



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Methoden des autoregulativ-gesteuerten Krafttrainings -
Auswirkungen auf Trainingserfolge und
Leistungssteigerung“

verfasst von / submitted by

Julia Jana, Bakk.rer.nat.

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2022 / Vienna 2022

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

UA 066 826

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

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Zusammenfassung

Hintergrund/Ausgangslage: Athlet/innen streben nach Leistungsfortschritten im Trainingsprozess. Um diese zu gewährleisten ist es notwendig, Anpassungen der Trainingsbelastung durchzuführen, also schrittweise Erhöhungen der Trainingsfrequenz, -dauer und -intensität. Trainingsbelastung wird in Trainingszyklen angepasst, entweder um die Ermüdung (fatigue) zu erhöhen oder zu reduzieren, je nachdem, in welcher Trainingsphase sich ein/e Athlet/in befindet. Für ein gezieltes Training sind besonders Messvorgänge zur Steuerung der Trainingsintensität von Vorteil. In dieser Arbeit wird das klassische prozentbasierte Training, autoregulativen Methoden gegenübergestellt.

Zielsetzung: In dieser Masterthese wird der Frage nachgegangen, ob die klassische prozentbasierte Methode der Trainingsintensitätsbestimmung der der Autoregulation unterlegen ist, und welche Vor- und Nachteile die jeweiligen Ansätze mit sich bringen.

Methode: Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde die Methode des systematischen Reviews angewandt. Zum Finden entsprechender Literatur für den Theorieteil, sowie geeignetem Studienmaterial für den Methodikteil, wurden die Datenbanken PubMed und SPORTDiscus herangezogen. Im Theorieteil wurden die unterschiedlichen Konzepte und Methoden der Autoregulation dargestellt. Für den Forschungsteil konnten vier Studien gefunden werden, deren qualitative Bewertung anhand der PEDro-Skala erfolgte.

Ergebnisse: Sowohl prozentbasierte als auch autoregulative Steuerung der Trainingsintensität führen zu Verbesserungen der Maximalkraft. Ansatzweise gibt es vorteilhafte Effekte für autoregulative Methoden im Trainingsprozess mit erfahrenen männlichen krafttrainierenden Personen.

Schlussfolgerung: Autoregulative Trainingssteuerung kann eine gute Alternative zu klassischer Periodisierung bieten. Sie setzt spezielles Know-How voraus. Dadurch ist sie zeitaufwändiger und kostenintensiver. Sie erlaubt jedoch individuelle Trainingssteuerung und führt dadurch zu einer Optimierung des Krafttrainings.

Schlüsselwörter: Periodisierung, Krafttraining, Autoregulation, Rating of Perceived Exertion, Repetitions in Reserve, Velocity-Based Training

Abstract

Background/initial situation: Athletes, male and female, are striving to achieve increased performance in their training processes. In order to guarantee this, it is necessary to implement exercise load in form of a step-by-step increase of training frequency, duration and intensity. Exercise loads are adapted to training cycles, either to increase or reduce fatigue, depending on the training phase of the respective athlete. Specific measuring processes providing control of the training intensity are beneficial for achieving targeted training. This paper aims to discuss traditional percentage-based training versus auto-regulatory methods.

Purpose: This master thesis investigates the question as to whether the traditional percentage-based method of training intensity determination is inferior to that of auto-regulation, and which advantages and disadvantages are contained in the respective methods.

Method: In an attempt to answer the questions posed by research, the systematic review method was applied. The data bases PubMed and SPORTDiscus were consulted in order to find relevant literature for the theoretical section, as well as appropriate study material for the methodology. The theoretical section outlines the different concepts and methods of auto-regulation. For the research section, four studies were found whose qualitative evaluation was carried out by means of the PEDro-scale.

Results: Both percentage-based and auto-regulatory control of training intensity lead to an increase in maximum strength. In certain cases, auto-regulatory methods have shown to be beneficial with experienced male strength training persons.

Conclusion: Auto-regulatory training control can provide a good alternative to classic periodization. It requires specific know-how, which makes it more time consuming and costly. The results, however, are individual and, hence, optimized strength training.

Key words: periodization, strength training, auto-regulation, rating of perceived exertion, repetitions in reserve, velocity-based training

Vorwort

Als Sportwissenschaftlerin, Trainingstherapeutin und leidenschaftliche Kraftsportlerin interessieren mich verschiedene Themen zu Krafttraining sowohl im Breitensport als auch im Bereich der Rehabilitation. Im Leistungssport hatte ich bisher, abgesehen vom Studium der Sportwissenschaft, wenig Berührungspunkte mit spezifischen Trainingsprozessen. Dies ist der Grund für die Auswahl meines Themas der vorliegenden Masterarbeit, nämlich „Methoden des autoregulativ-gesteuerten Krafttrainings und Auswirkungen auf Trainingserfolge und Leistungssteigerung in kritischer Betrachtung – ein systematischer Literaturvergleich“. Zum einen möchte ich dadurch einen vertieften Einblick in das Thema Strukturierung und Herangehensweisen von Krafttraining v.a. bei erfahrenen Athlet/innen erlangen. Zum anderen möchte ich mir für meine weitere berufliche Laufbahn neues Wissen aneignen und dieses in meiner Arbeit als Trainingstherapeutin in verschiedenen Kontexten anwenden können. Die autoregulative Trainingssteuerung ist für mich ein interessantes Tool, um Leistungsoptimierung, Ermüdungsmanagement, sowie auch Körperwahrnehmung und Selbstbestimmung im Trainingsprozess voranzutreiben und möglicherweise auch Überträge auf andere Lebensbereiche zu initiieren.

Ich möchte mich bei Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan für viele lehrreiche Veranstaltungen im Rahmen meines Studiums bedanken. Dadurch ist auch mein Interesse für die vorliegende Arbeit zustande gekommen. Der Rückhalt meiner Familie, besonders meiner Eltern und meines Mannes war in dieser Zeit für mich von großer Bedeutung.

Danke, dass ihr mich bei der Erreichung meiner Ziele unterstützt und immer an mich glaubt!

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	7
2 Theoretische Grundlagen.....	8
2.1 Das General Adaption Syndrome (GAS) als Grundlage für strukturiertes Training.....	8
2.2 Kritik am General Adaption Syndrome.....	10
2.3 Belastungs- und Beanspruchungsnormative.....	11
2.3.1 Monitoring von external und internal load.....	12
2.3.2 Trainingsintensität und Intensitätsbestimmung.....	13
2.3.3 Trainingsvolumen.....	15
2.4 Periodisierung und Programming.....	15
2.4.1 Lineare Periodisierung.....	17
2.4.2 Wellenförmige (nicht-lineare) Periodisierung.....	18
2.4.3 Forschungsstand.....	18
2.5 Autoregulation.....	19
2.5.1 Autoregulatory Progressive Resistance Exercise - APRE.....	20
2.5.2 Rating of Perceived Exertion – RPE.....	22
2.5.3 Repetitions in Reserve - RiR.....	24
2.5.4 Erfahrungslevel und RPE.....	26
2.6 Velocity-Based Training – VBT.....	27
2.6.1 Technisches Equipment.....	27
2.6.2 Geschwindigkeitsvariablen im VBT.....	28
2.6.3 Load-Velocity-Profil und Intensitätssteuerung.....	29
2.6.4 VBT und RPE zur Steuerung von Trainingsvolumen.....	31
3 Methodik.....	34
3.1 Systematischer Review.....	34
3.2 Forschungsfragen.....	35
3.3 Literaturrecherche.....	35
3.4 Auswahl der Primärstudien.....	36
3.4.1 Ein- und Ausschlusskriterien.....	37
3.4.2 Methodische Qualitätsbeurteilung der Studien anhand der PEDro-Skala.....	38
3.5 Darstellung der Primärstudien.....	40
3.5.1 Dorrell, Smith und Gee, 2019.....	40
3.5.1.1 Studiendesign.....	40
3.5.1.2 Studienergebnisse.....	42
3.5.2 Orange, Metcalfe, Robinson, Applegarth und Liefeyth, 2019.....	43
3.5.2.1 Studiendesign.....	43

3.5.2.2 Studienergebnisse.....	44
3.5.3 Helms et al., 2018.....	46
3.5.3.1 Studiendesign	46
3.5.3.2 Studienergebnisse.....	47
3.5.4 Graham und Cleather, 2019.....	49
3.5.4.1 Studiendesign	49
3.5.4.2 Studienergebnisse.....	51
4 Ergebnisse	53
4.1 Probanden.....	54
4.2 Studiendesign.....	55
4.3 Datenerhebung und statistische Auswertung.....	56
4.4 Limitationen der Primärstudien	57
5 Diskussion.....	59
5.1 RPE/RiR und PBT im Vergleich.....	59
5.2 VBT und PBT im Vergleich.....	60
5.3 RPE und VBT im Vergleich.....	61
5.4 Vorteile von Autoregulation im Krafttraining	62
5.4.1 Individuelle Anpassung	62
5.4.2 Feedback und Motivation.....	63
5.4.3 Fatigue Management	64
5.5 Nachteile von Autoregulation im Krafttraining	66
5.5.1 Subjektive Einschätzung und Genauigkeit (RPE)	66
5.5.2 Finanzieller, zeitlicher und technischer Aufwand (VBT)	66
6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	68
7 Limitationen.....	71
8 Ausblick	72
9 Literaturverzeichnis.....	74
10 Abbildungsverzeichnis.....	80
11 Tabellenverzeichnis	81
12 Abkürzungsverzeichnis	82
Eidesstattliche Erklärung	84

1 Einleitung

Das allgemeine Verständnis von Krafttraining (engl. resistance training) ist die Entwicklung körperlicher Fitness und die Steigerung der Leistungsfähigkeit. Dabei werden Ziele, wie die Steigerung von Maximal- und Schnellkraft (engl. strength and power), die Erhöhung von Geschwindigkeiten sowie Hypertrophie oder Verletzungsprophylaxe verfolgt (Shattock & Tee, 2019). Krafttraining erhöht die Anzahl an Motoneuronen, welche aktiviert werden. Dabei entsteht Stress, der spezifische physiologische Vorgänge in den Muskelfasern auslöst. Sowohl akute als auch chronische Veränderungen finden statt (Palumbo et al., 2017).

Die Vorteile von Krafttraining sind abhängig von der ausgeübten Sportart. Bodybuilder haben beispielsweise das primäre Ziel, mehr Muskelmasse aufzubauen (Hypertrophie). Sie haben die Priorität „bigger, stronger and leaner“ zu werden (Palumbo et al., 2017; S. 30). Das Trainingsziel von Powerlifter/innen hingegen ist die Steigerung des One-Repetition-Maximum (1-RM) in drei Disziplinen, nämlich Kniebeugen (engl. back squat), Bankdrücken (engl. bench press) und Kreuzheben (engl. deadlift) (Helms et al., 2017).

Im Krafttraining geht es um die Manipulation von bestimmten Trainingsvariablen zur Erreichung von Adaptionsprozessen. Besonders bedeutend sind dabei die Anzahl an Sätzen und Wiederholungen (Trainingsvolumen) und die relative Last (Trainingsintensität) (Shattock & Tee, 2019; Dorrell et al., 2019). Coaches stellen sich der Aufgabe, diese Variablen in Trainingszyklen optimal zu regulieren mit der Herausforderung, Fluktuationen in der Kraftleistung und der Ermüdung (engl. fatigue) zu berücksichtigen (Moore, 2020). Dies basiert auf dem Konzept der Trainingsperiodisierung. Weiterführend zu der weit verbreiteten und bekanntesten Methode der prozentbasierten Trainingssteuerung (PBT), welche in der vorliegenden Arbeit genauer beschrieben wird, finden heutzutage autoregulative Methoden (AR) immer mehr Einzug in die Trainingswelt. Es soll mehr Fokus auf Individualität gesetzt werden. Inwiefern sich die beiden Ansätze unterscheiden und welche Methode mehr Vor- oder Nachteile haben könnte, ist Thema dieser Forschungsarbeit.

Die vorliegende Arbeit ist systematisch gegliedert. Im Theorieteil werden die Grundlagen der relevanten Themenkomplexe hinsichtlich der Forschungsfragen beschrieben. Kapitel 2 beleuchtet grundlegende Prinzipien von Anpassungsreaktionen im menschlichen Körper anhand des General Adaption Syndroms. In Folge werden die beiden wesentlichen Belastungsparameter im Training, Intensität und Volumen genauer erklärt. Anschließend werden Periodisierungsmodelle im Krafttraining besprochen und Unterschiede herausgestrichen. Danach folgen Ausführungen zum Thema Autoregulation. Es wird ein grundlegendes Verständnis zu RPE (Rating of Perceived Exertion) und VBT (Velocity-Based Training) und deren Anwendung zur Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining gegeben. In Kapitel 3 wird das methodische Vorgehen in der vorliegenden Arbeit genau erläutert. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse präsentiert. Dabei werden die

Probandengruppen, das Studiendesign, die Ergebnisse und die Limitationen der Primärstudien vergleichend gegenübergestellt. In Kapitel 5 werden die Resultate dieser vergleichenden Arbeit einer kritischen Betrachtung unterzogen und hinsichtlich ihrer Relevanz und Auswirkungen auf Trainingsmethoden diskutiert. Die Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Autoregulation im Vergleich zum breit bekannten prozentbasierten Trainingsansatz werden herausgearbeitet. Eine Liste mit Erklärungen bzw. Übersetzungen der verwendeten Abkürzungen findet sich im Abkürzungsverzeichnis in Kapitel 12.

2 Theoretische Grundlagen

Krafttraining hat viele positive Auswirkungen auf Gesundheit, Fitness und sportliche Leistungsfähigkeit des Menschen (Mattocks et al., 2016). Es ist inzwischen ein wesentlicher Bestandteil eines zielorientierten Trainings in unterschiedlichen Sportarten und Disziplinen geworden, und ist deshalb auch vermehrt Forschungsgegenstand in den Trainingswissenschaften und der Sportmedizin. Hinsichtlich der Effektivität verschiedener Trainingsmethoden im Sinne eines Evidence-Based Trainings herrschen jedoch nach wie vor wissenschaftliche Unstimmigkeiten (Fröhlich et al., 2012), bzw. wird die Effektivität verschiedener Periodisierungsmaßnahmen kontrovers diskutiert (Mattocks et al., 2016; Cunanan et al., 2018).

Im Folgenden werden Grundlagen zu Anpassungsprozessen im menschlichen Körper anhand des General Adaption Syndroms erklärt und kritisch beleuchtet.

2.1 Das General Adaption Syndrome (GAS) als Grundlage für strukturiertes Training

Ein fundamentales Konzept als Basis für Trainingsprozesse bzw. Periodisierungsmethoden bietet das sog. General Adaption Syndrome (GAS), deutsch: „Allgemeines Anpassungssyndrom“ (AAS) von Hans Selye. Dieses ist prinzipiell auf alle biologischen Systeme anwendbar und beschreibt den Zyklus von Stress, Widerstand/Anpassung und Erschöpfung (Selye, 1950).

Selye (1950) beschreibt das General Adaption Syndrome als unspezifische und stereotype Antwort eines jeden lebenden Organismus auf die Summe länger anhaltender Stressreize. Es ist dreiphasig und besteht aus einer Alarmreaktion, in der es zu einer Ausschüttung von Stresshormonen wie Adrenalin und Noradrenalin kommt. Diese bewirken eine Erhöhung des Blutdrucks, des Pulses und des Blutzuckerspiegels. Die Cortisol-Ausschüttung beispielsweise bewirkt eine Förderung des Proteinabbaus in den Muskeln, Knochen und dem lymphatischen Gewebe. Durch die Hemmung der Proteinbiosynthese in den lymphatischen Organen wird in

Folge das Immunsystem unterdrückt. Der Körper kommt so in einen Zustand erhöhter Aktivität und Leistungsfähigkeit, der aber nur für kurze Zeit anhält und in die Phase des Widerstandes oder der Anpassung mündet, in welcher eine Gewöhnung an den Stress eintritt. Viele biochemische Antworten aus der Phase der Alarmreaktion (z.B. Stresshormonausschüttung, Gewebeabbau, Hypoglykämie, Veränderung der Blutkonzentration, Schwächung des Immunsystems) verschwinden während der Phase des Widerstandes, und der Organismus wird den Belastungen gegenüber widerstandsfähiger. Der Körper versucht, mit allen Energiereserven wieder zum Normalzustand zu gelangen. Diese Fähigkeit lebender Organismen, sich an Stressreize anzupassen und sich im Sinne einer Widerstandsfähigkeit dementsprechend zu verändern, ist u. a. von genetischen Faktoren abhängig. In der letzten Phase der Erschöpfung funktioniert der Anpassungsmechanismus nicht mehr adäquat und biochemische Veränderungen aus der Phase der Alarmreaktion treten verstärkt wieder auf. Es kann zu ernsthaften gesundheitlichen Langzeitschäden, wie zu Krankheit oder Tod kommen, wenn die Phase der Erschöpfung zu lange anhält (Seyle, 1950).

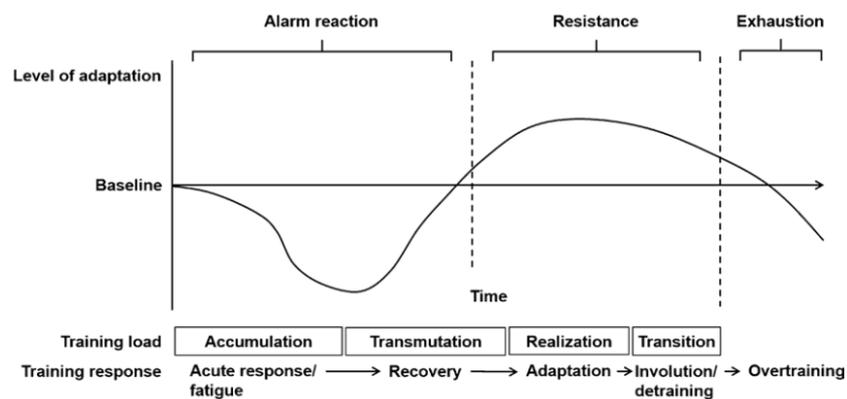


Abb. 1: General Adaption Syndrome (Cunanan et al., 2018)

Cunanan et al. (2018) haben sich in ihrer Literaturarbeit mit der Anwendung und der Effizienz des GAS auf Periodisierung im Training beschäftigt. Die folgende Grafik aus ihrer Studie zeigt drei mögliche Reaktionen auf Trainingsstress anhand der Theorie von Seyle (1950).

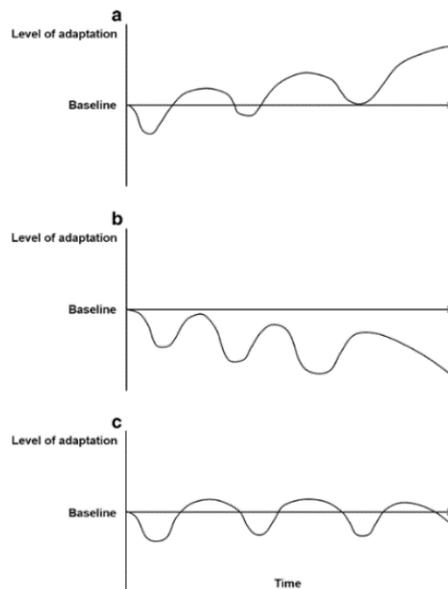


Abb. 2: Mögliche Anpassungsreaktionen auf Trainingsstress (Cunanan et al., 2018)

Grafik a in Abbildung 2 zeigt eine optimale Anpassung und kontinuierliche Verbesserung, d.h. ausreichend Stress sowie Erholung sind gegeben. Grafik b zeigt zu hohe oder zu häufige Belastungsreize oder inadäquate Erholung was die Gefahr für Übertraining und Leistungsabfall erhöht. Grafik c zeigt zu wenig oder zu geringe Belastungsreize, was zu Stagnation oder auch Leistungsverschlechterung führen kann (Cunanan et al., 2018). Ziel im Trainingsprozess ist es die ersten beiden Phasen des GAS mit ausreichendem Trainingsstress, bezogen auf Dauer, Intensität oder Häufigkeit, zu durchlaufen, ohne aber in die dritte Phase der Erschöpfung zu kommen (Rippetoe, 2016). Impellizzeri (2018) spricht davon, dass eine Übung zu akuten Adaptationsprozessen führt, während die systematische Wiederholung von Trainingsreizen chronische Anpassungen herbeiführen. Bricht der Trainingsreiz ab, werden auch Anpassungen rückgängig gemacht und Leistung fällt wieder ab (Impellizzeri, 2018).

2.2 Kritik am General Adaption Syndrome

Abbildung 1 beschreibt ein theoretisches Konzept, welches auch unter dem Terminus „Superkompensation“ bekannt ist. Es wird davon ausgegangen, dass aufgrund von Trainingsbelastung biochemische Substanzen aufgebaut werden, welche in der Phase der Erholung das Ausgangsniveau überschreiten, und so das Phänomen der Superkompensation auslösen. Darauf aufbauend können Trainierende ihr Leistungsniveau verbessern. Um welche biochemischen Substanzen es sich handeln könnte, wurde experimentell nicht nachgewiesen bzw. ist nicht geklärt. Ursprünglich wurde die Dauer und Wiederherstellung der Glykogenspeicher betrachtet. Diese theoretische Annahme kann jedoch in der Praxis nicht

generell dargestellt werden. Aus dem Grund der zu vereinfachten Sichtweise hat dieses Modell zurecht in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung und Popularität verloren (Zatsiorsky & Kraemer, 2016).

Mattocks et al. versuchten 2016 die Anwendbarkeit des GAS auf Trainingsprozesse zu widerlegen. Die Autoren beschreiben Training als einen akuten Stressreiz, was ihrer Meinung nach nur wenige Gemeinsamkeiten mit dem chronischen Stressmodell (GAS) von Seyle (1950) haben würde. Laut Cunanan et al. (2018) wiederum erscheint diese Aussage als nicht haltbar, da Seyle (1950) selbst Training als einen Stressor für sein Modell benennt (Cunanan et al., 2018).

Wie die Bezeichnung „general adaption“ schon sagt, bezieht sich dieses Modell auf unspezifischen Stress und generelle Anpassungen darauf. Trainingsstress muss jedoch spezifisch sein, um gewünschte Ziele zu verfolgen. Das bedeutet, dass für das Ziel des Muskelaufbaus (Hypertrophie) bestimmte Muskelgruppen mit bestimmter Wiederholungsanzahl, Häufigkeit und Intensität trainiert werden müssen. Wenn man im Fußball besser werden möchte, so muss man mehr Fußball spielen. Wenn man viele Klimmzüge schaffen möchte, so muss man Klimmzüge trainieren usw. Seyle benennt beispielsweise Hypertrophie als spezifischen Verteidigungsmechanismus bezogen auf den Stress, den Muskelgruppen durch häufigen Gebrauch erfahren.

Dass eine Störung des biologischen Zustandes eines Organismus (Homöostase aus dem Gleichgewicht bringen) die treibende Kraft für biologische Adaptation ist, kann als fundamentale Aussage des GAS angesehen, und somit in der Theorie auf Trainingsprozesse übertragen werden (Cunanan et al., 2018).

2.3 Belastungs- und Beanspruchungsnormative

Zum grundlegenden Verständnis werden im Folgenden die Begriffe Belastung und Beanspruchung im sportlichen Kontext geklärt.

Belastung (engl. external load) beschreibt die verrichtete physikalische Arbeit von Athlet/innen. Im Krafttraining sind Angaben von Belastung üblicherweise Informationen zu Gewicht oder generierten Geschwindigkeiten (Impellizzeri, 2018). Trainingsprogramme werden anhand von Belastungsnormativen beschrieben, um möglichst effektive Adaptionsmechanismen zu aktivieren. Belastungsnormative sind Intensität, Volumen, Frequenz, Dauer, Übungsauswahl und Trainingsmethode. Die Trainingsbelastung ruft psychophysische Antworten hervor. Diese psychophysische Antwort entspricht der Beanspruchung (engl. internal load), welche beschreibt, wie die Person auf Belastung während des Trainings reagiert (Impellizzeri, 2018; Halson, 2014). Beanspruchung beschreibt somit den physischen bzw. psychischen Stress.

Funktionssysteme wie das Herz-Kreislaufsystem, Atmung, Stoffwechsel, Nervensystem, Muskelsystem usw. reagieren darauf mit bestimmten Anpassungsprozessen. In Abbildung 3 werden die Parameter für Belastung sowie für Beanspruchung grafisch dargestellt.

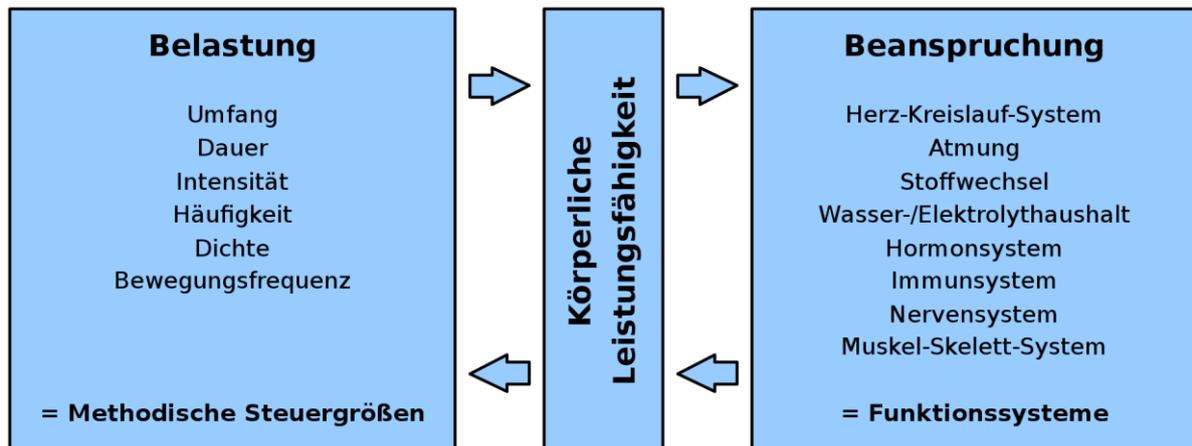


Abb. 3: Belastungs- und Beanspruchungsnormative (Hottenrott & Neumann, 2020)

Meist diskutiert in der Literatur sind relative Intensität (angegeben als % des 1-RM) und das Trainingsvolumen (Sätze x Wiederholungen x Last) hinsichtlich neurophysiologischer Anpassungen (Dorrell et al., 2019; Shattock & Tee, 2019). Auch eine optimale Kombination dieser Variablen wird in der Literatur häufig diskutiert. Aus diesem Grund werden in späteren Kapiteln diese beiden Variablen einer genaueren Betrachtung unterzogen.

2.3.1 Monitoring von external und internal load

Messungen bzw. Aufzeichnungen der Trainingsbelastung bieten eine wissenschaftliche Erklärungsbasis für Veränderungen der sportlichen Leistung. Diese können nicht nur retrospektiv die Beziehung von Belastung und Leistung aufzeigen, sondern auch für die Planung von Trainingsbelastung und für Wettkämpfe herangezogen werden.

Sowohl Belastungs- als auch Beanspruchungsparameter können von außen gemessen werden. Messungen der Beanspruchung zeigen, wie der Körper mit den Anforderungen von außen (der external load) umgeht (Impellizzeri, 2018). Biologische Reaktionen von Organsystemen auf die Belastung können z.B. über die Messung von Herzfrequenz oder Blutlaktatwerten deutlich gemacht werden. Die Validität solcher Indikatoren hängt maßgeblich vom Kontext ab. Die Messung der Herzfrequenz ist beispielsweise eine valide Messung für Ausdauerbelastungen, aber nicht für das Krafttraining (Impellizzeri, 2018). Im Krafttraining sind Indikatoren für external load das Gewicht, das bewegt werden kann, die verrichtete Arbeit, oder die Time under Tension (TuT). Damit ist die Zeit gemeint, in der ein Muskel während einer Übung unter Spannung steht. Als Indikator für die internal load kann die Aufzeichnung der

subjektiv wahrgenommenen Anstrengung herangezogen werden. Laut Impellezzeri (2018) ist diese Messmethode durch eine fehlende direkte Übereinstimmung zwischen external load und internal response limitiert.

Die gleiche externe Belastung wird von verschiedenen Personen unterschiedlich wahrgenommen und führt zu individuellen Anpassungsprozessen. Faktoren, welche diese beeinflussen sind z.B. Persönlichkeitsmerkmale, Trainingsstatus, Ernährung, Umwelteinflüsse und Genetik (Impellizzeri, 2018). Aus diesem Grund ist es in der praktischen Umsetzung schwierig, die interne Beanspruchung, welche explizit von Trainingsreizen herbeigeführt wird, messbar zu machen.

Obwohl es immer besser entwickelte und genauere Messsysteme für Trainingsbelastung am Markt gibt, warnen die Autoren davor, ausschließlich die external load zu messen. Dies macht einen interindividuellen Vergleich, wie Athlet/innen auf Training reagieren, schwierig. Deshalb ist eine zusätzliche Messung bzw. Aufzeichnung von internal load wichtig. Wenn eine Person A und eine Person B ein Trainingsprogramm mit standardisierter external load unter ähnlichen Bedingungen absolvieren, wird bei Person A beispielsweise eine geringere internal load gemessen als bei Person B. Daraus kann man schließen, dass Person A sich in ihrer Fitness/Leistung gesteigert hat. Bei Person B wird eine erhöhte internal load gemessen und dadurch wird angenommen, dass diese Person einen Leistungsabfall erlebt oder fatigue eingetreten ist. Dieses Beispiel soll zeigen, wie individuell Personen auf Training reagieren bzw. mit Trainingsstress umgehen. Zusätzlich wäre es interessant, um welche Art von Ermüdung es sich bei Person B handeln könnte. Bei muskulärer Ermüdung würden die Herzfrequenz und die subjektiv wahrgenommene Anstrengung ansteigen. Bei mentaler Ermüdung würde nur die subjektiv wahrgenommene Anstrengung zunehmen (Impellizzeri, 2018). Auch Halson (2014) betont die Wichtigkeit, internal und external load in Kombination zu messen und nicht getrennt voneinander zu betrachten. Das Auseinanderklaffen von external und internal load (also von Belastung und Beanspruchung) sei für fatigue verantwortlich (Halson, 2014).

2.3.2 Trainingsintensität und Intensitätsbestimmung

Die Trainingsintensität ist die Stärke eines einwirkenden Trainingsreizes und wird im Krafttraining über das Trainingsgewicht definiert.

Die am meisten verbreitete Methode zur Bestimmung von Trainingsintensität innerhalb eines periodisierten Trainingsprogrammes ist die Ermittlung des One-Repetition-Maximums (1-RM) bei einer bestimmten Übung. Ein entsprechender Prozentsatz von diesem zuvor ermittelten 1-RM wird als Trainingsintensität herangezogen, z.B. 60% des 1-RM für 10 Wiederholungen. Die Bestimmung des 1-RM besteht aus einem trial and error Verfahren, wobei der/die Athlet/in

so lange ein immer höheres Gewicht bewegt, bis eine Wiederholung nicht mehr (bei sauberer Technik) ausgeführt werden kann, also Muskelversagen eintritt. Das höchstmögliche überwundene Gewicht wird als individuelles 1-RM festgelegt. Dieses Prozedere wird hauptsächlich bei sog. „main lifts“ wie Bankdrücken (engl. bench press), Kniebeugen (engl. squats) oder Kreuzheben (engl. deadlift) durchgeführt.

Es gibt einige Faktoren, welche diese Methode limitieren können bzw. zu Ungenauigkeiten führen. Zu beachten ist, dass das ermittelte 1-RM zu Beginn eines Trainingszyklus nicht (mehr) mit dem aktuellen 1-RM (z.B. nach einigen Wochen Trainingsreiz) übereinstimmt und somit die weitere Intensitätsbestimmung nicht optimal ist. Der 1-RM-Wert wird durch untypische Leistungserbringung oder durch Fehler des/der Untersuchers/in beeinflusst und limitiert. Beispielsweise wird aufgrund einer schlechteren Tagesverfassung bzw. Ermüdung einer Athletin/ eines Athleten ein geringerer 1RM-Wert ermittelt. Auf diesem Wert wird das weitere Training aufgebaut. Solche fehlerhaften Bestimmungen führen im weiteren Trainingsverlauf nicht zu angemessenen neuromuskulären Trainingsreizen, welche für optimale Anpassung erforderlich sind (Zourdos et al., 2015). Auch ist die Bestimmung des 1-RM relativ zeitaufwändig, nicht gut geeignet für große Gruppen und das Verletzungsrisiko ist bei unerfahrenen Athlet/innen oder bei unsauberer Technik nennenswert.

Athlet/Innen sind täglich natürlichen Schwankungen der neuromuskulären Leistung ausgesetzt. Faktoren, die diese beeinflussen sind beispielsweise Stress, Müdigkeit, Ernährung und Schlaf. Zusammengefasst bedeutet dies, dass ein bestimmtes erreichtes Maximalgewicht nicht immer mit dem tatsächlichen Maximalgewicht an einem bestimmten Trainingstag übereinstimmt. Somit entsteht ein limitierender Faktor für die Intensitätsbestimmung mittels 1-RM (Shattock und Tee, 2019). Auch Helms et al. (2017) unterstützen diese Limitationen. Besonders bei Personen ohne Erfahrung im Krafttraining fluktuiert das Kraftoutput sehr stark von Tag zu Tag. Nach nur wenigen Trainingseinheiten wird sich das 1-RM bei Anfänger/innen sehr schnell ändern aufgrund täglicher Schwankungen der biologischen Bereitschaft und Regeneration. Dabei repräsentiert das 1-RM lediglich einen Tageswert aber nicht das eigentliche 1-RM. Auch Moore (2020) betont die Fehleranfälligkeit der Trainingsintensitätsbeschreibung auf Basis einer 1-RM Testung aufgrund der „day-to-day“ Variationen der Maximalkraft. Diese kann bis zu 18% betragen (Moore, 2020). Aus den genannten Gründen ist laut Literatur ein Trainingsprotokoll, welches tägliche und wöchentliche Intensitätsbestimmungen aufgrund von Athlet/innen-Feedback und aktueller Leistung erfordert, für kontinuierliche Trainingsanpassung sinnvoll (Zourdos et al., 2016; Shattock & Tee, 2019).

Als Alternative zum 1-RM wird auch oft ein RM-Trainingsbereich angegeben, z.B. 3-5 RM (d.h. mit entsprechendem Gewicht können zwischen 3 und 5 Wiederholungen durchgeführt werden,

jedoch nicht mehr oder weniger). Doch auch diese Methode verlangt einen Satz von Wiederholungen bis zur Erschöpfung und unterliegt denselben Limitationen wie eben beschrieben (Guerriero, 2018).

2.3.3 Trainingsvolumen

Das Trainingsvolumen bzw. der Trainingsumfang setzt sich aus den Sätzen x Wiederholungen x bewegtem Gewicht zusammen (Helms, Cross et al, 2017). Es beschreibt die Belastung, die während dem Training auf den Körper wirkt. Pro Trainingseinheit oder Woche kann so das Gesamtvolumen (engl. total volume) einer Muskelgruppe bzw. einer Kraftübung berechnet werden. Werden beispielsweise 5 Wiederholungen Kniebeugen für 5 Sätze mit 50 kg ausgeführt, so beträgt das Gesamtvolumen für die Übung 1250 kg. In der Literatur findet man unterschiedliche Angaben zu Trainingsvolumina. Beispielsweise berechnen Dorrell et al. (2019) in ihrer Studie das Volumen mit Wiederholungen x Sätzen und beziehen das Gewicht nicht mit ein.

Hypertrophietraining ist beispielsweise stark volumenabhängig, wobei Steigerungen in der Kraft stärker von der Intensität abhängig sind (Schoenfeld et al., 2014). Ein hohes Trainingsvolumen (Sätze x Wiederholungen x Gewicht) und eine hohe Intensität (Prozent des 1-RM) korrelieren mit der Maximalleistung (1-RM) (Helms et al., 2017).

2.4 Periodisierung und Programming

Der Begriff der Periodisierung wird verwendet, um ein Zeitkontinuum in definierbare Zeitkomponenten zu zerlegen. Im sportlichen Kontext geht es darum, dass durch eine verbesserte Organisation und Planung eines Trainingsprozesses Athlet/innen an ihre physischen, psychischen sowie technischen Leistungsoptima herangeführt werden (Cunanan et al., 2018). Athlet/innen und Trainer/innen suchen seit jeher Antworten auf die Frage, wie das Training zum Erreichen von sportlichen Zielen am besten zu strukturieren ist. Strukturiertes Training hat seinen Ursprung bereits im alten Griechenland und Rom. Mit zunehmender Bedeutung des Sports in der Gesellschaft und vor allem im Spitzensport mit der Häufung von Wettkämpfen bzw. Saisonhöhepunkten im Anfang des 20. Jahrhunderts hat eine strukturierte Jahresplanung bzw. Langzeitplanung des Trainings einen wichtigen Stellenwert erhalten. Training, sowie trainingsfreie Zeiten müssen geplant werden, um Übertraining und Verletzungen vorzubeugen. Aufgrund der physischen und zyklischen Struktur von Periodisierung kann der doppelten Forderung nach einerseits möglichst hohen Trainingsreizen und andererseits dem Ermüdungsmanagement und bestmöglichen Erholungsstrategien nachgekommen werden (Cunanan et al., 2018).

Herkömmliche Periodisierung (siehe Abbildung 4) beschreibt die Trainingsausrichtung auf einen oder mehrere Saisonhöhepunkte. Sie beschäftigt sich mit den Makrozyklen (3-12 Monate, mehrere Monate oder ein Trainingsjahr) des Trainingsprozesses hinsichtlich unterschiedlicher Zeitabläufe, d.h. es gibt strategisch ausgerichtete aufeinanderfolgende Trainingsphasen wie allgemeine Vorbereitung (accumulation), spezielle Vorbereitung (transmutation), Wettkampfperiode (realization), Übergangsperiode bzw. Saisonpause (active rest). Periodisierung bezieht bei der Einteilung des Trainingsplans spezielle Fitnessparameter wie Ausdauer, Kraftausdauer, Maximalkraft und Schnelligkeit ein. Ein Makrozyklus beinhaltet mehrere Mesozyklen, welche sich über mehrere Wochen bis Monate erstrecken.

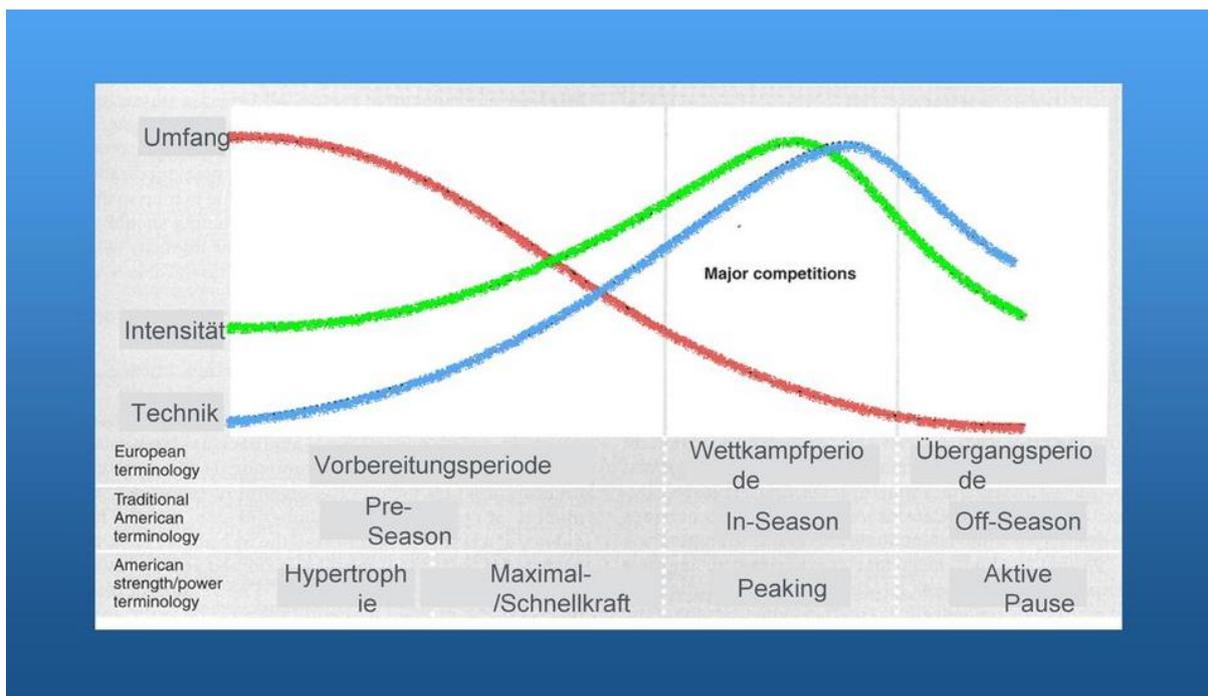


Abb. 4: Klassische Periodisierung nach Matwejew (<https://docplayer.org/11587733-Zur-entwicklung-der-periodisierung-des-trainings.html>, online Zugriff am 23.10.2021)

Periodisierung beschreiben Mann et al. (2010) als „geplante Manipulation von gewissen Schlüsselvariablen im Training“ (Mann et al., 2010, S. 1718; Buford et al., 2007). Als Schlüsselvariablen nennen sie Pausenzeiten, Gesamttrainingsvolumen, Sätze pro Trainingseinheit, Wiederholungen pro Satz, Intensität und Frequenz. Periodisierung ermöglicht eine systematische, fortlaufende und integrative Programmgestaltung im Training mit dem Ziel, durch Maximierung bestimmter physiologischer Adaptionen, Leistungsziele zu erreichen. Am meisten verbreitet sind die Lineare Periodisierung („klassisches Periodisierungsmodell“) und die Nicht-lineare bzw. Wellenförmige Periodisierung (Grgic, 2017; Buford et al., 2007; Mattocks, 2016).

Hartmann et al. (2015) beschreiben Periodisierung als Konzept, um Leistungshöhepunkte (engl. peaking) an einem bestimmten Zeitpunkt zu erreichen und abrufen zu können und dabei Stagnation, Verletzungen und Übertraining zu vermeiden.

Das Programming ist sozusagen die Feinplanung. Dabei wird die Trainingsplanung in Mikrozyklen (üblicherweise 1-3 Wochen) innerhalb der oben beschriebenen Phasen abgestimmt. Es geht um die Auswahl von Trainingsvariablen wie Intensität und Volumen, sowie eine optimale Übungsauswahl, welche die spezifischen Trainingsstimuli setzen, um die gewünschten Adaptionen herbeizuführen. Übermüdung und Übertraining, welches zu Leistungsminderung und erhöhtem Verletzungsrisiko führen kann, soll so vorgebeugt werden (Cunanan et al., 2018). Die kleinste Einteilung der Zyklen ist die Trainingseinheit. Prozentbasiertes Training (PBT) im Sinne von linearer oder wellenförmiger Periodisierung ist demnach eine Form des Programming.

2.4.1 Lineare Periodisierung

Klassische lineare Periodisierung (engl. linear periodization, LP) ist auf den Russen Lew Pavlovic Matewjew (1924-2006) zurückzuführen. Er stellte sich die Frage, warum manche Athleten bei den olympischen Spielen ihre Bestleistung abrufen konnten und andere nicht und analysierte ihr Training über mehrere Jahre.

Dabei wird stufenweise über mehrere Mesozyklen die Trainingsintensität linear gesteigert und das Volumen innerhalb der einzelnen Zyklen wie auch zwischen den Zyklen reduziert (Mann et al., 2010; Mattocks, 2016). Das Ziel ist es, von „high volume und low intensity“ zu „low volume und high intensity“ zu kommen (siehe Tabelle 1)

Tab. 1: Beispielprotokoll Lineare Periodisierung

Weeks	1-4	5-8	9-12	13-16
Reps	10	5	3	2
Sets	5	3	3	3
Intensity	75%	85%	90%	95%
Volume (total reps)	50	15	9	6

Quelle: adaptiert nach Poliquin, 1988

Einige Nachteile der linearen Periodisierung werden von Polquin (1988) beschrieben. Er argumentiert, dass bei Trainingsvorgaben, bei denen die Intensität linear ansteigt, auch das Stressniveau für den Körper ansteigt und somit wenig Zeit für Regeneration bleibt. Außerdem nimmt der Hypertrophie-Effekt durch weniger absolviertes Volumen mit der Zeit ab, obwohl dieser für Muskelaufbau wichtig ist.

2.4.2 Wellenförmige (nicht-lineare) Periodisierung

Wellenförmige Periodisierung (engl. undulating periodization, UP) wurde erstmals von Charles Poliquin 1988 beschrieben. Diese erlaubt häufige Wechsel von Intensität und Volumen, um das neuromuskuläre System zu Anpassungen zu „zwingen“ (Poliquin, 1988). Laut Poliquin passt sich der Körper sehr schnell an Trainingsstress an, weshalb Krafttrainingsprogramme nach nur zwei Wochen ihre Effizienz verlieren. Phasen von höherem Volumen (engl. accumulation) und Phasen von höherer Intensität (engl. intensification) sollten abgewechselt werden (siehe Tabelle 2). Je nachdem ob diese Variationen wöchentlich oder täglich geändert werden, unterscheidet man tägliche wellenförmige Periodisierung (engl. daily undulating periodization, DUP) und wöchentliche wellenförmige Periodisierung (engl. weekly undulating periodization, WUP) (Grgic, 2017). Trainingsplateaus werden so minimiert und Kraft und Muskelmasse werden auf effizientem Weg erhöht (Poliquin, 1988).

Tab. 2: Beispielprotokoll Wellenförmige Periodisierung

Weeks	1-2	3-4	5-6	7-8	8-10	11-12
Reps	10-12	4-6	8-10	3-5	5-7	2-3
Sets	3	5	4	5	4	6
Intensity	70-75%	82-88%	75-78%	85-90%	80-85%	90-95%
Volume (total reps)	30-36	23-30	32-40	15-25	20-28	12-18

Quelle: adaptiert nach Poliquin, 1988

2.4.3 Forschungsstand

Betrachtet man die aktuelle Datenlage, so lässt sich sagen, dass periodisiertes Training einem nicht periodisiertem Training überlegen ist (z.B. Monteiro et al., 2009; Fröhlich et al., 2012). Es wird jedoch kontrovers diskutiert, welche Methode am effektivsten für Leistungsoptimierung ist. Buford et al. (2007) führten in ihrer Studie einen Vergleich von LP, DUP und WUP bei Freizeitsportler/innen (Männer und Frauen) durch. Um herauszufinden, welche der drei Methoden am effektivsten sei, wurde ein 9-wöchiges Krafttraining durchgeführt. Ergebnisse zeigten keine signifikanten Unterschiede der drei Methoden hinsichtlich Kraftsteigerung. Alle drei Periodisierungsmodelle erscheinen effizient und führen zu einer Verbesserung der Kraftleistung bei beiden Geschlechtern. In dieser Studie werden längere Trainingsinterventionen und fortgeschrittene Athlet/innen nicht berücksichtigt (Buford et al, 2007).

In der Studie von Monteiro et al. (2009) wird ein nicht periodisiertes Training (NP) mit einer linearen Periodisierung (LP) und einer wellenförmigen Periodisierung (UP) verglichen. Drei Mesozyklen (3 Monate) wurden absolviert. Jeder Mesozyklus beinhaltete vier Mikrozyklen. Die

jeweils letzte Woche davon war eine Erholungswoche mit reduziertem Gewicht. Ergebnisse zeigten, dass die wellenförmige Periodisierungsmethode am effektivsten hinsichtlich der Steigerung der Maximalkraft im Vergleich zu NP und LP war. In der Gruppe NP und in der Gruppe UP zeigten sich keine Unterschiede. Die Hypothese, dass periodisiertes Training zu größeren Kraftsteigerungen führt als nicht periodisiertes Training, bestätigte sich. Lineare Periodisierung übertrifft nicht das Training ohne Periodisierung, wie zu Beginn der Untersuchung von den Autoren angenommen. Bei konstantem Trainingsgewicht (NP) wird der Körper desensibilisiert, wodurch das Ausmaß an Trainingsadaption sinkt. Daraus müsste man schließen, dass lineare Periodisierung zu Kraftsteigerung im Vergleich zu nicht periodisiertem Training führt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen dies jedoch nicht. Die Autoren schlussfolgern, dass für Athlet/innen für Progression eine höhere Variabilität im Training erforderlich ist (Monteiro et al., 2009).

Im Vergleich zu den genannten Forschungsergebnissen hinsichtlich Kraftleistungen gibt es auch Forschungen in Bezug auf Hypertrophie. Grgic et al. (2017) untersuchten in ihrer Metaanalyse (13 Studien) die Effekte von LP und DUP auf Hypertrophie. Sie schlussfolgern, dass es keine signifikanten Unterschiede in der Anwendung von LP versus DUP gibt.

Mattocks et al. (2016) betrachten Periodisierung (wie auch das GAS) sehr kritisch und kommen anhand eines Literaturvergleiches zu dem Schluss, dass ein periodisiertes Trainingsprogramm für Athlet/innen in bestimmten Sportarten von Vorteil sein kann, um ein Trainingsjahr oder eine Wettkampfsaison zu planen. Für Personen, die das Ziel von Hypertrophie und Kraftzuwachs verfolgen, jedoch nicht auf ein Leistungsniveau abzielen, sei ein periodisiertes Training nicht notwendig. Die Studienlage diesbezüglich sei ihrer Meinung nach zu inkonsistent, um klare Schlussfolgerungen für oder gegen Periodisierung zu ziehen.

2.5 Autoregulation

In den bereits vorgestellten Periodisierungskonzepten (lineare und wellenförmige Periodisierung) werden bereits zu Beginn eines Trainingsprogrammes (z.B. vor jedem Mesozyklus) die Intensität und das Volumen vorgegeben. Die Daten stammen beispielsweise von einer einzigen Leistungstestung, wie dem 1-RM Test. Trainingsinduzierte sowie nicht-trainingsinduzierte Stressoren wie Schlaf, Ernährung, Krankheit, Regeneration usw. finden dabei keine Berücksichtigung. Jedoch können diese Stressoren einerseits Leistung optimieren aber auch zu Verletzungen oder Übertraining führen, je nachdem wie sie ausgeprägt sind und wie damit umgegangen wird.

Eine Alternative zu klassischen prozentbasierten Periodisierungsansätzen bietet das Konzept der Autoregulation, eine Form der (täglichen wellenförmigen) Periodisierung welche Rücksicht

auf die individuelle Anpassung der Athlet/innen nimmt. Die Belastung wird an die individuelle Tagesverfassung der Athlet/innen angepasst (Shattock & Tee, 2019; Nevin, 2019).

Eine weitere begriffliche Definition nimmt Zourdos (2016) vor. Autoregulation beschreibt auch er als eine Methode der Periodisierung wobei eine Anpassung von Trainingsvariablen aufgrund von Feedback, welches in unterschiedlicher Form gegeben wird, stattfindet. So können die Trainingsintensität und das Trainingsvolumen besser aufeinander abgestimmt werden (Zourdos, 2016).

Wichtig zu verstehen ist, dass AT kein bestimmtes Programm ist, sondern eine Art und Weise, ein Trainingsprogramm anhand von Trainingsvariablen individuell auszurichten. Wichtig ist, es nicht zu verwechseln, mit „nach Lust und Laune zu trainieren“. Vielmehr ist der Begriff der „Strukturierten Flexibilität“ zutreffender (Wetzel, 2016).

Im Unterschied zu PBT, wo eine längerfristige Planung der Belastungsparameter (z.B. Mesozyklus) stattfindet, ist Autoregulation durch eine kurzfristige Planung, wo die Variablen erst direkt in der Trainingseinheit festgelegt werden, gekennzeichnet.

Es gibt verschiedene Formen von autoregulativem Training, wie APRE (Autoregulatory Progressive Resistance Exercise), RPE (Rating of Perceived Exertion), RiR (Repetitions in Reserve) und VBT (Velocity-based Training), die im Folgenden genauer beschrieben werden.

2.5.1 Autoregulatory Progressive Resistance Exercise - APRE

Erstmalig erwähnte autoregulative Ansätze im Krafttraining findet man von DeLorme aus den 50er Jahren, bekannt als Progressive Resistance Exercise (PRE) (Mann et al., 2010; Nevin, 2019). Weiterentwickelt wurde die Methode von Knight auf Basis täglicher autoregulierter PRE – Daily Autoregulatory Progressive Resistance Exercise (DAPRE). Ein ähnlich entwickeltes System von Siff ist das APRE (Autoregulatory Progressive Resistance Exercise). Im APRE werden drei Testprotokolle herangezogen, nämlich 10-RM, 6-RM und 3-RM. Man absolviert dabei eine gegebene Wiederholungsanzahl bei einem gewissen Prozentanteil des 10-RM, 6-RM oder 3-RM. Jedes der drei Protokolle besteht aus vier Sätzen. Mann et al. (2010) erklären am Beispiel des 6-RM Protokolls den genauen Ablauf. Im ersten Satz werden 10 Wiederholungen mit 50% des 6-RM ausgeführt, im zweiten Satz 6 Wiederholungen mit 75% des 6-RM und im 3. Satz werden so viele Wiederholungen wie möglich bei 100% des 6-RM ausgeführt. Die überwundenen Wiederholungen von Satz 3 bestimmen den vierten Satz (anhand einer Tabelle abzulesen). Je nachdem wird für den 4. Satz das Gewicht erhöht oder verringert. Auch im letzten Satz werden so viele Wiederholungen wie möglich absolviert. Diese

werden wiederum als Grundlage für die nächste Trainingseinheit herangezogen (Mann et al., 2010).

Tab. 3: Beispielprotokoll APRE

Set	3RM routine	6RM routine	10RM routine
0	Warm up	Warm up	Warm up
1	6 reps at 50% 3RM	10 reps at 50% 6RM	12 reps at 50% 10RM
2	3 reps at 75% 3RM	6 reps at 75% 6RM	10 reps at 75% 10RM
3	Reps to failure at 3RM	Reps to failure at 6RM	Reps to failure at 10RM
4	Adjusted reps to failure	Adjusted reps to failure	Adjusted reps to failure

Quelle: adaptiert nach Wetzel, 2016

Mann et al. (2010) führten dazu eine Studie durch mit dem Zweck, die Effekte von APRE (6-RM Protokoll) und LP hinsichtlich Kraftsteigerungen bei 23 Football Spielern eines Collegs zu vergleichen. Die Autoren nahmen an, dass APRE durch die größere Variation in den Leistungsmöglichkeiten zu größeren Kraftzuwächsen im Vergleich zu einem traditionellen LP Programm führt. Zur Überprüfung wurden das 1-RM beim Bankdrücken und bei der Kniebeuge und ein 225 lb repeated bench press Test herangezogen. Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass APRE zu größeren Steigerungen des 1-RM beim Bankdrücken und bei der Kniebeuge verglichen mit der Gruppe LP über einen Zeitraum von sechs Wochen Trainingsintervention führt. Der 225lb repeated bench press Test bis zur Ermüdung sollte die Kraftausdauerleistung im Oberkörper darstellen. Auch in diesem Bereich zeigte sich die APRE effektiver als die LP (Mann et al., 2010). Es lässt sich jedoch nicht mit Sicherheit belegen, dass APRE effektiver ist als ein linear periodisiertes Programm. In der Studie von Mann et al. (2010) fällt auf, dass das Volumen in den beiden Vergleichsgruppen nicht identisch war, und dies somit Einfluss auf die Ergebnisse haben könnte. Aufgrund der täglichen Entscheidungen über Gewicht und Wiederholungsanzahl bei APRE wäre eine Vereinheitlichung der Volumina auch gar nicht möglich.

Die drei Methoden basieren auf ähnlichen Protokollen, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich unterschiedlicher Bedürfnisse und Ziele. Beispielsweise ist das APRE 3-RM Protokoll für Maximalkraft und Schnellkraft geeignet, das 6-RM Protokoll für Kraftsteigerung und Hypertrophie und das 10-RM Protokoll nur für Hypertrophie. PRE von DeLorme hat ein 10-RM Protokoll und DAPRE basiert auf einem 6-RM Protokoll (Mann et al., 2010).

2.5.2 Rating of Perceived Exertion – RPE

„Each athlete is different, because of differences in training history, fast-to-slow-twitch-ratio, whether you´ve been sick or not, your „bad“ days and „good“ days, and general sleep patterns. Basically, life happens and you won´t always 100% when you come in to train.“
(Tuchscherer, 1990, S. 14)

Zur autoregulativen Steuerung der Trainingsbelastung können objektive Daten von Kraftmessplatten, Beschleunigungsmessern oder Video Analyse Tools herangezogen werden. Die einfachste und praktikabelste Methode jedoch ist die der subjektiv wahrgenommenen Anstrengung (RPE – Rating of Perceived Exertion). Dafür benötigt man keine Laborbedingungen und kein aufwändiges technisches Equipment.

Die in den 1960er Jahren von Gunnar Borg entwickelte RPE-Skala (auch BORG-Skala) ist eine Methode zur subjektiven Einschätzung des Anstrengungsempfindens einer Person, um herauszufinden wie anstrengend diese eine vorgegebene Leistung empfindet (siehe Tabelle 4). Diese numerische Skala erfasst eine subjektive Antwort auf „die Reizintensität einer physikalischen Leistung“ (Loellgen, 2014, S.1). Die Borg-Skala kann sowohl bei Gesunden, Trainierten, als auch bei Patient/innen Anwendung finden. In der vorliegenden Arbeit geht es primär um die Anwendung bei gesunden und trainierten Personen

Tab. 4: BORG-Skala

6-20	Anstrengungsempfinden
6	Überhaupt nicht anstrengend
7	
8	Extrem leicht
9	Sehr leicht
10	
11	Leicht
12	
13	Etwas anstrengend
14	
15	Anstrengend
16	
17	Sehr anstrengend
18	
19	Extrem anstrengend
20	Maximale Anstrengung

Quelle: adaptiert nach Borg, 2004

Ursprünglich wurde die BORG-Skala für aerobe Tätigkeiten entwickelt, um die Intensität des Trainings zu beurteilen und gegebenenfalls abzuändern. Aufgrund der länger andauernden, submaximalen Belastung ist die Anstrengung dabei gut einschätzbar.

RPE-Werte korrelieren eng mit physiologischen Parametern wie Herzfrequenz, Laktatwerten, Sauerstoffaufnahme oder Atemfrequenz während der Belastung (Löllgen, 2004). Da die Sauerstoffaufnahme und die Herzfrequenz linear mit der Belastung am Ergometer ansteigen, wurde die BORG-Skala entwickelt, welche auch linear mit der Intensität der Belastung ansteigt. Häufig wird die BORG-Skala für diagnostische Verfahren am Ergometer angewandt. Die Skala reicht von 6-20, was mit HF-Bereichen von 60-200 Schlägen pro Minute (bei gesunden Menschen) gleichgesetzt werden kann. Multipliziert man den Skalenwert mit 100 kann die zugehörige Herzfrequenz unter dynamischer Belastung annähernd bestimmt werden (Löllgen, 2004). Mit der Zeit hat sich die RPE-Methode auch im Krafttraining etabliert, um unmittelbares Feedback geben zu können. Niedrige Werte bedeuten wenig Anstrengung, während hohe Werte größere Anstrengung bedeuten (Zourdos, 2016).

Weiterentwicklungen der ursprünglichen 15-Punkte BORG Skala (6-20) sind die CR-10-Skala (Borg Category Ratio 10), die CR-100-Skala (auch Centri-Max-Skala) und die OMNI-RES (OMNI Resistance Exercise Scale). Anwendungsgebiete sind die Nachverfolgung von Progression in Trainingsprozessen oder die Bestimmung von Trainingsintensität, um ein optimales Trainingsprogramm vorzuschreiben (Morishita et al, 2013).

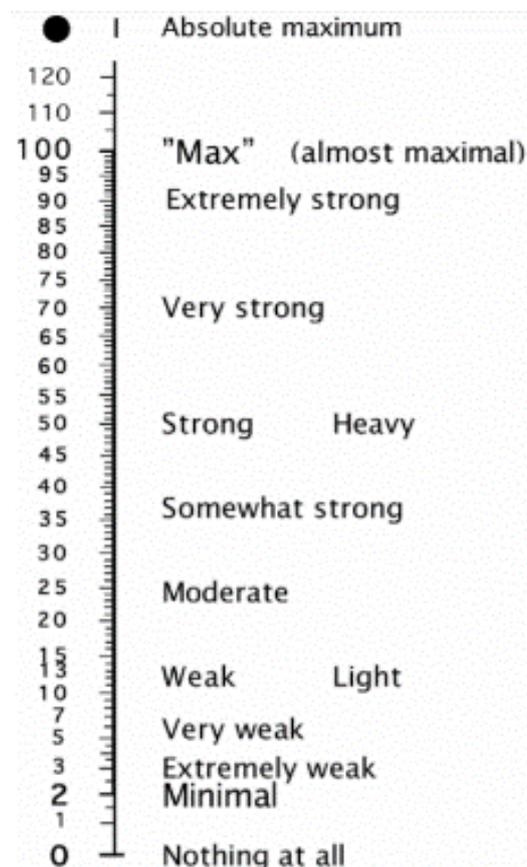


Abb. 5: BORG Skala CR-100 (Stenling & Borg, 2013)

Robertson et al. (2002) entwickelten die OMNI-Skala mit der Erweiterung von Bildern zur Beschreibung von Anstrengung. Der Vorteil dieser Skala ist die einfachere Handhabung. Bilder sollen zusätzlich zu numerischen und verbalen Angaben die Reliabilität erhöhen (Naclerio et al., 2011).

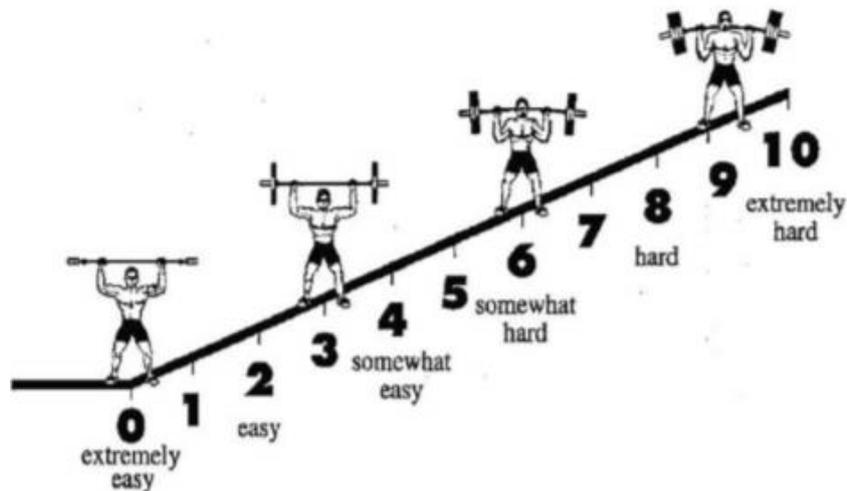


Abb. 6: OMNI Resistance Exercise Scale (Morishita et al., 2013)

Die von Foster 1988 entwickelte Session Rating of Perceived Exertion ist eine Methode, bei welcher die 10-stufige RPE-Skala mit der Dauer der Trainingseinheit, die in Minuten angegeben wird, multipliziert wird. So ergibt sich ein repräsentativer Wert für den Grad der Anstrengung für eine gesamte Trainingseinheit. Diese einfache Methode gilt als valide und reliabel (Halson, 2014). Nach Day et al. (2004) ist die Session-RPE auch im Krafttraining gut anwendbar.

2.5.3 Repetitions in Reserve - RiR

Michael Tuchscherer (1990) erweiterte die 10-stufige RPE Skala für die spezifische Anwendung im Krafttraining (speziell im Kraftdreikampf/Powerlifting) um die Repetitions in Reserve (RiR). Dabei schätzt der/die Athlet/in am Ende eines Satzes ein, wie viele Wiederholungen noch bis zum Muskelversagen möglich gewesen wären. Dabei entspricht ein gewisser RPE-Wert einem RiR- Wert (z.B. RPE 10 ist gleichzusetzen mit 0 RiR, RPE 9 ist gleichzusetzen mit 1 RiR usw.). Es ist somit eine präzisere Darstellung möglich, um den Grad der Anstrengung zu erheben. Zourdos et al. (2016) verglichen in ihrer Studie die Anwendung der RPE Messungen in Kombination mit den RiR bei erfahrenen Kraftsportlern und Anfänger/innen.

Tab. 5: Modifizierte RPE-Skala basierend auf RiR

Rating	Description of perceived exertion
10	Maximum effort
9,5	No further repetitions but could increase load
9	1 repetition remaining
8,5	1-2 repetitions remaining
8	2 repetitions remaining
7,5	2-3 repetitions remaining
7	3 repetitions remaining
5-6	4-6 repetitions remaining
3-4	Light effort
1-2	Little to no effort

Quelle: adaptiert nach Zourdos, 2016

Die in Tuchscherer's Anfangszitat erwähnten Unterschiede wie Trainingsgeschichte, Muskelfasertypen, Tagesverfassung und Schlafverhalten werden bei der Anwendung von RPE mitberücksichtigt. RPE erlaubt also eine präzise Anpassung von Trainingsintensität im gegenwärtigen Moment, die auf der aktuellen Verfassung der zu trainierenden Person beruht (Tuchscherer, 1990).

Tab. 6: Zusammenhänge von RPE und Wiederholungsbereichen (* absolvierte Wiederholungen)

RPE	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*
10	100%	95,0%	91,0%	87,0%	85,0%	83,0%	81,0%	79,0%
9,5	97,0%	93,0%	89,0%	86,0%	84,0%	82,0%	80,0%	77,5%
9	95,0%	91,0%	87,0%	85,0%	83,0%	81,0%	79,0%	76,0%
8,5	93,0%	89,0%	86,0%	84,0%	82,0%	80,0%	77,5%	74,5%
8	91,0%	87,0%	85,0%	83,0%	81,0%	79,0%	76,0%	73,0%
7,5	89,0%	86,0%	84,0%	82,0%	80,0%	77,5%	74,5%	71,5%
7	87,0%	85,0%	83,0%	81,0%	79,0%	76,0%	73,0%	70,0%

Quelle: adaptiert nach Helms et al., 2018

Tabelle 6 zeigt, dass ein RPE-Wert mit angegebenem Wiederholungsbereich grob mit einem relativen Prozentbereich korreliert. Diese Tabelle von Helms et al. basiert auf Daten der Studie von Zourdos et al. (2016) und betrifft erfahrene Athleten welche die Kniebeuge ausführten. Wie viele Wiederholungen ein Individuum bei einem selben Prozentwert des 1-RM ausführen kann ist höchst individuell. Deshalb sollte die Tabelle nicht zur Intensitätsvorschreibung im Training herangezogen werden. Sie zeigt lediglich Zusammenhänge zwischen relativen Lasten, Wiederholungsbereichen und RPE Werten in einer trainierten Population auf (Helms et al., 2018; Tuchscherer 1990).

Eine Studie (Hackett et al., 2012 in Zourdos et al., 2016) untersuchte den Vergleich der klassischen RPE-Skala und der RPE-Skala welche auf RiR basiert. Daten zeigen, dass RiR zu einer besseren Einschätzung der Intensität im Krafttraining führt als die traditionelle RPE-Skala. Bei Erreichen von Muskelversagen wurden jeweils keine maximalen RPE-Werte erzielt,

obwohl dies der Fall hätte sein sollen. Optimal wäre eine Kombination aus RPE und RiR (Zourdos et al., 2016).

2.5.4 Erfahrungslevel und RPE

Eine Studie aus dem Jahr 2017 von Palumbo et al. untersuchte Effekte unterschiedlicher Trainingsintensitäten auf die psychophysiologische Antwort bei wettkampffähigen Bodybuildern und aktiven Individuen, welche mindestens 24 Monate Erfahrung im Krafttraining aufwiesen. Auf die relativ kleine Stichprobe von lediglich 12 Probanden muss dabei hingewiesen werden. Die Probanden führten zwei Sätze von je 5 Wiederholungen im Bankdrücken und Beinstrecken bei 40% und bei 80% des zuvor ermittelten 1-RM durch. Nach jedem Durchgang wurden Werte anhand der BORG Skala CR-100 aufgezeichnet. Es gab keine signifikanten Unterschiede der RPE bei den unterschiedlichen Übungen (Bankdrücken, Beinstreckung), es gab jedoch signifikante Unterschiede zwischen den teilnehmenden Gruppen bei der Durchführung der Übungen. Die aktiven Individuen verzeichneten höhere RPE-Werte im Vergleich zu den Bodybuildern beim selben relativen Gewicht. Die Unterschiede entstanden möglicherweise aufgrund des unterschiedlichen Trainingsniveaus, vermuten die Autoren. Sie erwähnen eine Studie von Hampson et al. (2001), welche ebenfalls zu dem Ergebnis kommt, dass, je höher das Trainingslevel ist, desto größer ist die Kapazität der Schmerztoleranz. Dies bedeutet, dass je stärker die Probanden trainiert sind desto geringer wird die RPE ausfallen (Hampson et al., 2001 in Palumbo et al., 2019). Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass das Trainingslevel mit der RPE im Krafttraining korrelieren könnte (Palumbo et al., 2017).

Zourdos et al. (2016) erforschten die Anwendung der modifizierten RPE/RiR Skala bei erfahrenen Athlet/innen im Vergleich zu Anfänger/innen im Krafttraining bei der Kniebeuge. Die Teilnehmer/innen wurden aufgrund der Trainingsvorerfahrung einer der beiden Gruppen zugeteilt. Als erfahren wurde mindestens zwei Jahre Krafttrainingsdurchführung definiert, wobei mindestens einmal pro Woche die Kniebeuge ausgeführt wurde. Trainingsanfänger/innen waren Personen, welche weniger als ein Jahr Trainingserfahrung hatten und zumindest vierzehntägig Kniebeugen trainierten. Die Ergebnisse zeigen, dass erfahrene Proband/innen eine signifikant höhere durchschnittliche RPE angeben, als unerfahrene Proband/innen. 14 von 15 der erfahrenen Athlet/innen verzeichneten einen RPE-Wert beim 1-RM (d.h. bei 100%) von größer gleich 9,5. Lediglich 8 von 14 der Anfänger/innen verzeichneten einen RPE-Wert beim 1-RM von größer gleich 9. Höhere RPE-Werte werden häufig mit höherer Intensität, vermehrter Blutlaktatanhäufung und stärkerer EMG-Aktivität in Verbindung gebracht. Die Genauigkeit der Einschätzung von RPE-Werten nimmt mit der Erfahrung von Athlet/innen zu, da die Fähigkeit einer exakten Bestimmung der RPE durch

häufige Anwendung gelernt werden kann (Zourdos, 2016). Weiters fanden sie heraus, dass eine inverse Korrelation zwischen der durchschnittlichen Geschwindigkeit und der RPE bei erfahrenen und unerfahrenen Athlet/innen besteht. Die RPE/RiR ist laut dieser Studie somit eine effektive Methode zur autoregulativen Steuerung von täglicher Trainingsintensität und eignet sich auch, um Feedback während eines 1-RM-Tests zu geben (Zourdos et al., 2016).

2.6 Velocity-Based Training – VBT

Inzwischen findet man Empfehlungen in der Literatur, die Messung von Bewegungsgeschwindigkeiten als effektives Tool zur Beschreibung und Überwachung von Trainingsintensität im Krafttraining einzusetzen (Varela-Olalla et al., 2019). Grundlage für das Velocity-Based Training (VBT) ist der Zusammenhang zwischen der Bewegungsgeschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$) und der relativen Last (% des 1-RM) bei einer Vielzahl von Krafttrainingsübungen, wie Kniebeugen oder Bankdrücken (Nevin, 2019; Shattock & Tee, 2019). Die Geschwindigkeit nimmt progressiv ab, je näher man an das individuelle 1-RM kommt. Voraussetzung beim VBT ist, dass Wiederholungen immer mit maximalen willkürlichen Geschwindigkeiten absolviert werden (Guerreiro & Piacentini, 2018).

VBT kann Anwendung bei unterschiedlichen Zielsetzungen im Training finden. Geschwindigkeitsmessungen können ein Indikator für die Level von Anstrengung (engl. effort) bzw. Ermüdung (engl. fatigue) sein. Durch die Messung von Bewegungsgeschwindigkeiten und Geschwindigkeitsabfällen kann der Grad der Anstrengung im Krafttraining quantifizierbar gemacht, und zur besseren Planung in Trainingsprogramme integriert werden (Varela-Olalla et al., 2019). Der Abfall der Bewegungsgeschwindigkeit (engl. velocity loss) zwischen Wiederholungen und Sätzen bei derselben Übung ist ein valider Indikator zur Erhebung von neuromuskulärer Ermüdung (Nevin, 2019). VBT wird auch als feedback-tool zur Motivationssteigerung für Athlet/innen genutzt. Durch das real-time Feedback über aktuelle Bewegungsgeschwindigkeiten wird bei Athlet/innen die Motivation erhöht, maximale Geschwindigkeiten zu erzeugen. Durch gemessene Werte kann man immer wieder versuchen, seine eigenen Bezugspunkte oder die von anderen zu übertreffen (Nevin, 2019).

2.6.1 Technisches Equipment

VBT hat in den letzten Jahren immer mehr an Aufmerksamkeit im Bereich Strength & Conditioning gewonnen. Grund dafür sind die immer besser werdenden Sporttechnologien zur Messung von Bewegungsgeschwindigkeiten wie Beschleunigungsmesser (Accelerometer), lineare position transducers (LPT) oder auch Applikationen für das Smartphone (Varela-Olalla

et al., 2019). Am bekanntesten sind LPTs. Ein LPT besteht aus einer Prozesseinheit, verbunden mit einem ausziehbaren Kabel, und misst direkt den vertikalen Abstand durch die Länge des Kabels, dessen anderes Ende an der Hantel oder der/dem Athlet/in selbst befestigt wird. Über ein Display/Handy/Tablet erhält man ein live-feedback zur Bewegungsgeschwindigkeit (Guerriero & Piacentini, 2018).



Abb. 7: Linearer Positionssensor GymAware

(https://www.google.com/search?q=gym+aware+Sensor&rlz=1C1CHBD_deAT920AT920&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjqi8Kku87yAhW9_7sIHVt-BVAQ_AUoAXoECAMQAw&biw=1280&bih=616#imgrc=MFoYEs2-b56LaM, online Zugriff am 10.8.202

Laut Shattock & Tee (2019) sollen verschiedene Geräte nicht abwechselnd verwendet werden, sondern auf ein Gerät fokussiert werden, da dies zu Ungenauigkeiten in der Intensitätsbeschreibung für einen Trainingsprozess führen kann.

2.6.2 Geschwindigkeitsvariablen im VBT

Zur Beschreibung von Geschwindigkeit werden in der Literatur drei Variablen herangezogen. Die Mean Concentric Velocity (MCV) beschreibt die durchschnittliche Geschwindigkeit der gesamten konzentrischen Phase einer Bewegung (mehrere Zeitpunkte). Die Peak Concentric Velocity (PCV) beschreibt die höchste gemessene Geschwindigkeit der konzentrischen Phase zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die Mean Propulsive Velocity (MPV) beschreibt die gemessene Antriebskraft zu Beginn der konzentrischen Bewegung (ohne das Abbremsen am Ende der konzentrischen Phase bzw. die durchschnittliche Geschwindigkeit vom Start der konzentrischen Phase, soweit bis die Beschleunigung geringer als die Erdbeschleunigung - 9,81m/s² ist). Der Unterschied im Vergleich zur MCV ist, dass diese die komplette konzentrische Phase, bis zum Ende die Abbremsbewegung betrifft. Es ist die Aufgabe von Coaches, herauszufinden, wann welche Variable am aussagekräftigsten ist (Weakly et al., 2020; Mann et al., 2020). Die MCV ist beispielsweise besser für traditionelle Kraftübungen wie Kniebeugen oder Bankdrücken geeignet. Die PCV ist aussagekräftiger bei ballistischen

Übungen wie Sprüngen und Würfungen oder bei Bewegungen aus dem Olympischen Gewichtheben (snatch, clean and jerk), wo es auf die Explosivkraft ankommt (Nevin, 2019).

Die MCV, welche bei einem erfolgreichen 1-RM-Versuch erreicht wird, wird auch als Movement/Minimal Velocity Threshold (MVT) bezeichnet (Nevin, 2019). MVT und % des 1-RM bleiben relativ konstant, während sich die Maximalkraft verbessert. Aufgrund dieses Zusammenhangs ist es möglich, sog. LV-Profil zu erstellen. Anhand dieser kann die Trainingsintensität als Geschwindigkeit vorgegeben werden (Nevin, 2019). Die MVT ist übungsspezifisch und von Motivation und Erfahrung von Athlet/innen abhängig.

2.6.3 Load-Velocity-Profil und Intensitätssteuerung

Forschungen zeigen, dass die Bewegungsgeschwindigkeit neuromuskuläre Stimuli beeinflusst und damit Trainingsanpassungen hervorgerufen werden. Die Bewegungsgeschwindigkeit ist abhängig vom Ausmaß der Last und der willentlichen Absicht, diese zu bewegen. Diese Last-Geschwindigkeits-Beziehung wird als Load-Velocity-Profil (LVP) bezeichnet. Es besteht ein inverser linearer Zusammenhang zwischen Last und Mean Concentric Velocity (MCV), vorausgesetzt, die Bewegung wird mit maximaler konzentrischer Anstrengung ausgeführt. Die MCV sinkt mit dem Auftreten von muskulärer Ermüdung, vorausgesetzt, es werden konstante Wiederholungen mit vollem Bewegungsumfang ausgeführt. Aufgrund dieses Verständnisses kann eine relative Last einer bestimmten Bewegung zusammen mit dem täglichen Maximum und der MCV einer/s Athlet/in festgelegt werden (vorausgesetzt ein LVP wurde erstellt). Dadurch werden Möglichkeiten von real-time monitoring der relativen Belastung eröffnet, die spezifische Anpassungen an das Trainingsziel möglich machen. Dies geschieht unter Berücksichtigung der Ermüdung und der Schwankungen von Kraftleistungen sowie der Wiederholungen, der Sätze und der Trainingsprogression. Diese LVPs werden im VBT verwendet, um die Trainingslast bei bestimmten konzentrischen Geschwindigkeiten vorzuschreiben, wobei alle Wiederholungen maximal durchgeführt werden (Dorrell et al., 2019).

Durch diese Methode sind Strength & Conditioning Coaches in der Lage, vordefinierte Lasten, basierend auf dem akuten Kraftlevel von Athlet/innen Satz für Satz anzupassen, also zu steigern oder zu senken. Diese LVPs werden individuell erstellt und bleiben für eine/n Athlet/in auch bei signifikanter Steigerung der absoluten Kraft unverändert. Wenn sich beispielsweise das 1-RM eines/r Athlet/in um 2 kg erhöht oder reduziert, wird er/sie trotzdem 80% vom 1-RM mit derselben Geschwindigkeit durchführen. Die Erstellung von LVPs wird als autoregulative Methode für die Beschreibung und Manipulation von Trainingsintensität herangezogen und es kann so sichergestellt werden, dass immer mit der vorgegebenen relativen Last trainiert wird.

Wie sich ein LVP während Trainingsperioden und trainingsfreien Phasen (z.B. durch Verletzung) verhält und für welche Zeitspanne dieses akkurat ist, ist laut dem Autor unklar und würde weiterer Forschung bedürfen. Eine Studie aus dem Jahr 2010 (Badillo et al., 2010 nach Moore, 2020) kommt zu dem Ergebnis, dass eine Trainingszeit von zirka sechs Wochen keine Veränderungen im LVP zeigt, trotz signifikanter Steigerung der Kraftleistung. Wichtig zu erwähnen ist, dass jede Übung bzw. jede Bewegung ein eigenes LVP erfordert, denn Bewegungsgeschwindigkeiten sind übungsabhängig. Je mehr relative Lasten getestet werden, desto genauer ist ein LVP. Außerdem sollten die Übungen ohne Ermüdung stattfinden, weshalb zwischen den Sätzen ausreichend Pause gemacht werden sollte und nur 1-3 Wiederholungen pro Satz durchgeführt werden sollten (Moore, 2020).

Frühere Untersuchungen basierten auf entwickelten Gruppenmodellen, welche dann auf eine ähnliche demografische Trainingspopulation übertragen werden können. Kürzlich durchgeführte Forschungen raten von Gruppengleichungen ab, da LVPs individuell sind und solche Gruppenmodelle zwar für einige Athlet/innen stimmen mögen, jedoch nicht für alle.

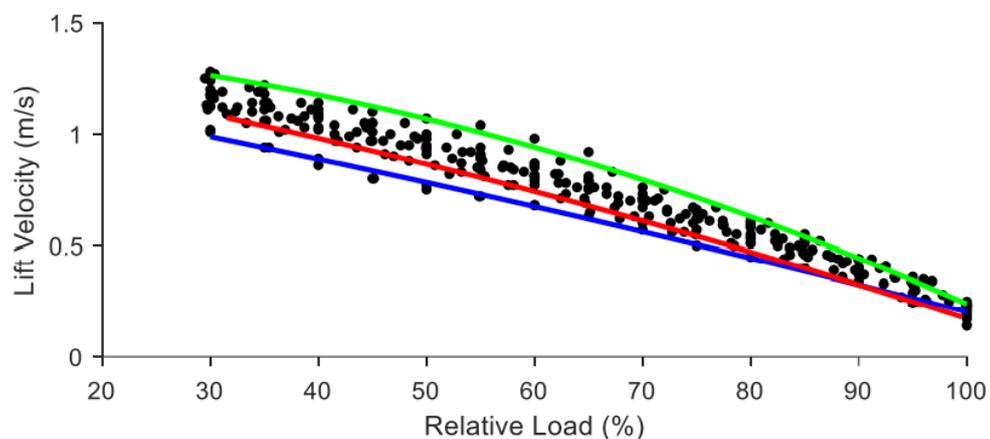


Abb. 8: Drei individuelle LVPs in Linien dargestellt, Gruppendaten von 19 Personen in Punkten dargestellt (Moore, 2020)

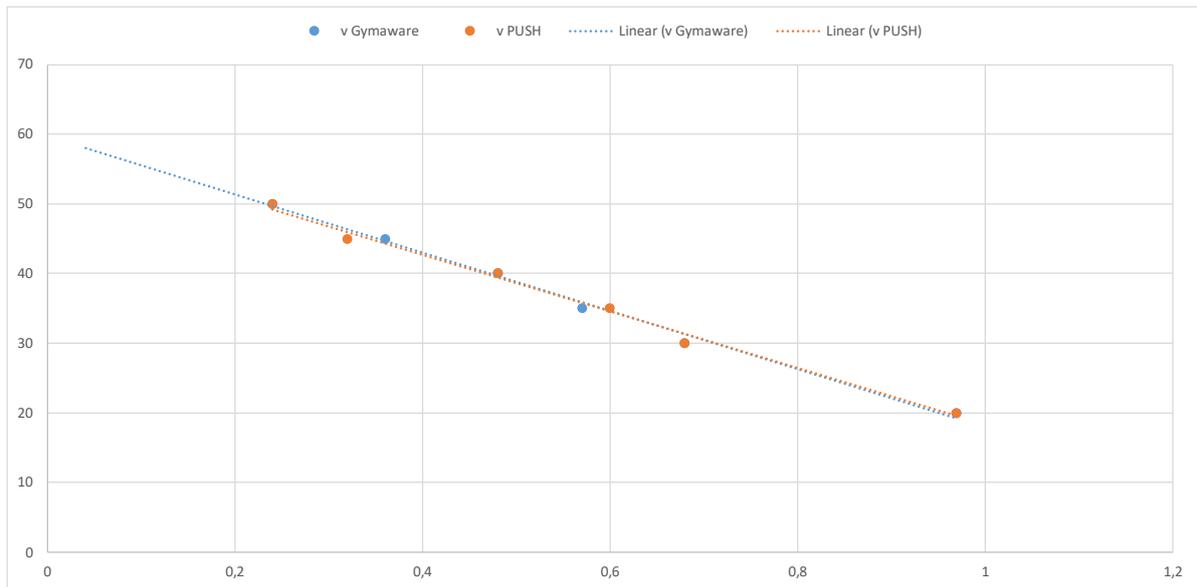


Abb. 9: Eigene Darstellung eines LVP beim Bankdrücken mit der Langhantel, GymAware vs. Push (x-Achse: %1-RM, y-Achse: Geschwindigkeit (m/s))

Tab. 7: MCV Daten eines LVP beim Bankdrücken (mv in sec, Last in kg)

%1RM	Last	mean velocity
38,0%	20	0,97
57,1%	30	0,68
66,6%	35	0,57
76,1%	40	0,48
85,6%	45	0,36
95,1%	50	0,24

Quelle: Eigene Darstellung

2.6.4 VBT und RPE zur Steuerung von Trainingsvolumen

AR kann nicht nur zur Intensitätsbestimmung im Training herangezogen werden. Auch das Trainingsvolumen kann autoregulativ gesteuert werden. Dafür werden sog. RPE-stops oder velocity-stops verwendet.

Anhand von Messungen der durchschnittlichen konzentrischen Geschwindigkeit (MCV) kann das Volumen einer Trainingseinheit ermittelt werden, da eine Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit mit verminderter Kraftproduktion in Verbindung steht. Velocity-stops (auch cut off velocity oder velocity threshold) werden eingeführt. Sobald die Bewegungsgeschwindigkeit (MCV) unter eine zuvor festgelegte Schwelle (Geschwindigkeit bezogen auf die erste oder schnellste Wiederholung des durchgeführten Satzes) fällt, wird ein Satz beendet. Diese Form von autoregulativer Volumensteuerung durch VBT wird für

verschiedene Ziele, z.B. erhöhtes Volumen für Hypertrophie oder Aufrechterhaltung der Geschwindigkeit für Kraftentwicklung, angewandt (Helms et al., 2017). Laut Nevin (2019) ist ein Geschwindigkeitsverlust von etwa 5% ein Indikator für die Entwicklung von Maximalkraft und Rate of Force Development (RFD). Ein größerer Geschwindigkeitsabfall von etwa 50% ist ein Indikator für das Training von Hypertrophie, mit dem Ziel, ausreichend mechanischen und metabolischen Stress zu erzeugen.

Da für individuelle Zwecke die Anschaffung eines solchen Equipments kostenaufwändig ist, beschreiben Helms et al. (2017) eine Methode ohne Equipment, nämlich die Verwendung von RPE-stops als autoregulative Volumensteuerung. Da ein starker inverser Zusammenhang zwischen der Bewegungsgeschwindigkeit (VBT) und der RPE im Powerlifting bei allen Grundübungen (engl. main lifts) besteht, kann die Methode auf die RPE übertragen werden (Helms et al., 2016).

Erstmalig wurde die Verwendung von RPE-stops (auch fatigue-stops) in Tuchscherers Skript „The Reactive Training Manual“ im Powerlifting erwähnt. Es geht nicht darum, Sätze zu zählen und diese mental zu überwinden, sondern Trainingsgewichte und dazugehörige RPE-Werte sollten im Training kontinuierlich dokumentiert werden. Sobald sich ein „Abwärtstrend“ in den verzeichneten Kraftwerten zeigt, ist ein fatigue-stop erreicht. Ohne Vorgabe einer Satzanzahl werden beispielsweise drei Wiederholungen für drei Sätze mit 100 kg bei einer RPE von 8 absolviert, danach noch ein weiterer Satz mit drei Wiederholungen, welcher aber als RPE 10 bewertet wird, d.h. ein fatigue-stop wurde erreicht. Bei steigender Intensität wird dies schneller der Fall sein. Ein fatigue-stop ist dann erreicht, wenn die Kraft innerhalb einer Einheit sinkt. In solch einem Trainingsprotokoll wird keine Satzanzahl vorher festgelegt, nur eine Wiederholungsanzahl und ein RPE-Bereich. Ist ein fatigue-stop erreicht, kann zur nächsten Übung weitergewechselt werden (Tuchscherer, 1990).

Helms et. al (2017) untersuchten, wie anhand der RPE-Skala das Trainingsvolumen bei Powerlifter/innen autoregulativ gesteuert werden kann. Laut Autoren gibt es Grundlagen, dass ein höheres Trainingsvolumen und eine gesteigerte Intensität mit einer besseren 1RM-Leistung zusammenhängen. Obwohl Trainingsvolumen mit Leistungsverbesserung in Verbindung gebracht wird, scheint es aber auch einen Punkt zu geben, an dem sich ein verminderter Nutzen ergibt. Zu hohes Volumen verhindert kurzfristig die Erholung (recovery) von Trainingseinheit zu Trainingseinheit. Auch ein zu geringes Volumen ist nicht optimal. Deshalb ergibt sich die Möglichkeit, basierend auf der readiness und der fatigue von Athlet/innen, optimale Trainingsreize durch Volumensteuerung zu setzen. Die Autoren bestärken den Einsatz von VBT zur Volumensteuerung. Dieser Themenkomplex wird in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht genauer ausgeführt.

Für tiefere Einblicke in das weite Feld des VBT ist die Arbeit von Mitter (2018) "Velocity-based Powerlifting" empfehlenswert. Er untersuchte anhand von Powerlifter/innen verschiedene Methoden zur Berechnung des 1-RM auf Basis von individuellen Last-Geschwindigkeits-Profilen.

3 Methodik

Autoregulative Methoden gewinnen im Krafttraining stark an Beliebtheit. Es gibt, wie bereits im theoretischen Teil ausgeführt, eine Reihe von Studien, die verschiedene autoregulative Methoden untersuchen. Es ist im Sinne eines evidenzbasierten Trainings jedoch nicht eindeutig, inwieweit autoregulative Methoden anderen Trainingsmethoden über- oder unterlegen sind. In dieser Arbeit sollen nun anhand eines systematischen Reviews autoregulative Methoden mit der herkömmlichen prozentbasierten Methode (PBT) verglichen werden. Dadurch soll Klarheit über die Anwendbarkeit von Autoregulation im Krafttraining geschaffen werden.

3.1 Systematischer Review

Systematische Übersichtsarbeiten haben den Zweck, einen Überblick über den Stand der Forschung zu einem bestimmten Themenkomplex zu geben. Die Einzelergebnisse mehrerer Studien werden zu einem Gesamtergebnis zusammengeführt, um eine gemeinsame Aussage bezüglich der Fragestellung zu finden. Der systematische Review ist eine retrospektive Studie, d. h. es wird Material untersucht, das bei Beginn der Studie bereits vorliegt. Die Studien, die für diesen systematischen Review herangezogen werden, sind Interventionsstudien. Hier entstehen die Daten erst, nachdem die Studien begonnen haben. Es sind also prospektive Studien. Systematische Übersichtsarbeiten beinhalten eine Bewertung der wissenschaftlichen Qualität der inkludierten Studien und auch eine kritische Beurteilung der dargestellten Ergebnisse, d. h., sie erlauben eine Untersuchung der Gründe für eventuelle Unterschiede in den gefundenen Ergebnissen der Einzelstudien, bzw. wird auch eine vorhandene Heterogenität zwischen den Einzelstudien berücksichtigt. Die statistische Heterogenität beschreibt u. a. methodische Unterschiede der einzelnen Studien bezüglich der Effektschätzer. Diese Unterschiede sind in der Studienpopulation, Rekrutierungsmethode, Diagnose oder der Messmethode zu finden (Ressing et al., 2009).

Im Folgenden wird die Vorgangsweise der vorliegenden Masterthese schrittweise beschrieben. Es wird erläutert, wie die Literaturrecherche und die Studienauswahl erfolgten und nach welchen Kriterien die Auswertung durchgeführt wurde. Außerdem wurden die ausgewählten Studien einer qualitativen Bewertung unterzogen, welche anschließend genauer ausgeführt wird.

3.2 Forschungsfragen

Zu Beginn des Schreibprozesses dieser Masterarbeit wurden folgende Forschungsfragen formuliert.

Gibt es Unterschiede zwischen autoregulativer und prozentbasierter Trainingssteuerung, und wenn ja, welche?

Worin liegen die Vor- und Nachteile von autoregulativ-gesteuertem Training?

Für welche Trainingszwecke und welche Zielgruppe eignet sich welche Methode?

3.3 Literaturrecherche

In einem ersten Schritt erfolgte eine systematische Primärstudien­suche über die Datenbanken PubMed und SPORTDiscus. Schlüsselwörter waren „periodization“, „periodization models“, „autoregulation“, „strength/resistance training“, „velocity-based training“, „repetitions in reserve“ und „perceived exertion“. Mittels Operatoren folgte eine Recherche über Kombinationen wie „periodization AND strength AND autoregulation“, „perceived exertion AND strength AND autoregulation“, „autoregulated resistance training AND periodization“, „load monitoring AND resistance training“, „fatigue monitoring AND resistance training“. Weitere Studien wurden in Literaturangaben von bisher verwendeten Forschungsarbeiten gesichtet und zur Bearbeitung des Themas herangezogen. Die Literaturrecherche wurde im Zeitraum von Mai 2020 bis Juli 2020 durchgeführt. Tabelle 8 zeigt beispielhaft die häufigsten Suchbegriffe und die Anzahl der gefundenen Studien dazu in der Datenbank PubMed.

Tab. 8: Darstellung der Suchbegriffe zur Primärstudien­suche in PubMed

Suchbegriffe	Relevante Treffer
Periodization AND strength AND autoregulation	3 Treffer
Perceived exertion AND strength AND autoregulation	3 Treffer, u.a. Helms et al., 2018
Velocity-based loading AND percentage-based loading	2 Treffer, u.a. Dorrell et al., 2019
Velocity-based strength training	5 Treffer, u.a. Orange et al., 2019
Repetitions in reserve AND strength training	6 Treffer, u.a. Graham & Cleather, 2019

Quelle: Eigene Darstellung

3.4 Auswahl der Primärstudien

Die gefundenen Primärstudien wurden verschiedenen Begutachungskriterien unterzogen und geprüft, ob sie für den Studienvergleich den entsprechenden Qualitätsmerkmalen im Sinne einer evidenzbasierten, d.h. einer auf wissenschaftlich bewerteten Erkenntnissen basierenden Forschungsarbeit entsprechen würden. Dieser Prozess verlief anhand des Prisma Flussdiagramms, welches in Abbildung 10 dargestellt wird.

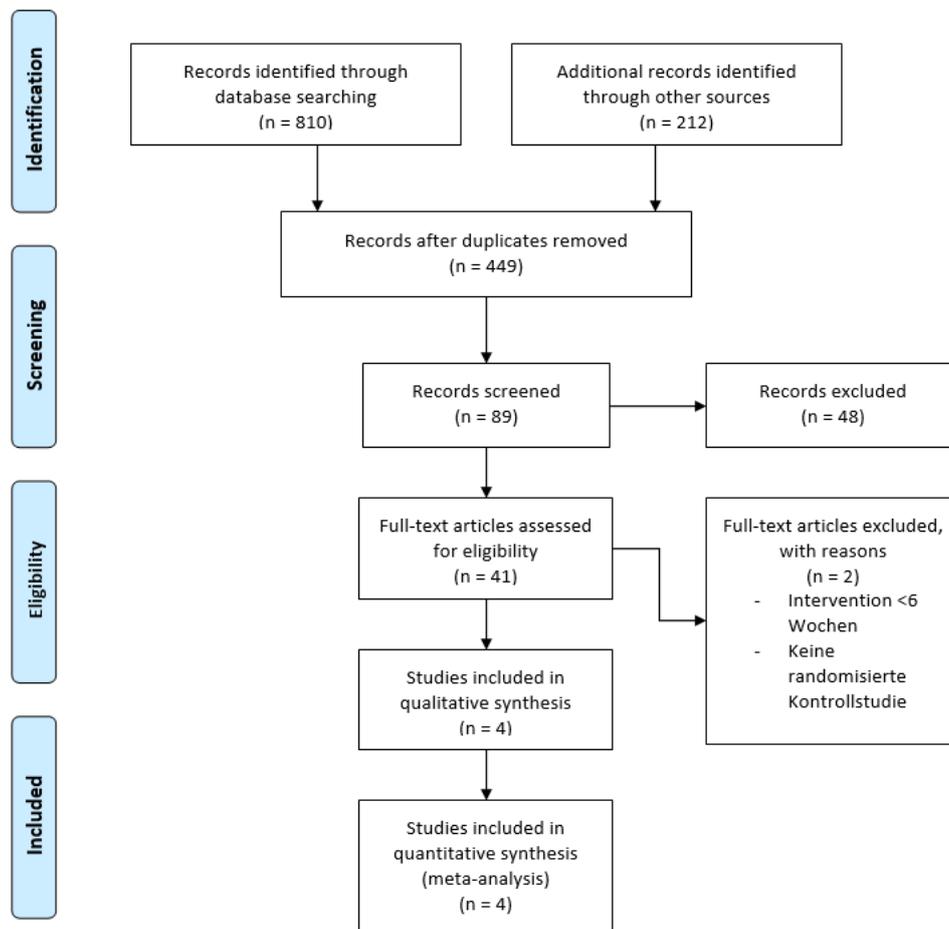


Abb. 10: Prisma Flussdiagramm (adaptiert nach Moher et al., 2009)

Der erste Schritt zeigt, wie viele Treffer in den Datenbanken zum Thema Autoregulation im Krafttraining mit bestimmten Kombinationen von Schlüsselwörtern gefunden wurden. Anschließend wurden Duplikate entfernt und die Artikel anhand des Titels verworfen oder in die weitere Auswahl miteinbezogen. Darüber hinaus wurden die Artikel, welche als relevant erschienen, anhand des Abstracts einer weiteren Begutachtung unterzogen. Die weitere Merkmalskodierung erfolgte anhand des Probandenalters, der Probandenanzahl, des Trainingsstatus und der Art der Test- und Trainingsübungen. Auch hier wurden einige Artikel aufgrund eines unpassenden Studiendesigns ausgeschlossen. 41 Studien wurden anhand des Volltextes auf Eignung für die vorliegende Arbeit beurteilt, wobei zwei Studien aufgrund

bestimmter Ausschlusskriterien verworfen wurden. Die weiteren Artikel wurden aufgrund uneinheitlicher Untersuchungsgegenständen verworfen, jedoch in den Theorieteil miteinbezogen. Studiendesigns, welche eine kürzere Interventionsdauer beschrieben, und Metaanalysen wurden für den Studienvergleich nicht herangezogen. Aufgrund der großen Heterogenität wurde schlussendlich die Primärstudienauswahl auf vier Artikel beschränkt, welche den Selektionskriterien entsprachen.

3.4.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Die Formulierung der konkreten Fragestellung und der Ein- und Ausschlusskriterien dieser Masterarbeit wurde anhand des PICOS-Schemas durchgeführt. In Tabelle 9 werden diese dargestellt.

Tab. 9: PICOS-Schema

Fragestellung	Gibt es Unterschiede zwischen autoregulativer und prozentbasierter Trainingssteuerung, und wenn ja, welche? Worin liegen die Vor- und Nachteile von autoregulativ-gesteuertem Training? Für welche Trainingszwecke und welche Zielgruppe eignet sich welche Methode?	
	Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Population	Männliche, psychisch und physisch gesunde Probanden, Vorerfahrung im Krafttraining, n>15	Ältere Personen (60+), Personen ohne Krafttrainingsvorerfahrung, Personen mit Verletzungen oder Krankheit, n<15
Intervention	Krafttraining, Dauer >= sechs Wochen, Trainingsintensitätssteuerung durch VBT oder RPE/RiR, alle anderen Belastungsparameter identisch	Dauer < sechs Wochen, Ausdauertraining
Comparison (Kontrollgruppe)	PBT-Gruppe	
Outcome (relevante Ergebnisse)	1-RM	
Studiendesign	Randomisierte Kontrollstudien (RCTs)	Kohortenstudien, Fall-Kontrollstudien, Metaanalysen

Quelle: Eigene Darstellung adaptiert nach Kotera et al., 2020

Es wurden nur Studien herangezogen, welche autoregulative Methoden zur Intensitätssteuerung im Rahmen eines Krafttrainings mit erfahrenen Kraftsportlern untersuchten. Neben der Angabe des 1-RM mit verwertbaren statistischen Angaben waren weitere Selektionskriterien, eine Mindestanzahl von 15 Probanden pro Untersuchungsgruppe, ein Pre- und Post-Test-Design, ein Trainingsdesign über mindestens sechs Wochen, die Angabe eines Trainingsprotokolls und die Verwendung psychisch und physisch gesunder Studienteilnehmer. Der Publikationszeitpunkt sollte innerhalb der letzten fünf Jahre liegen und

die Publizierung in englischer Sprache verfasst sein. Um die große Heterogenität der Einzelstudien für einen systematischen Review handhabbar zu machen, wurde schließlich die Primärstudienauswahl dahingehend auf Studien beschränkt, die autoregulative Trainingsmethoden im Vergleich mit der Percentage-based Methode untersuchten. Dies waren zum einen Studien, die die Velocity-based Trainingsmethode mit der Percentage-based Trainingsmethode verglichen. Hierzu konnten – unter Berücksichtigung aller anderen Selektionskriterien - zwei Studien ausgewählt werden. Weitere zwei Studien, die zu einem direkten Vergleich herangezogen werden konnten, und die den oben angeführten Selektionskriterien entsprachen, untersuchten die autoregulativen Methoden RPE bzw. RIR mit der Percentage-based Trainingsmethode. Es wurden hierbei auch Studien eingeschlossen, deren Studienteilnehmer keine Kraftsportler im engeren Sinn waren, aber ein Kraftsporttraining im Rahmen ihrer sportlichen Betätigung absolvierten. Trainingserfahrung wurde definiert als zumindest zwei Jahre Erfahrung im Krafttraining. Studien, die autoregulative Trainingsmethoden bei Ausdauersportarten untersuchen, wurden definitiv ausgeschlossen.

3.4.2 Methodische Qualitätsbeurteilung der Studien anhand der PEDro-Skala

Die PEDro-Skala (Physiotherapy Evidence Database Scale) ist eine Beurteilungsskala, die zur systematischen Einschätzung und Bewertung von klinischen Studien hinsichtlich der Qualität des methodischen Vorgehens herangezogen werden kann (Cashin & McAuley, 2019). Diese Form der Qualitätskontrolle wird in erster Linie in der Physiotherapie eingesetzt. Sie wird auch in anderen Gesundheitsberufen und vor allem in der evidenzbasierten Medizin herangezogen. Sie eignet sich auch für die Beurteilung von sportwissenschaftlichen Forschungsarbeiten und wird deshalb für die Qualitätsbeurteilung der in diesem Rahmen verwendeten Studien eingesetzt. Als Grundlage der PEDro-Skala dient die Delphi-Liste, die von einem Expertenteam 1998 an der Universität von Maastricht (NL) entwickelt wurde. Die Skala umfasst 11 Items, die den drei Bereichen externe Validität (Kriterium 1), interne Validität (Kriterien 2-9) und statistische Aufzeichnungen (Kriterien 10-11) zugeordnet sind. Das erste Kriterium, das die Verallgemeinerungsfähigkeit einer Studie betrifft, erscheint zwar auf der Delphi-Liste, wird aber nicht miteingerechnet, da es kein Qualitätsmerkmal darstellt. So kann mit den 11 Kriterien der PEDro-Skala eine maximale Punktezahl von 10 erreicht werden (PEDro-Score). Laut Cashin und McAuley (2020) werden Punkte von unter 4 als „poor“, Punkte von 4 – 5 als „fair“, Punkte von 6-8 als „good“ und Punkte von 9 – 10 als „excellent“ bewertet.

Deutsche Übersetzung der 11 Kriterien von Hegenscheidt et al. (2010):

1. Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert.
2. Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet.
3. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen.
4. Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bezüglich der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander 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 ursprünglichen 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 (Hegenscheidt et al., 2010).

Im Folgenden wurde der PEDro-Score der vier Studien, welche in die Arbeit aufgenommen wurden, erstellt. J = Ja, d.h. Kriterium erfüllt -> 1 Punkt. N = Nein, d.h. Kriterium nicht erfüllt -> 0 Punkte.

Tab. 10: Eigene Bewertung der bearbeiteten Studien anhand der PEDro-Skala

Studie, Autoren, Jahr		Item der PEDro-Skala											Punkte
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Dorrell et al., 2019	J	J	N	J	N	N	N	J	J	J	J	6
2	Orange et al., 2019	J	J	N	J	N	N	N	J	J	J	J	6
3	Helms et al., 2018	J	N	N	J	N	N	N	J	J	J	J	5
4	Graham & Cleather, 2019	J	J	N	J	N	N	N	J	J	J	J	6

Quelle: Eigene Darstellung

Die Studien von Dorrell et al. (2019), Orange et al. (2019) und Graham und Cleather (2019) weisen mit sechs Punkten eine gute Qualität auf. Helms et al. (2018) erreicht mit fünf Punkten eine mäßig gute („fair“) Qualität (Cashin und McAuley, 2020). Bei den Kriterien 1, 4, 8, 9, 10 und 11 kann für alle Studien ein Punkt vergeben werden. Hinsichtlich der Blindung der Untersucher/innen können allen vier Studien keine Punkte vergeben werden. Dies liegt jedoch in der Sache des Forschungsgegenstandes begründet. Die Studien von Dorrell et al. (2019) und Orange et al. (2019) vergleichen die VBT-Methode mit der fixed-loaded-Methode (PBT). Die Probanden wurden in beiden Studien den unterschiedlichen Gruppen randomisiert zugewiesen. Die Studien von Helms et al. (2018) und Graham und Cleather (2019) vergleichen die RPE/RiR-Methode mit der fixed-loaded-Methode (PBT). Graham und Cleather führten auch eine randomisierte Zuordnung der Teilnehmer durch. Bei Helms et al. (2018) fand die Zuordnung der Studienteilnehmer zu den Gruppen anhand zuvor getesteten 1-RM-Werten statt, um möglichst geringe Unterschiede sicherzustellen - also nicht randomisiert, wodurch die Studie eine Gesamtpunktezahl von 5 erreichen konnte.

3.5 Darstellung der Primärstudien

Im Folgenden Kapitel werden Studiendesign und Ergebnisse der ausgewählten Studien beschrieben, welche in Kapitel 4 vergleichend gegenübergestellt und diskutiert werden.

3.5.1 Dorrell, Smith und Gee, 2019

Die Autoren der Studie *„Comparison of Velocity-Based and Traditional Percentage-Based Loading Methods on Maximal Strength and Power Adaptions“* von 2019 untersuchten die Effekte von VBT auf die Maximalkraft (1-RM Test) und die Schnellkraft (Sprunghöhe) im Vergleich mit der PBT-Methode, d.h. es wurde versucht, zwei unterschiedliche Methoden zur Beschreibung von Trainingsintensität zu vergleichen.

3.5.1.1 Studiendesign

Die Teilnehmer, 16 trainierte männliche Probanden, wurden in zwei Gruppen unterteilt, nämlich in eine VBT-Gruppe und eine PBT-Gruppe. Für die Teilnahme an der Studie wurde vorausgesetzt, dass die Teilnehmer mindestens zwei Jahre Erfahrung im Krafttraining vorweisen konnten und davon zumindest in den letzten sechs Monaten ein regelmäßiges Krafttraining absolvierten.

Vor (pre-testing) und nach (post-testing) der Trainingsintervention wurden ein CMJ (Counter Movement Jump) und ein 1-RM-Test (Kniebeuge, Bankdrücken, Schulterdrücken, Kreuzheben) durchgeführt. Ein linearer Positionssensor (engl. linear position transducer) der Firma GymAware wurde auf der Langhantel befestigt, um bei jeder stufenweisen Gewichtserhöhung die MCV aufzuzeichnen. Auch die Tiefe der Kniebeugen wurde aufgezeichnet, um sicherzustellen, dass alle Probanden eine standardisierte Tiefe bei allen Wiederholungen erreichen. Verbaler Zuspruch und Geschwindigkeitsfeedback wurden gegeben, um die Probanden zu maximaler Leistung zu motivieren. Zusätzlich wurden individuelle LV-Profile erstellt.

Über einen Zeitraum von sechs Wochen (Mesozyklus) wurden zwei Trainingseinheiten pro Woche absolviert. Die Intervention folgte einer wellenförmigen Periodisierung. Parameter wie die Satzanzahl, Wiederholungsanzahl und Pausenzeit zwischen den Sätzen waren in beiden Gruppen identisch. Lediglich die Methode zur Bestimmung der relativen Intensität (% des 1-RM) unterschied sich.

Tab. 11: Basis-Trainingsprotokoll

Session 1												
	Week 1		Week 2		Week 3		Week 4		Week 5		Week 6	
Exercise	Reps	% 1-RM	Reps	% 1-RM								
Back squat	8,8,8	70,70,70	8,6,5	70,75,80	6,5,3	75,80,85	8,6,5	70,75,80	6,5,3	78,85,90	5,3,2+	85,90,95
Bench press	8,8,8	70,70,70	8,6,5	70,75,80	6,5,3	75,80,85	8,6,5	70,75,80	6,5,3	78,85,90	5,3,2+	85,90,95
BB squat jump	2(3),2(3)	BW										
Strict OHP	8,8,8	70,70,70	8,6,5	70,75,80	6,5,3	75,80,85	8,6,5	70,75,80	6,5,3	78,85,90	5,3,2+	85,90,95
Deadlift											5,3,2+	85,90,95
Seated row	6,6,6	2 RIR										
Walking lunge	10,10,10		10,10,10		10,10,10		10,10,10		10,10,10			
Session 2												
	Week 1		Week 2		Week 3		Week 4		Week 5		Week 6	
Exercise	Reps	% 1-RM	Reps	% 1-RM								
Back squat	8,8,8	70,70,70	8,6,5	70,75,82	6,5,3+	75,83,88	8,6,5	70,75,82	6,4,2	78,88,92	4,4,4	70,70,70
Bench press	8,8,8	70,70,70	8,6,5	70,75,82	6,5,3+	75,83,88	8,6,5	70,75,82	6,4,2	78,88,92	4,4,4	70,70,70
BB squat jump	2(3),2(3)	BW										
Strict OHP											4,4,4	70,70,70
Deadlift	8,8,8	70,70,70	8,6,5	70,75,80	6,5,3	75,80,85	8,6,5	70,75,80	6,5,3	78,85,90	4,4,4	70,70,70
Plyo push-up	2(3),2(3)	BW										
BB hip thrust	8,8,8	+ BW										

Quelle: Dorrell et al., 2019

Die PBT-Gruppe trainierte nach dem vorgegebenen Basis-Trainingsprotokoll (siehe Tabelle 11) mit fixen Intensitätsangaben, welche im Vorhinein für die gesamte Intervention festgelegt wurden und keine Anpassungen erlaubten. In der VBT-Gruppe wurde ein Geschwindigkeitsmonitoring in das Training eingebaut. Die MCV wurde gemessen, um Veränderungen der Last anzusagen. Eine Kombination aus velocity-zones und velocity-stops wurde verwendet. Velocity-zones sind bestimmte berechnete Zonen für jede Übung für jedes relative Gewicht, z.B. 70% 1-RM Kniebeuge = 0,47-0,88m/s. Diese Berechnungen ergaben sich aus einer Kombination von bereits publizierten Daten und Daten aus den vorausgegangenen 1-RM

Testungen. In der vorliegenden Studie bekamen die Probanden der VBT-Gruppe bei jeder Wiederholung real-time auditives Feedback basierend auf der MCV in Relation zur definierten Zone. War die Geschwindigkeit innerhalb der Zone, wurden die Sätze weitergeführt. War die Geschwindigkeit über oder unter dem festgelegten Bereich, wurde das Gewicht anhand des LV-Profiles angepasst. Velocity-stops wurden bei jedem Satz eingebaut, sobald die Geschwindigkeit 20% unterhalb der festgelegten Zonen fiel. Die Gewichtsanpassungen waren also nicht standardisiert wie bei PBT, sondern individuell auf die aktuellen Leistungsniveaus basierend auf den LVPs der Athleten, angepasst.

3.5.1.2 Studienergebnisse

Tab. 12: Effektstärke der VBT-Gruppe und der PBT-Gruppe

	VBT			PBT		
	Pre	Post	ES	Pre	Post	ES
Back squat (kg)	147.8 ± 25.0	161.6 ± 27.1	0.59	131.9 ± 27.2	143.8 ± 24.7	0.44
Bench press (kg)	110.8 ± 15.2	118.9 ± 14.6	0.61	94.0 ± 17.8	98.4 ± 18.4	0.24
Strict OHP (kg)	64.6 ± 8.5	68.8 ± 7.9	0.52	58.1 ± 8.1	61.7 ± 8.9	0.41
Deadlift (kg)	176.4 ± 31.4	187.6 ± 30.0	0.38	176.9 ± 19.7	182.1 ± 19.7	0.22
CMJ (cm)	48.2 ± 10.2	50.6 ± 11.9	0.23	48.2 ± 7.6	48.7 ± 8.2	0.06

Quelle: Dorrell et al., 2019

Die Effektstärke (ES) wurde nach Cohens d berechnet, wobei $d=0,2$ entspricht einem kleinen Effekt, $d=0,5$ entspricht einem mittelgradigen Effekt, $d=0,8$ entspricht einem großen Effekt (Dorrell et al., 2019). Die Trainingsintervention führte in beiden Gruppen in allen Übungen zu einer signifikanten Steigerung der Maximalkraft. Es wurden keine Gruppenunterschiede verzeichnet, außer beim Bankdrücken. Hier zeigten sich signifikant größere Steigerungen der Maximalkraft bei der VBT-Gruppe (ES 0,61=mittelgradiger Effekt) im Vergleich mit der PBT-Gruppe (ES 0,24=kleiner Effekt). Betrachtet man die Effektstärken der anderen Übungen, so zeigen sich zwar in der VBT-Gruppe immer höhere Werte, jedoch werden diese nicht als signifikant betrachtet (siehe Abbildung 18). Die VBT-Gruppe absolvierte im Training signifikant weniger Volumen bei Kniebeugen (9%), Bankdrücken (6%) und Langhantel-Schulterdrücken (6%) im Vergleich mit der PBT-Gruppe. Hinsichtlich der Sprunghöhe beim CMJ führte die Trainingsintervention zu einer signifikanten Steigerung in der VBT-Gruppe (5%), jedoch nicht in der PBT-Gruppe (1%).

Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz der VBT-Methode zur Bestimmung der Trainingsbelastung für erfahrene Probanden im Krafttraining im Vergleich mit der herkömmlichen PBT-Methode von mäßigem Vorteil ist, um gewünschte Anpassungen in der Maximalkraft und der vertikalen Sprungkraft hervorzurufen. Auch die signifikante Reduktion

von Trainingsvolumen durch VBT bei Kniebeugen, Bankdrücken und Schulterdrücken ist erwähnenswert. Die Kombination aus velocity-zones und velocity-stops innerhalb eines periodisierten Trainingsprogramms liefert günstige Bedingungen für die Anpassungen von Maximalkraft und Schnellkraft von krafttrainingserfahrenen Personen. Bewegungen werden durch MCV Aufzeichnungen mit optimaler Last, weniger Wiederholungen und somit einem niedrigeren Totalvolumen durchgeführt. Dies ist für eine Verbesserung von Kraft notwendig und zeigt einen Transfereffekt auf andere Bewegungen u.a. den Vertikalsprung. Außerdem ermöglicht das Aufzeichnen der MCV eine bessere Kontrolle über die vorgeschriebene Trainingsintensität und den aktuellen Ermüdungszustand der Athleten, ohne mehrere Maximalkraft-Testungen durchzuführen zu müssen (Dorrell et al., 2019).

3.5.2 Orange, Metcalfe, Robinson, Applegarth und Liefieith, 2019

In der Studie „*Effects of In - Season Velocity - Versus Percentage-Based Training in Academy Rugby League Players*“ aus dem Jahr 2019 verglichen die Autoren die Effekte von VBT im Vergleich zu PBT auf Maximalkraft, Geschwindigkeit und Sprungleistung.

3.5.2.1 Studiendesign

Die untersuchte Trainingsintervention erfolgte während der Wettkampfphase von 27 männlichen Rugbyspielern aus der Super League. Die Probanden absolvierten vor der Studienteilnahme bereits ein 12-wöchiges Training und hatten mindestens zwei Jahre Erfahrung im Krafttraining. Die Probanden führten parallel zur 7-wöchigen Krafttrainingsintervention zusätzlich ein sportartspezifisches Training durch (Mesozyklus). Sie wurden zufällig einer PBT- bzw. VBT-Gruppe zugewiesen.

Vor und nach der Intervention fanden Testungen an drei Tagen statt. An Tag eins wurde der CMJ, DJ und 30 m Sprint getestet, an Tag zwei das 1-RM der Kniebeuge und an Tag drei wurden die L-V-Profile erstellt. Zur Standardisierung der Kniebeugetiefe wurde eine Person des Forscherteams zur Beobachtung herangezogen. Für die L-V-Profil Erstellung wurde ein GymAware Tool verwendet. Die Probanden führten einige Wiederholungen von 40 bis 90% des zuvor getesteten 1-RM aus, wobei die MCV aufgezeichnet wurde. Alle Werte wurden geplottet und linear dargestellt. Die exzentrische Phase sollte kontrolliert verlaufen bevor maximale Kraft in der konzentrischen Phase generiert werden sollte.

Die Probanden trainierten zweimal pro Woche. Die Kniebeuge war in jeder Trainingseinheit inkludiert. In der PBT-Gruppe wurde ein fixes Gewicht anhand des individuellen 1-RM berechnet. In der ersten Einheit der Woche war die Vorgabe 80% des 1-RM. In der zweiten Einheit waren es 60% des 1-RM. Das Gewicht der Hantel wurde über den Trainingszeitraum

nicht erhöht. In der VBT-Gruppe wurde in der ersten Einheit der Woche mit einer Intensität, die einer MCV von 80% des 1-RM entspricht, trainiert. In der zweiten Einheit entsprach die MCV 60% des 1-RM. Fünf Wiederholungen wurden durchgeführt. Sobald die maximale MV in einem Satz $\pm 0,06\text{m/s}$ außerhalb der Zielgeschwindigkeit war, wurde die Langhantel mit $\pm 5\%$ des 1-RM für den nächsten Satz angepasst. Die Autoren wählten die Intensitätsangaben, da diese Werte besonders häufig in Krafttrainingsprogrammen herangezogen werden.

Tab. 13: Trainingsprotokoll

Exercise	Sets x reps	Load
Session 1		
Barbell back squat	4 x 5	PBT: 60% 1RM VBT: Load that corresponds to movement velocity at 60% 1RM
Nordic lower	4 x 6	Body weight
Incline dumbbell bench press	3 x 8	2 RIR
Barbell bent over row	3 x 8	1 RIR
Front plank	2 x 60 s	Body weight
Session 2		
Barbell back squat	4 x 5	PBT: 80% 1RM VBT: Load that corresponds to movement velocity at 80% 1RM
SL barbell Romanian deadlift	4 x 6	2 RIR
Dumbbell push press	3 x 6	2 RIR
Pull-ups	3 x 8	1 RIR
Barbell rollout	2 x 10	2 RIR

Quelle: modifiziert nach Orange et al., 2019

Die Teilnehmer beider Gruppen bewerteten anhand eines vorgefertigten Fragebogens ihr Wohlbefinden nach jeder Trainingseinheit in fünf Bereichen (Muskelkater, Ermüdung, Stress, Schlaf, Stimmung). Zusätzlich wurden RPE-Werte nach jedem Satz mit der OMNI-Res Skala aufgezeichnet. Mean Velocity (MV, m/s), Mean Power (MP, Watt), TUT (Time under Tension, Sekunden), Arbeit (Joule) und das Hantelgewicht (kg) von jeder Wiederholung bei der Kniebeuge wurden zusätzlich aufgezeichnet.

3.5.2.2 Studienergebnisse

Die Ergebnisse wurden anhand der standardisierten Mittelwertdifferenzen (SMD) zur Bewertung der Effektstärke dargestellt. Schwellenwerte der SMD wurden von den Autoren genannt, wobei $<0,2$ als trivial, $0,2-0,59$ als kleiner, $0,6-1,19$ als moderater, $1,2-2,0$ als großer Effekt gewertet wurde. Betrachtet man Effekte auf die Maximalkraft bei der Kniebeuge, so lässt sich eine Tendenz für PBT (SMD=0,51) im Vergleich zu VBT (SMD=0,38) aufzeigen (siehe

Abbildung 20). Beide ES zeigen einen kleinen Effekt. Das Ausmaß der Effekte, welche größer als trivial ($> 0,2$) wurde zusätzlich wie folgt von den Autoren bewertet: 0,5% most unlikely, $<5\%$ very unlikely, $<25\%$ unlikely, 25-75% possibly, $>75\%$ likely, $>95\%$ very likely, $>99,5\%$ most likely.

Tab. 14: Ergebnisdarstellung anhand der Effektstärken und Wahrscheinlichkeiten

Intervention	SMD der PBT-Gruppe (n=15)	SMD der VBT-Gruppe (n=12)
Squat 1-RM	0,51 (most likely)	0,38 (very likely)
LVP 40%	0,00 (unclear)	0,38 (likely)
LVP 60%	0,13 (unclear)	0,47 (likely)
LVP 80%	0,22 (possibly)	0,38 (unclear)
LVP 90%	0,38 (unclear)	0,32 (possibly)

Quelle: modifiziert nach Orange et al., 2019

Betrachtet man die Wahrscheinlichkeiten, so gibt es in der PBT-Gruppe most likely Verbesserungen der Maximalkraft bei der Kniebeuge und in der VBT-Gruppe very likely Verbesserungen in der Maximalkraft. Most likely ist besser zu bewerten als very likely, also spricht das Ergebnis der Maximalkraft der Kniebeuge eher für PBT als für VBT.

VBT zeigte mögliche höhere MV und MP verglichen mit PBT. TUT und wahrgenommener Stress waren tendenziell geringer bei VBT als bei PBT.

Auswertungen des Fragebogens zum Wohlbefinden der Teilnehmer zeigten einen möglichen vorteilhaften Effekt beim Item Stress bei der VBT-Gruppe (SMD: 0,66, moderater Effekt, likely) im Vergleich zur PBT-Gruppe. Die Unterschiede der restlichen Items waren unklar.

Verbesserung in der Geschwindigkeit bei der Kniebeuge bei 60% 1RM war likely (also tendenziell) besser in der VBT-Gruppe als in der PBT-Gruppe. VBT könnte laut den Autoren während Wettkampfphasen angewandt werden um die Bewegungsgeschwindigkeit (repetition velocity) bei der Kniebeuge zu steigern, mechanischen Stress im Unterkörper zu reduzieren und geschwindigkeitsspezifische Anpassungen hervorzurufen. Die Trainingslast über VBT anzupassen hat unbedeutende negative Effekte, jedoch potenzielle moderate positive Effekte auf die Kniebeugegeschwindigkeit bei 60% 1-RM. Diese anzustrebenden, positiven Veränderungen der L-V-Beziehung resultieren möglicherweise aus den höheren Trainingsgeschwindigkeiten, welche durch VBT herbeigeführt werden, und zeigen eine Verbesserung der Explosivkraft. Explosivkraft erklären die Autoren als Fähigkeit, Kraft in minimaler Zeit maximal zu generieren. Diese Fähigkeit ist oftmals eine Schlüsselvariable in Strength & Conditioning Programmen, da Rugbyaktionen schnell generierte Kraft benötigen. Es ist nicht klar, ob diese Adaptionen nur allein für die Kniebeuge gelten, oder ob diese auf Rugby Spielzüge übertragbar wären (Orange et al., 2019).

3.5.3 Helms et al., 2018

In der Studie „*RPE vs. Percentage 1RM Loading in Periodized Programs Matched for Sets and Repetitions*“ geht es um den Vergleich von zwei Krafttrainingsprotokollen mit je gleicher Wiederholungsanzahl, Satzanzahl, Pausendauer und Übungsauswahl, jedoch unterschiedlicher Methoden zur Intensitätsbestimmung.

3.5.3.1 Studiendesign

Zum einen wird die traditionelle prozentbasierte Methode (PBT), wo zu Beginn des Trainings das individuelle 1-RM ermittelt und basierend darauf eine Prozentangabe für die Trainingsintensität gegeben wird, herangezogen. Als zweite Methode wird die modifizierte RPE-Skala, welche auf den RiR (RPE/RiR) basiert und autoregulativ gesteuert wird, herangezogen. Die Studie soll Aufschluss über Hypertrophie- und Kraftanpassungen einer achtwöchigen Trainingsintervention auf Basis täglicher wellenförmiger Periodisierung geben, mit dem einzigen Unterschied der Intensitätsbestimmung. 21 männliche Probanden mit Erfahrung im Krafttraining wurden zufällig einer 1-RM-Gruppe oder einer RPE-Gruppe zugeteilt. Beide führten dreimal pro Woche an nichtaufeinanderfolgenden Tagen Kniebeugen aus. Erfahrung wurde definiert als mindestens zwei Jahre Erfahrung im Krafttraining, wobei mindestens einmal pro Woche Bankdrücken und Kniebeugen in den letzten sechs Monate vor Studienbeginn inkludiert waren. Zusätzlich wurde ein bestimmtes 1-RM bei Kniebeugen und Bankdrücken der Teilnehmer vorausgesetzt.

Die Muskeldicke des m. pectoralis major und des m. vastus lateralis wurden mittels Ultraschall vor und nach der Intervention gemessen. Zum Vergleich der Maximalkraftleistungen wurde der 1-RM Test herangezogen, welcher ebenso vor und nach der Intervention stattfand. Beide Gruppen verzeichneten zusätzlich RPE-Werte nach jedem Satz, um diese im Nachhinein vergleichen zu können. Die Probanden sollten anhand eines Fragebogens PRS (Perceived Readiness Score) auswählen, wie erholt sie sich nach dem Training fühlten. Werte von 0-10 zeigen den Grad der wahrgenommenen Ermüdung an. Alle zwei Wochen (nach der Eingangswoche) wurde die Intensität (RPE oder % des 1-RM) erhöht und das Volumen (Wiederholungsanzahl, Satzanzahl) reduziert. Die letzte Woche war eine Taper-Phase mit geringerem Volumen und der Testung am letzten Tag. Die Taper-Phase (engl. „reduzieren“) ist eine Phase, in der sich der/die Athlet/in von enormen Belastungen erholt, um anschließend maximale Leistung, z.B. vor einem Wettkampf, abrufen zu können. Tapering ist auch unter „Deload“ bekannt und soll vor Überlastung schützen.

Teilnehmer der 1-RM-Gruppe trainierten nach fix vorgegebenen relativen Intensitätsangaben (% des individuellen 1-RM). Der Plan war im Vorhinein für alle Wochen geplant und das Gewicht konnte während der Trainingsintervention nicht abgeändert werden. Teilnehmer der

RPE-Gruppe konnten ihre Trainingsgewichte selbst wählen, um einen vorgegebenen RPE-Bereich von z.B. 6-8 zu erreichen. Erreichten die Teilnehmer im ersten Satz RPE-Werte außerhalb dieses Bereiches, wurde die Last je nachdem erhöht oder verringert. In der Folgenden Abbildung wird das Trainingsprogramm von beiden Gruppen im Detail dargestellt.

Tab. 15: Trainingsprotokoll

Week	Percentage 1RM group (1RMG)			RPE group (RPEG)		
	Monday	Wednesday	Friday	Monday	Wednesday	Friday
0	x	x	1RM Testing	x	x	1RM Testing
1	2 × 8 × 65%	2 × 6 × 70%	2 × 4 × 75%	2 × 8 × 5-7 RPE	2 × 6 × 5-7 RPE	2 × 4 × 5-7 RPE
2	3 × 8 × 70%	3 × 6 × 75%	3 × 4 × 80%	3 × 8 × 6-8 RPE	3 × 6 × 6-8 RPE	3 × 4 × 6-8 RPE
3	3 × 8 × 72.5%*	3 × 6 × 77.5%*	3 × 4 × 82.5%*	3 × 8 × 6-8 RPE	3 × 6 × 6-8 RPE	3 × 4 × 6-8 RPE
4	3 × 7 × 75%	3 × 5 × 80%	3 × 3 × 85%	3 × 7 × 7-9 RPE	3 × 5 × 7-9 RPE	3 × 3 × 7-9 RPE
5	3 × 7 × 77.5%*	3 × 5 × 82.5%*	3 × 3 × 87.5%*	3 × 7 × 7-9 RPE	3 × 5 × 7-9 RPE	3 × 3 × 7-9 RPE
6	3 × 6 × 80%	3 × 4 × 85%	3 × 2 × 90%	3 × 6 × 8-10 RPE	3 × 4 × 8-10 RPE	3 × 2 × 8-10 RPE
7	3 × 6 × 82.5%*	3 × 4 × 87.5%*	3 × 2 × 92.5%*	3 × 6 × 8-10 RPE	3 × 4 × 8-10 RPE	3 × 2 × 8-10 RPE
8	2 × 4 × 80%	2 × 3 × 85%	1RM Testing	2 × 4 × 6-8 RPE	2 × 3 × 6-8 RPE	1RM Testing

Quelle: Helms et al., 2018

3.5.3.2 Studienergebnisse

Die Studienergebnisse zeigen, dass beide Gruppen ihre Kraftwerte (1-RM) und Muskeldicke (Hypertrophie) bei der Kniebeuge und dem Bankdrücken (und auch in Kombination betrachtet) im Vergleich zur Ausgangslage signifikant steigern konnten. Es gibt jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen im 1-RM oder der Muskeldicke. Es gibt geringe Unterschiede der Effektstärken innerhalb der Gruppen, welche für die RPE-Gruppe besser ausfallen. Die Effektstärken bezüglich Hypertrophie waren unbedeutend.

Tab. 16: Studienergebnisse

Variable	P-value	Size of effect (mean ± 90% CL)	Chance of RPE-loading advantage (≥0.20 ES) (%)	Chance of trivial difference (-0.19 to 0.19 ES) (%)	Chance of %1RM-loading advantage (≥0.20 ES) (%)
Squat 1RM	0.32	0.50 ± 0.63	79	18	4
Bench 1RM	0.52	0.28 ± 0.73	57	29	14
Combined 1RM	0.38	0.48 ± 0.68	72	22	6
PMT	0.66	0.15 ± 0.79	46	32	22
VLMT50	0.76	-0.13 ± 0.76	23	33	44
VLMT70	0.79	-0.06 ± 0.68	25	38	37

Quelle: Helms et al., 2018

Unterschiede gibt es zwischen den Gruppen in Volumen und Intensität beim Bankdrücken aber nicht bei Kniebeugen. Die durchschnittlichen aufgezeichneten RPE-Werte waren signifikant höher in der RPE-Gruppe als in der 1-RM-Gruppe bei beiden Übungen. Die wöchentliche durchschnittliche Intensität pro Wiederholung war allerdings in der RPE-Gruppe nicht in allen Wochen signifikant höher im Vergleich zur 1-RM-Gruppe. Das relative Volumen unterschied sich nur in manchen Wochen signifikant. Die RPE Gruppe absolvierte mehr Volumen. Die

durchschnittliche Intensität und das Volumen über alle acht Wochen unterschieden sich nicht signifikant in den beiden Gruppen bei der Kniebeuge. Beim Bankdrücken gab es signifikante Unterschiede. Volumen und Intensität fielen in der RPE-Gruppe größer aus als in der 1-RM-Gruppe. Der Unterschied im Volumen war in dem gegebenen Zeitraum nicht groß genug, um Unterschiede in der Hypertrophie zu messen.

Die RPE-Gruppe hatte größere Rückgänge der PRS von Woche sechs zu Woche sieben, aber danach größere Steigerungen in PRS von Woche sieben zu Woche acht im Vergleich zur 1-RM-Gruppe. Das zeigt, dass in der finalen Woche vor der Taper-Woche (wo die Belastung am höchsten ist, also Woche sieben) die RPE-Gruppe zu einem größeren Ausmaß ein overreaching (kurzfristiger Leistungsabfall) erreichte, als die 1-RM-Gruppe. Dadurch war die Taper-Woche für die RPE-Gruppe effektiver, da die PRS sprunghaft anstiegen in Woche acht.

Helms et al. (2018) fanden heraus, dass beide Gruppen ihre Maximalkraft über den Trainingszeitraum verbessern konnten. Es gab im Gruppenvergleich keine signifikanten Unterschiede. Betrachtet man die Effektstärke, so ergibt sich eine Tendenz, welche RPE besser abschneiden lässt. Hinsichtlich Hypertrophie lassen sich keine signifikanten Gruppenunterschiede bemerken. Beide Gruppen erzielten Verbesserungen. Die Autoren schlussfolgern, dass für manche Personen die RPE-Methode von Vorteil sein kann. Für andere wiederum wird es, zumindest kurzfristig gesehen, keinen gravierenden Unterschied bei der verwendeten Methode geben.

Die Ergebnisse, welche aus der Studie von Helms et al. (2018) hervorgehen, sollen laut den Autoren nicht bedeuten, dass RPE und 1-RM sich gegenseitig ausschließen müssen. Die Genauigkeit, RPE anwenden zu können, variiert je nach Individuum. Eine Person, die damit nicht zurechtkommt (z.B. sich ständig über oder unterschätzt), soll also nicht die Anweisung bekommen, ausschließlich RPE zur Bestimmung von Trainingslast zu verwenden. In diesen Situationen kann die klassische Methode des PBT gut genutzt werden, um beispielsweise eine fixe Wiederholungsanzahl bei einem gewissen % des 1-RM für den ersten Satz vorzugeben. Zusätzlich können RPE-Ziele vorgegeben werden, z.B. 4 Sätze zu je 8 Wiederholungen bei 70% des 1-RM mit dem RPE-Ziel von 6-8. Die Person kann individuell im nächsten Satz die Last adjustieren, wenn beim ersten Satz die RPE-Werte außerhalb des vorgegebenen Bereiches sind. So können sich die beiden Methoden gut ergänzen und schließen sich nicht gegenseitig aus. Diese Methode kann auch bei Athlet/innen mit unterschiedlichen Trainingsgeschichten und Muskelcharakteristiken in Teamsportarten verwendet werden. So können Athlet/innen unterschiedlich viele Wiederholungen bei derselben Prozentangabe absolvieren (Helms et al., 2018).

Eine weitere Erkenntnis aus der Studie ist, dass Training bis zur Erschöpfung, zumindest bei moderater bis schwerer Trainingsbelastung, nicht nötig ist, um signifikante Zuwächse in

Hypertrophie oder Kraft zu erreichen. Beide Gruppen verbesserten ihre Leistung trotz der Tatsache, dass die Mehrheit beim Training eine RPE von 6-7 erreichte (=3-4 Wiederholungen vom Muskelversagen entfernt).

3.5.4 Graham und Cleather, 2019

Die 2019 erschienene Studie *„Autoregulation by ‚Repetitions in Reserve‘ Leads to Greater Improvements in Strength Over a 12-Week Training Program Than Fixed Loading“* von Graham & Cleather untersuchte, ob eine autoregulative Steuerung der Trainingsintensität durch RiR zu einer größeren Steigerung der Kraftleistung gegenüber traditionell prozentbasierter Trainingssteuerung führt.

3.5.4.1 Studiendesign

Beide Trainingsprogramme waren bis auf die Methode der Intensitätsbestimmung (% des 1-RM vs. RiR) identisch. Satzanzahl und Wiederholungsanzahl waren in beiden Gruppen fix vorgegeben, d.h. sie absolvierten ein gleiches Trainingsvolumen. Es wurden 31 männliche krafttrainingserfahrene Teilnehmer zufällig einer fixed-load-Gruppe (PBT) oder einer autoregulations-Gruppe (RiR) zugeteilt. Krafttrainingserfahrung als Teilnahmebedingung an der Studie wurde so definiert, dass über einen Zeitraum von mehr als zwei Jahren mindestens zweimal pro Woche Krafttrainingseinheiten absolviert werden mussten. Im Untersuchungszeitraum von 12 Wochen wurde dann zweimal pro Woche trainiert, d.h. es wurden drei Mesozyklen zu je vier Wochen durchlaufen. 1-RM-Testungen in Front Squat (FS) und Back Squat (BS) vor und nach der Intervention wurden zur Beurteilung herangezogen. Beide Maximalkrafttestungen fanden am selben Tag mit einer 10-minütigen Pause zwischen den beiden Übungen statt. Die Kniebeugetechnik wurde vom Untersucher beobachtet und gegebenenfalls auch korrigiert.

Das Training wurde linear periodisiert, d.h. die Intensität wurde über die Mesozyklen gesteigert, während das Volumen stufenweise reduziert wurde (vier Wochen Hypertrophie – vier Wochen Basic strength – vier Wochen Maximalkraft).

Die Probanden trainierten selbstständig und wurden während dem Training nicht überwacht. Die Adhärenz wurde anhand wöchentlicher E-Mails der Teilnehmer kontrolliert. Außerdem sollten die Probanden in einer Excel-Liste die absolvierten Gewichte eintragen und zusätzlich ein Tagebuch mit RPE-Aufzeichnungen für die jeweiligen Trainingseinheiten führen. Sie durften zusätzliches sportspezifisches Training (z.B. Krafttraining), aber keine weiteren Kniebeugeeinheiten durchführen.

Für die Probanden der PBT-Gruppe wurden Prozentangaben des 1-RM im Vorhinein festgelegt. Die Probanden der RiR-Gruppe wurden aufgefordert, die vorgegebenen Wiederholungen und Sätze mit einem Gewicht zu absolvieren, welches einer bestimmten RiR entspricht. Nach einem Satz sollten sie einschätzen, welche Anzahl an weiteren Wiederholungen mit demselben Gewicht durchführbar wäre. Die RiR-Angabe wurde so gewählt, dass die Intensität theoretisch der in der PBT-Gruppe entspricht. Dazu präsentieren die Autoren eine Tabelle mit Schätzungen der Beziehung von relativer Last und der maximalen Anzahl an Wiederholungen, die absolviert werden können (basierend auf vorherigen Forschungen). Der Proband soll beispielsweise, wenn eine RiR von 4 vorgegeben ist, ein Gewicht wählen, wo er denkt, dass er nach dem absolvierten Satz noch genau 4 weitere Wiederholungen schaffen würde.

Tab. 17: Geschätzter Zusammenhang zwischen relativer Last (%1RM) und maximal möglicher Wiederholungsanzahl bei der gegebenen Last

Percentage 1RM	Maximum repetitions at that load	Number of repetitions per set for FL program	AR RIR instruction
100	1		
95	2	3	MAX
92.5	3	3	0
90	4	3	-1
87.5	5	3	-2
85	6	5	-1
82.5	7	5	-2
80	8	5	-3
77.5	9	5	-4
72.5	11	10	-1
70	12	10	-2
67.5	13	10	-3
65	14	10	-4

Quelle: Beachle & Earle, 2008

Tab. 18: Trainingsprotokoll

Program variable	Phase 1 (weeks 1-4)	Phase 2 (weeks 5-8)	Phase 3 (weeks 9-12)
FL: training intensity (%)	65, 67.5, 70, 72.5	77.5, 80, 82.5, 85	87.5, 90, 92.5, 95
AR: RIR	4, 3, 2, 1	4, 3, 2, 1	2, 1, 0, MAX
Training volume (repetitions)	3 × 10	4 × 5	3 × 3
Rest time	2-3 min	2-3 min	2-3 min
Day 1	Front squat		
Day 2	Back squat		

Quelle: Graham & Cleather, 2019

3.5.4.2 Studienergebnisse

Um standardisierte Differenzen (SD) zwischen pre-test und post-test für beide Gruppen und beide Kniebeugevarianten zu erhalten, wurde der Cohens d Wert als Effektmaß berechnet. Dieser zeigt bei der RiR-Gruppe in beiden Kniebeugevariationen einen Wert von über 0,5, was einem mittelgradigen Effekt entspricht und als signifikant gekennzeichnet ist. Die Werte der PBT-Gruppe waren unter 0,5, was einem kleinen bzw. unbedeutenden Effekt entspricht.

Tab. 19: Ergebnisse

	Pre-test	Post-test	Standardized difference
Front squat			
Fixed loading	111.3 ± 19.6 (99.5–123.1)	120.6 ± 18.3* (109.1–132.0)	+0.48
Autoregulated	120.7 ± 26.3 (108.5–132.9)	134.8 ± 26.1* (123.0–146.6)	+0.53†
Back squat			
Fixed loading	129.1 ± 21.3 (116.0–142.1)	138.2 ± 19.5* (125.4–151.0)	+0.44
Autoregulated	141.2 ± 29.4 (127.7–154.7)	156.4 ± 29.8* (143.3–169.7)	+0.51†

Quelle: Graham & Cleather, 2019

Die Ergebnisse zeigen, dass beide Gruppen eine signifikante Steigerung der Leistung in FS (front squat) und BS (back squat) erzielten, das Ausmaß aber war in der RiR-Gruppe größer ($d=0,53$, $d=0,51$). Die Trainingsintensität war in der RiR-Gruppe signifikant höher als in der PBT-Gruppe. RPE war bei BS in der RiR-Gruppe signifikant höher als in der PBT-Gruppe, aber nicht bei FS. Es gibt eine moderate positive Korrelation zwischen Trainingsintensität und RPE für die RiR-Gruppe, und eine starke positive Korrelation zwischen RPE und der PBT-Gruppe. Es wurde kein signifikanter Unterschied im durchschnittlichen wöchentlichen Volumen zwischen den Gruppen festgestellt.

Die drei Mesozyklen begannen in der ersten Woche mit relativ leichtem Training und nahmen jeweils bis in Woche vier an Intensität zu. Durch die RPE-Aufzeichnungen lässt sich dies in Abbildung 11 gut beobachten. In der AR-Gruppe sieht man die Trainingszyklen sehr deutlich, wohingegen man bei den Werten der PBT-Gruppe nicht auf die einzelnen Phasen schließen kann. AR erlaubt es den Trainierenden, bei Kraftzuwachsen auch die Intensität zu steigern. Bei einem fixen Gewicht trainieren die Probanden oft mit einer Intensität, die zu gering oder zu hoch vorgeschrieben ist.

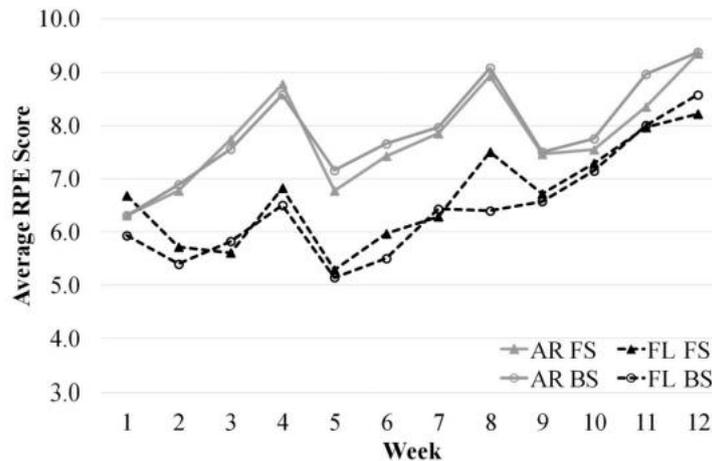


Abb. 11: Durchschnittliche RPE-Aufzeichnungen für jede Trainingseinheit für beide Kniebeugevarianten und beide Probandengruppen (Graham & Cleather, 2019)

RiR kann zu größeren Verbesserungen in der Kraft über ein 12-wöchiges Training bei erfahrenen Athleten führen, als ein Protokoll welches auf relativer Intensität (% des 1-RM) basiert. Eine Erklärung dafür finden die Autoren in der Tatsache, dass die RiR-Gruppe mit höheren Intensitäten trainierte. Da die Anzahl der Sätze in beiden Gruppen gleich war, ist dies eine plausible Erklärung. Sie empfehlen die RiR-Methode für sog. compound-movements (=Übungen, bei denen mehrere Muskelgruppen zur selben Zeit involviert sind) wie Kniebeugen und Bankdrücken. Übungen wie z.B. im Gewichtheben benötigen diesbezüglich mehr Forschung. RiR kann zu größeren schrittweisen Gewichtssteigerungen führen, wenn innerhalb kurzer Zeit eine hohe Maximalkraftleistung entwickelt werden soll. Diese Methode wird deshalb dafür empfohlen (Graham & Cleather, 2019).

4 Ergebnisse

Im Folgenden wird der Versuch unternommen, die vier Hauptstudien anhand von vorher festgelegten Kategorien vergleichend gegenüberzustellen und zu diskutieren. Es werden im ersten Unterpunkt die Probandenstichproben und anschließend die jeweiligen Studiendesigns miteinander verglichen. Danach folgen ein Unterpunkt zu den verwendeten statistischen Parametern sowie eine Diskussion der verschiedenen Ergebnisse der Primärstudien. Abschließend folgt eine Gegenüberstellung der Limitationen, welche die Autoren selbst in ihren Studien angeführt haben, um auch hier Gemeinsamkeiten und Unterschiede herauszustellen. Als Grundlage für diese vergleichende Gegenüberstellung werden in Tabelle 20 die wichtigsten zu diskutierenden Faktoren der einzelnen Studien zusammenfassend dargestellt.

Tab. 20: Studienübersicht

Autor/inne n & Jahr	Journal	Probanden	Vergleich	Untersuchungs- design	Trainings- intervention	Limitationen
Dorrell, Smith & Gee, 2019	Journal of Strength & Conditionin g Research	n=16 mind. 2 Jahre KT-Erfahrung, mind. 6 Monate regelmäßig KT	VBT vs. PBT	Effekte auf Maximalkraft (1- RM) und Schnellkraft (CMJ)	6 Wochen KT, 2x/Woche, Kniebeugen , Bankdrücken, Schulterdrücken , Kreuzheben	Mangelnde Kontrolle von Trainingsvariablen, unterschiedliche Probanden und Trainingsgeschichten
<p>Ergebnisse: Sign. Verbesserung des 1-RM in beiden Gruppen bei allen Übungen, sign. größere Steigerung bei bench press bei VBT vs. PBT, sign. Steigerung CMJ (Sprunghöhe) bei VBT vs. PBT, weniger Volumen bei VBT vs. PBT</p> <p>→ ES Kniebeuge: VBT = 0,59; PBT = 0,44</p> <p>→ Präferenz eher für Autoregulation als PBT bei erfahrenen Athleten</p>						
Helms, Byrnes, Cooke et al., 2018	Frontiers in Physiology	n=21 mind 2 Jahre KT-Erfahrung, mind. 6 Monate KB und BD, gewisses 1- RM als Voraussetzun g	RPE/RiR vs. PBT	Effekte auf Maximalkraft (1- RM) und Hypertrophie (Ultrasonografie)	8 Wochen KT, 3x/Woche, Kniebeugen , Bankdrücken	Zu geringe Angaben der Intensität in der PBT-Gruppe
<p>Ergebnisse: Keine sign. Unterschiede in Hypertrophie, sign. Verbesserung des 1-RM in beiden Gruppen bei beiden Übungen, keine sign. Unterschiede des 1-RM zwischen den Gruppen, geringe Unterschiede der ES welche für RPE gering besser ausfällt</p> <p>→ ES Kniebeuge: RPE = 0,50 (80% Wahrscheinlichkeit für Vorteile von AR)</p> <p>→ Präferenz eher für Autoregulation als PBT für erfahrene Athleten</p>						

Orange, Metclafe, Robinson, Applegarth & Liefeth, 2019	Int. Journal of Sports Physiology and Performance	n=27 Rugbyspieler der super league (semi professionals), mind. 2 Jahre Erfahrung im KT	VBT vs. PBT	Effekte auf Maximalkraft (1-RM), Geschwindigkeit und Sprungleistung	7 Wochen, 2x/Woche, Kniebeugen , zusätzlich sportart-spezifisches Training	Keine Gewichtsänderungen in der PBT-Gruppe (keine Progression), keine Vereinheitlichung der „on field“ Aktivitäten, zusätzliches sportartspezifisches Training,...
Ergebnisse:						
→ ES Kniebeuge: RPE = 0,38; PBT = 0,51						
→ Präferenz eher für PBT als VBT aber nur bei 1-RM der Kniebeuge, Schlussfolgerung fällt besser für VBT als PBT aus						
Graham & Cleather, 2019	Journal of Strength and Conditioning Research	n=31 mind. 2 Jahre KT Erfahrung	RPE/RiR vs. PBT	Effekte auf Maximalkraft (1-RM)	12 Wochen, 2x/Woche, Kniebeugen (front squat und back squat)	Schwierigkeit der Abstimmung der Intensitäten der beiden Gruppen, Einfluss von Trainingserfahrung
Ergebnisse: Sign. Verbesserung des 1-RM in beiden Gruppen bei beiden Übungen, sign. größere Unterschiede bei RPE als bei PBT						
→ ES Kniebeuge: RPE = 0,51; PBT = 0,44						
→ Präferenz eher für Autoregulation als PBT bei erfahrenen Athleten						

Quelle: Eigene Darstellung

4.1 Probanden

Alle vier Autorenguppen zogen nur männliche Probanden mit Vorerfahrung im Krafttraining heran. Graham und Cleather (2019) setzen voraus, dass die Probanden (n=31) über zwei Jahre mindestens zweimal pro Woche Krafttraining durchgeführt hatten. Helms et al. (2018) setzten von den Probanden (n=21) zusätzlich dazu noch definierte 1-RM-Werte bei Bankdrücken und Kniebeugen voraus. Dorrell et al. (2019) führten ihre Studie an Freizeitsportlern (n=16) durch, welche Erfahrung im Krafttraining hatten, während Orange et al. (2019) Semi-Profisportler (n=27) in der Wettkampfperiode untersuchten. Dieser Unterschied ist bei einem Vergleich zu berücksichtigen, da die Probanden unterschiedliche Ausgangslagen hatten und die körperliche Verfassung bei Semi-Profisportlern eine andere ist. Zusätzlich ist in der Wettkampfperiode generell ein höheres Leistungsniveau gegeben als in der Vorbereitungs- oder Übergangsperiode (siehe Kapitel 2.4). Es wurde bei allen vorausgesetzt, zumindest zwei Jahre Erfahrung im Krafttraining zu haben. Dorrell et al. (2019) erwähnen selbst als Limitationen der Studiendurchführung die Schwierigkeit, den Trainingsstatus von Probanden zu standardisieren. Der Trainingsstatus hat signifikante Effekte auf die Trainingsanpassungen. Weniger trainierte Personen generieren signifikant größere

neuromuskuläre Anpassungen verglichen mit erfahrenen Athleten. Diese Heterogenität hinsichtlich des Trainingsstatus der Probanden muss beim Studienvergleich berücksichtigt werden.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass zwar in allen vier Studien ausschließlich männliche Probanden mit gewisser Vorerfahrung im Krafttraining herangezogen wurden, diese jedoch unterschiedliche Trainingsgeschichten bzw. körperliche Voraussetzungen mitbringen.

4.2 Studiendesign

Vergleicht man das Studiendesign von Helms et al. (2018) mit dem von Graham und Cleather (2019) lassen sich viele Gemeinsamkeiten finden. In beiden Studien wurde die Kniebeuge (back squat) zum Vergleich herangezogen. Effekte auf die Maximalkraft von RPE/RiR im Vergleich mit PBT wurden untersucht. Für die Standardisierung wurden 1-RM Testungen vor und nach einer Trainingsintervention durchgeführt. Einen Unterschied findet man in der Dauer der Trainingsintervention. Graham und Cleather (2019) ließen ihre Probanden 12 Wochen lang je zweimal pro Woche trainieren. Die Trainingsdauer bei Helms et al. (2018) dauerte acht Wochen und es wurde dreimal pro Woche trainiert.

Beide Trainingsprogramme unterschieden sich nur in der Intensitätsvorgabe, alle anderen Belastungsparameter waren gleich. Die Autoren erwähnen ein geringes höheres Trainingsvolumen der AR-Gruppen am Ende der Intervention. Da sich das Trainingsvolumen aus den absolvierten Wiederholungen, Sätzen und dem Gewicht zusammensetzt, und in der Trainingsintervention der AR-Gruppen das Gewicht häufiger geändert wurde bzw. schneller erhöht wurde (sie trainierten mit höherer Intensität als PBT), hat sich auch das Gesamtvolumen leicht verändert. Diese Tatsache ist für die Ergebnisse eher unbedeutend.

Beide Forschergruppen verwendeten als autoregulative Methode die RPE-Skala, welche auf den RiR basiert, d.h. ein Vergleich ist möglich. Die Vorgangsweise ist jedoch unterschiedlich. Während Helms et al. (2018) ihren Probanden einen anzustrebenden RiR-Bereich vorgaben, schrieben Graham und Cleather (2019) einen bestimmten RPE-Bereich vor.

Die Studien von Dorrell et al. (2019) und Orange et al. (2019) untersuchten die Effekte von VBT im Vergleich zu PBT auf die Maximalkraftleistung. Um dies zu standardisieren, wurde vor und direkt nach der Intervention ein 1-RM Test in der Kniebeuge (back squat) durchgeführt, wie auch in den anderen beiden Studien.

Auch hier gibt es einen Unterschied in der Dauer der Intervention, jedoch nicht in der Trainingshäufigkeit pro Woche. Die Probanden in der Studie von Dorrell et al. (2019) trainierten über einen Zeitraum von sechs Wochen je zweimal pro Woche. Die Teilnehmer der Studie von Orange et al. (2019) führten ihre übliche Trainingsroutine durch, u.a. Feldeinheiten mit Rugby

Skills oder auch aktive Regenerationseinheiten. Krafttraining inklusive der Kniebeugen wurde ebenso zweimal pro Woche über einen Zeitraum von sieben Wochen durchgeführt.

Beide Forschergruppen verwendeten einen linearen Positionstransduktor der Marke GymAware zur Aufzeichnung der MVC. Für den Studienvergleich ist es eine gute Voraussetzung, dass das gleiche Tool verwendet wurde. Dadurch können Messungenauigkeiten verringert werden. Außerdem sind LTPs laut einer Studie von Mitter et al. (2019) aufgrund höherer Validität der Verwendung von Trägheitssensoren vorzuziehen (siehe Kapitel 2.6.1).

Es sind folgende Unterschiede der Vorgangsweise der Intensitätsbeschreibung für den Trainingsplan erwähnenswert. Dorrell et al. (2019) verwendeten in ihrem Trainingsprogramm eine Kombination aus velocity zones und velocity stops. D.h. für die Probanden der VBT-Gruppe wurde für die Kniebeuge ein bestimmter Geschwindigkeitsbereich für die entsprechende relative Intensität angegeben. Beispielsweise entspricht ein Bereich von 0,74-0,88m/s einer relativen Intensität von 70% des 1-RM. Velocity stops wurden integriert, sobald die MCV 20% von dem Zielbereich abwich. Dann wurde für den nächsten Satz das Gewicht, basierend auf dem LVP, adjustiert. Bei Orange et al. (2019) wurde das Gewicht dann adjustiert, sobald die Geschwindigkeit 0,06m/s vom Zielbereich abwich. Das Gewicht wurde um +5% des jeweiligen 1-RM angepasst.

Zur Intensitätsbeschreibung werden in den Studien unterschiedliche Vorgangsweisen beschrieben. Zusätzlich zur großen Heterogenität der Probandengruppe mag diese unterschiedliche Herangehensweise zur unterschiedlichen Ergebnisdarstellung beitragen.

4.3 Datenerhebung und statistische Auswertung

Die Effektstärke (ES) ist ein Maß, um die Effektivität bzw. die Wirksamkeit von Interventionen zu quantifizieren. Liegt ein signifikanter Unterschied zwischen Interventionen vor, so kann berechnet werden, ob die Effekte als klein, mittelgradig oder groß zu bewerten sind. Je nach statistischem Testverfahren gibt es unterschiedliche Effektmaße. In den ausgewählten Studien werden standardisierte Mittelwertdifferenzen (SMD) zur Berechnung der Effektstärke herangezogen. Dorrell et al. (2019) und Graham und Cleather (2019) berechnen die Effektstärke anhand der Cohen-Skala. Schwellenwerte sind dabei bei $d=0,2$ als klein, bei $d=0,5$ als mittelgradig und bei $d=0,8$ als hoch zu bewerten (Dorrell et al., 2019; Faraone, 2008).

Bei Dorrell et al. (2019) zeigt die ES für die PBT-Gruppe beim 1-RM der Kniebeuge einen kleinen Effekt ($d=0,44$) und für die VBT-Gruppe einen mittelgradigen Effekt ($d=0,59$), d.h. die ES ist hier in der VBT-Gruppe stärker ausgeprägt, jedoch nicht als groß zu bezeichnen. Bei Graham und Cleather (2019) zeigt die ES für die PBT-Gruppe beim 1-RM der Kniebeuge einen

kleinen Effekt ($d=0,44$), und für die RPE-Gruppe einen mittelgradigen Effekt ($d=0,51$), d.h. die ES ist auch hier in der RPE-Gruppe stärker ausgeprägt, jedoch nicht als groß zu bezeichnen.

Helms et al. (2018) berechnen ebenfalls die Effektstärke. Sie beziehen sich auf Schwellenwerte der Hopkins-Skala. Diese gibt andere Schwellenbereiche wie die Cohen-Skala an. Hier ist eine Ausprägung von $<0,2$ als trivial, $0,2$ als klein, $0,6$ als moderat, $1,2$ als groß und $2,0$ als sehr groß zu bewerten. Bei Helms et al. (2018) beträgt die ES des 1-RM bei der Kniebeuge $0,5$, was einem kleinen Effekt entspricht. Die Autoren erwähnen einen Vorteil der RPE-Methode gegenüber der PBT-Methode. Orange et al. (2019) verwenden ähnliche Schwellenwerte für die Effektstärke. Sie interpretieren ihre Ergebnisse zusätzlich anhand von Wahrscheinlichkeiten, wobei $<0,5\%$ als most unlikely (also sehr unwahrscheinlich) beschrieben wird und beispielsweise $>99,5\%$ als most likely (sehr wahrscheinlich). Dazwischen befinden sich noch einige Schwellenbereiche (siehe Kapitel 4.2.2.2). Demnach ist das Ausmaß der Wahrscheinlichkeit in dieser Studie für die PBT-Gruppe bezogen auf die Maximalkraft bei der Kniebeuge als most likely zu bewerten und das der VBT-Gruppe als very likely. Die Autoren sehen die statistischen Daten der Ergebnisse kritisch und erwähnen, dass selbst wenn diese Parameter öfter in der Literatur verwendet werden, es nicht klar ist, wie die Effekte für die Rugby-league Leistung zu bewerten sind.

Die statistische Heterogenität erschwert einen Vergleich der Effektstärken zwischen den Interventionen der verschiedenen Studien. Man kann jedoch sagen, dass in der Studie von Orange et al. (2019) die ES beim 1-RM der Kniebeuge für PBT etwas besser ausfällt als für AR. Die Effektstärken der Kniebeuge in den anderen drei Studien fallen besser für AR als für PBT aus.

4.4 Limitationen der Primärstudien

Helms et al. (2018) geben als mögliche Limitation ihrer Studiendurchführung an, dass die Autoren die vorgeschriebenen Prozentangaben der 1-RM-Gruppe als zu gering angegeben haben, und daher die Progressionsrate zu langsam war. Im Gegensatz dazu konnten die Teilnehmer der RPE-Gruppe die Progression individuell gestalten. Beim Bankdrücken zeigte sich signifikant höheres Volumen und höhere Intensität, aber nicht bei der Kniebeuge. Die Autoren fragen sich daher, ob das nur in ihrer Studie der Grund für schlechtere Ergebnisse war, oder ob dies eine generelle Schwachstelle für die Trainingsmethode des PBT sein könnte (Helms et al., 2018).

Eine potenzielle Limitation der Studiendurchführung, wie Graham und Cleather (2019) in ihrer Studie erwähnen, war die Schwierigkeit, die Intensitäten in beiden Gruppen (PBT und AR) aufeinander abzustimmen, um einen Vergleich ziehen zu können. Die Autoren orientierten sich

in ihrer Studiendurchführung an einem theoretischen Zusammenhang von relativer Intensität in Prozent und der möglichen Wiederholungen bei diesem Gewicht. Dies zeigt sich jedoch in der Praxis hochindividuell. Ein sinnvoller Vergleich der Intensitäten ist zusätzlich davon abhängig, wie genau die Probanden eine Belastung bei einer gegebenen RiR korrekt einschätzen können (Graham & Cleather, 2019). Wie bereits erwähnt, fanden Zourdos et al. (2016) heraus, dass erfahrene Probanden besser in der Lage sind, ein möglichst korrektes Feedback hinsichtlich der RPE- und RiR- Werte zu geben als unerfahrene Probanden (RPE- und RiR-Werte). Bei höheren Intensitäten und somit höheren RPE-Werten können RiR-Werte genauer eingeschätzt werden. Dies wird auch von Helms et al. (2016, in Graham & Cleather, 2019) bestätigt. Je geringer die RiR (z.B. RiR 1-4) sind, desto genauer können diese geschätzt werden. Diese Faktoren sind bei der Studiendurchführung zu berücksichtigen (Graham & Cleather, 2019).

Orange et al. (2019) bemängeln an ihrer Studie, dass die Teilnehmer der PBT-Gruppe während der siebenwöchigen Studienintervention ihr Trainingsgewicht nicht verändert haben, während die Teilnehmer der VBT-Gruppe ständig Anpassungen durchführten. Üblicherweise finden in Periodisierungsprogrammen - seien sie linear oder wellenförmig strukturiert - sehr wohl Gewichtssteigerungen innerhalb eines Mesozyklus statt. In dieser Studie entschieden sich die Autoren jedoch für einen fixen Prozentsatz des 1-RM über alle sieben Wochen. Dass dadurch keine Progression im Trainingsprozess stattfindet, ist nachvollziehbar.

Als einen weiteren Kritikpunkt an ihrer Studie erwähnen die Autoren, dass, obwohl die Teilnehmer den Gruppen randomisiert zugewiesen wurden, nicht garantiert werden konnte, dass Spieler „on-field“ (Orange et al., 2019, Z. 314) gleichmäßig auf beide Gruppen verteilt waren. Ein möglicher Einfluss auf die Ergebnisse kann somit nicht ausgeschlossen werden. Zusätzlich kann angemerkt werden, dass das Ausmaß des zusätzlichen sportartspezifischen Trainings der Rugbyspieler nicht berücksichtigt wurde. Dadurch ist unklar, inwieweit diese Tatsache die Trainingsadaptationen beeinflusst haben könnte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es zusätzlich zu den Limitationen bei einzelnen Studiendurchführungen auch methodologische Unstimmigkeiten zwischen verschiedenen Untersuchungsdesigns gibt. Dies setzt dem Studienvergleich Grenzen. Limitationen sind u.a. ein Mangel an Kontrolle von Trainingsvariablen, unterschiedliche Trainingsgeschichten der Probanden oder die Anwendung von freien Gewichten im Vergleich zu geführten Geräten. Auch der, allerdings nicht erwähnte, Reifestatus von jüngeren Probanden, sowie unzuverlässige Methoden von Geschwindigkeitserfassung beeinflussen die Studienergebnisse (Dorrell et al., 2019).

5 Diskussion

Im nächsten Kapitel findet ein Vergleich der Studienergebnisse statt. Es folgen drei Unterkapitel, welche zum einen RPE und PBT, anschließend VBT und PBT und abschließend RPE und VBT miteinander vergleichen, bevor allgemeine Vor- und Nachteile der autoregulativen Trainingssteuerung diskutiert werden.

5.1 RPE/RiR und PBT im Vergleich

Graham und Cleather (2019) kommen zu einem ähnlichen Ergebnis wie Helms et al. (2018). In beiden Studien konnten beide Gruppen ihre Maximalkraftleistung in der Kniebeuge über den Trainingszeitraum verbessern. Die Autoren beider Studien erwähnen einen möglichen Vorteil der autoregulativen Methode verglichen mit der prozentbasierten Methode.

Bei beiden Studien trainierte die AR-Gruppe mit höheren Intensitäten und höherem Volumen als die 1-RM Gruppe. Mögliche geringe Vorteile für AR hinsichtlich einer Verbesserung der Kraftleistung bei der Kniebeuge sind zu verzeichnen. Eine Erklärung für die größeren Kraftsteigerungen in der AR-Gruppe könnte laut den Autoren das Training mit höheren Intensitäten sein, denn die total number of lifts war in beiden Gruppen gleich. Graham und Cleather (2019) verzeichneten nichtsignifikante Unterschiede im Volumen der beiden Gruppen. Die AR-Gruppe hatte ein nicht nennenswertes höheres Volumen absolviert. Aufgrund der höheren absolvierten Intensitäten wurde somit ein höheres Gesamtvolumen berechnet, denn dieses setzt sich aus Wiederholungen, Sätzen und der Last (Gewicht) zusammen. Ein weiterer Hinweis dafür, dass die AR-Gruppe mit höheren Intensitäten trainierte, ist, dass in der AR-Gruppe durchschnittlich höhere RPE-Werte über den Zeitraum der Studiendurchführung verzeichnet werden konnten. Graham und Cleather (2019) schlussfolgern, dass die AR-Methode Vorteile gegenüber der PBT-Methode hat. In der PBT-Gruppe wurde die „readiness to train“ nicht berücksichtigt, d.h. die Probanden trainierten des Öfteren über oder unter der eigentlichen gewünschten Intensität.

Helms et al. (2018) verzeichneten im Studienverlauf höhere durchschnittliche RPE-Werte pro Satz, ein höheres relatives Volumen und höhere relative Intensitäten pro Wiederholung in der AR-Gruppe, verglichen mit der PBT-Gruppe. Das könnten Hinweise für mögliche geringe Vorteile der AR-Methode hinsichtlich der Kraftsteigerung sein. Auch Helms et al. (2018) erklären sich die nichtsignifikante Volumenerhöhung mit den höheren Intensitäten. Das höhere Volumen war nicht ausreichend, um größere Hypertrophie Fortschritte zu verzeichnen, zumindest nicht über diesen kurzen Zeitraum von acht Wochen.

Die Autoren beider Studien empfehlen eine autoregulative Trainingssteuerung über RPE oder/und RiR für bereits erfahrene Athleten, nicht aber für Anfänger. Der Grund dafür ist, dass das Einschätzen der RPE/RiR erlernt werden muss. Wenn das Ziel in einem Mesozyklus ist, in kürzester Zeit möglichst schnelle Kraftzuwächse zu erreichen, dann ist die RiR-Methode sinnvoll.

5.2 VBT und PBT im Vergleich

Orange et al. (2019) erwähnen in den Ergebnissen, dass VBT eine bessere Alternative zu PBT sein kann. VBT unterstützt schnellere back squat repetitions. Schaut man sich die Ergebnisse genauer an, dann sind die Geschwindigkeiten bei 40% und 60% bei VBT als likely bewertet (das sind zwischen 75-95%), bei 80% sind die Ergebnisse unklar und bei 90% sind die Ergebnisse possibly (das sind 25-75%). Es liegt also eine sehr breite range vor. Es ist fraglich, ob man daraus schließen kann, dass VBT besser als PBT ist. Die back squat velocity Verbesserung war likely greater bei VBT als bei PBT. Diese geringen Unterschiede, die in den Daten gezeigt werden, deuten auf einen geringen bis mäßigen Effekt hinsichtlich VBT hin. In ihren Schlussfolgerungen erwähnen sie keine Ergebnisse zum 1-RM der Kniebeuge. Laut Daten aus der Tabelle in ihrer Studie ist hier ein minimaler Vorteil in der PBT-Gruppe gegeben, aber nicht in der VBT-Gruppe. Orange et al. (2019) überinterpretieren möglicherweise ihre Ergebnisse hinsichtlich VBT.

In der Studie von Dorrell et al. (2019) konnten alle Teilnehmer ihre Maximalkraftwerte signifikant verbessern, jedoch gab es keine signifikanten Gruppenunterschiede, außer beim Bankdrücken. Hier wurde der VBT-Gruppe eine signifikant größere Steigerung zugeschrieben, verglichen mit der PBT-Gruppe. Die VBT-Gruppe erreichte diese Ergebnisse, trotz signifikant reduziertem absolviertem Trainingsvolumen, was als positiver Effekt für den Einsatz von VBT gilt. Betrachtet man die Ergebnisse der Kniebeuge, so lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen erkennen, jedoch eine minimale Tendenz, welche VBT favorisiert.

Banyard et al. untersuchten im Jahr 2018 anhand von 15 trainierten Männern kinetische- und kinematische Variablen anhand VBT und PBT. Aufgrund der kurzen Trainingsintervention wurde die Studie nicht in den Vergleich miteinbezogen, da sie somit die Einschlusskriterien nicht erfüllt. Sie kommen zu den Ergebnissen, dass VBT schnellere Geschwindigkeiten erlaubt, zusätzlichen nicht nötigen mechanischen Stress vermeiden kann, aber ein ähnliches Ausmaß an force- und power-output verglichen mit PBT unterstützt (Banyard et al, 2018).

Eine weitere Studie von Zhang et al. aus 2021 untersuchte AR (APRE, RPE und VBT) im Vergleich zu PBT anhand einer Metaanalyse, welche Studien zwischen 2010 und 2020 zum

Vergleich heranzog. Die Interventionen dauerten 5-10 Wochen. Es wurden die Übungen Bankdrücken und Kniebeugen hinsichtlich Maximalkraft untersucht. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass es Vorteile durch AR im Vergleich zu PBT gibt. Dabei schneidet laut dieser Studie APRE am besten ab. Die Autoren erwähnen Forschungsbedarf an weiblichen Probandinnen und mit unterschiedlichen Trainingslevel (Zhang et al., 2021). Diese Studie wurde aufgrund des Studiendesigns in der vorliegenden Arbeit im Hauptteil nicht mit einbezogen.

5.3 RPE und VBT im Vergleich

Im Rahmen dieser Überblicksarbeit ist es auch interessant, die beiden autoregulativen Methoden – RPE und VBT – miteinander zu vergleichen. Die Ergebnisse der Hauptstudien lassen diesbezüglich keine objektiven Aussagen zu. Shattock und Tee (2019) gingen in ihrer Studie dieser Frage nach. Sie untersuchten, welche der zwei Methoden der Autoregulation effektiver zu einer Leistungssteigerung führen würden – entweder die subjektive Methode der Einschätzung der RPE/RiR oder die objektive Methode der Geschwindigkeitsmessung. 20 Amateur-Rugbyspieler unterzogen sich zwei sechswöchigen Trainingsblöcken (also 12 Wochen insgesamt) zur Vorbereitung auf die kommende Rugby Saison. Von den männlichen Probanden wurde auch hier eine Vorerfahrung im Krafttraining von zwei Jahren vorausgesetzt. Das Trainingsvolumen war in beiden Gruppen aufeinander abgestimmt. Die Trainingsintensität wurde entweder durch VBT-Messungen oder RPE-Messungen festgelegt. Zum Vergleich wurde der 1-RM Test in der Kniebeuge herangezogen. Beide Gruppen führten beide AR-Methoden durch, d.h. eine Gruppe absolvierte zuerst sechs Wochen VBT und dann sechs Wochen RPE, und umgekehrt. Die andere Gruppe begann den ersten Trainingsblock mit der RPE-Methode und den zweiten Trainingsblock mit der VBT-Methode.

Beide Formen der Autoregulation – sowohl das subjektive Belastungsempfinden nach RPE als auch das geschwindigkeitsbasierte Training - führten zu einer signifikanten Leistungsverbesserung des 1-RM in der Kniebeuge. Es gab signifikante bedeutsame Unterschiede zwischen den beiden Methoden der Intensitätsbeschreibung, welche die VBT-Methode favorisiert. Es gab keine statistisch bedeutsamen Unterschiede im absolvierten totalen Trainingsvolumen der beiden Gruppen.

Die Autoren fanden heraus, dass autoregulatives Krafttraining zu einer deutlichen Verbesserung der Maximal- und Schnellkraft führt. Dabei fiel auf, dass das Ausmaß der Verbesserung mit der objektiven Methode, möglicherweise aufgrund der Motivation von direktem Feedback über die Bewegungsgeschwindigkeit, größer und spezifischer bei den Krafttests ausfiel als mit der subjektiven Methode. Die Autoren ziehen aus den Ergebnissen

ihrer Studie den Schluss, dass autoregulativ gesteuertes Training eine gute Alternative zu traditionell prozentbasiertem Training sein könnte, welches keine oder nur wenig Adaptationen erlaubt. Je nach verfügbaren Ressourcen kann entschieden werden, welche Methode im Training herangezogen werden soll (Shattock & Tee, 2019).

Die Autoren bemängeln an ihrer Studiendurchführung, dass sie zur VBT-Bestimmung bestehende Daten aus der Literatur heranzogen, anstatt individuelle LVPs mit ihren Probanden zu erstellen. Dadurch wäre eine genauere Intensitätssteuerung möglich. Als Nachteil erwähnen sie den relativ zeitintensiven Prozess der LVP-Erstellung. Außerdem kommt es auf die Verwendung des VBT-Equipments an. Die Daten sollten nicht auf andere Tools übertragen werden. In diesem Fall wurde ein Sensor der Marke PUSH verwendet. Daten aus der Literatur wurden mittels verschiedener Devices erhoben. Dies führt zu Unstimmigkeiten in der Trainingsbeschreibung. Weiters ist zu beachten, dass in dieser Studie die beiden Gruppen nicht einer Methode zugeteilt wurden, sondern jede Gruppe absolvierte sowohl sechs Wochen VBT und sechs Wochen RPE (Shattock und Tee, 2019).

5.4 Vorteile von Autoregulation im Krafttraining

Im Folgenden werden die Vorteile von Autoregulation im Krafttraining, basierend auf den Studienergebnissen, dargestellt.

5.4.1 Individuelle Anpassung

Der wohl bedeutendste Vorteil von autoregulativer Trainingssteuerung ist der der Individualität. Trainierende Personen haben in vielerlei Hinsicht unterschiedliche Voraussetzungen, aufgrund deren individuelle Intensitätsvorgaben im Training von Vorteil sind, um optimale Leistung hervorzubringen. Auch die Trainingsbereitschaft (readiness to train) unterliegt täglichen, wöchentlichen oder monatlichen Schwankungen, weshalb jede Trainingseinheit von individuellen Anpassungen der Belastungsvariablen profitiert. Durch die Verwendung von autoregulativen Methoden werden Übungen mit individueller optimaler Last durchgeführt.

Dieser Vorteil wird von Graham und Cleather (2019) sowie von Helms et al. (2018) angeführt. Graham und Cleather (2019) betonen, dass der/die Trainierende auf Basis der individuellen readiness to train die Belastung auswählen kann. Dadurch wird näher am individuellen Optimum trainiert und Leistungssteigerungen werden möglicherweise schneller erreicht (Graham & Cleather, 2019, S. 2). Sie fanden heraus, dass das Training mit RPE/RiR mit durchschnittlich höherer Intensität ausgeführt wurde, verglichen mit dem prozentbasierten

Training. Das schnellere Erreichen der Maximalkraft wird somit begründet und als Vorteil hervorgehoben.

Dorrell et al. (2019) streichen als Vorteil heraus, dass die autoregulativen Methoden „real-time load adjustment“, basierend auf dem aktuellen physiologischen Zustand der Athlet/innen, ermöglichen, und somit, wie die Studienergebnisse zeigen, zu größeren Anpassungen der Maximalkraft führen (Dorrell et al., 2019, Z55f).

5.4.2 Feedback und Motivation

Das Konzept von AR basiert auf wiederholtem sofortigem Feedback, das subjektiv oder objektiv gegeben wird. Anhand der richtigen Anwendung des Feedbacks wird der weitere Trainingsprozess ausgerichtet. Subjektives Feedback wird durch die RPE/RiR Methode gegeben, um passende Intensitäten für den nächstfolgenden Satz oder die nächste Trainingseinheit zu erreichen (Graham & Cleather, 2019). Objektives Feedback, das in VBT Anwendung findet, fördert, wie Orange et al. (2019) herausgefunden haben, geschwindigkeitsspezifische Anpassungen.

Shattock & Tee, die in ihrer Studie von 2019 subjektive und objektive Feedbackgaben verglichen, fanden heraus, dass VBT etwas besser als RPE abscheiden könnte. Sie erklären die Ergebnisse damit, dass das sofortige Feedback in jedem Satz positive Auswirkungen auf die Motivation haben könnte. Geschwindigkeitsbasiertes Feedback generiert sofortige Verbesserungen in der Bewegungsgeschwindigkeit innerhalb einer Trainingseinheit (Shattock & Tee, 2019).

Diese Ergebnisse werden wiederum durch eine Studie von Weakly et al. (2019) unterstützt. Er untersuchte den Zusammenhang zwischen Feedbackgabe und Leistungssteigerung bei Semi-Profi Rugbyspielern. Das Feedback wurde über einen vierwöchigen Mesozyklus objektiv über die MCV während der durchgeführten Wiederholungen beim Bankdrücken und Kniebeugen gegeben. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass vermehrtes visuelles oder verbales kinematisches Feedback während einer Übung zu sofortiger Leistungssteigerung führen kann, verglichen mit einer Trainingsgruppe, die kein zusätzliches Feedback bekam. Der Einsatz von Feedbackmethoden kann positive Auswirkungen auf die Motivation und Wettbewerbsfähigkeit von Athleten haben. Zu beachten sind die relativ kurze Trainingsintervention und das zusätzliche on-field Training der Probanden, das nicht mitberücksichtigt wurde (Weakly et al., 2019).

Trainingsüberwachung (engl. monitoring) bzw. Feedbackgabe durch autoregulative Trainingssteuerung kann positive Auswirkungen auf motivationales Verhalten haben.

Graham und Cleather (2019) erwähnen mögliche Vorteile von autoregulativer Trainingssteuerung. Ein positiver Effekt könnte eine stärkere Adhärenz als im PBT sein, da die trainierende Person stärkere wahrgenommene Kontrolle über das Trainingsprogramm hat und somit die Freude bzw. Begeisterung (engl. enjoyment) am Trainieren größer ausgeprägt sein könnte.

Für die Kommunikation und Zusammenarbeit von Athlet/innen und Coaches kann Trainingsüberwachung ein wichtiges Tool darstellen. Werden Athlet/innen in den Prozess des Monitoring miteinbezogen, fördert dies außerdem die Beziehung zwischen allen Beteiligten. Die Athlet/innen werden in ihrem Handeln bestärkt und Empowerment wird gefördert (Halson, 2014).

Eine weitere Zielsetzung des Monitorings von Trainingsbelastung zur Feedbackgabe ist beispielsweise die Erfassung von Ermüdung (engl. fatigue). Auf dieser Basis kann das weitere Trainingsvorgehen angepasst werden.

5.4.3 Fatigue Management

Ermüdung ist ein komplexes, multifaktorielles Phänomen, dessen Entstehung in der Literatur viel diskutiert wird und noch nicht vollständig geklärt ist. Ein häufiges Element bei der Entstehung von muskulärer Ermüdung (Laktatakkumulation) ist der trainingsinduzierte Rückgang der Kapazität, Kraft zu generieren. In diesem Zustand ist ein größeres Anstrengungsniveau erforderlich, um eine Übung zu absolvieren. Wird diese fortgeführt, entsteht folglich eine Muskelererschöpfung. Eine zunehmende Krümmung der Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung ist ein wesentlicher Faktor bei dem Verlust von Muskelkraft. Ermüdung kann als Absinken von Kraft (force), Geschwindigkeit oder Leistung (power) definiert werden (Gonzales-Badillo, 2011).

Edwards (1983, in Halson, 2014) beschreibt fatigue als Unmöglichkeit, die erforderliche Kraft bzw. Leistung aufrecht zu erhalten. Die Ermüdung wird beeinflusst durch die Art der Kontraktion (isometrisch, isotonisch, intermittierend, kontinuierlich), die Dauer, Frequenz und Intensität der Übung und durch die Art der Muskeltypen. Zusätzlich spielen der physiologische Zustand sowie der Trainingszustand der/des Athlet/in und Umweltbedingungen eine nennenswerte Rolle bei der Entstehung von Ermüdung. Ein Monitoring der Trainingsbelastung ist wichtig, um herauszufinden, ob sich ein/e Athlet/in an Trainingsreize/Trainingsprogramme anpasst, und um das Risiko von Übertraining, Krankheit und Verletzung zu minimieren (Halson, 2014).

In den Studien von Dorrell et al. (2019) und Orange et al. (2019) werden trotz geringerem Gesamttrainingsvolumen der Athleten bessere Leistungssteigerungen hervorgerufen. Man kann daraus schließen, dass dadurch weniger mechanischer Stress auf die Athleten wirkt. Überwachung und Vorschreibung von Trainingsintensitäten auf Basis der MCV erlauben eine größere Kontrolle über die Belastung und den aktuellen Ermüdungszustand von Athleten, ohne mehrfache Ausbelastungstests durchführen zu müssen (Dorrell et al., 2019). Durch sofortiges wiederholtes Feedback wird objektive Intensitätsanpassung ermöglicht. Dadurch können Trainingsanpassungen stattfinden und gleichzeitig kann trainingsinduzierte Ermüdung, die das Training limitieren würde, erfasst werden (Dorrell et al., 2019, S. 4, Z62).

Auch Orange et al. (2019) kommen zu ähnlichen Aussagen. Durch VBT wird mit durchschnittlich höheren Geschwindigkeiten trainiert, wobei die TUT und der subjektiv wahrgenommene Trainingsstress, verglichen mit PBT, geringer ist.

Durch die akute Anpassung von Trainingsvariablen (Wiederholungen, Sätze, Erholungszeit) an Bewegungsgeschwindigkeiten durch VBT im Trainingsprozess können Coaches die Trainingsintensität regulieren und die Entstehung von neuromuskulärer Ermüdung frühzeitig erfassen (Nevin, 2019). Bewegungsgeschwindigkeiten scheinen wichtig für neuromuskuläre Anforderungen im Training zu sein, da der Trainingseffekt stark von der Geschwindigkeit und der Last, die bewegt wird, abhängt. Gonzales-Badillo (2011) untersuchte akute mechanische und metabolische Anpassungen auf verschiedene Trainingsprotokolle, die sich in den absolvierten Wiederholungen, in Bezug zu den maximal möglichen Wiederholungen, unterscheiden. Er erwähnt frühere Studien, die vermuten lassen, dass ein Training bis zum Muskelversagen für Kraftsteigerungen nicht notwendig ist. Es wurden Zusammenhänge zwischen mechanischer (velocity loss) und metabolischer (Ammoniak und Laktat) Ermüdung gefunden. Diese Ergebnisse unterstützen die Aussage, dass Geschwindigkeitsmessungen im Krafttraining als Indikator zur Feststellung von Ermüdung herangezogen werden sollen. Es können bestimmte velocity loss Schwellen eingesetzt werden, um „unnötige“ Wiederholungen einzusparen, die nicht zum gewünschten Trainingseffekt beitragen würden (Gonzales-Badillo, 2011).

5.5 Nachteile von Autoregulation im Krafttraining

Autoregulation im Krafttraining hat auch Nachteile. Diese werden im Folgenden dargestellt.

5.5.1 Subjektive Einschätzung und Genauigkeit (RPE)

Methoden wie RPE oder RiR können zwar die Nachteile der 1-RM Methode zu verhindern versuchen, jedoch unterliegen sie ihren eigenen Limitationen. Veränderungen der Last basierend auf subjektivem Feedback können zu Unstimmigkeiten zwischen Athlet/in und Trainingseinheit abhängig von der Trainingserfahrung, der tagesaktuellen Motivation und der aktuell empfundenen Ermüdung führen. Die Genauigkeit einer geschätzten RiR nimmt ab, je mehr die zu trainierende Person vom Muskelversagen entfernt ist. Beim Training mit submaximalen Lasten ist die Methode anfällig für Ungenauigkeiten (Moore, 2020).

Graham und Cleather (2019) betonen die Notwendigkeit der Fähigkeit, subjektives Feedback angemessen zu geben und einzusetzen. Bei den Anwender/innen werden gewisse Anforderungen vorausgesetzt, damit die Vorteile dieser Methode zur Geltung kommen. Auch Helms et al. (2018) unterstützen die Aussage, dass die Einschätzung der RPE eine gewissen Genauigkeit voraussetzt. Kraftsportlern, welche damit zu ungenau umgehen (z.B. keine stetige Dokumentation, Überschätzung, Unterschätzung, wenig Vorerfahrung) wird nicht empfohlen, die Methode der RPE zu nutzen, da diese den Benefit nicht erreichen würden. In so einem Fall könnte die PBT-Methode möglicherweise zu besseren Ergebnissen führen.

Helms (2016) nennt in einem Interview die Gründe, warum die RPE-Skala für Krafttraining nicht immer optimal ist. Personen schätzen die wahrgenommene Anstrengung auf Basis bereits erlebter Erfahrungen ein. Man orientiert sich an früheren Trainingserfahrungen. Anhand von groben Beschreibungen wie „sehr schwer“ oder „schwer“ fällt die subjektive Einschätzung oft nicht leicht. Aus diesem Grund mag die klassische RPE-Skala zwar für Ausdauerbelastungen, für die sie ursprünglich entwickelt wurde, sinnvoll sein, für Krafttraining ist diese jedoch weniger akkurat, so Helms (Wetzel, 2016).

5.5.2 Finanzieller, zeitlicher und technischer Aufwand (VBT)

Laut Orange et al. (2019) ist der finanzielle Aufwand des relativ teuren Equipments als Nachteil von VBT anzusehen. Zusätzlich muss extra Zeit zur Vorbereitung bzw. zur Einrichtung des Set-ups miteinberechnet werden. Dadurch muss mehr Personal zur Verfügung gestellt werden, was wiederum mit höheren finanziellen Kosten verbunden ist. Dorrell et al. (2019) erwähnen keine Nachteile von VBT in ihrer Studie.

Autoren von weiterführenden Studien, wie Guerriero (2018), erwähnen ebenfalls den finanziellen und zeitlichen Aufwand, den die VBT-Methode mit sich bringt. Auch Nevin (2019) und Varela-Olalla (2019) betonen, dass der finanzielle Aufwand für einige Anwendungsfelder zu groß sein könnte. Außerdem nennt Guerriero (2018) den Umgang mit komplexen Trackingmethoden, mit denen sich Coaches auseinandersetzen müssen, als Hürde für die Anwendung.

Shattock und Tee (2019) erklären, dass verschiedene VBT Geräte nicht abwechselnd verwendet werden sollen, da dies zu Ungenauigkeiten in der Intensitätsbeschreibung führen kann. Idealerweise sollten individuelle LVPs für jede Übung erstellt werden. Dies ist ein zeitintensiver Prozess, der in der Anwendung mit zu berücksichtigen ist. Auch Moore (2020) erwähnt, dass einige Rechenschritte nötig sind, um das gewünschte Trainingsgewicht aus einem LVP zu bestimmen, was den Zeitaufwand erhöht.

Die Verwendung von LVPs kann auch zur Schätzung des 1-RM herangezogen werden, d.h. eine Ausbelastung der/des Athlet/in könnte vermieden werden. Diese Methode ist jedoch fehleranfällig und wird laut Moore (2020) nicht komplett unterstützt (Moore, 2020, S. 3). Um LVPs individuell zu erstellen, müssen also Athlet/innen trotzdem an ihr 1-RM kommen, was nicht für alle Probandengruppen optimal ist.

1-RM Testungen werden also anfänglich bleiben, um die übungsspezifische MCV herauszufinden. Jedoch werden Ausbelastungen weniger häufig zum Einsatz kommen als beim PBT, da die MCV bei Steigerung der Maximalkraft relativ konstant bleibt (Nevin, 2019). Warum 1-RM Testungen als Nachteil gesehen werden, wird in Kapitel 2.3.2. angeführt.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Trainingsintensität ist eine viel diskutierte Trainingsvariable. In der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt 95 männliche Probanden, im Hinblick auf autoregulative Steuerung der Trainingsintensität in einem mehrwöchigen Trainingszyklus analysiert. Die Untersuchungen zeigen, dass die autoregulativen Methoden gute Ergebnisse liefern. Sie lassen auch Rückschlüsse zu, dass es situationsabhängig und abhängig von der Personengruppe zu sein scheint, welche der autoregulativen Trainingsmethoden von Vorteil ist. Es scheint jedoch schwierig, allgemeingültige Aussagen zu treffen.

Vielmehr wird es darum gehen, mögliche Vor- und Nachteile für bestimmte Situationen, Personengruppen und Zielvorstellungen herauszufinden. Auch wird es in der Praxis so sein, dass unterschiedliche Methoden einfach ausprobiert werden. Die bisherigen Studien zeigen durchgängig, dass weiterer Forschungsbedarf in dieser Richtung vorhanden ist, damit Coaches evidenzbasierte Entscheidungen treffen können, welche Methode für welche Athlet/innen optimale Voraussetzungen für dessen/deren Erreichung ihrer/seiner Ziele schafft.

Die Vor- und Nachteile müssen individuell abgewogen werden. Ein großer Vorteil autoregulativer Trainingsmethoden ist die Individualisierung eines Trainingsprogrammes. Viele persönliche Faktoren wie Schlaf, Stresslevel, oder Tagesverfassung können berücksichtigt werden. So kann das Training optimal auf die jeweilige Person angepasst, und Phase für Phase modifiziert werden. Die Anwendung von autoregulativen Trainingsmaßnahmen setzt jedoch ein gewisses Maß an Erfahrung im Krafttraining und spezielle Kenntnisse zur Selbstanwendung voraus. Besonders beim VBT ist die Kenntnis der Anwendung des technischen Equipments vorauszusetzen. Auch Coaches müssen sich mit diesen Anforderungen auseinandersetzen. Für die RPE-Methode ist zwar kein technisches Equipment und Wissen nötig, jedoch aber die Fähigkeit zur Selbstreflexion und Selbsteinschätzung von empfundener körperlicher Anstrengung. Das kann gelernt und geübt werden (Zourdos et al., 2016). Für Trainingsanfänger/innen können solche Methoden aber eher ungeeignet sein, da diesen Trainingserfahrung und Auseinandersetzung mit körperlicher Anstrengung fehlen, und somit die Fähigkeit zur Einschätzung von Intensitätsempfinden noch nicht gut genug ausgeprägt ist. Für Trainingsanfänger/innen ist somit die Wahl der Trainingsmethode weniger bedeutend als für fortgeschrittene Athlet/innen. Da bei Anfänger/innen Anpassungsprozesse grundsätzlich sehr schnell passieren, werden Trainingsfortschritte auch ohne AR schnell sichtbar. Je fortgeschrittener ein/e Athlet/in ist, desto schwieriger wird es, den Körper weiterhin zu Anpassung zu „zwingen“ und desto mehr Variabilität und Spezifität wird benötigt. Fortgeschrittene Athlet/innen können nach jahrelanger Erfahrung bereits einschätzen, welche Methoden für sie besser oder schlechter funktionieren.

Sie probieren verschiedene AR-Methoden aus, und entscheiden sich dann individuell für die für sie am geeignetsten Trainingsmethode.

AR ist auch von der individuellen Zielsetzung abhängig. Die Fragestellung, ob aus rein gesundheitlichen bzw. aus Gründen der körperlichen Fitness trainiert wird, oder ob ein/e Athlet/in nach Leistungsfortschritt und ständiger Verbesserung im Wettkampf strebt, ist hierfür entscheidend. Für ein Gesundheitstraining oder ein Training mit Älteren ist der Aufwand, der beispielsweise durch VBT gefordert wird, meist nicht notwendig und auch nicht angemessen. Hier wird man mit einfacher linearer oder wellenförmiger Periodisierung ebenso gute Fortschritte erzielen können. Möglicherweise ist die RPE-Methode für die breite Masse eher geeignet als VBT. Aufgrund der einfacheren Handhabung und dem nicht zu unterschätzendem Motivationsfaktor eines Feedbacks könnte RPE in manchen Fällen für ein Gesundheitstraining oder ein Training für älteren Personen gut geeignet sein. In einem rehabilitativen Training, wo die Förderung der Selbstreflexion und Selbsteinschätzung auch ein Bestandteil der Trainingstherapie ist, kann das Erlernen der RPE-Methode ein sinnvolles Tool darstellen und einen guten Beitrag zum Rehabilitationserfolg beitragen. VBT wäre demnach eher im Leistungssport oder für ambitionierte Sportler/innen anzustreben.

Schlussendlich stellt sich die Frage, ob es prinzipiell um eine Entscheidung im Sinne von „Entweder-oder“ geht, oder ob die dargestellten Trainingsmethoden sich auch ergänzend im Sinne eines „Sowohl-als-auch“ anwenden lassen. Man könnte einen Periodisierungszyklus mit PBT steuern, und dann aufbauend RPE dazunehmen, um diese Form der Selbsteinschätzung zu erlernen und zu verfeinern. Die Prozentwerte und die RPE-Werte können dann in bestimmten Abständen miteinander verglichen und abgestimmt werden. Eine Forschungsarbeit dazu könnte sicherlich aufschlussreich sein.

Helms schlägt in einem Interview, dass er 2016 gegeben hat vor, Krafttrainingsanfänger ein paar Wochen mit PBT trainieren zu lassen, um anschließend ein paar Wochen RPE-Anwendungen einzuführen. Die Frage, wie sich Trainingsanfänger und RPE vereinen lassen, beantwortet er mit dem Vorschlag, die Trainingsintensität statt mit RPE, mit Prozentangaben vorzugeben, und anschließend nach jedem Satz einen RPE-Wert abzugeben, um für diese Form der Selbsteinschätzung ein Gefühl zu bekommen. Die Aufzeichnung der RPE-Werte soll also gleichzeitig mit einem prozentbasierten Trainingsprogramm stattfinden, bevor die RPE-Methode zur Beschreibung von Trainingsbelastung allein angewandt wird (Helms et al., 2017).

Abschließende wichtige Erkenntnisse zu RPE und RiR sind:

- 1) Die RPE ist genauer, je näher man zum Muskelversagen kommt (eine RiR von 3 ist beispielsweise leichter einzuschätzen als eine RiR von 5).
- 2) Die RPE ist genauer, je mehr Trainingserfahrung eine Person mitbringt.

- 3) Die RPE-Genauigkeit nimmt ab, je mehr Wiederholungen ausgeführt werden (bei 20 vorgegebenen Wiederholungen ist es schwieriger einzuschätzen, ob man noch 3 oder 5 Wiederholungen machen könnte, als bei 8 vorgegebenen Wiederholungen).
- 4) Die RiR-Skala ist im Krafttraining aussagekräftiger als die alleinige Verwendung der klassischen RPE-Skala.

Wichtige zusammenfassende Erkenntnisse zu VBT sind:

- 1) Es wirkt weniger mechanischer Stress auf den Körper.
- 2) Das Training kann mit höheren Intensitäten erfolgen, trotz gleichbleibendem Volumen. Dadurch können gesteckte Ziele schneller erreicht werden.
- 3) Die Motivation kann durch unmittelbares Geschwindigkeitsfeedback erhöht werden.

7 Limitationen

Die folgenden Limitationen dieser Arbeit sollen bei der Ergebnisinterpretation berücksichtigt werden.

Durch die geringe Anzahl von Studien, welche die Einschlusskriterien erfüllen, ist die Datenmenge begrenzt. Zusätzlich ist die große Heterogenität der Studienteilnehmer und der Studiendesigns zu erwähnen.

Im Vergleich der Trainingsvorgaben gibt es Unstimmigkeiten. Dorrell et al. (2019) haben in der VBT-Gruppe angepasste Intensitäten, während die PBT-Gruppe ein Programm hat, welches auf Basis wellenförmiger Periodisierung vorgegeben ist. Die Intensität verändert sich dabei im Mesozyklus von anfänglichen 70% 1-RM bis 95% 1-RM in der letzten Woche. Orange et al. (2019) geben dahingegen kein periodisiertes Programm vor, sondern lediglich zwei fixe Trainingseinheiten. Diese sind für alle sieben Wochen für die PBT-Gruppe gleichbleibend. Das Gewicht bleibt die ganze Zeit konstant, nämlich 60% des 1-RM an Tag eins und 80% des 1-RM an Tag zwei. In der VBT-Gruppe finden regelmäßig Anpassungen statt. In beiden RPE-Studien findet das Training ebenso periodisiert statt. Bei Helms et al. (2018) beginnt das Training mit einer Intensität von 65% des 1-RM und endet mit einer Intensität von 92,5% des 1-RM. Graham und Cleather (2019) erhöhen die Intensität im Training von anfänglichen 65% des 1-RM auf 95% des 1-RM.

Es ist allgemein schwierig, herauszufinden, ob Anpassungen im menschlichen Körper auf Trainingsinterventionen tatsächlich rein auf die gesetzten Trainingsreize zurückzuführen sind. Veränderungen, welche durch Umstände wie Schlafqualität, Stresslevel und/oder soziale Ereignisse und Belastungen usw. entstehen, können nicht von den Trainingsveränderungen entkoppelt werden, und somit nur in Kombination erfasst und beurteilt werden. Aus diesem Grund sind die Studienergebnisse kritisch zu betrachten und zu hinterfragen.

8 Ausblick

Für einen Studienvergleich wäre es interessant der Frage nachzugehen, was es tatsächlich bedeutet „Erfahrung im Krafttraining“ zu haben, bzw. wie dies standardisiert werden kann. Gibt es ein unterschiedliches Verständnis von Intensitätsempfinden? Macht es einen Unterschied, ob krafttrainingserfahrene Personen nie bis zur muskulären Erschöpfung trainieren oder dieses gewohnt sind?

Von Dos Santos et al. (2020) gibt es eine Studie, die untersucht, ob krafttrainingserfahrene Personen die Intensität eines Krafttrainings eher über- oder unterschätzen würden. Unterschiede hinsichtlich des Geschlechts, der Trainingsvorerfahrung und der Übungsauswahl werden in dieser Studie in den Fokus gestellt. Anhand der erhobenen Daten kann festgestellt werden, dass es einen Unterschied in der Wahrnehmung der Trainingsintensität zwischen Männern und Frauen gibt. Frauen trainieren nicht so häufig bis zur konzentrischen Erschöpfung wie Männer (Dos Santos et al., 2020).

Odgers et al. (2020) haben in ihrer Studie den Geschlechtervergleich miteinbezogen und kamen zu dem Ergebnis, dass der Zusammenhang der RPE und der ACV (Average Concentric Velocity) geschlechtsabhängig sein könnte.

In dem vorliegenden systematischen Literaturvergleich wurden Fragen der geschlechtsspezifischen Unterschiede nicht berücksichtigt. Genauere Untersuchungen, welche auch das Geschlecht bzw. den Geschlechtervergleich in den Blick nehmen, wären für zukünftige Forschungsarbeiten jedoch von großem Interesse.

Helms et al. (2018) empfehlen, den Aspekt der inter-individuellen Unterschiede weiter zu erforschen. Zourdos et al. (2016) fanden heraus, dass das Trainingsalter die Fähigkeit zur genauen RPE-Einschätzung beeinflusst. Ebenso könnten Charaktereigenschaften wie Temperament oder soziale Verhaltensmuster gegenüber dem Krafttraining die RPE-Schätzungen beeinflussen. Dadurch könnte man im Vorhinein herausfinden, welche Personen besser oder schlechter auf RPE-basierte Belastungssteuerung ansprechen würden und dies in Coachingprozessen berücksichtigen (Helms et al., 2018).

Ein weiterer Aspekt zu weiterführender Forschung wäre die Anwendung bei unterschiedlichen Personengruppen wie beispielsweise ältere Personen, Trainingsanfänger/innen oder Patient/innengruppen im Bereich Rehabilitation. Es gibt eine Studie aus 2019, welche sich mit älteren Personen und autoregulativen Trainingsmethoden befasst. Buskard et al. (2019) untersuchten Faktoren wie Freude, Wirksamkeit, Toleranz und Adhärenz bezüglich verschiedener Methoden der Intensitätssteuerung. Sie fanden heraus, dass für Leistungssteigerungen im Krafttraining nicht nur Progression allein wichtig ist, sondern

besonders Interesse und Freude eine wichtige Rolle bei der Erhöhung von Compliance spielen. Die RPE-Methode scheint bei älteren Personen vorteilhafter zu sein. Ob die RPE prinzipiell als „bessere“ Methode für Trainingssteuerung bei älteren Menschen bezeichnet werden kann, wäre weiter zu erforschen.

9 Literaturverzeichnis

- Borg, G. (2004). Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt*, 101(15), 1016 – 1021.
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 14(5),377-381.
- Buford, T. W. Rossi, S. J. Smith, D. B. & Warren, A. J. (2007). A comparison of periodization models during nine weeks with equated volume and intensity for strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 21(4), 1245-1250.
- Buskard, A. N. L. Jacobs, K. A. Eltoukhy, M. M. Strand, K. L. Villanueva, L. Desai, P. P. & Signorile, J. F. (2019). Optimal approach to load progressions during strength training in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2224-2233.
- Cashin, A. G. & McAuley, J. H. (2019). Clinimetrics: Physiotherapy evidence database (PEDro) scale. *Journal of Physiotherapy*. 66(59).
- Cunanan, A. J. DeWeese, B. H. Wagle, J. P. Carroll, K. M. Sausaman, R. Hornsby III, W. G. & Stone, M. H. (2018). The general adaption syndrome: a foundation for the concept of periodization. *Journal of Sports Medicine*.
- Day, M. L. McGuigan, M. R: Brice, G. & Foster, C. (2004). Monitoring exercise intensity during resistance training using the session RPE scale. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 18(2), 353-358.
- Dorrell, H. F. Smith, M. F. & Gee, T. I. (2019). Comparison of velocity-based and traditional percentage-based loading methods on maximal strength and power adaptations. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Dos Santos, W. M. Tavares Junior, A. C. Braz, T. V. Lopes, C. R. Brigatto, F. A. & Dos Santos, J. W. (2020). Resistance-trained individuals can underestimate the intensity of the resistance training session: an analysis among genders, training experience, and exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Fröhlich, M. Links, L. & Pieter, A. (2012). Effekte des Krafttrainings – eine metaanalytische Betrachtung. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*. 60(1), 14-20.
- Graham, T. & Cleather, D. J. (2019). Autoregulation by “repetitions in reserve” leads to greater improvements in strength over a 12-week training program than fixed load. *Journal of Strength and Conditioning Research*.

- Greig, L. Hemingway, B. H. S. Aspe, R. R. Cooper, K. Comfort, P. & Swinton, P. A. (2020). Autoregulation in resistance training: addressing the inconsistencies. *Journal of Sports Medicine*. 50, 1873-1887.
- Grgic, J. Mikulic, P. Podnar, H. & Pedisic, Z. (2017). Effects of linear and daily undulating periodizes resistance training programs on measures of muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ*.
- Guerriero, A. Varalda, C. & Piacentini, M. F. (2018). The role of velocity based training in the strength periodization for modern athletes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 3(55).
- Gym Aware Device. Zugriff am 10. August 2021 unter https://www.google.com/search?q=gym+aware+Sensor&rlz=1C1CHBD_deAT920AT920&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjqi8Kku87yAhW9_7sIHVt-BVAQ_AUoAXoECAMQAw&biw=1280&bih=616#imgrc=MFoYEs2-b56LaM
- Hackett, D. A. Johnson, N. A. Halaki, M. & Chow, C. M. (2012) A novel scale to assess resistance – exercise effort. *Journal of Sports Sciences*. 30(13). 1405-1413.
- Halson, S. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Journal of Sports Medicine*.
- Hartmann, H. Wirth, K. Keiner, M. Mickel, C. Sander, A. & Szilvas, E. (2015). Short-term periodization models: effects on strength and speed-strength performance. *Journal of Sports Medicine*. 45, 1373-1386.
- Hegenscheidt, S. Harth, A. & Scherfer, E. (2010). PEDro-skala – Deutsch. Zugriff am 9. März 2021 unter https://pedro.org.au/wp-content/uploads/PEDro_scale_german.pdf
- Helms, E. R. Cross, M. R. Brown, S. R. & Storey, A. (2016). RPE and velocity relationships for the back squat, bench press, and deadlift in powerlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Helms, E. R. Cronin, J. Storey, A. & Zourdos, M. C. (2016). Application of the repetitions in reserve-based rating of perceived exertion scale for resistance training. *Strength and Conditioning Journal*.
- Helms, E. R. Cross, M. R. Brown, S. R. Storey, A. Cronin, J. & Zourdos, M. C. (2017). Rating of perceived exertion as a method of volume autoregulation within a periodized program. *National Strength and Conditioning Association*.

- Helms, E. R. Byrnes, R. K. Cooke, D. M. Haischer, M. H. Carzoli, J. P. Johnson, T. K. ... Zourdos, M. C. (2018). RPE vs Percentage 1RM Loading in periodization programs matched for Sets and repetitions. *Frontiers in Physiology*. 9(247).
- Helms, E. R. Kwan, K. Sousa, C. A. Cronin, J. B. Storey, A. G. & Zourdos, M. C. (2020). Methods for regulating and monitoring resistance training. *Journal of Human Kinetics*. 74, 23-42.
- Hottenrott, K. & Neumann, G. (2020). *Trainingswissenschaft. Ein Lehrbuch in 14 Lektionen* (4. Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Impellizzeri, F. M. Marcora, S. M. & Coutts, A. J. (2018). Internal and external training load: 15 years on. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.
- Krüger, A. (2015). *Periodisierung des sportlichen Trainings im 21. Jahrhundert. Evidenzbasiert oder weiter so wie immer?* *Leistungssport*, 45(4), 5-10.
- Kotera, Y. & Vione, K. (2020). Psychological Impacts of the New Ways of Working (NWW): A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17.
- Loellgen, H. (2004). Rating of perceived exertion (RPE, Borg scale). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55(11), 299-300.
- Mann, J. B. Thyfault, J. P. Ivey, P. A. & Sayers, S. P. (2010). The effect of autoregulatory progressive resistance exercise vs. linear periodization on strength improvement in college athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 24(7), 1718-1723.
- Mattocks, K. T. Dankel, S. J. Buckner, S. L. Jessee, M. B. Counts, B. R. Mouser, J. G. ... Loenneke, J. P. (2016). Periodization: What is it good for? *Journal of Trainology*. 5, 6-12.
- Mitter, B. (2018). *Velocity-based powerlifting*. Wien: Universität Wien, Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport.
- Mitter, B. Hölbling, D. Bauer, P. Stöckl, M. Baca, A. & Tschan, H. (2019). Concurrent validity of field-based diagnostic technology monitoring movement velocity in powerlifting exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Moher, D. Liberati, A. Tetzlaff, J. & Altman, D. G. (2009). Preferred Reported Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine*. 6(7).

- Monteiro, A. G. Aoki, M. S. Evangelista, A. L. Alveno, D. A. Monteiro, G. A. Picarro, I. & Ugrinowitsch, C. (2009). *Journal of Strength and Conditioning Research*. 23(4), 1321-1326.
- Moore, J. M. (2020). Guidelines and resources for prescribing load using velocity based training. *International universities Strength and Conditioning Association Journal*. 1(1).
- Morishita, S. Yamauchi, S. Chiharu, F. & Domen, K. (2013). Rating of perceived exertion for quantification of the intensity of resistance exercise. *International Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 1(9).
- Naclerio, F. Rodriguez-Romo, G. Barriopedro-Moro, M. I. Jimenez, A. Alvar, B. A. & Triplett, N. T. (2011). Control of resistance training intensity by the OMNI perceived exertion scale. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 1879-1888.
- Nevin, J. (2019). Autoregulated resistance training: does velocity-based training represent the future? *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Odgers, J. B. Zourdos, M. C. Helms, E. R. Candow, D. G. Dahlstrom, B. Bruno, P. & Sousa, C. A. (2020). Rating of perceived exertion and velocity relationships among trained males and females in the front squat and hexagonal bar deadlift. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 35, 23-30.
- Orange, S. T. Metcalfe, J. W. Robinson, A. Applegarth, M. J. & Liefieith, A. (2019). Effects of in - season velocity – versus percentage – based training in academy rugby league players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 15(4).
- Palumbo, D. P. Dias, Y. R. Enes, A. N. Carneiro, C. F. & Osiecki, R. (2017). Comparison of perceived exertion between bodybuilders and active individuals in different exercises and intensities. *Journal of the American Society of Exercise Physiology*, 20(5), 29-35.
- Pareja-Blanco F, Sánchez-Medina L, Suárez-Arrones L, González-Badillo JJ. (2017). Effects of Velocity Loss During Resistance Training on Performance in Professional Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 12(4), 512-519.
- Poliquin, C. (1988). Five steps to increasing the effectiveness of your strength training program. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10(3), 34-39.

- Prestes, J. da Cunha Nascimento, D. Tibana, R. A. Teixeira, T. G. Viera, D. C. L. Tajra, V. ... Navalta, J. W. (2015). Understanding the individual responsiveness to resistance training periodization. *American Aging Association*, 37(55).
- Ressing, M. Blettner, M. Klug, S. J. (2009). Systematische Übersichtsarbeiten und Metaanalysen. Teil 6 der Serie zur Bewertung wissenschaftlicher Publikationen. *Deutsches Ärzteblatt*, 106(27), 456-463.
- Rippetoe, M. & Baker, A. (Hrsg.). (2016). *Programmgestaltung im Krafttraining* (1. Auflage). München: Riva Verlag.
- Robbins, D. W. (2005). Postactivation Potentiation and it's practical application: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 453-458.
- Robertson, R. J. Goss, F. L. Rutkowski, J. Lenz, B. Dixon, C. Timmer, J. Frazee, K. Dube, J. & Andreacci, J. (2002). Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 333-341.
- Sanchez-Medina, L. & Gonzales-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*.
- Schoenfeld, B. J. Ratamess, N. A. Peterson, M. D. Contreras, B. Sonmez, G. T. & Alvar, B. A. (2014). Effects of different volume – equated resistance training loading strategies on muscular adaptations in well – trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 28(10).
- Seyle, H. (1950). Stress and the general adaption syndrome. *British Medical Journal*. 1383 - 1392.
- Shattock, K. & Tee, J. C. (2019). Autoregulation in resistance training: a comparison of subjective and objective methods. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Slimani, M. Chamari, K. Miarka, B. Del Vecchio, F. B. & Cheour, F. (2016). Effects of plyometric training on physical fitness in team sport athletes: a systematic review. *Journal of Human Kinetics*. 53, 231-247.
- Tuchscherer, M. (1990). *The Reactive Training Manual. Developing your own custom training program for powerlifting*. Reactive Training Systems. Zugriff am 10. März 2021 unter <https://de.scribd.com/document/398252675/354150813-170105634-Tuscherer-Reactive-Training-Manual-pdf>

- Varela-Olalla, D. del Campo-Vecino, J. Leyton-Roman, M. Perez-Castilla, A. & Balsalobre-Fernandez, C. (2019). Rating of perceived exertion and velocity loss for controlling the level of effort in the bench press exercise. *Sports Biomechanics*.
- Weakley, J. Sampson, J. A. Till, K. & Banyard, H. G. (2019). The effects of augmented feedback on sprint, jump, and strength adaptations in rugby union players following a four week training programme. *International Journal of sports physiology and performance*.
- Weakly, J. Mann, B. Banyard, H. McLaren, S. Scott, T. & Garcia-Ramos, A. (2020). Velocity-based training: From theory to application. *Strength and Conditioning Journal*.
- Wetzel, S. (2016, Oktober 5). Autoreguliertes Training – APRE [Wissen ist Kraft]. Zugriff am 14. Oktober 2021 unter <https://wissenistkraft.de/blog/2016/10/05/autoreguliertes-training-episode-2-apre/>
- Wetzel, S. (2016, Oktober 9). Autoreguliertes Training – RPE Interview mit Eric Helms [Wissen ist Kraft]. Zugriff am 8. September 2021 unter <https://wissenistkraft.de/blog/2016/10/09/autoreguliertes-training-3-rpe-interview-mit-eric-helms/>
- Zatsiorsky, V. M. & Kraemer, W. J. (2016). *Krafttraining. Praxis und Wissenschaft* (2. Auflage). Aachen: Meyer und Meyer Verlag.
- Zourdos, M. C. Klemp, A. Dolan, C. & Quiles, J. Schau, M. S. Jo, E. ... Blanco, R. (2016). Novel resistance training-specific RPE scale measuring repetitions in reserve. *Journal of Strength and Conditioning Research*.

10 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: General Adaption Syndrome (Cunanan et al., 2018)	9
Abb. 2: Mögliche Anpassungsreaktionen auf Trainingsstress (Cunanan et al., 2018).....	10
Abb. 3: Belastungs- und Beanspruchungsnormative (Hottenrott & Neumann, 2020).....	12
Abb. 4: Klassische Periodisierung nach Matwejew (https://docplayer.org/11587733-Zur-entwicklung-der-periodisierung-des-trainings.html , online Zugriff am 23.10.2021)	16
Abb. 5: BORG Skala CR-100 (Stenling & Borg, 2013).....	23
Abb. 6: OMNI Resistance Exercise Scale (Morishita et al., 2013).....	24
Abb. 7: Linearer Positionssensor GymAware	
(https://www.google.com/search?q=gym+aware+Sensor&rlz=1C1CHBD_deAT920AT920&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjqi8Kku87yAhW9_7sIHVt-BVAQ_AUoAXoECAMQAw&biw=1280&bih=616#imgrc=MFoYEs2-b56LaM , online Zugriff am 10.8.202	
.....	28
Abb. 8: Drei individuelle LVPs in Linien dargestellt, Gruppendaten von 19 Personen in Punkten dargestellt (Moore, 2020)	30
Abb. 9: Eigene Darstellung eines LVP beim Bankdrücken mit der Langhantel, GymAware vs. Push (x-Achse: %1-RM, y-Achse: Geschwindigkeit (m/s))	31
Abb. 10: Prisma Flussdiagramm (adaptiert nach Moher et al., 2009).....	36

11 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Beispielprotokoll Lineare Periodisierung	17
Tab. 2: Beispielprotokoll Wellenförmige Periodisierung	18
Tab. 3: Beispielprotokoll APRE	21
Tab. 4: BORG-Skala.....	22
Tab. 5: Modifizierte RPE-Skala basierend auf RiR.....	25
Tab. 6: Zusammenhänge von RPE und Wiederholungsbereichen (* absolvierte Wiederholungen).....	25
Tab. 7: MCV Daten eines LVP beim Bankdrücken (mv in sec, Last in kg)	31
Tab. 8: Darstellung der Suchbegriffe zur Primärstudienuche in PubMed	35
Tab. 9: PICOS-Schema.....	37
Tab. 10: Eigene Bewertung der bearbeiteten Studien anhand der PEDro-Skala	39
Tab. 11: Basis-Trainingsprotokoll.....	41
Tab. 12: Effektstärke der VBT-Gruppe und der PBT-Gruppe.....	42
Tab. 13: Trainingsprotokoll.....	44
Tab. 14: Ergebnisdarstellung anhand der Effektstärken und Wahrscheinlichkeiten	45
Tab. 15: Trainingsprotokoll.....	47
Tab. 16: Studienergebnisse.....	47
Tab. 17: Geschätzter Zusammenhang zwischen relativer Last (%1RM) und maximal möglicher Wiederholungsanzahl bei der gegebenen Last	50
Tab. 18: Trainingsprotokoll.....	50
Tab. 19: Ergebnisse	51
Tab. 20: Studienübersicht.....	53

12 Abkürzungsverzeichnis

1-RM	One-Repetition-Maximum
AR	Autoregulation
KT	Krafttraining
VBT	Velocity-Based Training
RPE	Rating of Perceived Exertion
RiR	Repetitions in Reserve
PBT	Percentage-Based Training
MCV	Mean Concentric Velocity
FL	Fixed-load (=PBT)
LVP	Load-Velocity-Profile
TuT	Time under Tension
CMJ	Counter Movement Jump
DJ	Drop Jump

Eidesstattliche 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.

Ort, Datum

Unterschrift