasten in Aussicht stellt, da der erhöhte metabolische Stress mit der niedrigeren mechanischen Spannung addiert wird und unter dem Strich, ein gleichwertiges Ergebnis ergibt. Denn bei einem Training mit höheren Intensitäten, jedoch ohne vorgenommene Okklusion, entsteht eine hohe mechanische Spannung, allerdings ein geringerer metabolischer Stress.

Aus diesem Grund sollte auch die in der Literatur diskutierte Theorie der Mechanotransduktion nicht unerwähnt bleiben (Hwang & Willoughby, 2017; Pearson & Hussain, 2015). Beardsley (2019) schrieb, dass Muskelfasern mithilfe von Rezeptoren Spannungen erkennen können. Wird eine mechanische Belastung geortet, wird eine Folge von Signalereignissen ausgelöst. Dieser Prozess ist unter dem Begriff der Mechanotransduktion oder der mechanischen Transduktion bekannt. Wichtig dabei ist jedoch, gab der Autor zu bedenken, dass die Muskelfaser höchstselbst diese Belastung wahrnimmt und nicht der gesamte Muskel, da die im Skelettmuskel vorhandenen Fasern zum Teil völlig unterschiedliche Reize erfahren können. Pearson und Hussain (2015) erklärten die mechanische Transduktion dabei mit der Entstehung chemischer Signale, die durch mechanische Spannung und Dehnung ausgelöst wird. Dadurch wird bewirkt, dass die Produktion von IGF-1 und eine Aktivierung des Aminosäurekomplexes mTOR erfolgt. Festgehalten werden muss jedoch, dass bei einem BFR Training die mechanische Spannung eine eher untergeordnete Rolle spielt und somit dieser Theorie eher ein unwesentlicherer Part im Kontext des Muskelwachstums zukommt (Hwang & Willoughby, 2017; Pearson & Hussain, 2015).

Colomer-Poveda et al. (2017) unterstützen die Aussage von Yasuda et al. (2010), dass der hypertrophe Effekt nach einem BFR Training, weniger den Zellschwellungen und

Entzündungsprozessen (wie beim Low Load Resistance Training (LLRT)) zugeschrieben werden, sondern mit einer schnelleren Proliferation (Zellteilung und Wachstum) und Differenzierung von Muskelsatellitenzellen und einer Zunahme der Myonuklei - randständige Kerne der Muskelfasern (Müller-Wohlfahrt, Ueblicher, Hänsel, & Betthäuser, 2014) - in Verbindung gebracht werden. Darüber hinaus argumentieren Colomer-Poveda et al. (2017), dass trotz ähnlicher Muskelzuwächse beim BFR- und LLRT Training, bezogen auf ihre durchgeführte Studie, die Ergebnisse der Okklusionsgruppe von Natur aus unterschiedlich waren und langfristig zu einem höheren Muskelwachstum führen könnten.

Eine Studie, die es sich zur Aufgabe gemacht hatte, herauszufinden ob ein BFR Training auf myozellulärer Ebene zu Muskelschäden und Stress führen kann, kam zu dem Ergebnis, dass keine oder nur geringfügige Muskelschäden durch diese Art des Trainings, bei jungen Männern, hervorgerufen wurden. Dennoch konnten Anzeichen von Gewebeentzündungen und fokalem myozellulären Membran Stress und oder Reorganisations beobachtet werden. Diese Beobachtungen dürften in dem Anpassungsprozess eine Rolle spielen, der durch Trainingsinterventionen mit einem BFR Training hervorgerufen worden ist (Nielsen et al., 2017).

Neben den bereits genannten Argumenten, die im Zusammenhang mit den Auswirkungen eines Okklusionstrainings diskutiert werden, muss ebenso auf unterschiedliche Hormone eingegangen werden. Es ist bekannt, dass durch metabolische Ansammlungen eine Umgebung induziert wird, die durch einen niedrigen pH-Wert gekennzeichnet ist und dadurch die Sekretion von Wachstumshormonen (GH) stimuliert, was einen beeinflussenden Effekt auf die Muskelproteinsynthese hat (Hwang & Willoughby, 2017). Jedoch wird häufig darüber diskutiert, welche direkten hypertrophen Wirkungen GH auf die Proteinsynthese schlussendlich haben. Auf der einen Seite wird die Meinung vertreten, dass GH hauptsächlich dazu dienen, den Prozess der Skelettmuskelhypertrophie durch eine potenzierende Freisetzung des IGF-1 zu unterstützen (Schoenfeld, 2013). Auf der anderen Seite wird debattiert, dass die Muskelproteinsynthese das Ergebnis eines additiven Ansatzes ist, der eine GH sowie eine IGF-1 Konzentration benötigt (Pierce, Clark, Ploutz-Snyder, & Kanaley, 2006).

Ein weiteres Hormon, welches in diesem Kontext angesprochen werden muss, ist Testosteron. Literarisch weit verbreitet ist hierbei die Annahme, dass das wichtigste männliche Sexualhormon - welches fast ausschließlich in den Hoden produziert wird, jedoch auch in geringerer Konzentration bei Frauen vorkommt - anabole Wirkungen auf die Muskelproteinsynthese hat (Bhasin, Woodhouse, & Storer, 2001; Kadi, 2008). Im Übrigen ist bekannt, dass

Testosteron auch indirekte hypertrophe Wirkungen hat, die durch die Potenzierung mit der Freisetzung ähnlich wichtiger anaboler Hormone wie IGF-1, GH und dem mechanischen Wachstumsfaktor (MGF) einhergehen. Nebstdem kommt Testosteron eine Rolle bei der Vermittlung der Aktivierung und Proliferation von Satellitenzellen zu, hielt Schoenfeld (2013) fest.

Myostatin nimmt, wie schon in Kapitel 2.2.3.1 näher ausgeführt, im Muskelwachstum eine entscheidende Rolle ein. Wird es in Hinsicht eines BFR Trainings diskutiert, ist bekannt, dass eine Herunterregulierung der Myostatin Genexpression vorliegt (Jeremy P. Loenneke et al., 2012). Jeremy P. Loenneke et al. (2012) stellten daher die Hypothese auf, dass es aufgrund eines Okklusionstrainings, welches zu Hypoxiezuständen führt, oder der Anreicherung von Metaboliten, die durch das BFR Training induziert werden, zu einer unterdrückten Aktivität von Myostatin kommt und somit eine Muskelhypertrophie ausgelöst werden kann.

Ein weiterer Aspekt, warum ein BFR Training mit vergleichsweise niedrigen Lasten ein annehmbares Muskelwachstum induzieren kann, stützt sich auf die schnellere Rekrutierung der FT-Fasern (Jeremy P. Loenneke et al., 2012). Genauer gesagt bedeutet dies, dass die schnell zuckenden Muskelfasern rekrutiert werden können, ohne dabei das Größenprinzip (Kapitel 2.1.2.2) näher zu berücksichtigen, welches zunächst die langsamen und erst mit steigender Intensität die schnellen Fasern einbeziehen würde. Jeremy P. Loenneke et al. (2012) gehen davon aus, dass die Begründung dafür wohl in den Bedingungen liegt, die durch den Gefäßverschluss geschaffen werden. Die hypoxischen Zustände schaffen anscheinend Verhältnisse, die es notwendig machen, zusätzliche motorische Einheiten zu rekrutieren, da Defizite in der Gesamtkraftentwicklung ausgeglichen werden müssen. Zudem kann die Anhäufung von Metaboliten, die durch ein BFR Training entstehen, ebenso zu einer verstärkten Rekrutierung von Fast twitch oder höherschwelligen motorischen Einheiten führen, schrieben Schoenfeld (2013). In diesem Kontext gewinnt das Forschungsergebnis von Abe, Kearns, und Sato (2006) an Bedeutung, die herausfanden, dass nach einem niederintensiven Okklusionstraining eine frühe Ermüdung der ST-Fasern aufgrund einer fehlenden Sauerstoffzufuhr stattfand, was eine Zunahme der Querschnittsfläche der Typ II Muskelfasern zur Folge hatte. Sowohl die ST- und FT-Muskelfasern konnten jedoch einen signifikanten Zuwachs der Querschnittsfläche, bei einem zweiwöchigen Trainingsprogramm mit 20% des 1RM, verzeichnen.

Neben diesem gerade genannten Mechanismus, erwähnte Beardsley (2019) einen weiteren Zugang der Forschung, der in Hinsicht auf die Muskelhypertrophie noch erwähnt werden

muss. Die durch eine Blutzufuhrrestriktion entstehende Hypoxie, führt zu einer erhöhten Produktion von freien Radikalen, die oft eine Reaktion eines Krafttrainings sind. Diese ROS, die bei einem Training produziert beziehungsweise freigesetzt werden, treten häufig in Verbindung mit metabolischem Stress auf. Pearson und Hussain (2015) zufolge soll dieser Mechanismus nach dem Training eine anabole Wirkung haben. Centner et al. (2018) nach, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die erhöhte ROS Bildung nach dem BFR Training die Muskelremodulation positiv beeinflusst und zu den beobachteten Muskelanpassungen in ihrer durchgeführten Studie geführt haben kann. Abschließend darf jedoch die Tatsache nicht unbeachtet bleiben, dass die Forschung zu diesem Thema spärlich ist und die Auswirkungen eines BFR Trainings auf die ROS Produktion und den oxidativen Stress noch keine endgültige Stellungnahme zulässt (Centner et al., 2018).

Um einen wirklichen Vergleich der Studien durchführen zu können, müssen einige Variablen besser verstanden werden. So müssen die Wechselwirkungen von Frequenz, Intensität, Dauer oder Volumen auf die Muskelanpassung durch ein BFR Training näher erforscht werden, um genaue Rückschlüsse ziehen zu können. Somit lassen sich Studien, die unter anderem eine sehr unterschiedliche Dauer aufweisen, kaum vergleichen.

Zwei Studien, die sich näher mit dem Unterschied eines BFR- und HI Trainings auseinandergesetzt haben, wurden von Yasuda et al. (2011) und Yasuda et al. (2015) durchgeführt. Dabei kamen beide Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass nach einem HI Training die Muskelkraft signifikant höher anstieg als nach einem BFR Training, wobei sowohl die Okklusions- als auch die High Intensity Gruppe signifikante Steigerungen erzielte. Ein ähnliches Bild zeigen die Veränderungen der Muskelquerschnittsfläche. Yasuda et al. (2015) die in ihrer Studie die Auswirkungen eines Detrainings nach einer sechswöchigen Trainingsintervention beobachteten, fanden heraus, dass die CSA für Triceps brachii und Pectoralis major nach der Post- sowie nach der Detrainingsmessung höher waren, als bei der Ausgangslagemessung. Die BFR Gruppe hingegen konnte sich nur bei der Postmessung verbessern. Die Unterschiede nach der dreiwöchigen Detrainingsphase in der Muscle CSA begründen die Autoren durch die größere Muskelhypertrophie der HI Gruppe während des Trainings (Yasuda et al., 2015).

Vergleichend dazu zeigt die oben genannte Untersuchung (Yasuda et al., 2011) ähnliche Ergebnisse. Bei dieser Studie wurde eine dritte Trainingsgruppe geführt (CB-RT), die eine Kombination aus HI und BFR Training war. Die HI Gruppe konnte das 1RM um 19,9% verbessern, die BFR Gruppe hingegen nur um 8,7%. Die Kombinationsgruppe kam dem

Einwiederholungsmaximum der HI Gruppe, mit 15,3% sehr nahe. Auch hier verhielten sich die Zuwächse der CSA der gemessenen Muskelgruppen ähnlich. So konnte die HI Gruppe mit 8,6% (TB) und 17,6% (PM) den größten Anstieg der Muskelquerschnittsfläche verzeichnen. Die CB Gruppe konnte interessanterweise mit 7,2% einen sehr ähnlichen Zuwachs des Triceps brachii erreichen, hatten aber mit einer Progression von 10,5% des Pectoralis major vergleichsweise doch einen geringeren CSA Anstieg. Der Vergleich dieser Studien zeigt, auch wenn die Ergebnisse von Yasuda et al. (2015) für eine Nebeneinanderstellung nicht optimal dargestellt sind, da keine prozentuellen Veränderungen angegeben sind, dass mit einem High Intensity Training, die größten Muskelquerschnittsflächenzuwächse erreicht wurden. Die Besonderheit an diesen zwei Untersuchungen stellte dieselbe Studiendauer und trainierte Muskelgruppe, sowie eine einheitliche Messmethode und ein einheitlicher Okklusionsdruck dar. Die Probanden setzten sich aus jungen Menschen zusammen, die ein Bankdrücktraining durchführten. Somit kann zumindest aus dem Vergleich dieser beiden Untersuchungen geschlossen werden, dass ein HI Training im Gegensatz zu einem BFR Training größere Muskelhypertrophie bewirkt. Jedoch muss hier beachtet werden, dass dies auf die einheitliche Art des BFR Trainings zurückzuführen ist und wie schon im Laufe der Diskussion erwähnt wurde, das optimale Okklusionstraining in punkto Manschettendruck, Trainingsvolumen, Trainingsintensität, Okklusionsdruck sowie anderen Faktoren, die hier eine Rolle spielen, mitunter noch erforscht werden muss.

Die Anzahl der ProbandInnen der verwendeten Studien unterschieden sich in unterschiedlicher Art und Weise zueinander. Yasuda et al. (2010) weisen eine Populationsgröße von gerade einmal zehn Personen auf, die gleichmäßig auf zwei Gruppen verteilt wurden, wo hingegen Martin-Hernandez et al. (2013) und Yasuda et al. (2011) eine Populationsgröße von 39 beziehungsweise 40 vorweisen konnten. Daneben muss festgehalten werden, dass die Geschlechterverteilung entweder unerwähnt blieb (Kim et al., 2017), oder vermehrt Männer untersucht wurden. Drei von zehn Studien, welche in dieser Arbeit behandelt werden, involvierten Frauen in ihre Untersuchungen (Vechin et al., 2015; Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al., 2014) und lediglich eine davon, widmete sich gänzlich dem weiblichen Geschlecht (Hill et al., 2018). Generell kann gesagt werden, dass die Studien nur eine kleine Populationsgröße untersuchten und auch untereinander mitunter größere Unterschiede zwischen den untersuchten Personen aufwiesen. Will man darüber hinaus die Studien bezüglich des Geschlechts vergleichen, gilt es die Unterschiede, die ein Widerstandstraining auf Männer und Frauen hat, besser zu verstehen.

Frauen und Männer unterscheiden sich in ihren anatomischen, physiologischen und neuromuskulären Eigenschaften, was einen bedeutsamen Unterschied bei der Trainingsleistung und der nachfolgenden Erholungsphase macht (Davies, Carson, & Jakeman, 2018; Hunter, 2014). Generell gesehen hat das männliche Geschlecht größere Skelettmuskeln. Daneben haben einige Muskeln zusätzlich eine größere proportionale Fläche von metabolisch und funktionell schnelleren Muskelfasern, den Fast twitch Typ II Fasern (Hunter, 2014). Männer sind im Durchschnitt stärker, wo hingegen Frauen ermüdungsresistenter sind und bei einer gleichen relativen Intensität einem Widerstand länger widerstehen können, schrieben Davies et al. (2018). Die frühere Ermüdung die bei Männern im Gegensatz zu Frauen auftritt, bringen die Autoren dabei mit einer größeren Verminderung der willkürlichen Aktivierung in Verbindung, was wahrscheinlich das Ergebnis von einem höheren intramuskulären Druck und der Akkumulation von Metaboliten im stärkeren männlichen Muskel ist. Somit kann die Ermüdungsreaktion während eines einheitlichen Widerstandstrainings mit relativen Intensitäten für Männer größer sein als für Frauen. Diese Gegebenheit dürfte zur Folge haben, dass das männliche Geschlecht früher einen Übungsabbruch durchführt, jedoch dadurch eine schnellere langfristige Erholung ermöglicht wird (Davies et al., 2018). Dabei variieren die Feinheiten der Ermüdung entsprechend der Umstände, jedoch beim Training führt eine Reduktion der körperlichen Funktionen zu einer Beeinträchtigung der Kraft, was die Produktionskapazität der arbeitenden Muskeln verringert (Ansdell, Thomas, Howatson, Hunter, & Goodall, 2017). Gandevia (2001) bezeichnete die trainingsinduzierte Verringerung der Kraftkapazität dabei als Muskelermüdung.

Die bereits erwähnten Unterschiede zwischen den Geschlechtern, müssen, um die Thematik abzurunden, auch die hormonelle Ebene einschließen. Janse de Jonge (2003) schrieb in diesem Kontext, dass nicht eindeutig bewiesen ist, dass monatliche hormonelle Schwankungen die mit dem Menstruationszyklus in Verbindung gebracht werden, einen größeren Einfluss auf die Ermüdbarkeit und die Kontraktionsfunktionen bei jungen Frauen in gemäßigten Umgebungstemperaturen hat. Janse, Thompson, Chuter, Silk, und Thom (2012) führten dazu Untersuchungen durch und stellten fest, dass zwischen den verschiedenen Menstruationszyklusphasen unter gemäßigten Bedingungen keine Unterschiede in der Trainingsleistung auftraten. In heißen und feuchten Begebenheiten wurde jedoch eine signifikante Abnahme der Trainingsleistung während der Lutealphase, der zweiten Zyklushälfte, festgestellt. Die Forschungsergebnisse widersprechen einer 2003 durchgeführten Studie von Sunderland und Nevil, die unter heißen Bedingungen keine signifikanten Differenzen zwischen den

Menstruationszyklen bei trainierten Sportlerinnen im Zuge eines „Shuttle-Runs“ festgestellt haben. Einig sind sich die Autoren in dem Punkt, dass unter gemäßigten Beschaffenheiten, einerseits bei einem Widerstandstraining andererseits bei einem Shuttle Run, keine signifikanten Unterschiede zwischen den Menstruationsphasen vorherrschten (Janse et al., 2012; Sunderland & Nevill, 2003). Die gebrachten Argumente, die einige Unterschiede zwischen Mann und Frau darlegen, verdeutlichen die Tatsache, dass eine Gegenüberstellung der Studien bezüglich des Geschlechts keinen statistisch hohen Nutzen hat.

Hinzu kommt, dass die experimentellen Untersuchungen bezüglich der Trainingsmethoden sehr unterschiedlich aufgebaut wurden. Colomer-Poveda et al. (2017) wählten als Trainingsgerät eine Soleus-Isolationsmaschine, an der einseitig trainiert wurde. Bei dieser Maschine konnten die Hüfte, Knie und Knöchel fixiert werden, um den Zielmuskel bestmöglich, isoliert, trainieren zu können. Im Vergleich dazu führten die Testpersonen der Studie von Kim et al. (2017) ihre Übungen bis zur Ermüdung an einem Handgriffdynamometer durch. Unabhängig von den durchgeführten Sätzen und Kontraktionen, erfolgte eine Beendigung der Trainingsintervention nach fünf Minuten. Sugiarto et al. (2017) verwendeten für ihre Untersuchung eine En-Tree pulley machine. Dabei wurde die Übung in einem Bewegungsradius von 0° Extension zu einer Flexion von 135° und wieder in die Ausgangslage zurück durchgeführt. Vechin et al. (2015) unternahmen die Trainingsintervention an einer Beinpresse, die Übung selbst wurde dabei bis zu einem Kniewinkel von 90°, bei zwei Sekunden konzentrischer und exzentrischer Phase, ausgeführt. Somit wird klar, dass ein Vergleich zwischen den Studien kaum anzustellen ist, da unterschiedliche Trainingsgeräte für unterschiedliche Muskelgruppen verwendet wurden.

Daneben muss erwähnt werden, dass die verschiedenen Trainingsgeräte die Arbeitsweise der Muskulatur deutlich beeinflussen. Hill et al. (2018) fokussierten sich, im Gegensatz zu den verbleibenden Studien, auf den Unterschied zwischen einem konzentrischen- und exzentrischen BFR Training. Es zeigte sich dabei, dass die exzentrische BFR Gruppe (+12,8%) vergleichsweise zur konzentrischen BFR Gruppe (+9,9%) größere MTH Zuwächse aufwies. Hier eine Nebeneinanderstellung zu anderen Studien zu erstreben, wird schon allein dadurch erschwert, dass die meisten Untersuchungen entweder isometrische, konzentrische oder exzentrische Kontraktionen innerhalb der Trainingsvorgänge hatten. Näher betrachtet bedeutet dies, dass die Studien, die sich für Übungen mit einer verkürzenden sowie dehnenden Arbeitsweise der Muskulatur entschieden, bis auf genannte Ausnahme, alle eine konzentrische und exzentrische Phase während des Trainings hatten. Vechin et al. (2015) wiesen die

ProbandInnen während der Trainingsintervention an, zwei Sekunden exzentrische- und konzentrische Phase einzuhalten. Die HI Gruppe konnte hierbei ein Plus von 7,9%, die BFR Gruppe eins von 6,6%, bei der Muskelquerschnittsfläche des Quadrizeps erzielen. Die Testpersonen der BFR Gruppe der Untersuchung von Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al. (2014) erreichten mit einem Zuwachs der CSA von 8% ein höheres Ergebnis. Jedoch muss beachtet werden, dass hier unterschiedliche Messpunkte für die Ermittlung der Querschnittsfläche des Quadrizeps gewählt wurden und zusätzlich die Trainingsinterventionen unterschiedlich waren. Die zweitgenannte Studie, führte während der experimentellen Untersuchung zwei Übungen durch und fokussierte sich bei der Beinpresse im Unterschied zur vorherigen Untersuchung auf eine Sekunde konzentrische- und exzentrische Phase. Divergierend dazu führten die Versuchspersonen von Colomer-Poveda et al. (2017) ihr Training an einer Soleus-Isolationsmaschine mit einer isometrischen Arbeitsweise der Muskulatur bei zwei Sekunden Kontraktion sowie zwei Sekunden Pause durch. Sie erreichten dabei einen MTH Zuwachs von 9,5% (BFR). Stellt man einen Vergleich der Ergebnisse an, muss darauf geachtet werden, dass mit Werten, die eine Veränderung des Muskels angeben, sorgfältig umgegangen wird. In den ausgewählten Studien wurden die Veränderungen vorrangig mit MTH, CSA oder dem Armumfang angegeben. Hierbei handelt es sich um verschiedene Messmethoden, die unter verschieden hohem finanziellem Aufwand entstehen und eine abweichende Messgenauigkeit haben. Darüber hinaus ist die Vergleichbarkeit kritisch zu betrachten, da neben den unterschiedlichen Messmethoden auch unterschiedliche Messpunkte für die diversen Messinstrumente gewählt werden.

Diesem angesprochenen Thema widmeten sich Franchi et al. in einer 2018 erschienenen Studie. Der Fokus lag dabei auf der näheren Betrachtung der Korrelation zwischen einer MTH- und CSA Messung nach einem Widerstandstraining. Zu Studienzwecken unternahmen neun Probanden ein zwölfwöchiges isokinetisches Widerstandstraining. Gemessen wurde dabei Muscle Volume (VOL), MTH und CSA des Vastus Lateralis. Die Autoren fanden dabei heraus, dass Veränderungen der Muskelgröße die als prozentueller Anstieg von MTH und CSA ausgegeben wurden, signifikant miteinander korrelierten. Die Studienergebnisse unterstützen die Ultraschallmessung der MTH als Alternative zur teuren MRI-Technik für die CSA Messung. Darüber hinaus wurde erkannt, dass jedoch nicht auf das gesamte VOL geschlossen werden darf, was bedeutet, dass die MTH nicht zur Abschätzung von Änderungen des Muskelvolumens verwendet werden darf. Dies wird dadurch begründet, dass eine Messung der hypertrophen Anpassungen durch Ultraschall und weitere Messmethoden,

nicht an den gleichen Messstellen ermittelt wird. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Autoren zu dem Ergebnis kamen, dass Veränderungen der MTH durch ein Widerstandstraining, parallel mit Änderungen der CSA verliefen (Franchi et al., 2018). Diesen Ergebnissen zufolge kann man sich bei der Gegenüberstellung der Untersuchungen, zumindest an den prozentuellen Veränderungen der MTH und CSA festhalten, die, wie eben erörtert wurde, miteinander korrelieren. Von genauen Vergleichen ist jedoch abzusehen, da wie schon erwähnt unterschiedliche Messpunkte von den Autoren gewählt wurden und verschiedene Muskelpartien innerhalb der bearbeiteten Studien trainiert wurden. Daneben muss noch einmal festgehalten werden, dass durch die nicht einheitlichen Trainingsinterventionen, die durch unterschiedliche Übungen und eine verschiedenartige Arbeitsweise der Muskulatur mit abweichenden Hubkadenzen gekennzeichnet sind, eine aussagekräftige Gegenüberstellung der vorhandenen Studien nicht möglich ist.

Ein Kritikpunkt, der beim sorgfältigen Durchleuchten der Studien auffällt, bezieht sich auf den unterschiedlichen Aufbau der Studien. Sechs von zehn Studien inkludierten in ihre Forschung eine Kontrollgruppe, die keine gezielte Trainingsintervention unternahm. Im Gegensatz dazu, arbeiteten vier der experimentellen Untersuchungen ohne eine entsprechende Gruppe, die nur den gewohnten Tagesablauf verfolgte (Kim et al., 2017; Sugiarto et al., 2017; Yasuda et al., 2010; Yasuda et al., 2015). Ein ähnliches Bild zeigen die Studien hinsichtlich einheitlicher HI und LLRT Gruppen. Zwei von zehn Studien (Colomer-Poveda et al., 2017; Sugiarto et al., 2017) führten neben einer BFR auch eine LLRT Gruppe. Alle experimentellen Erhebungen führten im Studiendesign zumindest eine BFR Gruppe, fünf der zehn Studien, die in dieser Abhandlung bearbeitet werden, hatten zusätzlich eine HI Gruppe, die mit wesentlich höheren Intensitäten als bei einem klassischen BFR-Training trainierte (Martin-Hernandez et al., 2013; Sugiarto et al., 2017; Vechin et al., 2015; Yasuda et al., 2015; Yasuda et al., 2011). Dadurch wird die unterschiedliche Studienführung verdeutlicht, die, wie schon öfters erwähnt, nicht nur durch diesen Umstand, einen Vergleich der Ergebnisse sehr schwierig macht.

Wie bereits zu einem früheren Zeitpunkt angeführt, wurden die Trainingsinterventionen der BFR Gruppen mit unterschiedlichen Okklusionsdruckstärken durchgeführt. Auf die genaueren Unterschiede und möglichen Konsequenzen der verschiedenartigen Manschetten wurde zu diesem Zeitpunkt ebenfalls schon eingegangen. Zu kritisieren ist hier, dass generell unterschiedliches Equipment zur Herstellung einer Okklusion verwendet wurde, mit zum Teil größeren Unterschieden des Okklusionsdrucks gearbeitet wurde und hinsichtlich der

Druckangaben keine genauen Angaben gemacht wurden. Der durchgeführten Studie von Hill et al. (2018), ist zum Beispiel nur ein Anfangsdruck von 30 mmHg mit einer progressiven Erweiterung über einen Zeitraum von 60 Sekunden auf einen Zieldruck von 40% zur vollständigen Okklusion der Arteria brachialis, zu entnehmen. Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al. (2014) geben eine größere Spannweite des Okklusionsdrucks von 120-270 mmHg an. Sugiarto et al. (2017) arbeiteten einheitlich mit 50 mmHg und Martin-Hernandez et al. (2013) mit 110 mmHg. Yasuda et al. (2010) und Yasuda et al. (2015) hingegen erhöhten die Druckstärke in den ersten Trainingseinheiten und erreichten erst ab der siebenten Trainingsintervention einen endgültigen Manschettendruck von 160 mmHg.

Ein weiterer Kritikpunkt, der nicht unerwähnt bleiben darf, sind fehlende Angaben zur Ernährung über die gesamte Studiendauer. Yasuda et al. (2011) erwähnen als eine von wenigen Studien, die hier kritisch betrachtet werden, dass eine einheitliche Ernährung forciert und auf alkoholische- und koffeinhaltige Getränke verzichtet werden sollte. Daneben verweisen noch Colomer-Poveda et al. (2017) und Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al. (2014) auf Alkohol- und Koffeinverzicht. Darüber hinaus werden in den verbliebenen Untersuchungen keine Angaben zu einer bestimmten Ernährung, Protein-Supplementation oder eingehaltenen Diät gemacht. Ferner wird auch nicht darauf eingegangen, wie lange vor den Trainingsinterventionen keine Mahlzeiten mehr eingenommen werden dürfen und es war auch kein Hinweis zu finden, der die Probanden und Probandinnen dazu anhielt, nach einer abgeschlossenen Interventionseinheit Proteine zuzuführen.

Walker et al. (2010) kamen in einer achtwöchigen Studie zu dem Ergebnis, dass durch die Einnahme von 19,7g „Whey-Protein“ und 6,2g Leucine die Bankdrückleistung im Gegensatz zu einer zweiten Gruppe, die ein äquivalentes Placebo Pulver zu sich nahm, signifikant anstieg. Die Gesamtmasse, die fettfreie Masse und die Magermasse zeigten zusätzlich eine signifikante Zunahme in der proteinzuführenden Gruppe. Weiters fügten die Autoren der eben erwähnten Studie an, dass die Muskelproteinsynthese durch den Typ, die Menge und den Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme beeinflusst wird. Dabei verstärken schnell verdauliche Proteinquellen, im Gegensatz zu langsam verdaulichen, die synthetische Reaktion. Roberts et al. (2017) fanden heraus, dass eine moderate Einnahme von $1,8\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ für trainierte Menschen ausreichend sein sollte. Allerdings wurden dabei nur Kurzzeiteffekte betrachtet, was zu dem Schluss führt, eine Langzeitstudie zu dem Thema anzustreben, stellten Roberts et al. (2017) fest. Fehlende Informationen über eine geregelte Nahrungszufuhr, besonders über eine kontinuierliche Proteinsupplementation, müssen im Zuge dieser Arbeit

angesprochen werden, da ein Training zum Aufbau von Muskelmasse, wie allgemein bekannt sein sollte, nicht allein nur durch den Trainingsreiz begünstigt wird, sondern ebenso mit der Ernährung und weiteren Faktoren wie einer angepassten Regeneration verbunden ist.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde noch kein Augenmerk auf die Gefahren gelegt, die ein BFR Training mit sich bringen kann. Die Studien, die für diese Abhandlung ausgewählt wurden, behandelten zur Gänze Personen, die in einem guten Allgemeinzustand waren und keine kardiovaskulären- oder koronaren Erkrankungen hatten. In mehreren Studien wurde kritisiert, dass ein BFR Training zumeist von motivierten Sportlern und Sportlerinnen durchgeführt wird und bei den experimentellen Erhebungen Personen absprangen, die BFR Gruppen zugeteilt waren.

Bunevicius et al. (2016) führten eine Studie durch, die es sich zur Aufgabe machte, die Effekte eines BFR Trainings auf das kardiovaskuläre System zu erforschen. In diesem Zusammenhang spielt der „Arterial blood pressure“ (ABP) eine große Rolle. Dieser wurde im Zuge der Studie, jeweils vor und nach einem Satz gemessen. Es zeigte sich, dass die Versuchsgruppe höhere Veränderungen des ABPs zu verzeichnen hatte, was mit einer Verbesserung der Elastizität der Gefäßwände einherging. Die Gefäßwandelastizität ist, was in diesem Kontext erwähnt werden muss, mitunter einer der Hauptfaktoren, die zu einer Beeinflussung des arteriellen diastolischen Blutdrucks führt (Bunevicius et al., 2016). Diese Erkenntnis wird durch die Studie von Fahs et al. (2011) gestützt. Darüber hinaus stellte Heitkamp in einer von ihm durchgeführten Untersuchung im Jahre 2015 fest, dass keine Manifestationen einer Thrombose, während eines Okklusionstrainings, beobachtet werden konnten. Diese Aussage wird von Tennent et al. (2017) untermauert, die im Zuge einer durchgeführten Studie zu einem BFR Training nach einer Kniearthroskopie, keine Erhöhung eines Thromboserisikos feststellen konnten und diese Trainingsmethode nach eben genanntem Eingriff, nach Beendigung der experimentellen Untersuchung, ergebnisgestützt weiterempfehlen können.

Neben den bereits erwähnten Beobachtungen, konnte im Zuge der Trainingsinterventionen, die mit einer Okklusion durchgeführt wurden, keine signifikante Wirkung auf die Funktion der Herzkranzgefäße ausgemacht werden (Bunevicius et al., 2016). Zusammenfassend verweisen Bunevicius et al. (2016) auf ein Okklusionstraining, welches als Gesundheitstraining und für Rehabilitationszwecke eingesetzt werden könnte. In diesem Kontext erwähnen sie, dass ein Okklusionstraining mit einer geringen Trainingsintensität Veränderungen im Muskelgewebe bewirkt, die einem HI Training nahekommt. Ebenso merkten sie an, dass das Herz-Kreislauf-System während eines BFR Trainings keine höhere Überbelastung aufweist

und damit keinen Risikofaktor für Patienten mit Herzbeschwerden und sportlich inaktive Personen darstellt. Aus den genannten Gründen, gehen die Autoren der Studie davon aus, dass die Art des Trainings als sicher angesehen werden kann (Bunevicius et al., 2016).

Nakajima et al. (2006) widmeten sich in einer nationalen Umfrage der Anwendung und Sicherheit eines KAATSU Trainings. Von 198 ausgesendeten Fragebögen, die an verschiedene Institute gesendet wurden, kamen 105 (55%) Antworten zurück. Das Resultat der Studie zeigt eine Auflistung von Nebenwirkungen, die im Laufe eines BFR Trainings entstanden sind. Am häufigsten trat eine subkutane Blutung (13,1%) auf. Weitere Nebenwirkungen (Tabata, Suzuki, Azuma, & Matsumoto, 2016) wie Taubheit (1,297%), Hirnanämie (0,277%), Kältegefühl (0,127%), Venenthrombus (0,055%), Lungenembolie (0,008%), Rhabdomyolyse (0,008%) sowie eine Verschlechterung einer ischämischen Herzkrankheit (0,016%) wurden, wie die Zahlen darlegen, sehr selten angegeben (Nakajima et al., 2006). Tabata et al. (2016) fanden lediglich einen Fall von Rhabdomyolyse, der nach einem BFR Training auftrat. Dabei handelt es sich um ein komplexes Krankheitsbild, bei dem sich beschädigte oder verletzte Skelettmuskel schnell auflösen, wobei damit ein erhöhter Plasma Wert (10 Mal höher als die Obergrenze des Normalzustandes) einhergeht. Zusätzlich können akutes Nierenversagen, Hyperkaliämie und ein Kompartmentsyndrom als lebensgefährliche Komplikationen auftreten (Tabata et al., 2016). Obwohl Tabata et al. (2016) berichten, dass in diesem Fall kein spezifiziertes Protokoll vorhanden war, dürften das Training und der Okklusionsdruck, für den untrainierten 30jährigen Mann, nicht adäquat gewesen sein und womöglich zur Auflösung der quergestreiften Muskelfasern geführt haben.

Jedoch muss angemerkt werden, dass im Zuge der Trainingsinterventionen der zehn Studien, die im Fokus dieser wissenschaftlichen Abhandlung stehen, keine Testperson aufgrund medizinischer Notfälle das Training abbrechen musste, sondern nur über Unbehagen bei der Durchführung einer BFR Trainingsintervention geklagt wurde. Alle zehn Untersuchungen wurden von geschultem Personal professionell betreut. Besonders für das Okklusionstraining gab es zumeist eine Einschulung und Gewöhnungseinheit, um sich mit der besonderen Trainingsmethode vertraut zu machen und einen reibungslosen Ablauf in den Interventions-einheiten zu gewährleisten.

5 Fazit

Die Studien, auf welchen diese Arbeit aufgebaut ist, wurden im vorherigen Kapitel ausführlich unter die Lupe genommen und diskutiert. Nun gilt es anhand der gewonnenen Erkenntnisse auf die Forschungsfragen einzugehen und diese zu beantworten.

Die Diskussion vermittelt ein klares Bild bezüglich der Vergleichbarkeit der zehn Studien, die zur Beantwortung der Fragestellung dienen. Der unterschiedliche Aufbau der Untersuchungen, macht es schier unmöglich, einen Vergleich zwischen den Studien anzustellen. Auffallend ist, dass selbst die Untersuchungen, die von Yasuda geführt wurden, unter anderem eine unterschiedliche Dauer, unterschiedlich viele Probanden und Probandinnen, unterschiedliche Okklusionsdrücke und eine unterschiedliche Altersstruktur aufwiesen. Somit wird verdeutlicht, dass die Ergebnisse der Studien gewisse Tendenzen erahnen lassen, aber eine Nebeneinanderstellung keinen wirklichen statistischen Mehrwert hat, da zu große Differenzen zwischen den durchgeführten experimentellen Untersuchungen herrschen.

Bezüglich der Frage ob ein BFR- oder klassisches Hypertrophietraining einen größeren Muskelquerschnitt erzeugen kann und welche Unterschiede bei einer exzentrisch und konzentrischen Übungsausführung entstehen können, muss differenziert geantwortet werden. Wie die Übersichtstabelle in Kapitel 3.3 übersichtlich darstellt, gibt es nur eine Studie von Hill et al., die sich separat mit einem exzentrischen und konzentrischen BFR Training auseinandersetzt. Diese zeigt jedoch deutlich, dass die MTH und Peak torque Zuwächse in der exzentrischen Trainingsgruppe signifikant höher waren. Die verbliebenen Studien, gaben zum Teil Vorgaben, wie lange die exzentrische und konzentrische Phase im Verlauf des Trainings dauern sollte. Dabei waren die Angaben für die zwei Kontraktionsphasen, immer mit der gleichen Durchführungsdauer bedacht. Somit kann gesagt werden, dass die exzentrische Übungsausführung bei einem BFR Training größere Zuwächse bezüglich der MTH und CSA erzielen kann, was - wie in der Diskussion erwähnt - miteinander korreliert. Diese Aussage kann leider nur durch die Erkenntnisse der Studie von Hill et al. und nicht durch die verbleibenden Untersuchungen gestützt werden.

Die Studien verdeutlichen, auch wenn einige der Untersuchungen mit unterschiedlichen Interventionsgruppen arbeiteten, dass ein klassisches Hypertrophietraining größere Muskelquerschnittszuwächse hervorruft als ein Okklusionstraining. Lediglich die Studie von Kim konnte ein anderes Bild aufzeigen, wobei diese Untersuchung an älteren Personen durchgeführt wurde und die Unterschiede nur minimal sind. Fakt ist auch, dass ein BFR Training im

Gegensatz zu einem LLRT Training mit denselben Intensitäten höhere Muskelquerschnittszuwächse erzielt. Jedoch muss festgehalten werden, dass bezüglich der CSA und MTH Werte die HI und BFR Gruppen sehr ähnliche Ergebnisse erzielten. Bei der Ermittlung der 1RM, maximalen Drehmomente und MVC Messungen ergab sich ein verändertes Bild, da hier - zumeist in den HI Gruppen - deutlich größere Kraftzuwächse ermittelt wurden.

Mit Fokus auf die zweite Fragestellung, welche Vorteile ein BFR Training für ältere Menschen hat, kann betont werden, dass ein Okklusionstraining für Menschen mit gehobenerem Alter zweckdienlich sein kann und unter bestimmten Umständen auch fokussiert werden sollte, wenn zum Beispiel ein klassisches Hypertrophietraining, wie in der Diskussion erwähnt, nicht möglich ist. Bereits mehrere Studien haben herausgefunden, dass zum Beispiel kein erhöhtes Thromboserisiko, keine wesentlichen Wirkungen auf die Funktion der Herzkranzgefäße beziehungsweise keine Überbelastung des Herz-Kreislauf-Systems durch ein BFR Training zu Tage kamen. Demgegenüber konnten Kraft- und Muskelzuwächse ohne hohe mechanische Belastung erzielt werden, die mit einer Verbesserung der Funktionsfähigkeit und Mobilität assoziiert werden. Ein ebenso positiver Aspekt des Okklusionstrainings ist die Erkenntnis, dass der Knochenstoffwechsel begünstigend beeinflusst wird und sogar als Behandlungsmethode für Osteoporose angewandt werden kann. Inwieweit sich ein BFR Training im Alter positiv auf die Lebensqualität auswirken kann, muss jedoch vorsichtig beantwortet werden, da wie so oft in der Forschung, Studien mit widersprüchlichen Ergebnissen existieren und folglich keine eindeutige Position in eine Richtung bezogen werden kann. Generell kann festgemacht werden, dass ein BFR Training unter professioneller Beaufsichtigung beziehungsweise unter gewissenhafter Anwendung, positive Aspekte nicht nur für rehabilitative Zwecke, die inzwischen schon zur Genüge diskutiert wurden, sondern auch für ältere Menschen mit sich bringen kann.

Nochmals gilt es anzumerken, dass die Studien, die in dieser Abhandlung verwendet wurden, stets mit gesunden Probanden arbeiteten und von vorneherein Menschen mit gesundheitlichen Problemen ausschlossen. Dahingehend wäre als Ausblick eine genauere Auseinandersetzung mit Risikogruppen, besonders mit welchen die an Herz- und Gefäßerkrankungen leiden, sehr interessant, da auch jüngere Studien weitere Forschungen zu diesem Thema empfehlen und keine gesicherte Stellungnahme abgeben wollen.

Rekapitulierend kann gesagt werden, dass differenziert auf die Forschungsfragen eingegangen wurde und diese ebenso beantwortet werden konnten. Der angestrebte Vergleich der Studien stellte sich sehr schwierig dar, da durch die unterschiedlichen Studiendesigns eine

Gegenüberstellung kein leichtes Unterfangen war und nur sehr allgemeine Aussagen zulässig sind. Jede Studie für sich zeigte jedoch ein klares Bild. Auf der einen Seite ist ein BFR Training für ältere Menschen, die durch Funktionseinschränkungen gezeichnet sind, sinnvoll, auf der anderen Seite kann ein Okklusionstraining keinen Ersatz für ein Training mit hohen Lasten hinsichtlich des Muskelzuwachses beziehungsweise der Erhöhung des Muskelquerschnittes bieten. Es offeriert aber die Möglichkeit, neue und schonendere Reize für die Skelettmuskulatur im Training zu setzen, was mitunter im Leistungssport auch in Zukunft eine noch größere Rolle spielen kann.

Literaturverzeichnis

- Aagaard, P., Suetta, C., Caserotti, P., Magnusson, S. P., & Kjaer, M. (2010). Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scand J Med Sci Sports*, 20(1), 49-64. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.01084.x
- Abe, T., Kearns, C. F., & Sato, Y. (2006). Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol* (1985), 100(5), 1460-1466. doi:10.1152/japplphysiol.01267.2005
- American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. (2009). *Med Sci Sports Exerc*, 41(3), 687-708. doi:10.1249/MSS.0b013e3181915670
- Ansdell, P., Thomas, K., Howatson, G., Hunter, S., & Goodall, S. (2017). Contraction intensity and sex differences in knee-extensor fatigability. *J Electromyogr Kinesiol*, 37, 68-74. doi:10.1016/j.jelekin.2017.09.003
- Bachl, N., Löllgen, H., Tschan, H., Wackerhage, H., & Wessner, B. (2018). *Molekulare Sport- und Leistungsphysiologie : molekulare, zellbiologische und genetische Aspekte der körperlichen Leistungsfähigkeit* (B. Wessner Ed.): Wien : Springer.
- Badtke, G. (1999). Lehrbuch der Sportmedizin. 4. überarbeitete Auflage. In: JA Barth Verlag, Leipzig/Heidelberg. S.
- Beardsley, C. (2019). Hypertrophy Muscle fiber growth caused by mechanical tension. *Strength and Conditioning Journal*.
- Bennett, H., & Slattery, F. (2019). Effects of Blood Flow Restriction Training on Aerobic Capacity and Performance: A Systematic Review. *J Strength Cond Res*, 33(2), 572-583. doi:10.1519/jsc.0000000000002963
- Bhasin, S., Woodhouse, L., & Storer, T. W. (2001). Proof of the effect of testosterone on skeletal muscle. *J Endocrinol*, 170(1), 27-38.
- Bittar, S. T., Pfeiffer, P. S., Santos, H. H., & Cirilo-Sousa, M. S. (2018). Effects of blood flow restriction exercises on bone metabolism: a systematic review. *Clin Physiol Funct Imaging*. doi:10.1111/cpf.12512
- Buford, T. W., Fillingim, R. B., Manini, T. M., Sibille, K. T., Vincent, K. R., & Wu, S. S. (2015). Kaatsu training to enhance physical function of older adults with knee osteoarthritis: Design of a randomized controlled trial. *Contemp Clin Trials*, 43, 217-222. doi:10.1016/j.cct.2015.06.016

- Bunevicius, K., Sujeta, A., Poderiene, K., Zachariene, B., Silinskas, V., Minkevicius, R., & Poderys, J. (2016). Cardiovascular response to bouts of exercise with blood flow restriction. *J Phys Ther Sci*, 28(12), 3288-3292. doi:10.1589/jpts.28.3288
- CEBP. (2019). PEDro Skala. Zugriff am 27.05.2019 unter <http://www.pedro.org.au/german/downloads/pedro-scale/>
- Centner, C., Zdzieblik, D., Dressler, P., Fink, B., Gollhofer, A., & Konig, D. (2018). Acute effects of blood flow restriction on exercise-induced free radical production in young and healthy subjects. *Free Radic Res*, 52(4), 446-454. doi:10.1080/10715762.2018.1440293
- Colomer-Poveda, D., Romero-Arenas, S., Vera-Ibanez, A., Vinuela-Garcia, M., & Marquez, G. (2017). Effects of 4 weeks of low-load unilateral resistance training, with and without blood flow restriction, on strength, thickness, V wave, and H reflex of the soleus muscle in men. *Eur J Appl Physiol*, 117(7), 1339-1347. doi:10.1007/s00421-017-3622-0
- COOK, S. B., CLARK, B. C., & PLOUTZ-SNYDER, L. L. (2007). Effects of Exercise Load and Blood-Flow Restriction on Skeletal Muscle Function. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(10), 1708-1713. doi:10.1249/mss.0b013e31812383d6
- Cook, S. B., LaRoche, D. P., Villa, M. R., Barile, H., & Manini, T. M. (2017). Blood flow restricted resistance training in older adults at risk of mobility limitations. *Exp Gerontol*, 99, 138-145. doi:10.1016/j.exger.2017.10.004
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyere, O., Cederholm, T., . . . Zamboni, M. (2019). Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*, 48(1), 16-31. doi:10.1093/ageing/afy169
- Davies, R. W., Carson, B. P., & Jakeman, P. M. (2018). Sex Differences in the Temporal Recovery of Neuromuscular Function Following Resistance Training in Resistance Trained Men and Women 18 to 35 Years. *Front Physiol*, 9, 1480. doi:10.3389/fphys.2018.01480
- Diemer, F. (2015). Krafttraining mit abgebundener Extremität – Okklusionstraining. *physiopraxis*, 2015, Vol.13(07/08), pp.36-39, 36.
- English, K. L., & Paddon-Jones, D. (2010). Protecting muscle mass and function in older adults during bed rest. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 13(1), 34-39. doi:10.1097/MCO.0b013e328333aa66
- Fahs, C. A., Rossow, L. M., Seo, D. I., Loenneke, J. P., Sherk, V. D., Kim, E., . . . Bemben, M. G. (2011). Effect of different types of resistance exercise on arterial compliance and calf blood flow. *Eur J Appl Physiol*, 111(12), 2969-2975. doi:10.1007/s00421-011-1927-y

- Feigenspan, A. (2017). *Prinzipien der Physiologie : Grundlegende Mechanismen und evolutionäre Strategien*: Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg : Imprint: Springer Spektrum.
- Franchi, M. V., Longo, S., Mallinson, J., Quinlan, J. I., Taylor, T., Greenhaff, P. L., & Narici, M. V. (2018). Muscle thickness correlates to muscle cross-sectional area in the assessment of strength training-induced hypertrophy. *Scand J Med Sci Sports*, 28(3), 846-853. doi:10.1111/sms.12961
- Fritsche, O. (2015). *Biologie für Einsteiger: Prinzipien des Lebens verstehen* (2., neu bearb. Aufl. 2016 ed.): Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev*, 81(4), 1725-1789. doi:10.1152/physrev.2001.81.4.1725
- Güllich, A., & Krüger, M. (2013). *Sport: das Lehrbuch für das Sportstudium*: Springer-Verlag.
- Haraldstad, K., Rohde, G., Stea, T. H., Lohne-Seiler, H., Hetlelid, K., Paulsen, G., & Berntsen, S. (2017). Changes in health-related quality of life in elderly men after 12 weeks of strength training. *European review of aging and physical activity : official journal of the European Group for Research into Elderly and Physical Activity*, 14, 8-8. doi:10.1186/s11556-017-0177-3
- Heiduk, R., & Preuß, P. (Eds.). (2007). *Optimales Trainingsvolumen im Krafttraining : Geringes vs. hohes Volumen auf Muskelhypertrophie und Maximalkraft*. München: GRIN Verlag.
- Hill, E. C., Housh, T. J., Keller, J. L., Smith, C. M., Schmidt, R. J., & Johnson, G. O. (2018). Early phase adaptations in muscle strength and hypertrophy as a result of low-intensity blood flow restriction resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 118(9), 1831-1843. doi:10.1007/s00421-018-3918-8
- Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter, M. (2010). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (5., unveränd. Aufl. ed.): Wiebelsheim : Limpert.
- Hottenrott, K., & Neumann, G. (2016). *Trainingswissenschaft : ein Lehrbuch in 14 Lektionen* (3., überarbeitete Auflage ed.). Aachen ; Hängendorf ; Wien [u.a.]: Meyer & Meyer Verlag.
- Hunter, S. K. (2014). Sex differences in human fatigability: mechanisms and insight to physiological responses. *Acta Physiol (Oxf)*, 210(4), 768-789. doi:10.1111/apha.12234
- Hwang, P., & Willoughby, D. S. (2017). Mechanisms Behind Blood Flow Restricted Training and its Effect Towards Muscle Growth. *J Strength Cond Res*. doi:10.1519/jsc.0000000000002384

- Janse de Jonge, X. A. (2003). Effects of the menstrual cycle on exercise performance. *Sports Med*, 33(11), 833-851. doi:10.2165/00007256-200333110-00004
- Janse, D. E. J. X. A., Thompson, M. W., Chuter, V. H., Silk, L. N., & Thom, J. M. (2012). Exercise performance over the menstrual cycle in temperate and hot, humid conditions. *Med Sci Sports Exerc*, 44(11), 2190-2198. doi:10.1249/MSS.0b013e3182656f13
- Janssen, I., Heymsfield, S. B., & Ross, R. (2002). Low Relative Skeletal Muscle Mass (Sarcopenia) in Older Persons Is Associated with Functional Impairment and Physical Disability. *J Am Geriatr Soc*, 50(5), 889-896. doi:doi:10.1046/j.1532-5415.2002.50216.x
- Kadi, F. (2008). Cellular and molecular mechanisms responsible for the action of testosterone on human skeletal muscle. A basis for illegal performance enhancement. *Br J Pharmacol*, 154(3), 522-528. doi:10.1038/bjp.2008.118
- Kanning, K. C., Kaplan, A., & Henderson, C. E. (2010). Motor neuron diversity in development and disease. *Annu Rev Neurosci*, 33, 409-440. doi:10.1146/annurev.neuro.051508.135722
- Kim, J., Lang, J. A., Pilania, N., & Franke, W. D. (2017). Effects of blood flow restricted exercise training on muscular strength and blood flow in older adults. *Exp Gerontol*, 99, 127-132. doi:10.1016/j.exger.2017.09.016
- Lamprecht, M., Stamm, H., & Fischer, A. (2015). Sport Schweiz 2014. *Bundesamt für Sport BASPO*.
- Loenneke, J. P., Abe, T., Wilson, J. M., Ugrinowitsch, C., & Bembien, M. G. (2012). Blood flow restriction: how does it work? *Front Physiol*, 3, 392-392. doi:10.3389/fphys.2012.00392
- Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., & Bembien, M. G. (2012). The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Med Hypotheses*, 78(1), 151-154. doi:10.1016/j.mehy.2011.10.014
- Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Sherk, V. D., Thiebaud, R. S., Abe, T., . . . Bembien, M. G. (2012). Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol*, 112(8), 2903-2912. doi:10.1007/s00421-011-2266-8
- Loenneke, J. P., Kim, D., Fahs, C. A., Thiebaud, R. S., Abe, T., Larson, R. D., . . . Bembien, M. G. (2017). The influence of exercise load with and without different levels of blood flow restriction on acute changes in muscle thickness and lactate. *Clin Physiol Funct Imaging*, 37(6), 734-740. doi:10.1111/cpf.12367

- Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., & Bemben, M. G. (2013a). Blood flow restriction does not result in prolonged decrements in torque. *Eur J Appl Physiol*, 113(4), 923-931. doi:10.1007/s00421-012-2502-x
- Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., & Bemben, M. G. (2013b). Effect of cuff type on arterial occlusion. *Clin Physiol Funct Imaging*, 33(4), 325-327. doi:10.1111/cpf.12035
- Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Marin, P. J., Zourdos, M. C., & Bemben, M. G. (2012). Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol*, 112(5), 1849-1859. doi:10.1007/s00421-011-2167-x
- Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Wilson, G. J., Pujol, T. J., & Bemben, M. G. (2011). Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scand J Med Sci Sports*, 21(4), 510-518. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01290.x
- Manini, T. M., Visser, M., Won-Park, S., Patel, K. V., Strotmeyer, E. S., Chen, H., . . . Harris, T. B. (2007). Knee extension strength cutpoints for maintaining mobility. *J Am Geriatr Soc*, 55(3), 451-457. doi:10.1111/j.1532-5415.2007.01087.x
- Marées, H. d. (2003). *Sportphysiologie* (Korr. Nachdr. der 9., vollst. überarb. und erw. Aufl. ed.): Köln : Sportverl. Strauß.
- Martin-Hernandez, J., Marin, P. J., Menendez, H., Ferrero, C., Loenneke, J. P., & Herrero, A. J. (2013). Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training. *Scand J Med Sci Sports*, 23(2), e114-120. doi:10.1111/sms.12036
- McGrath, J. A., O'Malley, M., & Hendrix, T. J. (2011). Group exercise mode and health-related quality of life among healthy adults. *J Adv Nurs*, 67(3), 491-500. doi:10.1111/j.1365-2648.2010.05456.x
- Miller, J. (2015). *Roll dich fit: Muskel- und Faszienmassage für Schmerzfreiheit, Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden*. München: Riva.
- Müller-Wohlfahrt, H.-W., Ueblicher, P., Hänsel, L., & Betthäuser, A. (2014). *Muskelverletzungen im Sport* (2. vollst. überarb. u. erw. Aufl. ed.): Stuttgart [u.a.] : Thieme.
- Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., . . . Nagata, T. (2006). *Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey* (Vol. 2).
- Nielsen, J. L., Aagaard, P., Prokhorova, T. A., Nygaard, T., Bech, R. D., Suetta, C., & Frandsen, U. (2017). Blood flow restricted training leads to myocellular macrophage infiltration and upregulation of heat shock proteins, but no apparent muscle damage. *J Physiol*, 595(14), 4857-4873. doi:10.1113/jp273907

- Paterson, D. H., Jones, G. R., & Rice, C. L. (2007). Ageing and physical activity: evidence to develop exercise recommendations for older adults. *Can J Public Health*, 98 Suppl 2, S69-108.
- Patterson, S. D., & Ferguson, R. A. (2010). Increase in calf post-occlusive blood flow and strength following short-term resistance exercise training with blood flow restriction in young women. *Eur J Appl Physiol*, 108(5), 1025-1033. doi:10.1007/s00421-009-1309-x
- Pearson, S. J., & Hussain, S. R. (2015). A Review on the Mechanisms of Blood-Flow Restriction Resistance Training-Induced Muscle Hypertrophy. *Sports Medicine*, 45(2), 187-200. doi:10.1007/s40279-014-0264-9
- Peeters, M. W., Thomis, M. A., Beunen, G. P., & Malina, R. M. (2009). Genetics and sports: an overview of the pre-molecular biology era. *Med Sport Sci*, 54, 28-42. doi:10.1159/000235695
- Physio-Akademie. (2019). Evidenzdatenbank PEDro. Zugriff am 27.05.2019 unter <https://www.physio-akademie.de/forschung-wissenschaft/evidenzdatenbank-pedro/>
- Pierce, J. R., Clark, B. C., Ploutz-Snyder, L. L., & Kanaley, J. A. (2006). Growth hormone and muscle function responses to skeletal muscle ischemia. *J Appl Physiol* (1985), 101(6), 1588-1595. doi:10.1152/japplphysiol.00585.2006
- Richter, K., Greiff, C., & Weidemann-Wendt, N. (2016). *Der ältere Mensch in der Physiotherapie*: Springer Berlin Heidelberg.
- Roberts, J., Zinchenko, A., Suckling, C., Smith, L., Johnstone, J., & Henselmans, M. (2017). The short-term effect of high versus moderate protein intake on recovery after strength training in resistance-trained individuals. *J Int Soc Sports Nutr*, 14, 44. doi:10.1186/s12970-017-0201-z
- Schoenfeld, B. J. (2013). Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med*, 43(3), 179-194. doi:10.1007/s40279-013-0017-1
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2016). Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 46(11), 1689-1697. doi:10.1007/s40279-016-0543-8
- Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2015). Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med*, 45(3), 313-325. doi:10.1007/s40279-014-0288-1
- Slomka, G. (2015). *Faszien in Bewegung : Bedeutung der Faszien in Training und Alltagszahlreiche Übungen für Fitness-, Gesundheits- und Leistungssport*[trainieren

Sie das Bindegewebnetzwerk Ihres Körpers] (4. Aufl.. ed.): Aachen : Meyer & Meyer.

Slysz, J., Stultz, J., & Burr, J. F. (2016). The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *J Sci Med Sport*, 19(8), 669-675. doi:10.1016/j.jsams.2015.09.005

Statista. (2019a). Altersstruktur in Österreich bis 2019. Zugriff am 04.06.2019 unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/217431/umfrage/altersstruktur-in-oesterreich/>

Statista. (2019b). Prognose zur Altersstruktur in Österreich bis 2100. Zugriff am 04.06.2019 unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/688475/umfrage/prognose-zur-altersstruktur-in-oesterreich/>

Sugiarto, D., Andriati, Laswati, H., & Kimura, H. (2017). Comparison of the increase of both muscle strength and hypertrophy of biceps brachii muscle in strengthening exercise with low-intensity resistance training with and without the application of blood flow restriction and high-intensity resistance training. *Bali Medical Journal*, 6(2), 255-261. doi:10.15562/bmj.v6i1.496

Sunderland, C., & Nevill, M. (2003). Effect of the menstrual cycle on performance of intermittent, high-intensity shuttle running in a hot environment. *Eur J Appl Physiol*, 88(4-5), 345-352. doi:10.1007/s00421-002-0722-1

Tabata, S., Suzuki, Y., Azuma, K., & Matsumoto, H. (2016). Rhabdomyolysis After Performing Blood Flow Restriction Training: A Case Report. *J Strength Cond Res*, 30(7), 2064-2068. doi:10.1519/jsc.0000000000001295

Takarada, Y., Takazawa, H., Sato, Y., Takebayashi, S., Tanaka, Y., & Ishii, N. (2000). Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol* (1985), 88(6), 2097-2106. doi:10.1152/jappl.2000.88.6.2097

Tennent, D. J., Hylden, C. M., Johnson, A. E., Burns, T. C., Wilken, J. M., & Owens, J. G. (2017). Blood Flow Restriction Training After Knee Arthroscopy: A Randomized Controlled Pilot Study. *Clin J Sport Med*, 27(3), 245-252. doi:10.1097/jsm.0000000000000377

Vechin, F. C., Libardi, C. A., Conceicao, M. S., Damas, F. R., Lixandrao, M. E., Berton, R. P., . . . Ugrinowitsch, C. (2015). Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow restriction and high-intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly. *J Strength Cond Res*, 29(4), 1071-1076. doi:10.1519/jsc.0000000000000703

Walker, T. B., Smith, J., Herrera, M., Lebegue, B., Pinchak, A., & Fischer, J. (2010). The influence of 8 weeks of whey-protein and leucine supplementation on physical and cognitive performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 20(5), 409-417.

- Weineck, J. (2010). *Optimales Training : leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (16., durchges. Aufl. ed.); Balingen : Spitta.
- Yamanaka, T., Farley, R. S., & Caputo, J. L. (2012). Occlusion training increases muscular strength in division IA football players. *J Strength Cond Res*, 26(9), 2523-2529. doi:10.1519/JSC.0b013e31823f2b0e
- Yasuda, T., Brechue, W. F., Fujita, T., Shirakawa, J., Sato, Y., & Abe, T. (2009). Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow. *J Sports Sci*, 27(5), 479-489. doi:10.1080/02640410802626567
- Yasuda, T., Fujita, S., Ogasawara, R., Sato, Y., & Abe, T. (2010). Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging*, 30(5), 338-343. doi:10.1111/j.1475-097X.2010.00949.x
- Yasuda, T., Fukumura, K., Fukuda, T., Iida, H., Imuta, H., Sato, Y., . . . Nakajima, T. (2014). Effects of low-intensity, elastic band resistance exercise combined with blood flow restriction on muscle activation. *Scand J Med Sci Sports*, 24(1), 55-61. doi:10.1111/j.1600-0838.2012.01489.x
- Yasuda, T., Fukumura, K., Fukuda, T., Uchida, Y., Iida, H., Meguro, M., . . . Nakajima, T. (2014). Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults. *Scand J Med Sci Sports*, 24(5), 799-806. doi:10.1111/sms.12087
- Yasuda, T., Loenneke, J. P., Ogasawara, R., & Abe, T. (2015). Effects of short-term detraining following blood flow restricted low-intensity training on muscle size and strength. *Clin Physiol Funct Imaging*, 35(1), 71-75. doi:10.1111/cpf.12165
- Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki, M., Ozaki, H., Sato, Y., & Abe, T. (2011). Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *Eur J Appl Physiol*, 111(10), 2525-2533. doi:10.1007/s00421-011-1873-8
- Zaciorskij, V. M., & Kraemer, W. J. (2016). *Krafttraining Praxis und Wissenschaft* (4. Auflage ed.). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Zahner, L., Donath, L., Faude, O., & Bopp, M. (2015). Strength training in the elderly. *Organ der Deutschen Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie In Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*, 21.

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Phasen der adulten Myogenese mit vorherrschenden Faktoren (Bachl, Löllgen, Tschan, Wackerhage, & Wessner, 2018, S. 107)</i>	14
<i>Abbildung 2: Aktin- und Myosinfilamente (Fritsche, 2015, S. 218)</i>	15
<i>Abbildung 3: Die Muskelkontraktion (Fritsche, 2015, S. 218)</i>	15
<i>Abbildung 4: Aufbau der Muskulatur (Güllich & Krüger, 2013, S. 101)</i>	16
<i>Abbildung 5: Kraftentwicklung langsamer und schneller mE (Feigenspan, 2017, S. 511)</i>	22
<i>Abbildung 6: Größenprinzip der Motoneuronenrekrutierung (Zaciorskij & Kraemer, 2016, S. 104)</i>	23
<i>Abbildung 7: Geschwindigkeit der Bildungsrate von ATP durch die Substrate Kreatinphosphat, Glykogen und freie Fettsäuren (Hottenrott & Neumann, 2016, S. 69)</i>	24
<i>Abbildung 8: ATP-Resynthese aus Kreatinphosphat (Güllich & Krüger, 2013, S. 70)</i>	25
<i>Abbildung 9: Anwendungsfelder eines sportlichen Trainings (Hottenrott & Neumann, 2016, S. 12)</i>	28
<i>Abbildung 10: Dimensionen der Kraft sowie ihre Zuordnung zu einzelnen Kraftfähigkeiten (Hottenrott & Neumann, 2016, S. 162)</i>	30
<i>Abbildung 11: Methoden des Krafttrainings zur Ausprägung allgemeiner und spezifischer Kraftfähigkeiten (Hottenrott & Neumann, 2016, S. 170)</i>	34
<i>Abbildung 12: Sarkoplasmatische und myofibrilläre Hypertrophie (Zaciorskij & Kraemer, 2016)</i>	38
<i>Abbildung 13: 1RM Werte für alle Gruppen (Martin-Hernandez et al., 2013, S. 4)</i>	68
<i>Abbildung 14: Prozentuelle Änderungen der Muscle thickness (Martin-Hernandez et al., 2013, S. 4)</i>	68
<i>Abbildung 15: 1RM und MVC Messungen (Yasuda et al., 2011, S. 2529)</i>	81
<i>Abbildung 16: CSA Triceps Brachii und Pectoralis Major Messungen (Yasuda et al., 2011, S. 2529)</i>	81
<i>Abbildung 17: Prozentuelle Unterschiede 1RM (Yasuda, Fukumura, Fukuda, Uchida, et al., 2014, S. 5)</i>	85

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Muskelfaserhaupttypen</i>	17
<i>Tabelle 2: Trainingsplan Muskelhypertrophie und Muskelkraft</i>	41
<i>Tabelle 3: Hypertrophietraining, Methode des submaximalen Krafteinsatzes bis zur Ermüdung</i>	42
<i>Tabelle 4: Mittelwerte / Standardabweichung von MVC und MTH Messungen</i>	57
<i>Tabelle 5: Anthropometrische Eigenschaften der Probanden</i>	64
<i>Tabelle 6: Armumfang vor und nach fünfwöchigem Training</i>	71
<i>Tabelle 7: Vergleich der Erhöhung der maximalen Drehmomente des linken Ellenbogengelenks</i>	72

Eidesstaatliche Erklärung

„Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht (z. B. für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen (z. B. Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.“

Wien, Juni 2019

Matthias Hadatsch