



1-Satz- vs. 3-Satz-Training

Die Auswirkungen des Krafttrainingsvolumens auf Maximalkraft,
Kraftausdauer, Muskeldicke und neuronale Faktoren

Dissertation

zur Erlangung des Grades des Doktors der Sportwissenschaft beim Fachbereich
Sportwissenschaft der Universität Hamburg

vorgelegt von:

Hartmut Humburg
geb. am 23. Juli 1975 in Hamburg

Hamburg, 2005

1. Vorwort

Die in dieser Doktorarbeit dargestellte empirische Untersuchung ist ein Gemeinschaftsprojekt von Hartmut Baars und mir, Hartmut Humburg. Dabei gliederte sich die Aufteilung der Arbeit in folgende Bereiche: Hartmut Baars war vor allem für die Durchführung der EMG-Messung bei isometrischer, gehaltener Armbeugekontraktion und der anschließenden elektronischen Verarbeitung der erhobenen EMG-Daten zuständig. Mein Aufgabenbereich erstreckte sich vor allem auf die Planung und Durchführung der dynamischen Maximalkraft- und Kraftausdauer-Testung, der Ultraschall-Messung der Muskel- und Fettdicke und der statistischen Auswertung der Ergebnisse. Die Überwachung und Betreuung der Probanden während des Trainings und die allgemeine Planung der Studie waren Resultat von gemeinsamer Aktivität.

Da die beiden Teile dieses Studienprojekts nicht parallel und/oder gemeinsam eingereicht werden können und gleichzeitig die thematische Schnittmenge der beiden Teile so groß ist, dass eine komplett separate Gliederung nicht sinnvoll wäre, haben wir uns entschlossen, dem Rechnung zu tragen. In dieser Arbeit sind im Anhang die Teile der Arbeit von Hartmut Baars dargestellt, die zum Verständnis meines Teils des Studienprojektes notwendig erscheinen. Ich weise darauf hin, dass die im Anhang dargestellten Auszüge das alleinige Werk von Hartmut Baars sind.

Diese Studie zum Thema „1-Satz- vs. 3-Satz-Training“ ist betreffend des Studiendesigns und der erhobenen neuronalen Parameter innovativ und entfaltet ihre Aussagekraft nur als Ganzes.

2. Abstract

This cross-over study was conducted in order to investigate the effects of a 1-set and 3-set strength training program. The subjects were untrained men and women, who were randomly signed into one of three groups: 10 subjects trained during the first 9 weeks (training-phase 1 (TP#1)) with 1 set and 8-12 repetitions per set. After the wash-out-phase which lasted 9 weeks, the subjects trained with 3 sets and 8-12 reps in TP#2. 12 subjects started with the 3-set-program and continued with the 1-set-regime after the break. The control-group (n=7) did not train. The subjects of each group were extensively habituated to the testing procedure and the exercises, and they were tested on 1RM for the bicepscurl (BC), leg press (unilateral: left and right / LPL and LPR), bench press (BP), and on muscle thickness (measured with b-mode ultrasound) of the m. biceps brachii. Analysis of the data was done in a sampled manner for each strength training program (1-SET and 3-SET). 1-SET (n=22) and 3-SET (n=22) led to significantly ($p<0,05$) improved 1RM-performances in each exercise, respectively. The relative improvements (%) for the 1RM were significantly higher during 3-SET for the BC and the BP compared to 1-SET. The muscle thickness of the m. biceps brachii increased significantly and similarly during both training programs. The control-group exhibited no changes in any of the tested parameters over the course of this study. The design of this study allowed insight into the effects of different strength training volume without any genetical variations. The same subjects improved their 1RM during 3-SET by 2,3kg and 10% (BC), 8,9kg and 3,6% (BPR), 10,9kg and 6,1% (BPL) and 2,5kg and 5,9% (BP) more than during 1-SET.

Depending on the goals of each trainee these differences between the effects of different strength training volumes may be regarded worth spending more time on working out with a 3-set strength training regime.

3. Kurzfassung

Diese Cross-Over-Studie wurde durchgeführt, um die Auswirkungen eines 1-Satz- (1ST) und eines 3-Satz-Krafttrainings (3ST) zu untersuchen. Die Probanden waren untrainierte Männer und Frauen, die randomisiert in drei Gruppen eingeteilt wurden. 10 Probanden trainierten in Trainingsphase #1 (TP#1) (9 Wochen) mit einem Satz à 8-12 Wdh. und in TP#2 (9 Wochen) mit drei Sätzen. 12 Probanden durchliefen die umgekehrte Reihenfolge der Trainingsprogramme. Die Kontrollgruppe (n=7) trainierte nicht. Zwischen den TP lag eine 9-wöchige Wash-Out-Phase. Die Probanden wurden vor und nach den jeweiligen TP auf die dynamische Maximalkraft (1RM) beim Bizepscurl (BC / beidarmig), bei der unilateralen Beinpresse (rechts und links / BPR und BPR) und beim Bankdrücken (BD) und auf die Muskeldicke des m. biceps brachii (gemessen mit B-Mode Ultraschall) getestet. Die Daten wurden zusammengefasst ausgewertet nach durchgeführten Trainingsprogramm (1ST und 3ST). 1ST (n=22) und 3ST (n=22) führten zu signifikant ($p<0,05$) verbesserten 1RM-Leistungen. Die prozentuale Verbesserung des 1RM während des 3ST war signifikant höher als während des 1ST beim BC und BD. Die Muskeldicke des m. biceps brachii vergrößerte sich signifikant und in ähnlichem Maße während beider Trainingsprogramme. Die Kontrollgruppe zeigte keine Veränderung in den erhobenen Parametern während des Untersuchungszeitraums. Die Wahl des Studiendesigns ermöglichte Einblicke in die Auswirkungen des Krafttrainingsvolumens unter Ausschluss von genetischer Heterogenität. Die selben Probanden verbesserten sich beim 1RM während des 3ST 2,3kg und 10% (BC), 8,9 kg und 3,6% (BPR), 10,9kg und 6,1% (BPL) and 2,5kg und 5,9% (BD) mehr als während des 1ST.

Je nach Zielsetzung des Trainierenden können diese Unterschiede zwischen den Effekten von unterschiedlichem Krafttrainingsvolumen als relevant bezeichnet werden und den höheren zeitlichen Aufwand durch das 3ST rechtfertigen.

4. Inhaltsverzeichnis

1.... Vorwort.....	2
2.... Abstract.....	3
3.... Kurzfassung	4
4.... Inhaltsverzeichnis	5
5.... Abbildungsverzeichnis	6
6.... Tabellenverzeichnis	8
7.... Einleitung.....	10
8.... Material und Methoden	16
9.... Ergebnisse.....	27
9.1 Gruppenanalyse	27
9.2 Satzanalyse.....	38
9.3 Geschlechteranalyse.....	46
9.4 Trainingsstatusanalyse	52
10.. Review der Studien.....	56
11.. Diskussion	86
11.1 Gruppenanalyse.....	91
11.2 Satzanalyse	107
11.3 Geschlechteranalyse.....	112
11.4 Trainingsstatusanalyse	115
12.. Abschließende Gedanken + Zusammenfassung	118
13.. Fazit und Ausblick.....	126
14.. Literatur	128
15.. Anhang.....	144
15.1 Material und Methoden	144
15.2 Ergebnisse	147
15.3 Satzanalyse	153

5. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufes der Untersuchung
- Abbildung 2:** Fotografische Darstellung der Ausgangsposition bei der Übung Beinpresse (rechts)
- Abbildung 3:** Fotografie der Bankdrückbank
- Abbildung 4:** Hewlett Packard: Image Point, M2410A Ultraschall System
- Abbildung 5:** Fotografische Darstellung einer B-Mode-Ultraschall Muskeldicken-Messung und deren Versuchsanordnung
- Abbildung 6:** Ergebnisse der 1RM-Bestimmung für Bizepscurl in Mittelwert $\pm$ Stdabw. (in kg) (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test (rechts) - Gruppenanalyse
- Abbildung 7:** Ergebnisse der 1RM-Bestimmung für Beinpresse (links) in Mittelwert $\pm$ Stdabw. (in kg) (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test (rechts) - Gruppenanalyse
- Abbildung 8:** Ergebnisse der 1RM-Bestimmung für Beinpresse (rechts) in Mittelwert $\pm$ Stdabw. (in kg) (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test (rechts) - Gruppenanalyse
- Abbildung 9:** Ergebnisse der 1RM-Bestimmung für das Bankdrücken in Mittelwert $\pm$ Stdabw. (in kg) (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test (rechts) - Gruppenanalyse
- Abbildung 10:** Summen-1RM in Mittelwert $\pm$ Stdabw. (in kg) (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test (rechts) - Gruppenanalyse
- Abbildung 11:** Muskeldicke des m. biceps brachii ermittelt mit B-Mode Ultraschallmessung in cm $\pm$ Stdabw. (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test (rechts) - Gruppenanalyse
- Abbildung 12:** 1RM $\pm$ Stdabw. beim Bizepscurl (links) und prozentuale Veränderung von Pre- zu Post-Test in % $\pm$ Stdabw. (rechts) – Satzanalyse
- Abbildung 13:** Darstellung der Maximalkraft bei der Beinpresse (links) in kg $\pm$ Stdabw. (links) und prozentuale Veränderung von Pre- zu Post-Test in % $\pm$ Stdabw. (rechts) – Satzanalyse
- Abbildung 14:** Darstellung der Maximalkraft bei der Beinpresse (rechts) in kg $\pm$ Stdabw. (links) und prozentuale Veränderung von Pre- zu Post-Test in % $\pm$ Stdabw. (rechts) – Satzanalyse
- Abbildung 15:** 1RM $\pm$ Stdabw. beim Bankdrücken (links) und prozentuale Veränderung von Pre- zu Post-Test in % $\pm$ Stdabw. (rechts) – Satzanalyse
- Abbildung 16:** Summen-1RM $\pm$ Stdabw. (links) und prozentuale Veränderung von Pre- zu Post-Test in % $\pm$ Stdabw. (rechts) – Satzanalyse
- Abbildung 17:** Muskeldicke des m. biceps brachii in cm $\pm$ Stdabw. (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test in % $\pm$ Stdabw. (rechts) – Satzanalyse

Abbildung 18: Exemplarische Darstellung der individuellen Entwicklung der 1RM-Ergebnisse; Darstellung in Prozent relativ zum jeweiligen Pre-Test-Ergebnis

Abbildung 19: Grafische Darstellung der prozentualen Verbesserungen der Maximalkraft durch jeweils unperiodisiertes 1-Satz-Training und 3-Satz-Training

Abbildung 20: Grafische Darstellung der prozentualen Steigerungen der Maximalkraft aufgetragen gegen die Zeit in Wochen für Krafttraining mit einem Satz, mit drei Sätzen und mit einem periodisierten Mehr-Satz-Programm

Anhang

Abbildung A1: Messkette der EMG-Signalaufnahme

Abbildung A2: Ableitelektroden, Goniometer und Positionierung der Probanden während der isometrischen Kontraktionen an der Federwaage

6. Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1:** Anthropometrische Daten der Probanden (Gesamt, geteilt nach Gruppen)
- Tabelle 2:** Darstellung der Reihenfolge und Inhalte der durchgeführten Tests
- Tabelle 3:** Ergebnisse der Kraftausdauer tests (MaxWdh80% und MaxWdh85%) - Gruppenanalyse
- Tabelle 4:** Darstellung der Trainingsstatistik (Gruppenanalyse) während Woche 2, 5 und 9 während Trainingsphase #1 und #2
- Tabelle 5:** Ergebnisse der 1RM-Bestimmung ($\text{kg} \pm \text{Stdabw.}$) und der Muskeldickenmessung am m. biceps brachii ($\text{cm} \pm \text{Stdabw.}$) (Satzanalyse)
- Tabelle 6:** Ergebnisse der Kraftausdauer tests (MaxWdh80% und MaxWdh85%) - Satzanalyse
- Tabelle 7:** Darstellung der Trainingsstatistik (Satzanalyse) während Woche 2, 5 und 9
- Tabelle 8:** Darstellung der Ergebnisse der 1RM-Erhebung ($\text{in kg} \pm \text{Stdabw.}$) und der Muskeldickenmessung ($\text{in cm} \pm \text{Stdabw.}$) - Geschlechteranalyse (Männer)
- Tabelle 9:** Ergebnisse des Kraftausdauer tests (MaxWdh80% und MaxWdh85%) für Frauen (linke Hälfte) und Männer (rechte Hälfte) - Geschlechteranalyse
- Tabelle 10:** Darstellung der Trainingsstatistik der Männer (Geschlechteranalyse) während Woche 2, 5 und 9
- Tabelle 11:** Darstellung der Ergebnisse der 1RM-Erhebung ($\text{in kg} \pm \text{Stdabw.}$) und der Muskeldickenmessung ($\text{in cm} \pm \text{Stdabw.}$) - Geschlechteranalyse (Frauen)
- Tabelle 12:** Darstellung der Trainingsstatistik der Frauen (Geschlechteranalyse) während Woche 2, 5 und 9
- Tabelle 13:** 1RM- und Muskeldicken-Ergebnisse (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung) - Trainingsstatusanalyse
- Tabelle 14:** Darstellung der Trainingsstatistik (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung) - Trainingsstatusanalyse
- Tabelle 15:** Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Maximalkraft untersuchten
- Tabelle 16:** Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Muskelmasse untersuchten
- Tabelle 17:** Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Körperzusammensetzung untersuchten
- Tabelle 18:** Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Schnellkraft untersuchten
- Tabelle 19:** Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die anaerobe Kapazität untersuchten

Tabelle 20: Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Kraftausdauer untersuchten

Tabelle 21: Vergleich der 1RM-Werte beim Bankdrücken anderer Studie mit denen der vorliegenden Studie

Tabelle 22: Tabellarische Darstellung der Min-Max-Werte der absoluten (Δ -Werte) und prozentualen ($\Delta\%$ -Werte) Steigerungen der 1RM-Leistungen beim Bizepscurl, bei der Beinpresse (links und rechts) und beim Bankdrücken

Tabelle 23: Darstellung der prozentualen ($\Delta\%$) 1RM-Veränderungen während Trainingsphase #1 und #2 für Gruppe 1 (G1) und Gruppe 3 (G3); $3ST/1ST$ = Quotient der $\Delta\%$ -Werte für 3-Satz-Training und für 1-Satz-Training während der jeweiligen Trainingsphase

Anhang

Tabelle A1: Darstellung der Entwicklung der maximalen willkürlichen Kraft während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii – Gruppenanalyse

Tabelle A2: Darstellung der Entwicklung des Ermüdungsquotienten $MVC25/MVC1$ während der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii – Gruppenanalyse

Tabelle A3: Darstellung der subkutanen Fettdicke (in cm) gemessen mit B-Mode Ultraschall oberhalb des m. biceps brachii – Gruppenanalyse

Tabelle A4: Darstellung der Entwicklung des IEMG während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii – Gruppenanalyse

Tabelle A5: Darstellung des Parameters IEMG x Fett (in mV x cm) während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii – Gruppenanalyse

Tabelle A6: Darstellung der mittleren Frequenz (mean power frequency = MPF) des EMG-Spektrums während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii – Gruppenanalyse

Tabelle A7: Darstellung der Median Frequenz (MF) des EMG-Spektrums während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii – Gruppenanalyse

Tabelle A8: Darstellung der Entwicklung der maximalen willkürlichen Kraft während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii und des Ermüdungsquotienten $MVC25/MVC1$ – Satzanalyse

Tabelle A9: Darstellung der Entwicklung des IEMG (in mV) und des Parameters IEMG x Fett (in mV x cm) während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii – Satzanalyse; $+p < 0,05$ gegenüber 1-Satztraining

Tabelle A10: Darstellung der Median Frequenz (MF) und der mittleren Frequenz (MPF) des EMG-Spektrums während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii und der subkutanen Fettdicke (in cm) gemessen mit B-Mode Ultraschall oberhalb des Bizeps brachii – Satzanalyse

7. Einleitung

Krafttraining ist eine wichtige Komponente in Trainingsprogrammen zur Erlangung und Erhaltung von Gesundheit und Fitness geworden. Es wird in vielen unterschiedlichen Bereichen angewandt: In der Prävention, der Rehabilitation, als begleitendes Training für (Hoch-)Leistungssportler und als Freizeitaktivität in kommerziellen Fitnessstudios. Bei der Planung von Krafttrainingsprogrammen für die unterschiedlichen Zielgruppen gibt es eine Reihe von Faktoren, die berücksichtigt werden müssen. Einer davon ist die Anzahl der Sätze, die pro Übung bzw. Muskelgruppe gemacht werden. Die Diskussion über die Frage der Anzahl der durchzuführenden Sätze wurde kontrovers geführt^{2, 11, 14-16, 26, 35, 36, 66, 107, 108, 123, 129, 133}.

Diese Kontroverse drehte sich hauptsächlich um die Frage, ob ein Training mit einem Satz pro Übung oder Muskelgruppe (1-Satz-Training) aufgrund der Zeitersparnis bei ähnlich großer Leistungssteigerungen oder ein Training mit mehreren Sätzen pro Übung oder Muskelgruppe (Mehr-Satz-Training) aufgrund möglicherweise größerer Verbesserungen die effizientere Krafttrainingsmethode darstellt. Es lassen sich für beide Krafttrainingsregime Argumente finden. Die Befürworter beider Seiten gehen von den gleichen Prämissen aus: Der Krafttrainingsreiz muss intensiv und lang genug sein, um eine hohe Muskelspannung und die Ausschöpfung der Kreatin-Phosphat-Speicher zu bewirken. Schlumberger & Schmidtbleicher¹²³ erklären, dass mit einem 1-Satz-Training eine ausreichend hohe Muskelspannung erreicht werden kann, dass allerdings für eine Ausschöpfung der Kreatin-Phosphat-Speicher mehrere Sätze notwendig sind, um langfristig Kraftverbesserungen zu erzielen. Auf der anderen Seite könnte es beim 1-Satz-Training mit einer objektiven Ausbelastung (d.h. Übungsdurchführung bis zum muskulären Versagen) in einem Satz zu einer vollständigen Ausschöpfung der kurzfristig-verfügbaren Energiereserven, bei einem insgesamt niedrigerem Kaloriengesamtumsatz, kommen. Dadurch würde möglicherweise dem Muskel ein wirksamer Reiz für eine Hypertrophie gegeben, die Energiereserven für eine schnelle Regeneration würden dadurch aber weniger verbraucht als beim Training mit mehreren Sätzen¹⁰⁸. Mehrere

Sätze einer Übung könnten – aufgrund von motivationalen Faktoren – eine Durchführung jedes einzelnen Satzes bis zum muskulären Versagen erschweren. Darin könnte ein weiterer Vorteil des 1-Satz-Trainings liegen. Durch die nur einmalig zu erbringende, objektive Ausbelastung könnten – verglichen mit jedem einzelnen Satz eines Mehr-Satz-Trainings – in dem einzigen Satz höhere Muskelspannungen erreicht werden und eine größere Anzahl von Muskelfasern aktiviert bzw. motorischen Einheiten rekrutiert werden^{108, 129}. Befürworter beider Methoden gehen zwar von den gleichen Voraussetzungen für eine langfristige Kraftsteigerung aus, wie allerdings die Adaptation des Muskels an Kraftbelastungen (insbesondere die Hypertrophie) abläuft und was sie verursacht, ist noch nicht vollständig geklärt. Die Steigerung der Muskelmasse benötigt einen angemessenen Reiz, der im Resultat zu einer Steigerung der Proteinsynthese oder zu einer Abnahme der Proteindegradation führt¹³³. Dieser Trainingsreiz muss über der Belastung des individuellen Muskels im bisherigen Alltag liegen^{43, 68} und führt bei entsprechender Stärke zu einem kompensatorischen Muskelwachstum³⁷. Die Trainingsbelastung muss in Bezug auf Muskelaktivierung und –spannung^{37, 68, 123}, auf die Ausschöpfung der kurzfristig verfügbaren Energiereserven, v.a. der Kreatin-Phosphat-Speicher¹²³, und der Auslenkung des hormonellen Systems⁶⁸ über den bis dahin alltäglichen, gewohnten Belastungen liegen, an die sich der Organismus bereits angepasst hat. Die Höhe des Trainingsreizes hängt von der Wahl der Übungen (Größe der zu aktivierenden Muskelmasse), vom Trainingsvolumen (Übungs-, Satz- und Wiederholungszahl), von der Trainingsintensität, der Pausenlänge und – kumulierend – von der Trainingsfrequenz ab.

Zusammenfassend lässt sich die Frage der Satzzahl auf die Kontroverse reduzieren, welcher Parameter (Volumen oder Intensität) der entscheidende Schwellenwert ist, der überschritten werden muss, um Anpassungen an Krafttraining zu erreichen.

Die Kontroverse um die zu empfehlende Satzzahl zeigt, dass es wenig gesicherte Kenntnisse über die Wirkungen von unterschiedlichen Krafttrainingsvolumen gibt. Hinzu kommt, dass sportwissenschaftliches Interesse an dieser Frage möglicherweise auch mit kommerziellen Interessen

und Vermarktungsstrategien im Fitnessgeschäft vermengt wird. Das könnten die Gründe sein, warum um die Frage der Satzzahl so kontrovers gestritten wird. Die insgesamt 43 Studien (detailliert dargestellt in Kapitel 10 „Review der Studien“) zu dieser Thematik sind zum großen Teil methodisch mangelhaft. Dabei lassen sie sich in folgende sechs Kategorien einteilen:

1.) Studien mit ungenügender Kontrolle der Variablen: Zu diesen Studien zählen z.B. diejenigen, die ein periodisiertes Mehr-Satz-Training mit einem unperiodisiertem 1-Satz-Training verglichen^{78, 85, 121}. Dadurch werden zwei Trainingsprogramme vergleichend untersucht, die sich in zwei Variablen unterscheiden. Somit lassen sich die Ergebnisse nicht gezielt interpretieren, weil mindestens zwei unkontrollierte Einflussfaktoren existieren. Drei weitere Studien verglichen diese beiden Trainingsformen, doch beinhalteten die Untersuchungsdesigns auch eine Gruppe, die mit einem unperiodisiertem Mehr-Satz-Training trainierte^{70, 81, 134}. In diesen Fällen können nur diese Ergebnisse zur Beantwortung der Frage der Satzzahl herangezogen werden, die zwei unperiodisierte Trainingsregime mit unterschiedlicher Satzzahl untersuchten. Ausserdem müssen jene Studien dazugezählt werden, in denen ein 1-Satz- und ein Mehr-Satz-Training mit unterschiedlichen Intensitäten, z.B. mit verschiedenen Wiederholungszahlen, Trainingsgeräten (z.B. Freihantel vs. Maschine) oder Ausbelastungsstrategien verwandt wurden^{3, 7, 12, 13, 19, 22, 70, 81, 82, 92, 95, 112, 113, 126, 149}.

2.) Studien mit Unregelmäßigkeiten bei der Durchführung: Zu diesen Studien zählen u.a. solche, bei denen die Einteilung der Trainingsgruppen zu deutlich unterschiedlichen und ungleichen Besetzungen führte, die die Ergebnisse mit beeinflusst haben könnten^{9, 57, 114, 127}. Ausserdem gehören Studien dazu, in denen das Training in möglicherweise ineffektiver Form durchgeführt wurde, z.B. mit einem Split-Training, das die entscheidenden Muskelgruppen nur einmal pro Woche einer Belastung aussetzte¹⁰⁵. Unregelmässigkeiten gibt es auch in der klassischen Studie von Berger⁸, in der die Probanden ein zusätzliches, nicht spezifiziertes Trainingsprogramm durchführten, von dem nicht auszuschliessen ist, dass es die Resultate mit beeinflusst hat.

3.) Studien mit kurzer Dauer: Studien, die eine Länge von sechs oder weniger Wochen haben, können nur die Frage beantworten, welche Trainingsform die koordinativen und neuronalen Aspekte der Kraftentfaltung besser anspricht²⁷, insbesondere dann, wenn zuvor untrainierte Probanden teilnahmen. Die Studien, die dazu zählen, sind die von Paulsen et al.¹⁰⁶, von Remmert¹¹³, von Schlumberger¹²⁴ und von Westcott¹⁴⁶. Diese Studien können also nicht über die langfristigen Folgen von Krafttraining mit unterschiedlicher Satzzahl Auskunft geben. Vor allem über die Muskelhypertrophie, die nach 4-5 Wochen zum bestimmenden Faktor bei der Maximalkraftsteigerung wird⁹⁷, können diese Studien keine Aussage treffen.

4.) Studien mit verschiedenen Trainings- und Testmodalitäten: In diesen Studien wurden andere Übungen oder Ausführungsmodalitäten als im Training verwandt, um die Erfolge des 1-Satz- bzw. Mehr-Satz-Trainings zu überprüfen. Dabei wurden z.B. die Auswirkungen eines dynamischen Krafttrainings mit isometrischen Maximalkraftparametern^{13, 82, 95, 111, 112, 126, 127} oder an anderen Maschinen, als beim Training verwendet^{19, 113}, getestet.

5.) Unpublizierte Studien: Unveröffentlichte Studien werden häufig mit herangezogen, um eine Meinung zur Frage der Satzzahl zu stützen. Dazu zählen Studien, die gänzlich unpubliziert (Sansone et al. 1993 (zitiert aus²⁵)), in nicht „peer-reviewed“ Zeitschriften¹⁴⁶ oder nur als Abstract veröffentlicht worden sind^{12, 22, 23, 110, 135}. Alle hier genannten Studien haben die Gemeinsamkeit, dass sich die Methoden der Datenerhebung nicht genau nachvollziehen lassen und sich die Frage stellt, warum sie nicht in klassischer Form veröffentlicht wurden und ob eventuell ein Grund dafür in der unzureichenden Wissenschaftlichkeit der Vorgehensweise lag.

6.) Studien mit anderem Fokus: Diese Studien beschäftigen sich hauptsächlich mit anderen Problemstellungen^{58, 67, 84, 94, 96, 101, 116, 118, 119, 139}, z.B. den Auswirkungen eines Krafttrainings auf die urinale Chromexkretion oder die Knochendichte. In diesen 10 Studien wurden die Muskeln des Oberkörpers mit einem 1-Satz- und die des Unterkörpers mit einem 2-Satz-Programm trainiert. Im Falle der Studie von Dudley et al.²⁴ lag der Fokus auf der Frage, welche Wichtigkeit exzentrische Muskelaktionen bei der Anpassung an Krafttraining haben.

Die Vielzahl an Studien, die die Frage der Satzzahl im Krafttraining untersucht haben, darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass es noch wenig gesichertes Wissen über die Auswirkungen des Trainingsvolumens gibt. Das liegt u.a. an der großen Zahl von methodischen Fehlern, deren Kategorisierung in den vorangegangenen Absätzen erfolgt ist.

Die vorliegende Studie wurde so durchgeführt, dass die methodischen Fehler der oben genannten Studien vermieden wurden. Es wurde auf eine strenge Kontrolle der Variablen geachtet, d.h. das Ein- und das Mehr-Satz-Training unterschieden sich nur in Bezug auf die Satzzahl. Sie waren in Bezug auf Trainingsfrequenz, Übungsanzahl, Wiederholungszahl, Trainingsintensität, Ausbelastungsstrategien und Variation der Steuerungsparameter deckungsgleich. Mit Hilfe eines Cross-Over-Designs wurde ein innovativer Weg bei der Evaluation von Krafttraining in Longitudinal-Studien beschritten, der die Kontrolle einer weiteren Variablen, nämlich der genetischen Variation, ermöglichte. Andere Variablen (Betreuung der Probanden, Anfeuerung bei der Testung) wurden ebenfalls kontrolliert. Zusätzliches Krafttraining neben der Studie wurde auf Muskelgruppen beschränkt, die keinen Einfluss auf die Ergebnisse dieser Studie nehmen konnten. Die Trainings- und Testmodalitäten waren identisch. Die Länge der Trainingsphasen lag mit 9 Wochen in einem Bereich, in dem neben koordinativen und neuronalen Verbesserungen auch ein Muskelwachstum zu erwarten ist. Ausserdem wurde durch eine Habitualisierungs-(Gewöhnungs)-Phase reine Lerneffekte der Bewegungsausführung minimiert. Die Effekte des dynamischen Krafttrainings wurden mit dynamischen Maximalkrafttests an jeweils den identischen Geräten überprüft.

Wie einleitend erwähnt, wird Krafttraining mit sehr unterschiedlichen Zielstellungen angewandt. Neben der Steigerung der Maximalkraft^{31, 45, 65, 75, 104} und der Vergrößerung der Muskelmasse^{44, 90}, kann durch Krafttraining die Kraftausdauer¹⁰, die Schnell- und Explosivkraft^{42, 43, 63}, die anaerobe Kapazität^{20, 92, 130} und die volitional-neuronale Ansteuerung der Skelettmuskulatur^{47, 60, 97} verbessert werden.

Bezogen auf die Auswirkungen der Satzzahl beim Krafttraining haben die meisten der bisher veröffentlichten Studien die Steigerung der Maximalkraft^{3, 7-9, 13, 19, 23, 57, 70, 78, 81, 82, 85, 95, 105, 106, 111-114, 121, 126, 127, 134, 135, 146,}

¹⁴⁹ und die Vergrößerung der Muskelmasse^{105, 110, 127} bzw. die Veränderung der Körperzusammensetzung^{19, 57, 78, 81, 85, 112, 114, 135} in den Vordergrund gerückt. Einige Autoren haben die Schnell- und Explosivkraft^{78, 85, 105, 112, 121, 134}, andere die Kraftausdauer^{3, 23, 57, 70, 85, 92, 112} als Messparameter in ihre Studie mit eingebaut. Das Transferpotential von Krafttraining mit unterschiedlicher Satzzahl auf die anaerobe Kapazität wurde in nur drei Studien untersucht^{78, 85, 92}. Gänzlich unbeantwortet ist bisher die Frage geblieben, ob das Krafttrainingsvolumen Einfluss auf die neuronalen Aspekte der Kraftentfaltung nimmt.

Die vorliegende Studie wurde durchgeführt, um die Effekte von dynamischen Krafttraining mit unterschiedlicher Satzzahl auf folgende, krafttrainingsrelevante Faktoren zu untersuchen:

- dynamische und isometrische Maximalkraft
- dynamische und isometrische Kraftausdauer
- Muskeldicke des m. biceps brachii (gemessen mit Ultraschall)
- neuronale Aspekte (iEMG, mittlere und Median Frequenz des EMG-Spektrums)

Die Hypothese vor Beginn der Studie war, dass sich aufgrund des Ausschlusses von genetischer Variation klare Vorteile für das 3-Satz-Training ergeben würden.

Neben der Darstellung der empirischen Studie wird in dieser Doktorarbeit auch eine Übersicht über den aktuellen Kenntnisstand in Bezug auf die Effekte von Krafttraining mit unterschiedlicher Satzzahl gegeben. Abschliessend wird versucht werden, eine übergeordnete These zu entwickeln, die als Leitfaden für zukünftige Studien dienen kann.

8. Material und Methoden

Probanden: Die anthropometrischen Daten der Probanden (Geschlecht, Alter (Jahre $\pm$ Stdabw.), Gewicht (kg $\pm$ Stdabw.)) sind in Tabelle 1 angegeben. Alle Probanden (n=29) konnten alle Tests und Trainingseinheiten beim

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Probanden (Gesamt, geteilt nach Gruppen) ; § signifikanter Unterschied zu KG; * signifikanter Unterschied zu Gruppe 1

Gruppe & Geschlecht	Alter (in Jahren)	Größe (in cm)	Gewicht (in kg) pre1	Gewicht (in kg) zwi1	Gewicht (in kg) post1	Gewicht (in kg) pre2	Gewicht (in kg) zwi2	Gewicht (in kg) post2
Gesamt (N=29)	25,7 $\pm$ 8,2	177 $\pm$ 7	74,4 $\pm$ 11,2	74,6 $\pm$ 11,2	74,6 $\pm$ 11,7	74,6 $\pm$ 11,7	75,0 $\pm$ 11,7	75,3 $\pm$ 11,5
♂ (N=16)	24,9 $\pm$ 9,5	181 $\pm$ 5	80,9 $\pm$ 9,8	81,3 $\pm$ 9,5	81,4 $\pm$ 10,3	81,2 $\pm$ 10,2	81,7 $\pm$ 10,3	82,2 $\pm$ 9,9
♀ (N=13)	26,6 $\pm$ 6,7	173 $\pm$ 6	66,3 $\pm$ 6,9	66,5 $\pm$ 7,2	66,3 $\pm$ 7,4	66,4 $\pm$ 7,8	66,7 $\pm$ 6,9	66,8 $\pm$ 6,9
Gruppe 1 (N=10)	27,1 $\pm$ 10,9	176 $\pm$ 8	74,3 $\pm$ 13,5§	74,4 $\pm$ 13,3§	73,7 $\pm$ 14,4§	73,6 $\pm$ 14,7§	74,7 $\pm$ 14,6§	75,3 $\pm$ 13,7§
♂ (N=7)	26,4 $\pm$ 13,3	180 $\pm$ 6	79,7 $\pm$ 12,4	80,0 $\pm$ 11,9	79,6 $\pm$ 13,3	79,7 $\pm$ 13,4	80,7 $\pm$ 13,4	80,7 $\pm$ 12,7
♀ (N=3)	28,7 $\pm$ 2,5	167 $\pm$ 4	61,7 $\pm$ 4,9	61,5 $\pm$ 2,9	60,2 $\pm$ 2,6	59,4 $\pm$ 1,6	60,9 $\pm$ 2,2	62,6 $\pm$ 4,0
Gruppe 3 (N=12)	26,0 $\pm$ 6,7	178 $\pm$ 7	76,4 $\pm$ 10,7§*	77,0 $\pm$ 11,1§*	77,5 $\pm$ 11,3§*	77,5 $\pm$ 10,6§*	77,5 $\pm$ 10,7§*	77,9 $\pm$ 11,5§*
♂ (N=6)	22,3 $\pm$ 2,9	181 $\pm$ 7	83,5 $\pm$ 7,9	84,3 $\pm$ 7,5	85,2 $\pm$ 7,7	84,4 $\pm$ 7,3	84,8 $\pm$ 7,6	86,0 $\pm$ 7,2
♀ (N=6)	29,7 $\pm$ 7,7	175 $\pm$ 6	69,3 $\pm$ 8,4	69,7 $\pm$ 9,3	69,9 $\pm$ 9,1	70,6 $\pm$ 9,0	70,4 $\pm$ 8,2	69,7 $\pm$ 8,8
Gruppe KG (N=7)	23,1 $\pm$ 6,6	177,1 $\pm$ 7,7	71,0 $\pm$ 8,8	70,9 $\pm$ 8,5	70,9 $\pm$ 8,0	71,0 $\pm$ 8,8	70,9 $\pm$ 8,5	70,9 $\pm$ 8,0
♂ (N=3)	26,7 $\pm$ 9,6	183 $\pm$ 6	78,5 $\pm$ 8,0	78,2 $\pm$ 7,8	77,9 $\pm$ 6,4	78,5 $\pm$ 8,0	78,2 $\pm$ 7,8	77,9 $\pm$ 6,4
♀ (N=4)	20,5 $\pm$ 1,7	173 $\pm$ 6	65,5 $\pm$ 4,1	65,4 $\pm$ 3,3	65,6 $\pm$ 3,5	65,5 $\pm$ 4,1	65,4 $\pm$ 3,3	65,6 $\pm$ 3,5

Bizepscurl durchführen. Aufgrund von aufgetretenen Verletzungen, die nicht im Zusammenhang mit dieser Studie standen, reduzierte sich die Probandenzahl bei der Beinpresse links und rechts (n=23) und beim Bankdrücken (n=28).

Training: Die Probanden durchliefen zweimal ein Krafttraining mit einer Länge von jeweils 9 Wochen und einer Trainingsfrequenz von 3 Einheiten

pro Woche. Nach der 5. Woche der Trainingsphase lag eine 2-wöchige Trainingspause, in der alle Kraftparameter getestet wurden. Zwischen den zwei Trainingsphasen lag die Wash-Out-Phase mit einer Länge von 9 Wochen, in der nicht trainiert wurde. Die Länge der Wash-Out-Phase entsprach somit der der Trainingsphase. Bei gleicher Länge von Training und Detraining ist ein Absinken der Maximalkraftleistung auf Ausgangsniveau zu vermuten¹⁰⁰. Durch gepaarte Randomisierung wurden die Probanden in drei Gruppen aufgeteilt. Die Gruppe 1 trainierte in Trainingsphase #1 mit einem Satz und in Trainingsphase #2 mit 3 Sätzen à jeweils 8-12 Wiederholungen. Für Gruppe 3 kehrte sich die Reihenfolge der

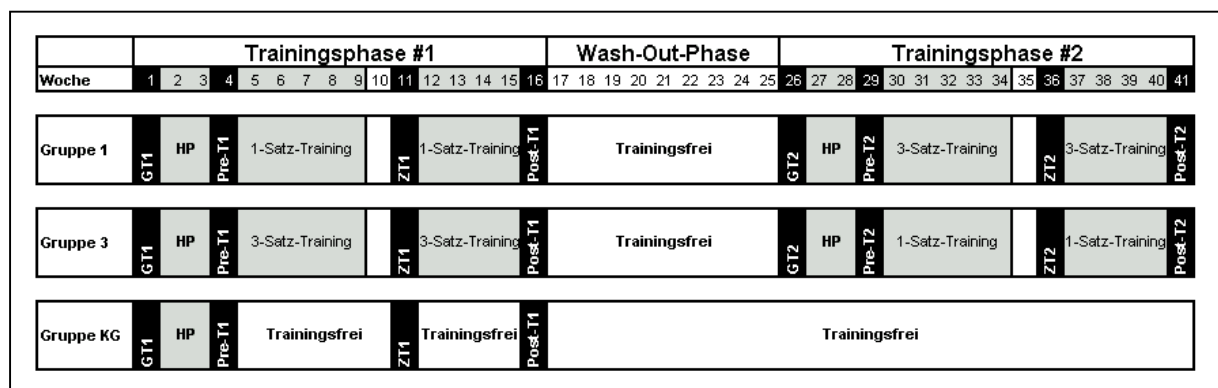


Abbildung 1: Schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufes der Untersuchung; schwarz: Testwoche; grau: Trainingswoche; weiß: Ruhewoche; HP: Habitualisierungsphase; GT: Gewöhnungstest; Pre-T: Pre-Test; ZT: Zwischentest; Post-T: Post-Test

zu durchlaufenden Trainingsregime um. Die Kontrollgruppe trainierte während keiner der Trainingsphasen.

Die durchzuführenden Übungen waren einbeinig-ausgeführte 45°-Hammerschmidt-Beinpresse, Bankdrücken (Freihantel) und beidarmiger Bizepscurl (Freihantel). Für beide Trainingsmethoden wurde darauf geachtet, dass besondere Ausbelastungsstrategien durchgeführt wurden. Die Probanden wurden angehalten, so viele Wiederholungen über das volle Bewegungsausmaß (ROM = range of motion) durchzuführen wie möglich. Nachdem der „Punkt des momentanen Muskelversagens“³⁵ erreicht wurde, wurde noch die Ausbelastungsstrategie „assisted reps“ benutzt, um die „objektive“ Ausbelastung¹⁰⁸ und die Ermüdung einer größeren Anzahl von

motorischen Einheiten zu erreichen¹⁴. Dabei wurde zum einen die Hilfe des geschulten Trainerpersonals beansprucht, der bei muskulärem Versagen das Anheben der Last unterstützte, oder es wurde mit Unterstützung des anderen Beines (unilaterale Beinpresse) die Last so reduziert, dass noch 2 Wiederholungen realisiert werden konnten. Das Trainingsgewicht der ersten Trainingseinheit wurde aufgrund der Wiederholungszahl im zuvor durchgeführten Kraftausdauer-Test festgesetzt. Sobald die Probanden im ersten Satz eine Wiederholungszahl von mehr als 10 über den vollen ROM durchführen konnten, wurde das Trainingsgewicht in der nächsten Trainingseinheit erhöht. Beim 3-Satz-Training wurde nach 1-minütiger Pause zwischen den Sätzen das Trainingsgewicht reduziert, um das Erreichen der geforderten Wiederholungszahl zu ermöglichen. Durch die Nutzung der Ausbelastungsstrategie „assisted reps“ in beiden Trainingsregimen wurde gewährleistet, dass sich das 1-Satz- und 3-Satz-Training nur im Trainingsvolumen unterschieden und die anderen Parameter wie Intensität, Wiederholungszahl und Erschöpfungsgrad im ersten Satz annähernd gleich blieben.

Vor Beginn der beiden Trainingsphasen durchliefen alle drei Gruppen die Habitualisierungsphase. Diese umfasste einen Test, der dem Pre-Test im Ablauf entsprach, um die Probanden an die Prozedur zu gewöhnen, und ein Habitualisierungstraining, das 4 Trainingseinheiten an den oben beschriebenen Übungen umfasste. Die Intensität und das Trainingsvolumen wurden vorgegeben und betrugen 2 Sätze à 15 Wiederholungen mit 60% des 1RM-Gewichtes, das im Test zuvor ermittelt wurde. Die Wichtigkeit der Minimierung von unkontrollierbaren Lerneffekten bei Krafttrainingsstudien wurde durch Dudley et al.²⁴ verifiziert, und somit wurde mit Hilfe der Habitualisierungsphase versucht, den Einfluss von akuten Lerneffekten auf die Höhe der Veränderungen der Testparameter zu eliminieren.

Jede Trainingseinheit wurde durch jeweils eine der Betreuungspersonen begleitet und überwacht. Dabei lag es in ihrer Verantwortung, für ein ausreichendes Maß an Sicherheit vor allem bei den Freihantel-Übungen, für die Einhaltung der erforderlichen Intensität durch die Hilfestellung bei den assistierten Wiederholungen und für die Erhöhung des Trainingsgewichtes bei erreichter Wiederholungsanzahl in der vorangegangenen Trainingseinheit

zu sorgen. Direkte Supervision des Krafttrainings wirkt sich positiv auf die Leistungsentwicklung aus⁸⁹ und ist somit eine Variable, die kontrolliert werden muss.

Übungen: An folgenden Übungen wurde die Erhebung der Kraftparameter und das Training durchgeführt. Auf folgende Bewegungsausführungen wurde geachtet:

Bizepscurl beidarmig: Die gerade Gewichtsstange mit den jeweiligen Hantelscheiben wurde so aufgestellt, dass die Bewegung bei etwa 5-10° Ellenbogenflexion begann. Der Anfangswinkel für die Bewegung war bei allen Tests und Trainingseinheiten identisch. Die Ellenbogenflexion wurde bis zur vertikalen Position der Unterarme durchgeführt.

Beinpresse einbeinig: Diese Übung wurde sowohl mit dem rechten als auch dem linken Bein durchgeführt. Das nicht arbeitende



Abbildung 2: Fotografische Darstellung der Ausgangsposition bei der Übung Beinpresse (rechts)



Abbildung 3: Fotografie der Bankdrückbank

Bein war dabei zur Hüftstabilisierung so gelagert, dass

Hüft- und Kniewinkel jeweils etwa 90° betrugen. Der Ausgangswinkel des Knies des arbeitenden Beins war für alle Tests identisch und entsprach etwa 90° (Abbildung 2). Die Beinstreckung wurde bis zu einem Winkel von 175° Knieextension durchgeführt.

Bankdrücken: Die Trainierenden lagen horizontal auf der Bank (Abbildung 3), hatten die Füße auf das Ende der Bank gestellt und fassten die Langhantel einheitlich in einer vorbestimmten Breite. Das Gewicht wurde in der exzentrischen Phase ausgehend von einer gestreckten Armhaltung auf die Brust gesenkt. Nach Berührung der Brust durch die Stange wurden die Arme wieder gestreckt. Das Bilden einer Brückenspannung (Hyperlordose) im Rücken war nicht erlaubt.

Trainingsstatistik: Während der beiden Trainingsphasen wurden jeweils die drei Trainingseinheiten der Woche 2, der Woche 5 und der Woche 9 zur Analyse herangezogen. Das Trainingsgewicht und die Wiederholungsanzahl bei den drei Trainingseinheiten wurde protokolliert und gemittelt. Die Trainingsintensität wurde relativ auf die Maximalkraft errechnet. Dabei wurde das Trainingsgewicht der Woche 2 auf die 1RM-Ergebnisse des Pre-Testes, das der Woche 5 auf die des Zwischentestes und das der Woche 9 auf die des Post-Testes bezogen.

Tests: Getestet wurde vor (Pre-Test) und nach (Post-Test) der Trainingsphase und während der 2. Woche der Pause innerhalb der Trainingsphase. In der Woche der Testungen wurde kein Training durchgeführt und der Abstand zur letzten Trainingseinheit betrug mindestens 2 Tage. Die Tests wurden an zwei verschiedenen Tagen durchgeführt. Zwischen den Untersuchungen lagen mindestens 48 Stunden.

Untersuchungstag 1:

Bestimmung des 1RM bei den Übungen Bizepscurl mit Langhantel, Beinpresse (Hammerschmidt) und Bankdrücken mit Freihantel.

Tabelle 2: Darstellung der Reihenfolge und Inhalte der durchgeführten Tests

Testtag	Tests: Reihenfolge und Inhalte
1	1RM: (1) Bizepscurl, (2) Beinpresse rechts, (3) Beinpresse links, (4) Bankdrücken
2	(1) Ultraschall: Muskeldicken-Messung am Bizeps brachii (2) EMG: Maximale isometrische Armbeuge-Kontraktion (Länge: 55 Sekunden) mit EMG-Ableitung; Bestimmung der MVC (1. + 25. Sek) und des iEMG, der Medianfrequenz und der mittleren Frequenz (3) KA80%: (1) Bizepscurl, (2) Beinpresse rechts (85%), (3) Bankdrücken

Untersuchungstag 2:

1. Ultraschalluntersuchung zur Muskeldicke des linken m. biceps brachii
2. EMG-Untersuchung am linken m. biceps brachii während einer maximalen isometrischen Kontraktion beim Bizepscurl
3. Bestimmung der maximalen Wiederholungszahl bei 80% bzw. 85% des 1RM-Gewichtes (maxWdh80%)

Aufwärmen: Die Probanden führten ein allgemeines (5 min Fahrrad-Ergometer (Firma Technogym, Italien) und 2 min Handkurbelergometer (Firma Technogym, Italien)) und ein spezielles Aufwärmprogramm (10 Wiederholungen mit 9kg (Bizepscurl), 56,5kg (Beinpresse) jeweils für beide Geschlechter und 9kg für Frauen / 20kg für Männer (Bankdrücken)) durch.

1RM: Als 1RM-Gewicht wurde das höchste Gewicht ermittelt, das mit fehlerfreier Ausführung über das gesamte Bewegungsausmaß (Range of Motion = ROM) bewegt werden konnte. Beim Pre-Test wurde als Ausgangsgewicht das – beim Gewöhnungstest ermittelte (beim Zwischentest das Pre-Test-1RM-Gewicht / beim Post-Test das Zwischen-Test-1RM-Gewicht) – Gewicht benutzt. Nach erfolgreicher Bewältigung der aufgelegten Last wurde das Gewicht nach Einschätzung des Testers erhöht. Zwischen den Versuchen wurde den Probanden eine Pause von zwei Minuten gewährt. Die Anzahl der Versuche wurde protokolliert. Bei allen Probanden konnte das 1RM innerhalb von $3 \pm 1,5$ Versuchen ermittelt werden.

Der Reliabilitätskoeffizient für zwei Messungen an unterschiedlichen Tagen lag bei $r=0,97$ ($n=29$) für den Bizepscurl, bei $r=0,92$ ($n=23$) für die Beinpresse links, bei $r=0,94$ ($n=23$) für die Beinpresse (rechts) und bei $r=0,97$ ($n=28$) für das Bankdrücken und ist somit als hoch einzustufen.

Die 1RM-Werte der einzelnen Übungen wurden zu einem Summen-1RM (S-1RM) zusammenaddiert. Dabei wurde das 1RM beim Bizepscurl und beim Bankdrücken und der Mittelwert der beiden 1RM-Werte bei der Beinpresse (rechts und links) summiert. Für das S-1RM wurden nur Probanden gewertet, die 1RM-Werte bei allen Übungen aufzuweisen hatten ($n=22$).

MaxWdh80%: Die Bestimmung der maximalen Wiederholungszahl mit 80% des 1RM-Gewichtes erfolgte unmittelbar nach der Ultraschall- und der EMG-Untersuchung. Mit 80% (bzw. 85% bei der Beinpresse (rechts)) des 1RM führten die Probanden so viele Wiederholungen aus, wie mit fehlerfreier Ausführung über den gesamten ROM möglich waren. Dabei mussten kontinuierliche Kontraktionen ohne Pausen durchgeführt werden. Die Anzahl der Wiederholungen wurde laut mitgezählt. Es erfolgte sonst keinerlei

Zuspruch oder Anfeuerung. Es wurde die genaue Prozentzahl des verwendeten Gewichtes am 1RM-Gewicht ermittelt und diese wurde auf Unterschiede zwischen den Gruppen getestet.

Ultraschall: Muskel- und Unterhautfettstärke (muscle and subcutaneous fat thickness) lassen sich durch B-Mode Ultraschall akkurat bestimmen^{32, 61, 127, 145}. Fukunaga et al.³² wiesen nach, dass die B-Mode Methode valide für das Messen der Muskeldicke ist, indem sie die Ultraschall-Ergebnisse mit direkten Messungen an Leichen verglichen. Abe et. al.¹ fanden eine hohe Korrelation ($r=0,91$, $n=52$) zwischen Muskeldicke des m. quadrizeps femoris und dem Muskelquerschnitt bestimmt durch Magnetic Resonance Imaging (MRI). Ishida et. al.⁶¹ zeigten, dass die B-Mode Technik hochgradig reliabel mit kleinen Tag-zu-Tag-Variationen ist, wenn die Untersuchungen von nur einem Tester gemacht werden.



Abbildung 4: Hewlett Packard: Image Point, M2410A Ultraschall System

In unserer Studie wurde die Unterhautfett- und die Muskeldicke des m. biceps brachii mittels B-



Abbildung 5: Fotografische Darstellung einer B-Mode-Ultraschall Muskeldicken-Messung und deren Versuchsanordnung

Mode Technik (Hewlett Packard: Image Point, M2410A Ultraschall System; vgl. Abbildung 4) untersucht. Die Probanden wurden vor der Messung befragt, was sie an dem jeweiligen Tag für körperliche Belastungen gehabt hatten und wie ihr Ernährungs- und Trinkverhalten am Tag vor und dem der Messung gewesen war. Falls eine nennenswerte Belastung stattgefunden hatte und/oder die Probanden berichteten, dass sie exzessiv Kaffee und/oder Alkohol und/oder wenig Wasser konsumiert hatten, wurde die Messung nach Möglichkeit auf den nächsten Tag verschoben, mit der

Instruktion, beim nächsten Mal die genannten Bedingungen zu erfüllen. Die Ultraschalluntersuchungen wurden auf der anterioren Mittellinie des Oberarmes auf Höhe der 2/3-Markierung der Entfernung zwischen dem Akromion Fortsatz und der Fossa Cubitalis durchgeführt. Diese Stelle wurde bestimmt und markiert. Die Probanden legten sich horizontal auf eine gepolsterte Liege. Der Ellenbogen wurde so gelagert, dass die Hautoberfläche des Oberarmes auf Höhe der Markierung eine horizontale Ausrichtung hatte. Der Ellenbogen war 20° flektiert und die Hand supiniert. Auf der Hand musste ein Tablett mit Gewichten gehalten werden, die insgesamt 5% des beidarmigen 1RM-Gewichtes (Bizepscurl) ausmachten. Der Ultraschall-Kopf (Hewlett Packard: Typ L7535) wurde auf die markierte Stelle gesetzt. Dabei wurde der Schallkopf am Kabel gehalten, so dass er nur mit dem Eigengewicht auf den Muskel einwirkte und diesen mit einer standardisierten Gewichtskraft eindrückte (vgl. Abbildung 5). Durch Schwenken des Schallkopfes wurde die Stellung visuell ermittelt, welche die schärfste Echolinie des Humerus aufwies. Diese Stellung wurde als 90° Winkel zwischen der Schallebene und dem Humerus gewertet⁴⁵. In dieser Schallkopf-Stellung wurde der Haut/Fett-, der Fett/Muskel- und der Muskel/Knochen-Übergang identifiziert. Es wurde ein Standbild auf dem Monitor (HP) festgesetzt und mit einem gerätimmanenten Kaliper die Distanz zwischen dem Haut/Fett- und dem Fett/Muskel-Übergang (Fettdicke) einerseits und dem Fett/Muskel- und dem Muskel/Knochen-Übergang (Muskeldicke) andererseits bestimmt, wobei darauf geachtet wurde, dass die Messung vertikal über dem höchsten Punkt des Knochens erfolgte. Der Mittelwert aus zwei Messungen wurde als Fett- bzw. Muskeldicke gewertet. Die Messung wurde wiederholt, wenn die beiden Messwerte mehr als 1 mm differierten, und sie wurde von nur einem Tester durchgeführt. Die Ergebnisse der Fettdickenmessung sind im Anhang dargestellt.

Der Reliabilitätskoeffizient für zwei unmittelbar aufeinander folgende Muskeldicken-Messungen mit der beschriebenen Vorgehensweise lag bei $r = 1,00$ ($p < 0,05$) ($n=46$) und für zwei - 14 Tage auseinander liegende - Messungen bei $r = 0,92$ ($p < 0,05$) ($n = 30$).

EMG: vgl. Anhang

Statistik: Die Daten dieser Studie wurden auf vier verschiedene Weisen ausgewertet. Die Vorgehensweise der verschiedenen statistischen Analyseverfahren sind in der Folge einzeln dargestellt:

Gruppenanalyse: Die Ergebnisse der 1RM- und MaxWdh80%-Tests, der Muskeldicken- und EMG-Untersuchungen und die Trainingsstatistik wurden für die Gruppen (G1, G3 und KG) einzeln analysiert. Für Pre-T1, ZT1, Post-T1, Pre-T2, ZT2 und Post-T2 bzw. die Trainingsdaten aus den Wochen 2, 5, 9 in Trainingsphase #1 und Trainingsphase #2, wurden die Mittelwerte und die Standardabweichung für die einzelnen Gruppen ermittelt. Mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Normalverteilungstests und des Levene-Tests wurden die Ergebnisse auf Normalverteilung und Varianzhomogenität untersucht. Eine 3x6 MANOVA (Gruppen x Tests) wurde durchgeführt und bei signifikanten Interaktionen wurde ein Tukey Honest-Significant-Difference-Post-hoc-Test für ungleiche N durchgeführt. Die prozentualen Veränderungen während Trainingsphase #1 und Trainingsphase #2 wurden mit Hilfe einer 3x1 ANOVA (Gruppen x Wert) auf Unterschiede zwischen den Gruppen getestet. Bei signifikanten Interaktionen wurde ein Tukey Honest-Significant-Difference-Post-hoc-Test für ungleiche N durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ gesetzt.

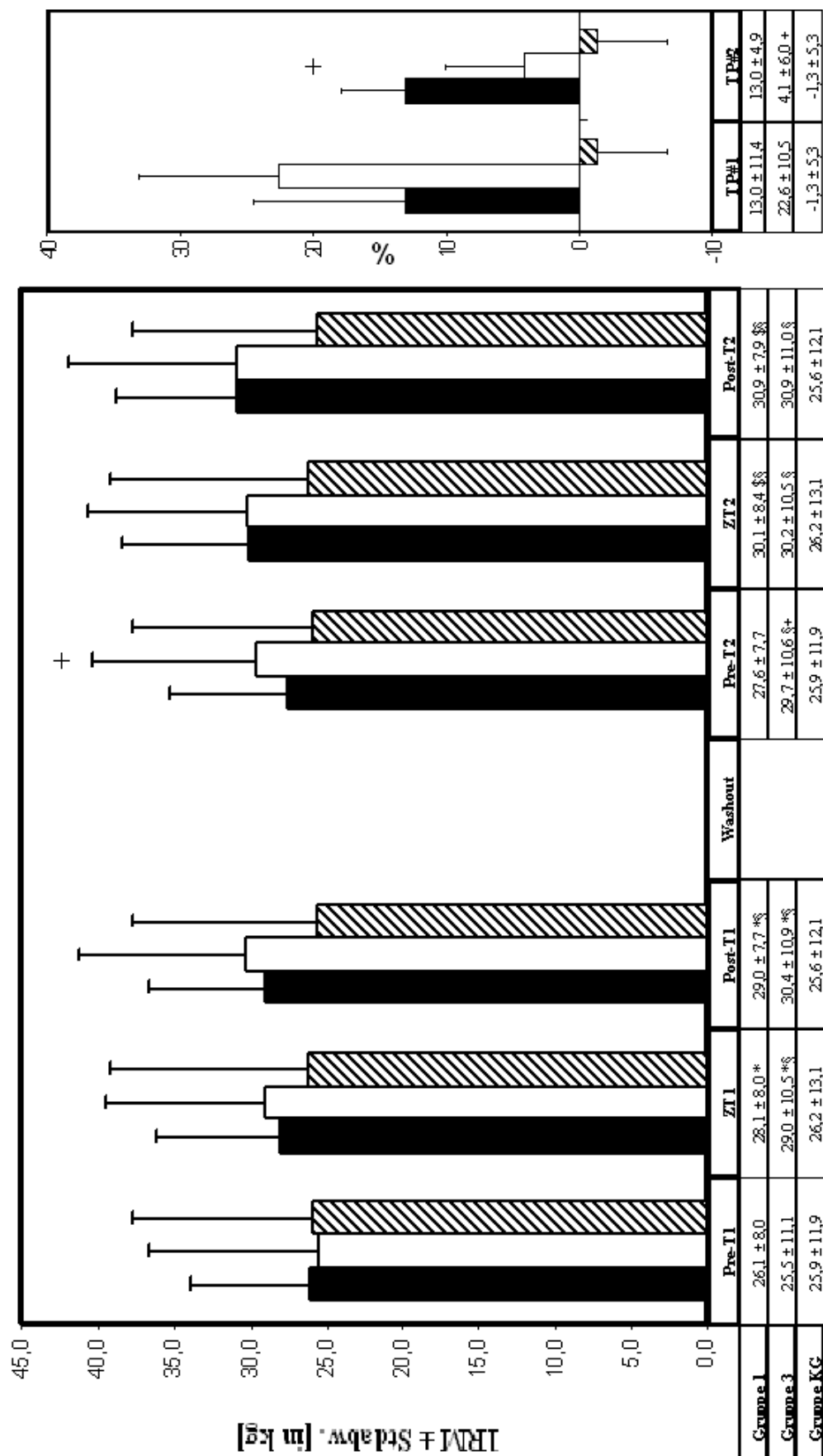
Satzanalyse: Die Ergebnisse der 1RM- und MaxWdh80%-Tests, der Muskeldicken- und EMG-Untersuchungen und die Trainingsstatistik wurden für die Probanden der Trainingsgruppen nach durchgeführter Trainingsmethode getrennt analysiert. Die Ergebnisse von G1 in Trainingsphase #1 und von G3 in Trainingsphase #2 wurden zur Gruppe 1-Satz-Training zusammengeführt. Die Ergebnisse von G1 in Trainingsphase #2 und von G3 in Trainingsphase #1 wurden zur Gruppe Mehr-Satz-Training zusammengeführt. Für Pre-T, ZT und Post-T bzw. die Trainingsdaten aus den Wochen 2, 5, 9 wurden die Mittelwerte und die Standardabweichung für die beiden Gruppen ermittelt. Mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Normalverteilungstests und des Levene-Tests wurden die Ergebnisse auf Normalverteilung und Varianzhomogenität untersucht. Eine 1x3 ANOVA (Gruppe x Tests) wurde benutzt, um Verbesserungen während der einzelnen

Trainingsformen auf Signifikanz zu untersuchen. Bei signifikanten Interaktionen wurde ein Tukey HSD-Post-hoc-Test durchgeführt. Ein gepaarter t-Test wurde benutzt, um signifikante Unterschiede zwischen den Effekten der beiden Trainingsmethoden bei den einzelnen Tests und bei den prozentualen Veränderungen von Pre- zu Post-Test aufzudecken. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ gesetzt.

Geschlechteranalyse: Die Ergebnisse der 1RM- und MaxWdh80%-Tests, der Muskeldicken- und EMG-Untersuchungen und die Trainingsstatistik wurden für beide Geschlechter getrennt analysiert. Die Vorgehensweise bei der Geschlechteranalyse war dabei jeweils für Männer und Frauen identisch mit der Satzanalyse.

Trainingsstatusanalyse: Für die Trainingsstatusanalyse wurden die 1RM-Ergebnisse beim Pre-T1 für alle vier Übungen und das S-1RM auf das Körpergewicht relativiert (1RM/KG). Für die Geschlechter getrennt wurde der Mittelwert errechnet. Männer bzw. Frauen, die – verglichen mit dem jeweiligen Mittelwert – einen höheren 1RM/KG-Wert aufwiesen, wurden in die Gruppe TS1 eingeteilt. Diejenigen mit einem niedrigeren Wert bildeten die Gruppe TS2. Die Analyse für TS1 und TS2 war identisch mit der Satzanalyse.

Bizepscurl 1RM



■ Gruppe 1

□ Gruppe 3

▨ Gruppe KG

9. Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Studie sind zum einen in Kapitel 9.1. „*Gruppenanalyse*“ nach Gruppen (G1, G3, KG), zum zweiten in Kapitel 9.2. „*Satzanalyse*“ für G1 und G3 zusammen nach 1-Satz- (1ST) und 3-Satz- (3ST) Training, zum dritten in Kapitel 9.3. „*Geschlechteranalyse*“ für die Geschlechter getrennt und zum vierten in Kapitel 9.4. „*Trainingsstatusanalyse*“ für G1 und G3 zusammen nach 1-Satz- (1ST) und 3-Satz- (3ST) Training und nach Trainingsstatus getrennt aufgeführt. Ausserdem ist die Ergebnisdarstellung nach dynamischer Maximalkraft (1RM) und Kraftausdauer (KA), Muskeldicke, isometrischer Maximalkraft und Kraftausdauer, iEMG, MPF, MF (im Anhang) und Trainingsstatistik unterteilt.

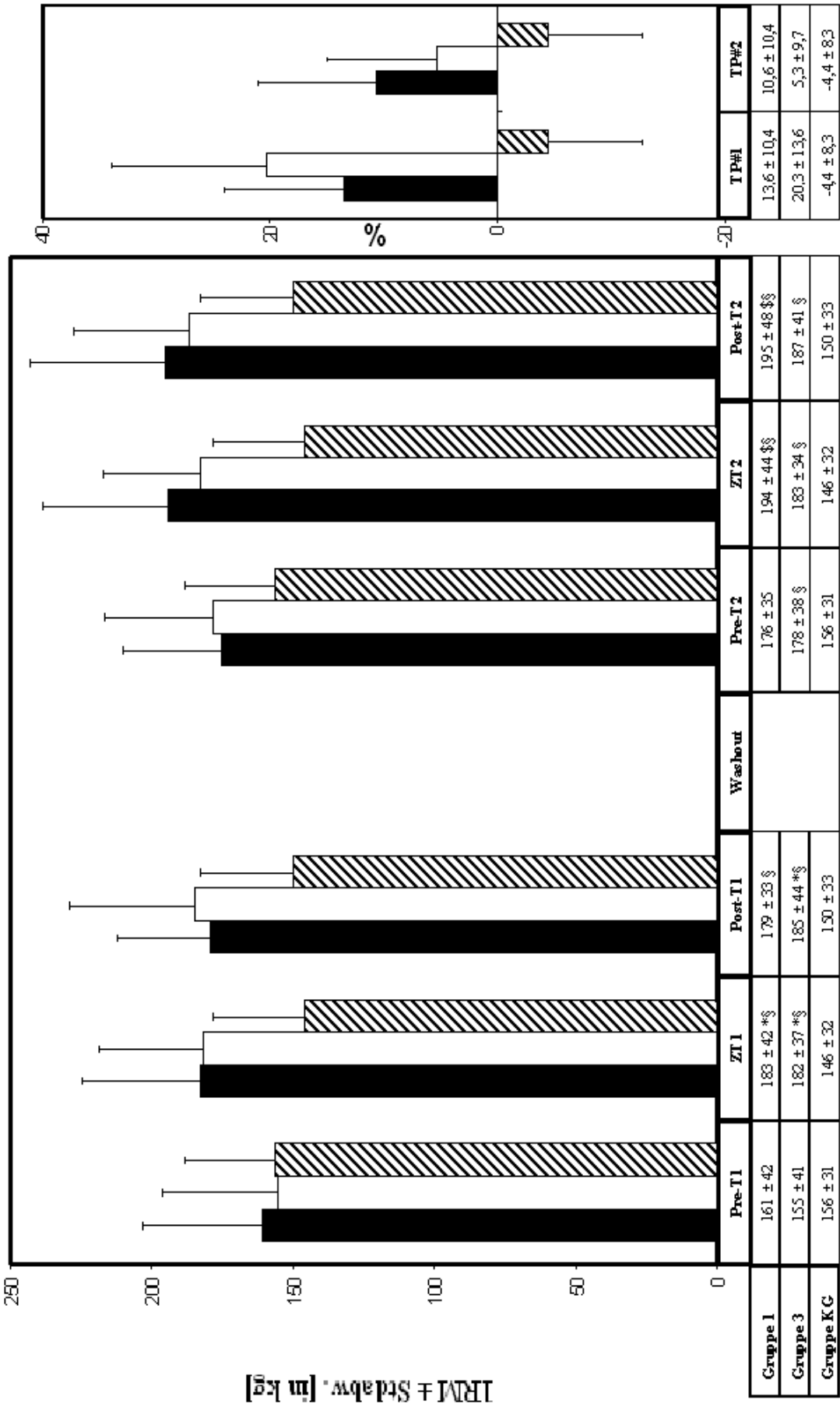
9.1 Gruppenanalyse

Maximalkraft:

Bizepscurl (beidarmig): Die 1RM-Werte für den Bizepscurl der einzelnen Gruppen (G1, G3, KG) sind für die einzelnen Tests in Abbildung 6 zu sehen. Die Resultate der KG bei den einzelnen Tests differierten nicht signifikant ($p > 0,05$). Die Werte des ZT1 und Post-T1 für G1 (1ST) und G3 (3ST) waren signifikant größer als die des Pre-T1. Das gleiche gilt für Trainingsphase #2 nur für G1 (3ST), wo die Ergebnisse des ZT2 und Post-T2 signifikant höher lagen als die des Pre-T2. Die 1RM-Werte von KG waren signifikant kleiner bei ZT1 und Pre-T2 als G3 und bei Post-T1, ZT2 und Post-T2 als G1 und G3. Die Ergebnisse des Pre-T2 waren größer für G3 als für G1. Die prozentuale Veränderung während Trainingsphase #1 (Pre-T1 – Post-T1) war signifikant

Abbildung 6 (gegenüberliegende Seite): Ergebnisse der 1RM-Bestimmung für Bizepscurl in Mittelwert $\pm$ Stdabw. (in kg) (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test (rechts) - Gruppenanalyse; G1 (n=10); G3 (n=12); KG (n=7); TP= Trainingsphase; + $p < 0,05$ gegenüber G3; * $p < 0,05$ gegenüber Pre-T1; § $p < 0,05$ gegenüber Pre-T2; \$ $p < 0,05$ gegenüber KG

Beinpresse (links) 1RM



■ Gruppe 1 □ Gruppe 3 ▨ Gruppe KG

größer für G1 (1ST) und G3 (3ST) gegenüber der für KG. Während Trainingsphase #2 zeigte G1 (3ST) signifikant höhere prozentuale Zuwächse als KG und G3 (1ST) (vgl. Abbildung 6).

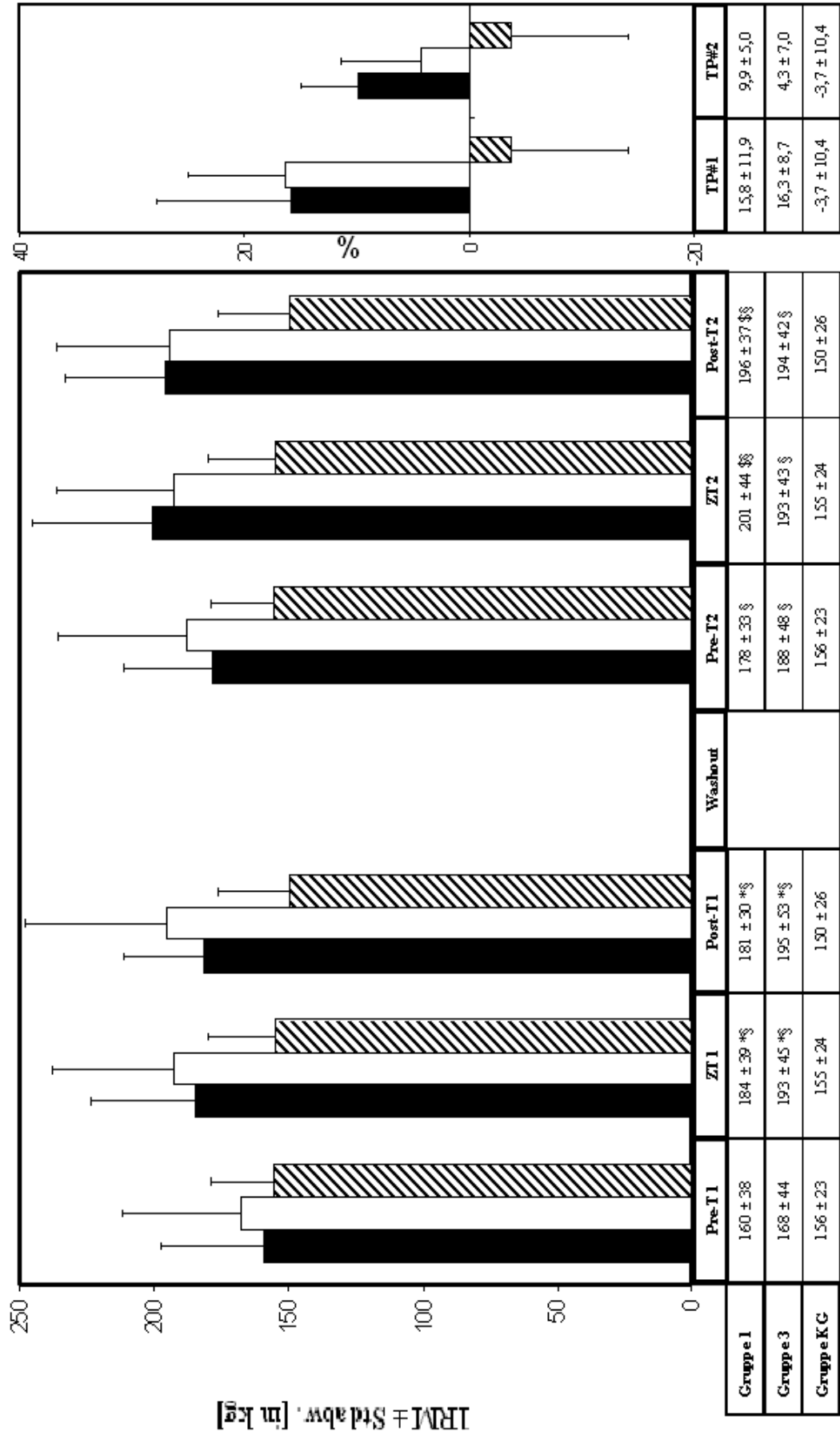
Beinpresse (links): Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse der Maximalkraftmessung für die Beinpresse (links). Die Resultate der KG bei den einzelnen Tests differierten nicht signifikant. Die Werte des ZT1 für G1 (1ST) und des ZT1 und Post-T1 für G3 (3ST) waren signifikant größer als die des Pre-T1. Die Ergebnisse des ZT2 und Post-T2 lagen signifikant höher als die des Pre-T2 nur für G1 (3ST). Die 1RM-Werte der KG waren signifikant kleiner bei Pre-T2 als G3 und bei ZT1, Post-T1, ZT2 und Post-T2 als G1 und

Abbildung 7 (gegenüberliegende Seite): Ergebnisse der 1RM-Bestimmung für Beinpresse (links) in Mittelwert $\pm$ Stdabw. (in kg) (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test (rechts) - Gruppenanalyse; G1 (n=8); G3 (n=8); KG (n=7); TP= Trainingsphase; * $p < 0,05$ gegenüber Pre-T1; § $p < 0,05$ gegenüber Pre-T2; \$ $p < 0,05$ gegenüber KG

G3. Es gab keine signifikante Unterschiede zu irgendeinem Zeitpunkt zwischen G1 und G3. Die prozentuale Veränderung während Trainingsphase #1 war signifikant größer für G1 (1ST) und G3 (3ST) gegenüber der für KG. Während Trainingsphase #2 ergaben sich nur für G1 (3ST) signifikant höhere prozentuale Zuwächse als für KG.

Beinpresse (rechts): Die 1RM-Werte für die Beinpresse (rechts) der einzelnen Gruppen (G1, G3, KG) sind für die einzelnen Tests in Abbildung 8 zu sehen. Die Resultate von KG bei den einzelnen Tests differierten nicht signifikant. Die Werte des ZT1 und Post-T1 für G1 (1ST) und G3 (3ST) waren signifikant größer als die des Pre-T1. Das gleiche gilt für Trainingsphase #2 nur für G1 (3ST), wo die Ergebnisse des ZT2 und Post-T2 signifikant höher lagen als die des Pre-T2. Die 1RM-Werte von KG waren signifikant kleiner bei ZT1, Post-T1, Pre-T2, ZT2 und Post-T2 als G1 und G3. Es gab keinerlei signifikante Unterschiede zu irgendeinem Zeitpunkt zwischen G1 und G3.

Beinpresse (rechts) 1RM



■ Gruppe 1 □ Gruppe 3 ▨ Gruppe KG

Die prozentuale Veränderung während Trainingsphase #1 war signifikant größer für G1 (1ST) und G3 (3ST) gegenüber der für KG. Während Trainingsphase #2 ergaben sich nur für G1 (3ST) signifikant höhere prozentuale Zuwächse als für KG.

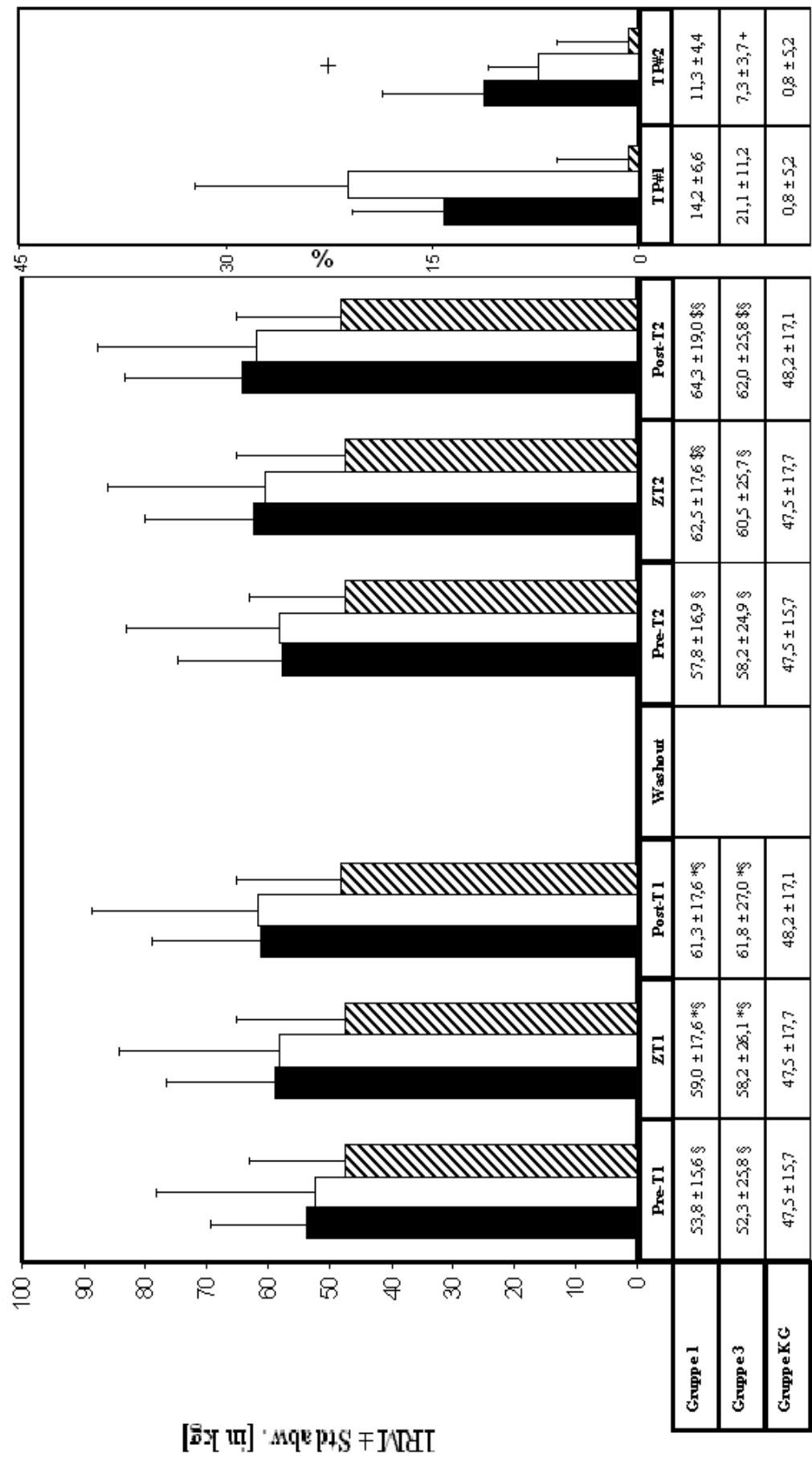
Bankdrücken: Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse der Maximalkraftmessung für das Bankdrücken. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Tests bei KG. Die Werte des ZT1 und Post-T1 für G1 (1ST) und G3 (3ST) waren signifikant größer als die des Pre-T1. Die Ergebnisse des ZT2 und Post-T2 für G1 (3ST) und des Post-T2 für G3 (1ST)

Abbildung 8 (gegenüberliegende Seite): Ergebnisse der 1RM-Bestimmung für Beinpresse (rechts) in Mittelwert $\pm$ Stdabw. (in kg) (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test (rechts) - Gruppenanalyse; G1 (n=8); G3 (n=9); KG (n=6); TP= Trainingsphase; * $p < 0,05$ gegenüber Pre-T1; § $p < 0,05$ gegenüber Pre-T2; \$ $p < 0,05$ gegenüber KG

lagen signifikant höher als die des Pre-T2. Bei allen Tests waren die 1RM-Werte der KG kleiner als die der G1 und G3, während zwischen G1 und G3 kein Unterschied festzustellen war. Die prozentualen Veränderungen sowohl während Trainingsphase #1, als auch während Trainingsphase #2 waren signifikant größer für G1 und G3 gegenüber denen für KG. Während Trainingsphase #2 zeigte G1 (3ST) signifikant höhere prozentuale Zuwächse als G3 (1ST) (vgl. Abbildung 9).

Summen-1RM: In Abbildung 10 sind die S-1RM-Werte zu sehen. Die KG veränderte ihren S-1RM-Wert nicht signifikant. Die Werte des ZT1 und Post-T1 für G1 (1ST) und G3 (3ST) waren signifikant größer als die des Pre-T1. Die Ergebnisse des ZT2 und Post-T2 nur für G1 (3ST) lagen signifikant höher als die des Pre-T2. Bei allen Tests waren die 1RM-Werte der KG kleiner als die der G1 und G3, während zwischen G1 und G3 die S-1RM-Leistung bei Post-T1 und Pre-T2 zugunsten von G3 signifikant unterschiedlich waren. Die prozentualen Veränderungen sowohl während Trainingsphase #1, als auch während Trainingsphase #2 waren signifikant größer für G1 und G3

Bankdrücken 1RM



■ Gruppe 1 □ Gruppe 2 ▨ Gruppe 3

Abbildung 9 (gegenüberliegende Seite): Ergebnisse der 1RM-Bestimmung für das Bankdrücken in Mittelwert $\pm$ Stdabw. (in kg) (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test (rechts) - Gruppenanalyse; G1 (n=10); G3 (n=11); KG (n=7); TP= Trainingsphase; *p<0,05 gegenüber G3+p<0,05 gegenüber G3; * p<0,05 gegenüber Pre-T1; § p<0,05 gegenüber Pre-T2; \$ p<0,05 gegenüber KG

gegenüber denen für KG. Während Trainingsphase #2 zeigte G1 (3ST) signifikant höhere prozentuale Zuwächse als G3 (1ST) (vgl. Abbildung 10).

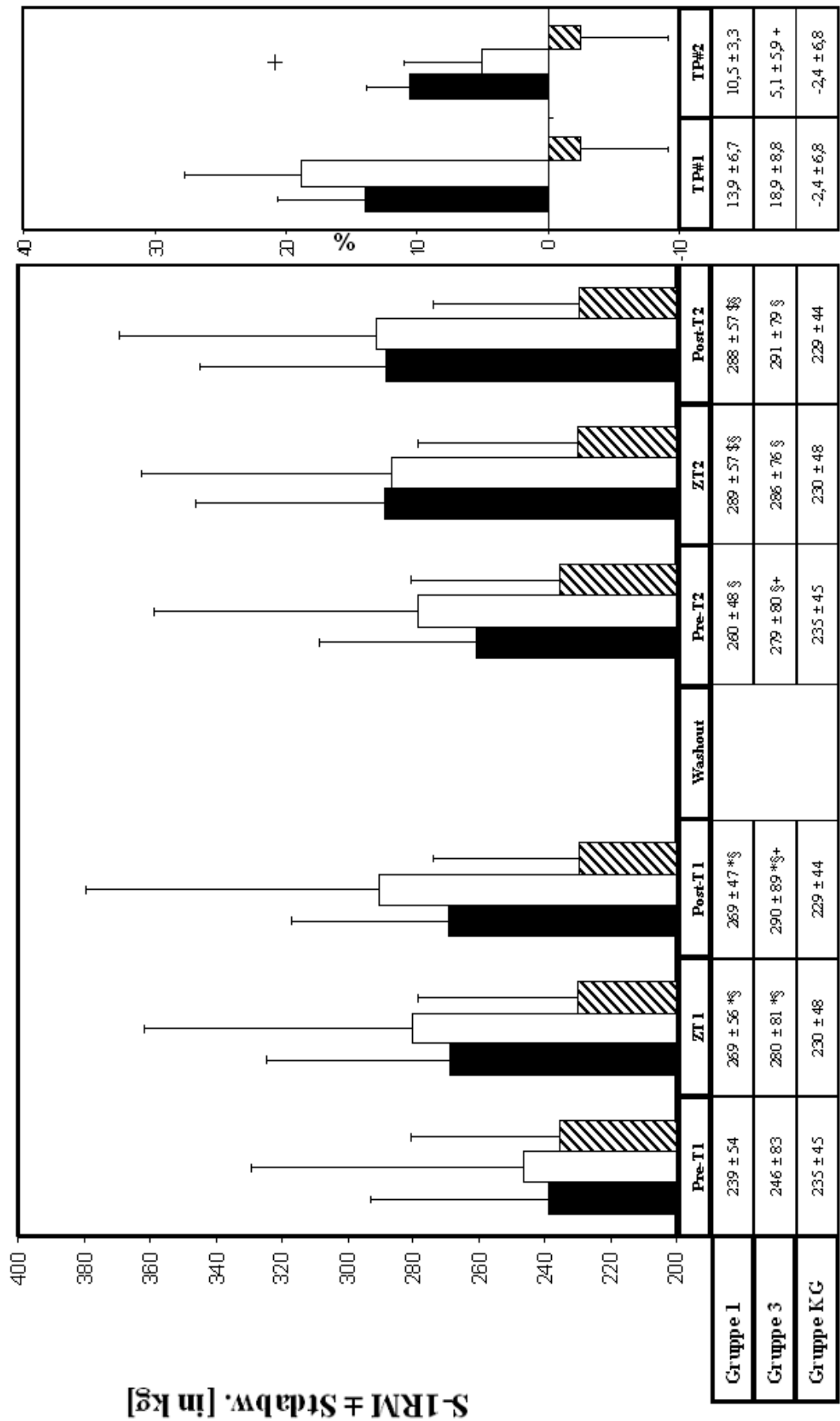
Kraftausdauer (MaxWdh80%):

Tabelle 3: Ergebnisse der Kraftausdauer tests (MaxWdh80% und MaxWdh85%) - Gruppenanalyse; linke Spalte: Verwendete Last relativ zum entsprechenden 1RM (in %1RM $\pm$ Stdabw.); rechte Spalte: maximal realisierte Wiederholungsanzahl (Wdh. $\pm$ Stdabw.); G1 (Bizepscurl: n=10, Beinpresse: n=8, Bankdrücken: n=10); G3 (n=12, n=9, n=11); KG (n=7, n=6, n=7)

		Kraftausdauer (MaxWdh80% und MaxWdh85%)																	
		Bizepscurl						Beinpresse						Bankdrücken					
		Gruppe 1		Gruppe 3		Kontrollgruppe		G1		G3		KG		G1		G3		KG	
		%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.
Pre-Test1	Mittelwert	80,0	19,5	79,9	21,7	80,0	17,7	84,5	19,0	85,2	20,1	85,0	20,3	80,1	9,4	80,2	9,2	80,4	9,2
	Stdabw.	0,6	8,9	1,1	9,2	0,9	7,4	1,9	8,9	0,3	11,1	0,3	8,6	1,1	2,3	1,0	4,3	1,1	1,7
Zwischentest	Mittelwert	80,1	17,7	79,9	16,8	80,2	14,0	85,0	20,4	85,0	22,1	85,1	14,8	80,6	8,5	80,8	7,9	80,0	10,0
	Stdabw.	0,7	7,8	0,7	6,6	0,8	3,4	0,3	6,1	0,2	10,4	0,2	2,1	1,3	1,3	0,9	2,2	1,3	1,9
Post-Test1	Mittelwert	79,9	19,0	79,6	18,4	80,0	14,2	85,0	22,9	85,0	23,8	85,3	20,2	80,3	9,1	80,1	9,2	80,6	8,3
	Stdabw.	0,7	4,7	0,6	4,3	0,2	3,7	0,3	6,2	0,2	8,2	0,3	5,9	1,2	2,3	1,3	1,3	1,7	1,5
Pre-Test2	Mittelwert	80,0	19,1	80,0	16,8	80,0	17,7	85,0	20,6	85,0	18,0	85,0	20,3	80,1	9,0	80,1	9,4	80,4	9,2
	Stdabw.	0,4	4,6	0,4	7,2	0,9	7,4	0,3	5,6	0,2	6,7	0,3	8,6	1,2	1,1	1,3	1,6	1,1	1,7
Zwischentest2	Mittelwert	79,7	19,1	79,7	18,3	80,2	14,0	85,0	19,9	85,0	24,6	85,1	14,8	80,6	7,9	80,2	9,6	80,0	10,0
	Stdabw.	0,6	5,8	0,4	4,5	0,8	3,4	0,1	5,8	0,2	9,1	0,2	2,1	1,6	2,6	1,2	2,8	1,3	1,9
Post-Test2	Mittelwert	79,7	23,9	79,9	17,5	80,0	14,2	85,1	22,5	85,1	23,2	85,3	20,2	79,7	9,6	80,3	9,0	80,6	8,3
	Stdabw.	0,6	10,5	0,5	5,7	0,2	3,7	0,1	7,9	0,2	6,2	0,3	5,9	1,5	2,0	1,4	2,4	1,7	1,5

Die Ergebnisse der Kraftausdauer tests sind in Tabelle 3 dargestellt. Die ANOVA Analyse ergab nur für die Kraftausdauer tests beim Bizepscurl und bei der Beinpresse signifikante Inter-Gruppen-Interaktionen. Der Post-hoc-Test zeigte signifikante Unterschiede für den Post-T2 zwischen KG (14,2 $\pm$ 3,7 Wdh.) und G1 (23,9 $\pm$ 10,5 Wdh.) beim Bizepscurl und für den ZT2 zwischen KG (14,8 $\pm$ 2,1 Wdh.) und G3 (24,6 $\pm$ 9,1 Wdh.) bei der Beinpresse.

Summen-1RM



■ Gruppe 1 □ Gruppe 3 ▨ Gruppe KG

Abbildung 10 (gegenüberliegende Seite): Summen-1RM in Mittelwert $\pm$ Stdabw. (in kg) (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test (rechts) - Gruppenanalyse; G1 (n=8); G3 (n=8); KG (n=6); TP= Trainingsphase; +p<0,05 gegenüber G3; * p<0,05 gegenüber Pre-T1; § p<0,05 gegenüber Pre-T2; \$ p<0,05 gegenüber KG

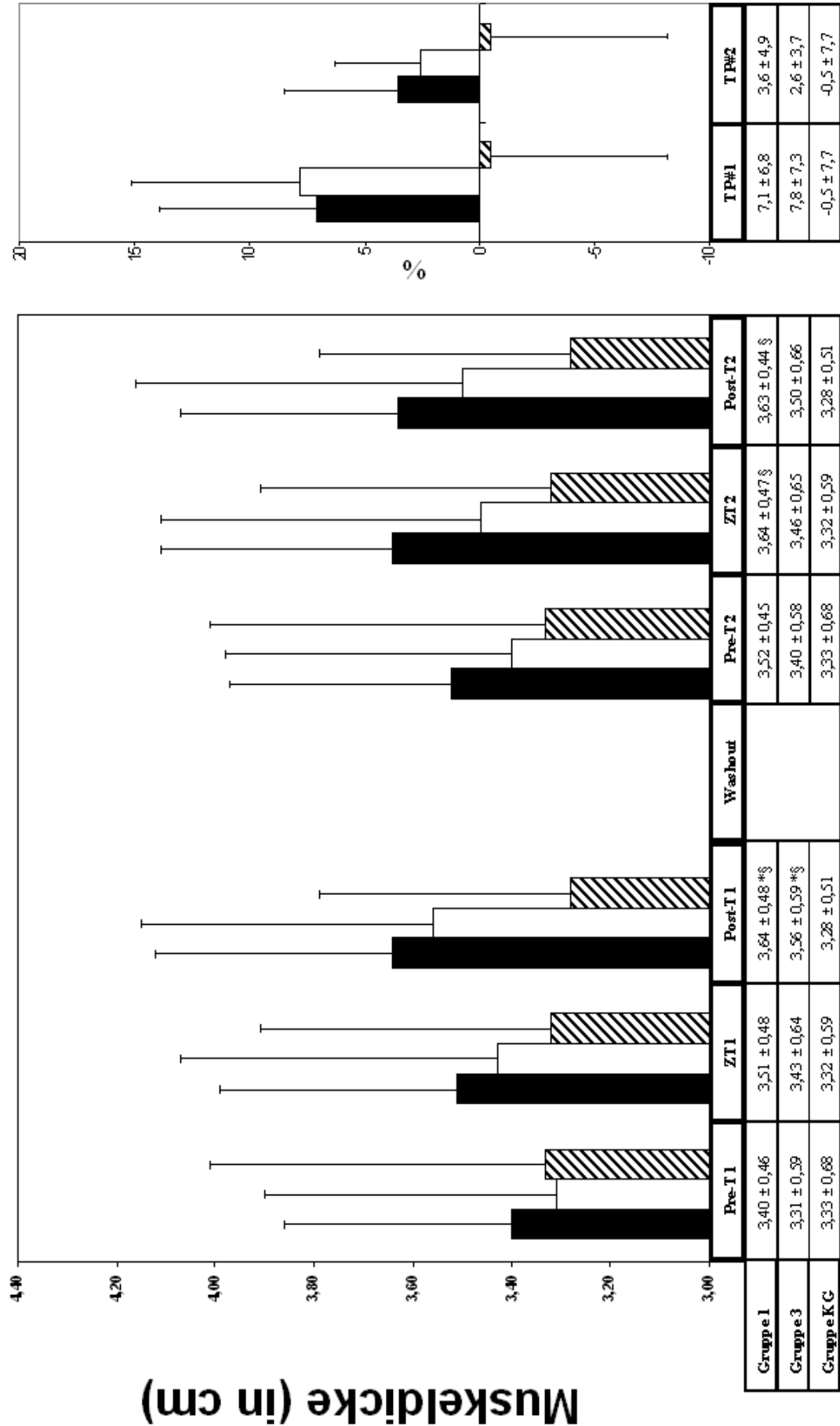
Muskeldicke:

Die Ergebnisse der Muskeldickenbestimmung am m. biceps brachii mit B-Mode Sonographie sind in Abbildung 11 dargestellt. Die ANOVA Analyse offenbarte signifikante Intra- und Inter-Gruppen-Interaktionen. Die Muskeldickenwerte der G1 und G3 waren signifikant größer bei Post-T1 als bei Pre-T1. Ausserdem ergab der Post-hoc-Test für Post-T1 signifikante Unterschiede zwischen KG ($3,28 \pm 0,51$ cm) auf der einen und G1 ($3,64 \pm$

Tabelle 4: Darstellung der Trainingsstatistik (Gruppenanalyse) während Woche 2, 5 und 9 während Trainingsphase #1 und #2; * p<0,05 gegenüber Woche 2; + p<0,05 gegenüber G3

	Bizepscurl		Beinpresse (links)		Beinpresse (rechts)		Bankdrücken	
	Gruppe 1	Gruppe 3	Gruppe 1	Gruppe 3	Gruppe 1	Gruppe 3	Gruppe 1	Gruppe 3
	(n=10)	(n=12)	(n=8)	(n=8)	(n=8)	(n=9)	(n=10)	(n=11)
Trainingsphase #1								
Woche 2								
Trainingsgewicht (kg)	23,6 $\pm$ 6,7	22,9 $\pm$ 9,0	159,2 $\pm$ 38,2	148,3 $\pm$ 37,8	159,7 $\pm$ 33,0	156,9 $\pm$ 41,1	44,9 $\pm$ 13,5	43,1 $\pm$ 21,2
%1RM (Pre-T)	90,9 $\pm$ 5,5	91,3 $\pm$ 5,8	99,9 $\pm$ 7,4	96,0 $\pm$ 7,4	101,0 $\pm$ 7,8	93,7 $\pm$ 7,4	83,3 $\pm$ 5,3	82,5 $\pm$ 6,6
Wiederholungen (1. Satz)	10,4 $\pm$ 2,7	10,1 $\pm$ 2,2	11,3 $\pm$ 3,0	13,4 $\pm$ 4,1	12,1 $\pm$ 4,0	13,8 $\pm$ 4,6	9,0 $\pm$ 2,3	10,0 $\pm$ 1,4
Woche 5								
Trainingsgewicht (kg)	25,7 $\pm$ 6,7*	25,3 $\pm$ 9,3*	174,0 $\pm$ 38,5	169,5 $\pm$ 45,1*	175,1 $\pm$ 33,0	177,3 $\pm$ 50,5*	48,2 $\pm$ 14,5*	46,3 $\pm$ 21,9*
%1RM (ZT)	92,3 $\pm$ 5,7	87,5 $\pm$ 4,8	95,4 $\pm$ 7,3	93,0 $\pm$ 12,7	95,8 $\pm$ 8,0	91,7 $\pm$ 11,0	81,5 $\pm$ 2,5	79,3 $\pm$ 5,2
Wiederholungen (1. Satz)	9,5 $\pm$ 2,5	9,9 $\pm$ 2,3	9,4 $\pm$ 1,7	12,0 $\pm$ 3,0	11,4 $\pm$ 3,2	11,5 $\pm$ 3,5	8,1 $\pm$ 1,1	9,0 $\pm$ 1,7
Woche 9								
Trainingsgewicht (kg)	26,7 $\pm$ 6,9*	26,9 $\pm$ 9,6*	183,0 $\pm$ 36,2*	179,2 $\pm$ 39,2*	187,7 $\pm$ 32,3*	187,9 $\pm$ 47,8*	50,3 $\pm$ 14,4*	49,8 $\pm$ 22,7*
%1RM (Post-T)	92,3 $\pm$ 3,4	89,0 $\pm$ 6,0	102,0 $\pm$ 8,4	97,3 $\pm$ 4,9	103,6 $\pm$ 8,8	96,7 $\pm$ 5,3	82,4 $\pm$ 3,8	80,5 $\pm$ 4,5
Wiederholungen (1. Satz)	8,2 $\pm$ 2,0	9,1 $\pm$ 2,2	9,2 $\pm$ 1,5	10,7 $\pm$ 2,6	8,9 $\pm$ 2,6	9,3 $\pm$ 2,6	8,2 $\pm$ 1,3	8,8 $\pm$ 0,7
% Trainingsgewicht Woche 2-9	14,6 $\pm$ 8,5	19,5 $\pm$ 11,0	16,0 $\pm$ 9,2	21,9 $\pm$ 10,3	18,4 $\pm$ 7,0	20,2 $\pm$ 8,1	13,2 $\pm$ 9,0	18,2 $\pm$ 10,0
Trainingsphase #2								
Woche 2								
Trainingsgewicht (kg)	25,6 $\pm$ 7,0	26,7 $\pm$ 9,6	162,1 $\pm$ 26,1	171,1 $\pm$ 37,1	173,8 $\pm$ 33,2	178,2 $\pm$ 42,8	47,9 $\pm$ 14,1	48,9 $\pm$ 20,4
%1RM (Pre-T)	93,0 $\pm$ 4,1	90,2 $\pm$ 6,8	93,2 $\pm$ 7,8	96,3 $\pm$ 6,1	97,7 $\pm$ 5,2	95,5 $\pm$ 7,0	83,0 $\pm$ 2,6	84,6 $\pm$ 5,2
Wiederholungen (1. Satz)	9,7 $\pm$ 2,3	8,8 $\pm$ 0,7	10,2 $\pm$ 1,2	10,1 $\pm$ 0,9	10,2 $\pm$ 1,6	10,1 $\pm$ 1,3	8,5 $\pm$ 1,1	8,0 $\pm$ 1,2
Woche 5								
Trainingsgewicht (kg)	27,5 $\pm$ 7,2*	28,2 $\pm$ 9,9	185,5 $\pm$ 39,3*	180,1 $\pm$ 38,7	190,7 $\pm$ 36,8*	186,6 $\pm$ 43,4	50,8 $\pm$ 14,1	51,7 $\pm$ 21,3*
%1RM (ZT)	92,0 $\pm$ 4,1	93,4 $\pm$ 3,2	96,0 $\pm$ 5,9	98,6 $\pm$ 9,8	95,5 $\pm$ 6,2	97,1 $\pm$ 8,4	81,5 $\pm$ 3,8	86,1 $\pm$ 3,9
Wiederholungen (1. Satz)	8,4 $\pm$ 1,2	8,0 $\pm$ 1,7	9,4 $\pm$ 1,5	9,5 $\pm$ 1,6	10,0 $\pm$ 1,5	9,5 $\pm$ 1,7	7,6 $\pm$ 1,3	7,7 $\pm$ 1,6
Woche 9								
Trainingsgewicht (kg)	28,6 $\pm$ 7,2*	28,2 $\pm$ 9,5	193,6 $\pm$ 42,3*	180,3 $\pm$ 36,7	198,2 $\pm$ 39,7*	185,6 $\pm$ 44,4	52,5 $\pm$ 16,5*	51,6 $\pm$ 20,8
%1RM (Post-T)	92,6 $\pm$ 3,5	92,4 $\pm$ 6,4	100,0 $\pm$ 7,4	97,0 $\pm$ 6,2	101,6 $\pm$ 9,1	95,5 $\pm$ 6,0	81,3 $\pm$ 3,1	84,0 $\pm$ 6,5
Wiederholungen (1. Satz)	8,0 $\pm$ 1,6	7,4 $\pm$ 1,3	8,4 $\pm$ 1,3	8,9 $\pm$ 1,8	8,4 $\pm$ 0,7	8,9 $\pm$ 2,1	8,0 $\pm$ 1,0	7,1 $\pm$ 1,1
% Trainingsgewicht Woche 2-9	12,5 $\pm$ 4,7+	6,7 $\pm$ 7,1	19,4 $\pm$ 16,4+	5,8 $\pm$ 6,1	14,4 $\pm$ 11,3+	4,3 $\pm$ 5,7	9,2 $\pm$ 5,9	6,4 $\pm$ 4,3

Muskeldicke (Bizeps brachii)



■ Gruppe 1 □ Gruppe 3 ▨ Gruppe KG

0,48 cm) und G3 ($3,56 \pm 0,59$ cm) auf der anderen Seite. Die Muskeldicke bei ZT2 und Post-T2 nur für G1 (3ST) war signifikant größer als für KG. Es

Abbildung 11 (gegenüberliegende Seite): Muskeldicke des m. biceps brachii ermittelt mit B-Mode Ultraschallmessung in cm $\pm$ Stdabw. (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test (rechts) - Gruppenanalyse; G1 (n=10); G3 (n=12); KG (n=7); TP= Trainingsphase; * $p < 0,05$ gegenüber Pre-T1; § $p < 0,05$ gegenüber Pre-T2; \$ $p < 0,05$ gegenüber KG

gab keinerlei signifikante Unterschiede zu irgendeinem Zeitpunkt zwischen G1 und G3. Auch die prozentualen Veränderungen während Trainingsphase #1 und Trainingsphase #2 unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen.

Trainingsstatistik

Die Trainingsstatistik im Zuge der Gruppenanalyse ist in Tabelle 4 dargestellt. Das Trainingsgewicht bei allen Übungen war für G1 (1ST) und G3 (3ST) jeweils während Woche 9 signifikant größer als während Woche 2 in Trainingsphase #1, wobei es keine Unterschiede zwischen den Gruppen, auch nicht in den prozentualen Veränderungen, gab. In Trainingsphase #2 konnte nur G1 (3ST) das Trainingsgewicht während Woche 9 im Verhältnis zu Woche 2 signifikant steigern. Die prozentualen Verbesserungen während Trainingsphase #2 beim Trainingsgewicht für den Bizepscurl, die Beinpresse links und rechts lagen signifikant höher bei G1 (3ST) als bei G3 (1ST). Es waren keine signifikanten Veränderungen innerhalb und zwischen den einzelnen Gruppen bei der Trainingsintensität und der Wiederholungsanzahl nachzuweisen.

9.2 Satzanalyse

Maximalkraft

Tabelle 5: Ergebnisse der 1RM-Bestimmung (kg $\pm$ Stdabw.) und der Muskeldickenmessung am m. biceps brachii (cm $\pm$ Stdabw.) (Satzanalyse); * = p<0,05 gegenüber Pre-T; + = p<0,05 gegenüber Mehrsatztraining

		Bizepscurl 1RM			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	$\Delta\%$ Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	28,1	29,3 *	30,0 *	8,2 +
	Stdabw.	9,4	9,3	9,4	9,7
Mehrsatztraining (n=22)	Mittelwert	26,4	29,5 *	30,6 *	18,2
	Stdabw.	9,5	9,4	9,4	9,6
		Beinpresse (links) 1RM			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	$\Delta\%$ Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	169,5	182,9 *	183,1 *	9,4
	Stdabw.	40,2	36,9	36,1	10,6
Mehrsatztraining (n=16)	Mittelwert	165,4	187,9 *	189,9 *	15,5
	Stdabw.	38,2	39,9	44,9	12,7
		Beinpresse (rechts) 1RM			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	$\Delta\%$ Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	174,4	188,7 *	188,1 *	9,7
	Stdabw.	44,7	40,4	36,4	11,0
Mehrsatztraining (n=17)	Mittelwert	172,7	196,5 *	195,3 *	13,3
	Stdabw.	38,4	43,5	44,7	7,7
		Bankdrücken 1RM			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	$\Delta\%$ Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	56,1	59,8 *	61,7 *	10,6 +
	Stdabw.	20,6	21,7	21,7	6,3
Mehrsatztraining (n=21)	Mittelwert	54,9	60,2 *	63,0 *	16,5
	Stdabw.	21,6	22,0	23,0	9,8
		Summen-1RM			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	$\Delta\%$ Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	258,7	277,6 *	280,2 *	9,5
	Stdabw.	69,2	65,3	63,7	7,6
Mehrsatztraining (n=16)	Mittelwert	253,5	284,5 *	289,3 *	14,7
	Stdabw.	65,8	68,2	72,1	7,7
		Muskeldicke (Bizeps Brachii)			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	$\Delta\%$ Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	3,40	3,48	3,56 *	4,6
	Stdabw.	0,52	0,57	0,58	5,7
Mehrsatztraining (n=22)	Mittelwert	3,41	3,53 *	3,59 *	5,9
	Stdabw.	0,53	0,57	0,52	6,6

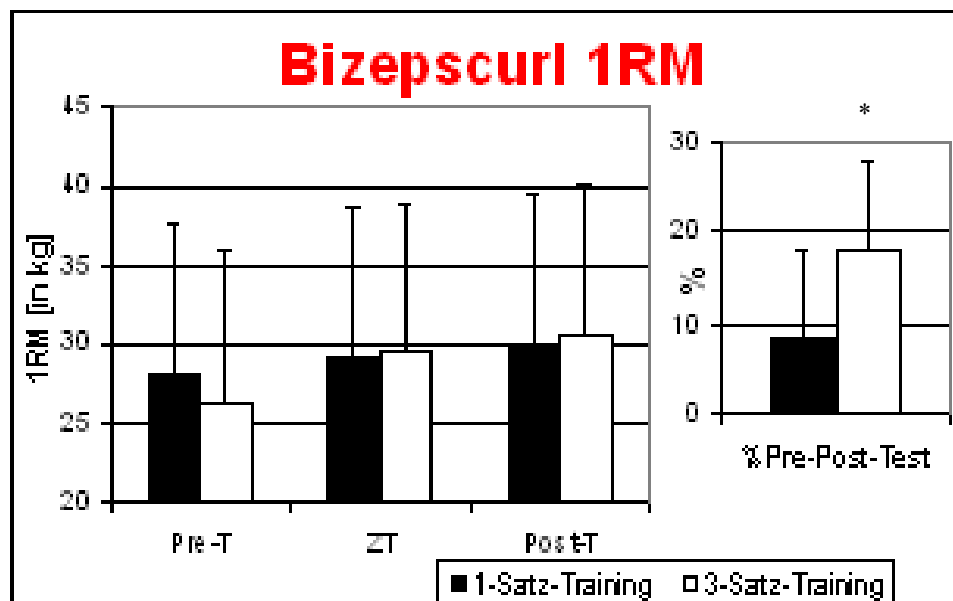


Abbildung 12: 1RM $\pm$ Stdabw. beim Bizepscurl (links) und prozentuale Veränderung von Pre- zu Post-Test in % $\pm$ Stdabw. (rechts) – Satzanalyse; Pre-T= Pre-Test; ZT= Zwischentest; Post-T= Post-Test; * $p < 0,05$ gegenüber 1-Satz-Training; $n=22$

Bizepscurl (beidarmig): Die Entwicklung der 1RM-Werte sind in Tabelle 5 und Abbildung 12 dargestellt. Während beider Trainingsregimen verbesserten sich die 1RM-Ergebnisse signifikant. Die prozentuale Verbesserung der 1RM-Leistung während des 3ST war für den Zeitraum von Pre-Test bis zum Post-Test signifikant höher als während des 1ST.

Beinpresse: Die Entwicklung der 1RM-Werte sind in Tabelle 5 und

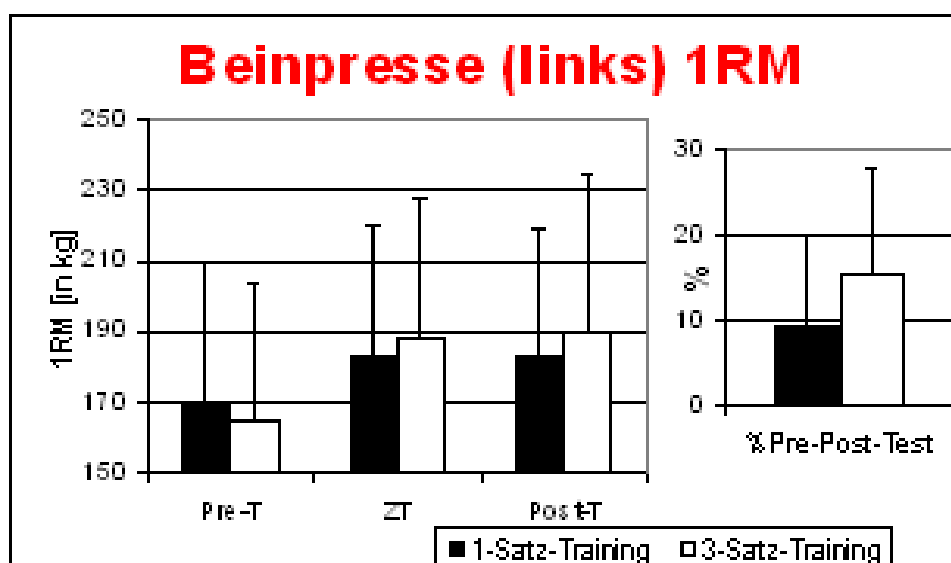


Abbildung 13: Darstellung der Maximalkraft bei der Beinpresse (links) in kg $\pm$ Stdabw. (links) und prozentuale Veränderung von Pre- zu Post-Test in % $\pm$ Stdabw. (rechts) – Satzanalyse; Pre-T= Pre-Test; ZT= Zwischentest; Post-T= Post-Test; $n=16$

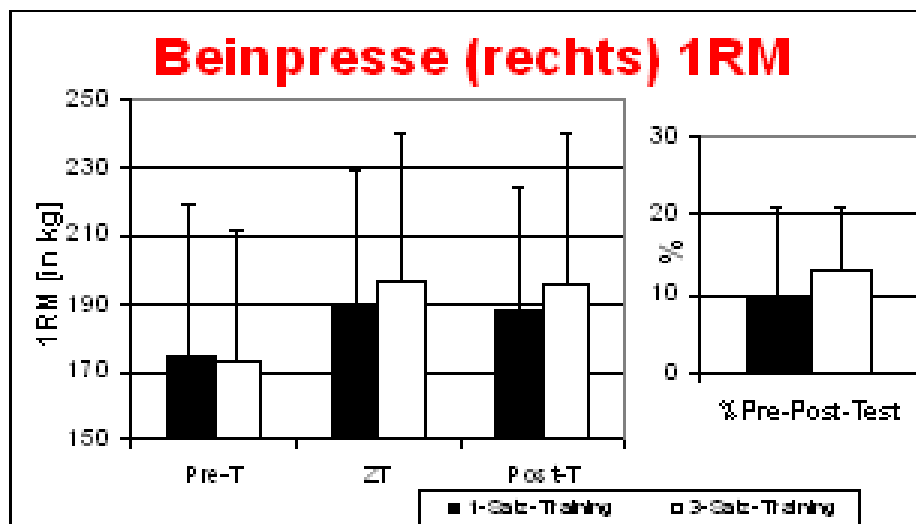


Abbildung 14: Darstellung der Maximalkraft bei der Beinpresse (rechts) in kg $\pm$ Stdabw. (links) und prozentuale Veränderung von Pre- zu Post-Test in % $\pm$ Stdabw. (rechts) – Satzanalyse; Pre-T= Pre-Test; ZT= Zwischentest; Post-T= Post-Test; n=17

Abbildung 13 (links) und 14 (rechts) dargestellt. Beide Trainingsformen steigerten die Maximalkraft bei der Beinpresse links und rechts signifikant. Es ergaben sich keine Unterschiede zwischen den beiden Trainingsregime sowohl bei Auswertung der absoluten 1RM-Werte als auch der prozentualen Veränderungen.

Bankdrücken: Die Entwicklung der 1RM-Werte sind in Tabelle 5 und

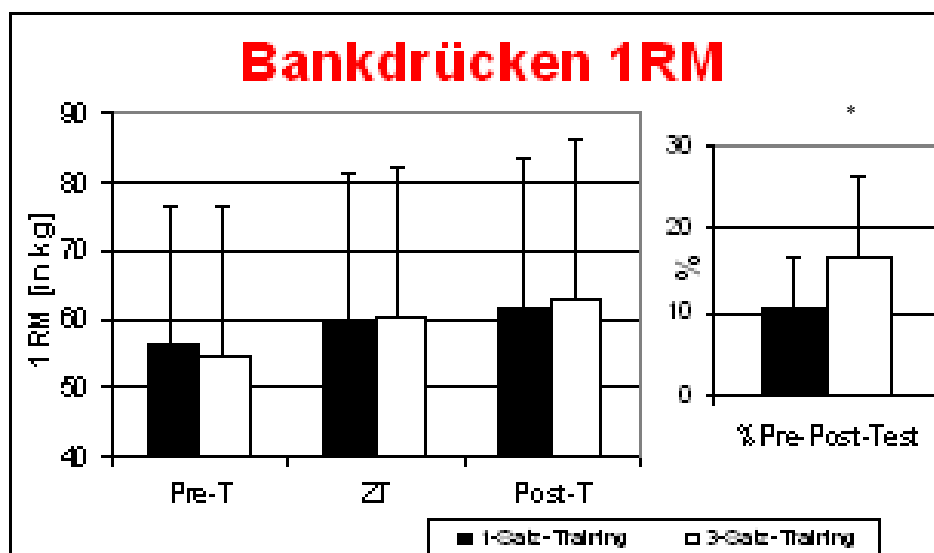


Abbildung 15: 1RM $\pm$ Stdabw. beim Bankdrücken (links) und prozentuale Veränderung von Pre- zu Post-Test in % $\pm$ Stdabw. (rechts) – Satzanalyse; Pre-T= Pre-Test; ZT= Zwischentest; Post-T= Post-Test; *p<0,05 gegenüber 1-Satz-Training; n=21

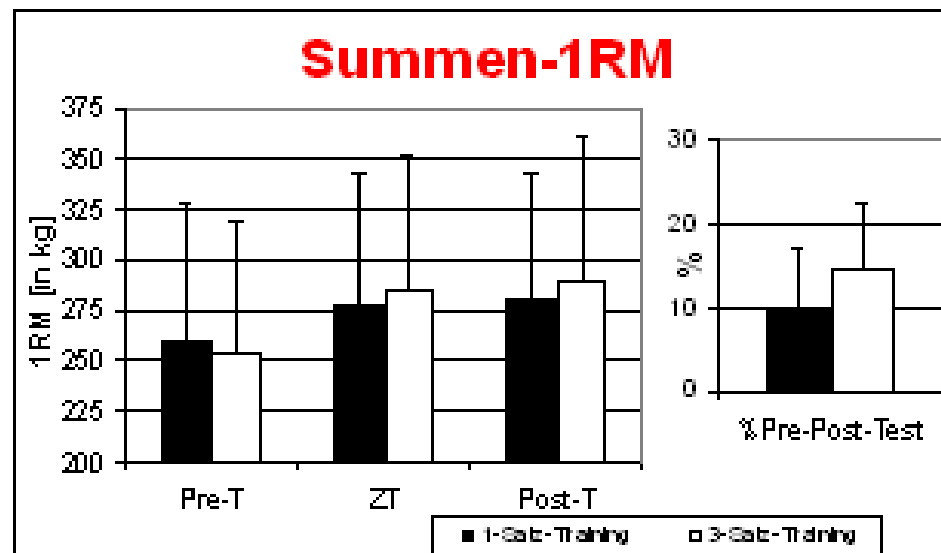


Abbildung 16: Summen-1RM $\pm$ Stdabw. (links) und prozentuale Veränderung von Pre- zu Post-Test in % $\pm$ Stdabw. (rechts) – Satzanalyse; Pre-T= Pre-Test; ZT= Zwischentest; Post-T= Post-Test; n=16

Abbildung 15 dargestellt. Sowohl das 1ST, als auch das 3ST führten zu signifikanten Verbesserungen des 1RM. Die prozentuale Veränderung während des 3ST ($16,5 \pm 9,8\%$) war signifikant höher als während des 1ST ($10,6 \pm 6,3\%$).

Summen-1RM: Die Entwicklung der S-1RM-Werte sind in Tabelle 5 und

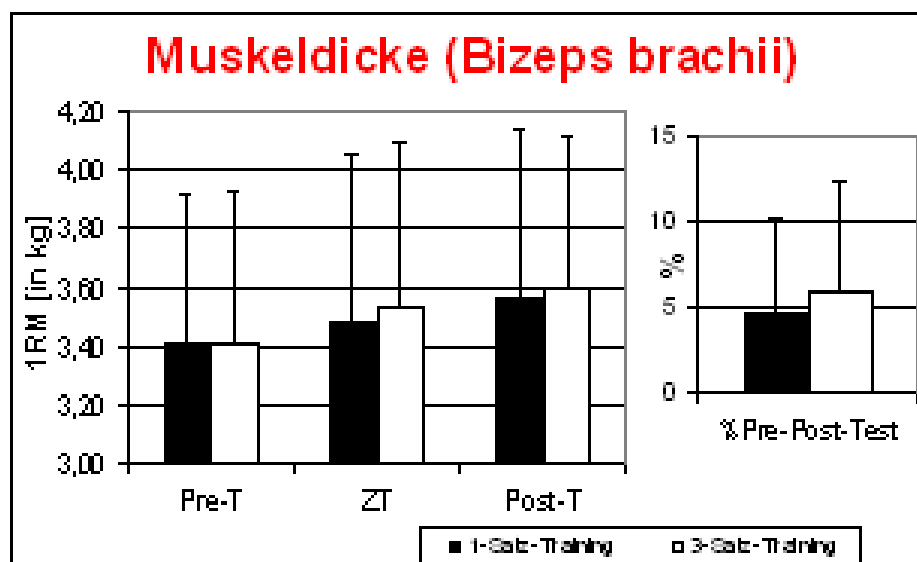


Abbildung 17: Muskeldicke des m. biceps brachii in cm $\pm$ Stdabw. (links) und prozentualer Veränderung von Pre- zu Post-Test in % $\pm$ Stdabw. (rechts) – Satzanalyse; Pre-T= Pre-Test; ZT= Zwischentest; Post-T= Post-Test; n=22

Tabelle 6: Ergebnisse der Kraftausdauer tests (MaxWdh80% und MaxWdh85%) – Satzanalyse;
+p<0,05 gegenüber 1ST

Kraftausdauer (MaxWdh80% und MaxWdh85%)							
		Bizepscurl (n=17)					
		Pre-Test		Zwischentest		Post-Test	
		%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.
Ein-Satz-Training	Mittelwert	80,0	18,0	79,9	18,0	79,9	18,2
	Stdabw.	0,5	8,0	0,6	6,1	0,6	5,2
Mehr-Satz-Training	Mittelwert	79,9	20,5	79,8	17,9	79,6	20,9+
	Stdabw.	0,9	7,4	0,7	6,2	0,6	8,0
		Beinpresse (n=21)					
		Pre-Test		Zwischentest		Post-Test	
		%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.
Ein-Satz-Training	Mittelwert	84,8	18,5	85,0	22,6	85,1	23,1
	Stdabw.	1,3	7,6	0,3	7,9	0,2	6,0
Mehr-Satz-Training	Mittelwert	85,1	20,4	85,0	21,1	85,0	23,2
	Stdabw.	0,3	8,7	0,1	8,4	0,2	7,8
		Bankdrücken (n=22)					
		Pre-Test		Zwischentest		Post-Test	
		%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.	%1RM	Wdh.
Ein-Satz-Training	Mittelwert	80,1	9,4	80,4	9,1	80,3	9,0
	Stdabw.	1,2	1,9	1,2	2,2	1,2	2,3
Mehr-Satz-Training	Mittelwert	80,1	9,1	80,7	7,9+	79,9	9,4
	Stdabw.	1,1	3,1	1,2	2,3	1,3	1,7

Abbildung 16 dargestellt. Beide Trainingsregime führten zu signifikanten Steigerungen des S-1RM, doch war die Entwicklung nicht signifikant unterschiedlich zwischen 1ST und 3ST.

Kraftausdauer (MaxWdh80%)

Die Ergebnisse der Kraftausdauer tests sind in Tabelle 6 zu sehen. Die Wiederholungszahl beim Bizepscurl beim Post-Test lag signifikant höher während des 3ST ($20,9 \pm 8,0$ Wdh.) als während des 1ST ($18,2 \pm 5,2$ Wdh.). Beim Bankdrücken war die Wiederholungsanzahl beim Zwischentest während des 1ST ($9,1 \pm 2,2$ Wdh.) signifikant höher als während des 3ST ($7,9 \pm 2,3$ Wdh.). Bei keiner anderen Übung und zu keinem anderen Zeitpunkt differierten die Kraftausdauerwerte zwischen dem 1ST und 3ST.

Muskeldicke

In Abbildung 17 und Tabelle 5 sind die Resultate der Muskeldickenbestimmung dargestellt. Die Muskeldicke des m. biceps brachii vergrößerte sich bei beiden Trainingsregimen signifikant von Pre- zu Post-

Test, doch nicht signifikant unterschiedlich zwischen den Trainingsformen. Die prozentuale Verbesserung lag von Pre- zu Post-Test während des 1ST bei $4,6 \pm 5,7 \%$ und während des 3ST bei $5,9 \pm 6,6 \%$ (n.s.).

Trainingsstatistik

Die Daten der Trainingsstatistik in Bezug auf die Satzanalyse sind in Tabelle 7 dargestellt. Sowohl während des 1ST, als auch während des 3ST war das Trainingsgewicht in Woche 9 signifikant größer als in Woche 2. Die prozentuale Erhöhung des Trainingsgewichtes war während des 3ST beim

Tabelle 7: Darstellung der Trainingsstatistik (Satzanalyse) während Woche 2, 5 und 9; * $p < 0,05$ gegenüber Woche 2; + $p < 0,05$ gegenüber Mehr-Satz-Training

		Bizepscurl			
		Woche 2	Woche 5	Woche 9	$\Delta\%$ Woche 2-9
Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	$25,3 \pm 8,4$	$27,1 \pm 8,5^*$	$27,5 \pm 8,2^*$	$10,3 \pm 8,6 +$
	%1RM	$90,5 \pm 6,1$	$92,9 \pm 4,4$	$92,3 \pm 5,1$	
	Wiederholungen (1.Satz)	$9,5 \pm 2,0$	$8,7 \pm 2,2$	$7,8 \pm 1,7$	
Mehrsatztraining (n=22)	Trainingsgewicht (kg)	$24,1 \pm 8,1$	$26,3 \pm 8,3^*$	$27,7 \pm 8,5^*$	$16,3 \pm 9,3$
	%1RM	$92,1 \pm 5,0$	$89,5 \pm 5,0$	$90,7 \pm 5,2$	
	Wiederholungen (1.Satz)	$10,0 \pm 2,2$	$9,2 \pm 2,0$	$8,6 \pm 2,0$	
		Beinpresse (links)			
		Woche 2	Woche 5	Woche 9	$\Delta\%$ Woche 2-9
Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	$165,2 \pm 36,9$	$177,1 \pm 37,4^*$	$181,6 \pm 35,2^*$	$10,9 \pm 9,2 +$
	%1RM	$98,1 \pm 6,8$	$97,0 \pm 8,5$	$99,5 \pm 7,6$	
	Wiederholungen (1.Satz)	$10,7 \pm 2,2$	$9,5 \pm 1,6$	$9,0 \pm 1,6$	
Mehrsatztraining (n=16)	Trainingsgewicht (kg)	$155,2 \pm 32,2$	$177,5 \pm 41,7^*$	$186,4 \pm 40,1^*$	$20,6 \pm 13,3$
	%1RM	$94,6 \pm 7,5$	$94,5 \pm 9,7$	$98,7 \pm 6,2$	
	Wiederholungen (1.Satz)	$11,8 \pm 3,4$	$10,7 \pm 2,6$	$9,5 \pm 2,3$	
		Beinpresse (rechts)			
		Woche 2	Woche 5	Woche 9	$\Delta\%$ Woche 2-9
Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	$169,5 \pm 38,5$	$181,2 \pm 38,1^*$	$186,6 \pm 38,0^*$	$10,9 \pm 9,5$
	%1RM	$98,1 \pm 7,7$	$96,5 \pm 8,0$	$99,3 \pm 8,3$	
	Wiederholungen (1.Satz)	$11,1 \pm 2,9$	$10,4 \pm 2,6$	$8,9 \pm 2,3$	
Mehrsatztraining (n=17)	Trainingsgewicht (kg)	$164,9 \pm 37,4$	$183,6 \pm 43,8^*$	$192,7 \pm 43,1^*$	$17,4 \pm 9,9$
	%1RM	$95,6 \pm 6,6$	$93,5 \pm 9,0$	$99,0 \pm 7,5$	
	Wiederholungen (1.Satz)	$12,1 \pm 3,8$	$10,8 \pm 2,8$	$8,8 \pm 2,0$	
		Bankdrücken			
		Woche 2	Woche 5	Woche 9	$\Delta\%$ Woche 2-9
Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	$47,0 \pm 17,2$	$50,0 \pm 17,2^*$	$51,0 \pm 17,6^*$	$9,6 \pm 7,6$
	%1RM	$84,0 \pm 5,2$	$83,9 \pm 4,0$	$83,2 \pm 5,3$	
	Wiederholungen (1.Satz)	$8,5 \pm 1,8$	$7,9 \pm 1,4$	$7,6 \pm 1,3$	
Mehrsatztraining (n=21)	Trainingsgewicht (kg)	$45,4 \pm 17,9$	$48,4 \pm 18,3^*$	$51,1 \pm 19,5^*$	$13,9 \pm 9,3$
	%1RM	$82,7 \pm 4,9$	$80,4 \pm 4,6$	$80,9 \pm 3,8$	
	Wiederholungen (1.Satz)	$9,3 \pm 1,4$	$8,3 \pm 1,7$	$8,4 \pm 1,5$	

Bizepscurl und bei der Beinpresse (links) signifikant größer als während des 1ST. Die Trainingsintensität und die realisierten Wiederholungen unterschieden sich nicht zwischen den einzelnen Zeitpunkten und den Trainingsformen.

Tabelle 8: Darstellung der Ergebnisse der 1RM-Erhebung (in kg $\pm$ Stdabw.) und der Muskeldickenmessung (in cm $\pm$ Stdabw.) – Geschlechteranalyse (Männer); *p<0,05 gegenüber Pre-Test; \$p<0,05 +p<0,05 gegenüber Mehr-Satz-Training

Männer									
Bizepscurl 1RM (n=13)									
		Pre-Test		Zwischentest		Post-Test		$\Delta\%$ Pre-Post-Test	
Einsatztraining	Mittelwert	34,1		35,0		36,0	*	5,8	+
	Stdabw.	7,3		7,7		7,6		7,2	
Mehrsatztraining	Mittelwert	32,5		35,5	*	36,7	*	14,2	
	Stdabw.	7,7		7,3		7,4		8,8	
Beinpresse (links) 1RM (n=10)									
		Pre-Test		Zwischentest		Post-Test		$\Delta\%$ Pre-Post-Test	
Einsatztraining	Mittelwert	182,8		198,0	*	197,3	*	9,9	
	Stdabw.	45,3		38,3		39,0		12,8	
Mehrsatztraining	Mittelwert	182,5		205,3	*	209,5	*	15,0	
	Stdabw.	36,9		41,4		45,7		10,9	
Beinpresse (rechts) 1RM (n=10)									
		Pre-Test		Zwischentest		Post-Test		$\Delta\%$ Pre-Post-Test	
Einsatztraining	Mittelwert	190,3		207,0	*	203,8	*	9,6	
	Stdabw.	51,8		43,2		40,3		12,8	
Mehrsatztraining	Mittelwert	193,3		216,5	*	216,0	*	11,6	
	Stdabw.	37,8		47,4		47,3		7,7	
Bankdrücken 1RM (n=12)									
		Pre-Test		Zwischentest		Post-Test		$\Delta\%$ Pre-Post-Test	
Einsatztraining	Mittelwert	69,6		74,4	*	76,5	*	10,5	
	Stdabw.	17,2		17,4		17,1		6,8	
Mehrsatztraining	Mittelwert	69,8		75,4	*	78,5	*	12,6	
	Stdabw.	16,5		16,8		18,3		5,2	
Summen-1RM (n=10)									
		Pre-Test		Zwischentest		Post-Test		$\Delta\%$ Pre-Post-Test	
Einsatztraining	Mittelwert	290,0		311,2	*	312,4	*	9,0	
	Stdabw.	69,0		59,9		59,8		8,1	
Mehrsatztraining	Mittelwert	290,3		321,4	*	327,3	*	12,7	
	Stdabw.	54,8		60,0		64,6		5,0	
Muskeldicke (Bizeps Brachii) (n=13)									
		Pre-Test		Zwischentest		Post-Test		$\Delta\%$ Pre-Post-Test	
Einsatztraining	Mittelwert	3,74		3,89	*	3,97	*	6,5	
	Stdabw.	0,34		0,29		0,29		5,4	
Mehrsatztraining	Mittelwert	3,76		3,92	*	3,94	*	5,3	
	Stdabw.	0,36		0,31		0,34		7,3	

9.3 Geschlechteranalyse

Die Ergebnisse der Gruppenanalyse (Maximalkraft- und Muskeldickeparameter) sind in Tabelle 8 (Männer) und Tabelle 11 (Frauen) dargestellt.

MÄNNER

Maximalkraft

Bizepscurl (beidarmig): Die Geschlechteranalyse ergab beim Bizepscurl für die Männer signifikante Steigerungen des 1RM während des 1ST und des 3ST. Die prozentuale Steigerung der 1RM-Leistung von Pre- zu Post-Test während des 3ST war signifikant größer als während des 1ST.

Beinpresse (links): Die Geschlechteranalyse ergab bei der Beinpresse (links) für die Männer signifikante Steigerungen des 1RM während des 1ST und des 3ST, ohne dass Unterschiede zwischen den Trainingsformen ermittelt wurden.

Beinpresse (rechts): Die Geschlechteranalyse ergab bei der Beinpresse (rechts) signifikante Steigerungen des 1RM während des 1ST und des 3ST, ohne dass Unterschiede zwischen den Trainingsformen ermittelt wurden.

Tabelle 9: Ergebnisse des Kraftausdauertests (MaxWdh80% und MaxWdh85%) für Frauen (linke Hälfte) und Männer (rechte Hälfte) – Geschlechteranalyse; $p < 0,05$ gegenüber Mehrsatztraining

Kraftausdauer (MaxWdh80% und MaxWdh85%)									
		Frauen			Männer				
		Bizepscurl (n=9)			Bizepscurl (n=13)				
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Pre-Test	Zwischentest	Post-Test		
Einsatztraining	Mittelwert	23,1	22,0	21,7	14,5	+	15,3	15,8	+
	Stdabw.	10,1	7,6	5,2	3,0		2,5	3,7	
Mehrsatztraining	Mittelwert	24,2	19,7	24,6	17,9		16,6	18,4	
	Stdabw.	9,3	8,2	10,1	4,6		4,3	5,3	
		Beinpresse (n=7)			Beinpresse (n=10)				
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Pre-Test	Zwischentest	Post-Test		
Einsatztraining	Mittelwert	21,1	27,3	26,1	16,6		19,3	20,9	
	Stdabw.	6,8	8,7	5,5	7,9		5,6	5,6	
Mehrsatztraining	Mittelwert	24,3	24,9	29,3	17,6		18,4	18,9	
	Stdabw.	12,0	11,8	7,5	4,2		3,6	4,6	
		Bankdrücken (n=9)			Bankdrücken (n=12)				
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Pre-Test	Zwischentest	Post-Test		
Einsatztraining	Mittelwert	8,8	8,9	9,0	9,8		9,3	9,1	
	Stdabw.	1,7	3,0	2,6	2,0		1,5	2,2	
Mehrsatztraining	Mittelwert	9,6	6,2	8,9	8,8		9,2	9,8	
	Stdabw.	4,7	2,3	1,8	1,0		1,5	1,5	

Bankdrücken: Die Geschlechteranalyse der Männer ergab für das Bankdrücken signifikante Steigerungen des 1RM während des 1ST und des 3ST, ohne dass Unterschiede zwischen den Trainingsformen ermittelt wurden.

Tabelle 10: Darstellung der Trainingsstatistik der Männer (Geschlechteranalyse) während Woche 2, 5 und 9; * $p < 0,05$ gegenüber Woche 2

MÄNNER					
		Bizepscurl (n=13)			
		Woche 2	Woche 5	Woche 9	$\Delta\%$ Woche 2-9
Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	30,3 $\pm$ 7,1	32,3 $\pm$ 7,2*	32,5 $\pm$ 7,0*	7,5 $\pm$ 6,6
	%1RM	88,9 $\pm$ 6,4	92,4 $\pm$ 5,0	90,3 $\pm$ 4,9	
	Wiederholungen (1. Satz)	9,1 $\pm$ 1,7	8,5 $\pm$ 2,0	8,0 $\pm$ 1,3	
Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	29,3 $\pm$ 6,3	31,7 $\pm$ 6,5*	33,0 $\pm$ 7,0*	13,1 $\pm$ 8,5
	%1RM	90,7 $\pm$ 5,1	89,4 $\pm$ 3,5	89,9 $\pm$ 6,2	
	Wiederholungen (1. Satz)	9,1 $\pm$ 0,9	8,3 $\pm$ 1,3	8,4 $\pm$ 1,6	
		Beinpresse (links) (n=10)			
		Woche 2	Woche 5	Woche 9	$\Delta\%$ Woche 2-9
Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	175,9 $\pm$ 42,3	187,0 $\pm$ 43,0*	192,3 $\pm$ 40,1*	10,3 $\pm$ 8,9
	%1RM	97,0 $\pm$ 7,7	94,1 $\pm$ 6,9	97,5 $\pm$ 6,4	
	Wiederholungen (1. Satz)	10,2 $\pm$ 2,1	9,3 $\pm$ 1,2	8,5 $\pm$ 1,6	
Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	168,5 $\pm$ 31,6	192,0 $\pm$ 45,8*	202,6 $\pm$ 41,9*	20,5 $\pm$ 13,9
	%1RM	92,9 $\pm$ 8,0	93,2 $\pm$ 7,9	97,1 $\pm$ 7,0	
	Wiederholungen (1. Satz)	9,9 $\pm$ 1,2	9,8 $\pm$ 1,4	9,0 $\pm$ 1,1	
		Beinpresse (rechts) (n=10)			
		Woche 2	Woche 5	Woche 9	$\Delta\%$ Woche 2-9
Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	181,0 $\pm$ 45,8	193,9 $\pm$ 43,6*	201,2 $\pm$ 42,3*	12,5 $\pm$ 9,5
	%1RM	96,0 $\pm$ 7,3	93,8 $\pm$ 7,0	98,9 $\pm$ 8,7	
	Wiederholungen (1. Satz)	10,5 $\pm$ 3,3	10,0 $\pm$ 1,6	7,8 $\pm$ 1,9	
Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	183,7 $\pm$ 36,8	201,1 $\pm$ 47,7*	211,7 $\pm$ 46,3*	15,2 $\pm$ 9,2
	%1RM	95,2 $\pm$ 6,6	92,9 $\pm$ 7,1	98,4 $\pm$ 9,4	
	Wiederholungen (1. Satz)	9,8 $\pm$ 1,0	9,3 $\pm$ 1,8	8,3 $\pm$ 1,3	
		Bankdrücken (n=12)			
		Woche 2	Woche 5	Woche 9	$\Delta\%$ Woche 2-9
Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	58,1 $\pm$ 14,5	61,8 $\pm$ 15,0*	62,3 $\pm$ 15,2*	7,5 $\pm$ 5,2
	%1RM	83,6 $\pm$ 4,7	83,1 $\pm$ 2,9	81,3 $\pm$ 3,6	
	Wiederholungen (1. Satz)	8,9 $\pm$ 1,5	8,1 $\pm$ 1,2	7,8 $\pm$ 1,4	
Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	57,5 $\pm$ 13,8	60,6 $\pm$ 15,1*	63,8 $\pm$ 16,5*	10,6 $\pm$ 4,7
	%1RM	82,3 $\pm$ 2,6	80,0 $\pm$ 4,4	80,9 $\pm$ 4,2	
	Wiederholungen (1. Satz)	8,8 $\pm$ 1,0	8,3 $\pm$ 1,5	8,3 $\pm$ 1,6	

Summen-1RM: Die Geschlechteranalyse zeigte bei den Männern signifikante Verbesserungen beim S-1RM während des 1ST und des 3ST, ohne dass Unterschiede zwischen den Trainingsformen ermittelt werden konnten.

Muskeldicke

Die Geschlechteranalyse für die Männer ergab signifikante Vergrößerungen der Muskeldicke des m. biceps brachii während des 1ST und des 3ST, ohne

Tabelle 11: Darstellung der Ergebnisse der 1RM-Erhebung (in kg $\pm$ Stdabw.) und der Muskeldickenmessung (in cm $\pm$ Stdabw.) – Geschlechteranalyse (Frauen); *p<0,05 gegenüber Pre-Test; \$p<0,05 +p<0,05 gegenüber Mehr-Satz-Training

Frauen						
Bizepscurl 1RM (n=9)						
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	$\Delta\%$ Pre-Post-Test	
Einsatztraining	Mittelwert	19,4	20,9	21,4 *	11,5	
	Stdabw.	3,0	3,0	2,5	2,2	
Mehrsatztraining	Mittelwert	17,7	20,8 *	21,8 *	24,1	
	Stdabw.	2,5	2,7	2,2	18,1	
Beinpresse (links) 1RM (n=6)						
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	$\Delta\%$ Pre-Post-Test	
Einsatztraining	Mittelwert	147,3	157,8	159,4	8,6	
	Stdabw.	14,2	15,0	9,5	6,6	
Mehrsatztraining	Mittelwert	136,9	159,0 *	157,3 *	16,3	
	Stdabw.	19,1	9,4	15,7	16,5	
Beinpresse (rechts) 1RM (n=7)						
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	$\Delta\%$ Pre-Post-Test	
Einsatztraining	Mittelwert	151,9	162,6	165,8	9,9	
	Stdabw.	16,9	14,3	10,5	8,9	
Mehrsatztraining	Mittelwert	143,3	167,9 *	165,8 *	15,7	
	Stdabw.	9,4	8,5	15,5	7,7	
Bankdrücken 1RM (n=9)						
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	$\Delta\%$ Pre-Post-Test	
Einsatztraining	Mittelwert	38,1	40,3	41,9 *	10,6	
	Stdabw.	4,3	3,4	3,5	5,9	
Mehrsatztraining	Mittelwert	35,0	40,0 *	42,2 *	21,6	
	Stdabw.	4,1	4,0	3,4	12,4	
Summen-1RM (n=6)						
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	$\Delta\%$ Pre-Post-Test	
Einsatztraining	Mittelwert	206,5	221,7	226,6 *	10,3	
	Stdabw.	23,7	18,8	14,6	7,4	
Mehrsatztraining	Mittelwert	192,2	222,9 *	226,0 *	18,1	
	Stdabw.	19,5	14,1	19,8	10,6	
Muskeldicke (Bizeps Brachii) (n=9)						
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	$\Delta\%$ Pre-Post-Test	
Einsatztraining	Mittelwert	2,91	2,90	2,97	2,0	
	Stdabw.	0,28	0,27	0,25	5,2	
Mehrsatztraining	Mittelwert	2,90	2,95	3,09 **	6,8	
	Stdabw.	0,20	0,26	0,22	5,7	

dass Unterschiede zwischen den Trainingsformen ermittelt wurden.

Kraftausdauer

Die Geschlechteranalyse für die Männer ergab beim Bizepscurl signifikant höhere Wiederholungszahlen für das 3ST im Vergleich zum 1ST sowohl beim Pre-T als auch beim Post-T. Bei den anderen Übungen kam es zu keinen Unterschieden zwischen den Gruppen und zu keinen Veränderungen der Kraftausdauerleistung innerhalb der Gruppen.

Trainingsstatistik

Die Geschlechteranalyse der Trainingsdaten der Männer sind in Tabelle 10 zu sehen. Es konnte für die Männer ein signifikant gesteigertes Trainingsgewicht in Woche 9 im Vergleich zu Woche 2 für alle Übungen, doch keine Unterschiede zwischen den Effekten der Trainingsformen nachgewiesen werden. Es waren keine Veränderungen der Trainingsintensität und der Wiederholungsanzahl noch Unterschiede zwischen den Gruppen und den Trainingsregimen zu erkennen.

FRAUEN

Maximalkraft

Bizepscurl (beidarmig): Die Geschlechteranalyse ergab für die Frauen beim Bizepscurl signifikante Steigerungen des 1RM während des 1ST und des 3ST, ohne dass Unterschiede zwischen den Trainingsformen ermittelt wurden.

Beinpresse (links): Die Geschlechteranalyse ergab für die Frauen bei der Beinpresse (links) signifikante Steigerungen des 1RM während des 1ST und des 3ST, ohne dass Unterschiede zwischen den Trainingsformen ermittelt wurden.

Beinpresse (rechts): Bei der Beinpresse mit dem rechten Bein kam es bei den Frauen zu signifikanten Steigerungen des 1RM während des 1ST und des 3ST, ohne dass Unterschiede zwischen den Trainingsregimen ermittelt wurden.

Bankdrücken: Die Geschlechteranalyse für die Frauen ergab beim Bankdrücken signifikante Steigerungen des 1RM während des 1ST und des

3ST, ohne dass Unterschiede zwischen den Trainingsformen ermittelt wurden.

Summen-1RM: Die Geschlechteranalyse zeigte bei den Frauen signifikante Verbesserungen des S-1RM während des 1ST und des 3ST, ohne dass Unterschiede zwischen den Trainingsformen ermittelt werden konnten.

Muskeldicke

Die Muskeldicke des m. biceps brachii der weiblichen Probanden vergrößerte sich signifikant nur während des 3ST. Während des 1ST kam es zu keinen Veränderungen. Der gepaarte t-Test ergab beim Post-T eine signifikant

Tabelle 12: Darstellung der Trainingsstatistik der Frauen (Geschlechteranalyse) während Woche 2, 5 und 9; *p<0,05 gegenüber Woche 2

FRAUEN					
		Bizepscurl (n=9)			
		Woche 2	Woche 5	Woche 9	Δ% Woche 2-9
Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	18,0 ± 2,9	19,5 ± 2,3*	20,4 ± 2,5*	14,3 ± 9,9
	%1RM	92,8 ± 5,2	93,6 ± 3,7	95,3 ± 4,1	
	Wiederholungen (1.Satz)	10,1 ± 2,3	8,9 ± 2,4	7,4 ± 2,2	
Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	16,7 ± 2,3	18,6 ± 1,8*	20,0 ± 2,0*	21,0 ± 8,8
	%1RM	94,2 ± 4,5	89,8 ± 6,8	91,8 ± 3,6	
	Wiederholungen (1.Satz)	11,1 ± 3,0	10,4 ± 2,1	8,9 ± 2,6	
		Beinpresse (links) (n=6)			
		Woche 2	Woche 5	Woche 9	Δ% Woche 2-9
Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	147,3 ± 15,8	160,6 ± 18,8*	163,9 ± 15,0*	11,8 ± 10,3
	%1RM	99,9 ± 5,2	101,9 ± 9,3	102,9 ± 8,8	
	Wiederholungen (1.Satz)	11,6 ± 2,4	9,8 ± 2,1	9,9 ± 1,2	
Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	133,2 ± 19,3	153,3 ± 18,0*	159,4 ± 16,4*	20,8 ± 13,4
	%1RM	97,4 ± 6,2	96,6 ± 12,8	101,3 ± 3,6	
	Wiederholungen (1.Satz)	14,8 ± 3,6	12,2 ± 3,6	10,5 ± 3,4	
		Beinpresse (rechts) (n=7)			
		Woche 2	Woche 5	Woche 9	Δ% Woche 2-9
Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	153,0 ± 16,5	163,0 ± 19,3	165,8 ± 17,5*	8,7 ± 9,8
	%1RM	101,0 ± 7,8	100,3 ± 8,2	100,0 ± 8,4	
	Wiederholungen (1.Satz)	12,0 ± 2,2	10,9 ± 3,8	10,4 ± 1,8	
Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	137,9 ± 16,2	158,6 ± 21,5*	165,7 ± 17,4*	20,6 ± 10,7
	%1RM	96,1 ± 6,6	94,4 ± 11,9	99,9 ± 4,1	
	Wiederholungen (1.Satz)	15,4 ± 4,1	13,0 ± 2,5	9,7 ± 2,6	
		Bankdrücken (n=9)			
		Woche 2	Woche 5	Woche 9	Δ% Woche 2-9
Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	32,2 ± 4,6	34,4 ± 4,2*	35,9 ± 3,0*	12,5 ± 9,5
	%1RM	84,5 ± 6,0	85,1 ± 5,1	85,8 ± 6,3	
	Wiederholungen (1.Satz)	7,9 ± 2,2	7,6 ± 1,5	7,4 ± 1,1	
Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	29,2 ± 4,4	32,3 ± 3,6*	34,2 ± 3,5*	18,3 ± 12,2
	%1RM	83,3 ± 7,2	80,8 ± 5,2	80,8 ± 3,6	
	Wiederholungen (1.Satz)	10,0 ± 1,7	8,3 ± 2,0	8,5 ± 1,5	

($p < 0,001$) größere Muskeldicke beim 3ST im Vergleich zum 1ST.

Kraftausdauer

Es konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden (vgl. Tabelle 9).

Trainingsstatistik

Die Geschlechteranalyse der Trainingsdaten der Frauen sind in Tabelle 12 zu sehen. Es kam zu signifikanten Steigerungen des Trainingsgewichtes bei beiden Trainingsformen von Woche 2 zu Woche 9 bei allen Übungen, doch waren keine Unterschiede zwischen den Trainingsregimen nachzuweisen. Es waren keine Veränderungen der Trainingsintensität und der Wiederholungsanzahl noch Unterschiede zwischen den Gruppen und den Trainingsregimen zu erkennen.

9.4 Trainingsstatusanalyse

Tabelle 13: 1RM- und Muskeldicken-Ergebnisse der Trainingsstatusanalyse; Mittelwert $\pm$ Standardabweichung; *p<0,05 gegenüber Pre-T; +p<0,05 gegenüber Einsatztraining

	Pre-T	ZT	Post-T
Bizepscurl 1RM			
TS 1 Einsatztraining (n=11) Δ Pre-T - Post-T	30,9 kg $\pm$ 11,1 kg -----	33,0 kg $\pm$ 10,7 kg* 11,7% $\pm$ 9,2%	33,9 kg $\pm$ 10,7 kg*
TS 1 Mehrsatztraining (n=11) Δ Pre-T - Post-T	30,8 kg $\pm$ 10,6 kg -----	33,4 kg $\pm$ 10,6 kg* 13,7% $\pm$ 7,4%	34,5 kg $\pm$ 10,7 kg*
TS 2 Einsatztraining (n=11) Δ Pre-T - Post-T	25,3 kg $\pm$ 6,9 kg -----	25,5 kg $\pm$ 6,1 kg 4,7% $\pm$ 9,3%	26,1 kg $\pm$ 6,2 kg
TS 2 Mehrsatztraining (n=11) Δ Pre-T - Post-T	22,1 kg $\pm$ 6,2 kg -----	25,5 kg $\pm$ 6,2 kg* 22,8% $\pm$ 9,7%+	26,7 kg $\pm$ 6,2 kg*
Beinpresse (links) 1RM			
TS 1 Einsatztraining (n=7) Δ Pre-T - Post-T	182,6 kg $\pm$ 47,1 kg -----	194,0 kg $\pm$ 43,3 kg 5,1% $\pm$ 8,6%	189,4 kg $\pm$ 38,0 kg
TS 1 Mehrsatztraining (n=7) Δ Pre-T - Post-T	184,7 kg $\pm$ 38,3 kg -----	203,6 kg $\pm$ 50,6 kg* 11,9% $\pm$ 11,2%	208,3 kg $\pm$ 55,7 kg*
TS 2 Einsatztraining (n=9) Δ Pre-T - Post-T	159,3 kg $\pm$ 33,1 kg -----	174,3 kg $\pm$ 30,8 kg* 12,8% $\pm$ 11,3%	178,2 kg $\pm$ 36,0 kg*
TS 2 Mehrsatztraining (n=9) Δ Pre-T - Post-T	150,4 kg $\pm$ 32,5 kg -----	175,7 kg $\pm$ 26,2 kg* 18,2% $\pm$ 13,8%	175,7 kg $\pm$ 30,4 kg*
Beinpresse (rechts) 1RM			
TS 1 Einsatztraining (n=9) Δ Pre-T - Post-T	182,6 kg $\pm$ 53,4 kg -----	195,4 kg $\pm$ 47,3 kg 7,1% $\pm$ 9,8%	191,8 kg $\pm$ 41,2 kg
TS 1 Mehrsatztraining (n=9) Δ Pre-T - Post-T	180,7 kg $\pm$ 45,6 kg -----	206,2 kg $\pm$ 52,8 kg* 12,8% $\pm$ 8,9%	203,7 kg $\pm$ 54,4 kg*
TS 2 Einsatztraining (n=8) Δ Pre-T - Post-T	165,3 kg $\pm$ 33,5 kg -----	181,2 kg $\pm$ 32,4 kg* 12,7% $\pm$ 12,2%	184,0 kg $\pm$ 32,4 kg*
TS 2 Mehrsatztraining (n=8) Δ Pre-T - Post-T	163,7 kg $\pm$ 28,7 kg -----	185,6 kg $\pm$ 29,9 kg* 13,9% $\pm$ 6,8%	185,9 kg $\pm$ 31,3 kg*
Bankdrücken 1RM			
TS 1 Einsatztraining (n=9) Δ Pre-T - Post-T	62,2 kg $\pm$ 27,0 kg -----	66,1 kg $\pm$ 27,6 kg* 9,7% $\pm$ 6,7%	67,5 kg $\pm$ 27,9 kg*
TS 1 Mehrsatztraining (n=9) Δ Pre-T - Post-T	62,5 kg $\pm$ 26,1 kg -----	67,8 kg $\pm$ 26,9 kg* 12,3% $\pm$ 2,5%	70,0 kg $\pm$ 28,8 kg*
TS 2 Einsatztraining (n=12) Δ Pre-T - Post-T	51,5 kg $\pm$ 13,8 kg -----	55,0 kg $\pm$ 15,6 kg* 11,2% $\pm$ 6,1%	57,3 kg $\pm$ 15,7 kg*
TS 2 Mehrsatztraining (n=12) Δ Pre-T - Post-T	49,2 kg $\pm$ 16,5 kg -----	54,6 kg $\pm$ 16,6 kg* 19,6% $\pm$ 12,1%	57,7 kg $\pm$ 17,0 kg*
Summen-1RM			
TS 1 Einsatztraining (n=9) Δ Pre-T - Post-T	283,2 kg $\pm$ 75,8 kg -----	295,5 kg $\pm$ 70,7 kg 5,7% $\pm$ 7,2%	296,8 kg $\pm$ 71,4 kg*
TS 1 Mehrsatztraining (n=9) Δ Pre-T - Post-T	258,9 kg $\pm$ 76,6 kg+	292,3 kg $\pm$ 77,2 kg* 18,0% $\pm$ 8,7%+	302,4 kg $\pm$ 80,5 kg*
TS 2 Einsatztraining (n=7) Δ Pre-T - Post-T	227,2 kg $\pm$ 47,3 kg -----	254,7 kg $\pm$ 54,0 kg* 14,4% $\pm$ 5,2%	258,9 kg $\pm$ 49,0 kg*
TS 2 Mehrsatztraining (n=7) Δ Pre-T - Post-T	246,4 kg $\pm$ 53,8 kg+	274,4 kg $\pm$ 58,9 kg*+ 10,4% $\pm$ 3,4%	272,3 kg $\pm$ 61,4 kg*
Muskeldicke (Bizeps brachii)			
TS 1 Einsatztraining (n=11) Δ Pre-T - Post-T	3,54 cm $\pm$ 0,48 cm -----	3,65 cm $\pm$ 0,50 cm 6,4% $\pm$ 6,3%	3,76 cm $\pm$ 0,51 cm*
TS 1 Mehrsatztraining (n=11) Δ Pre-T - Post-T	3,57 cm $\pm$ 0,49 cm -----	3,74 cm $\pm$ 0,52 cm 6,6% $\pm$ 6,5%	3,79 cm $\pm$ 0,47 cm*
TS 2 Einsatztraining (n=11) Δ Pre-T - Post-T	3,26 cm $\pm$ 0,54 cm -----	3,31 cm $\pm$ 0,60 cm 2,8% $\pm$ 4,6%	3,36 cm $\pm$ 0,59 cm
TS 2 Mehrsatztraining (n=11) Δ Pre-T - Post-T	3,24 cm $\pm$ 0,53 cm -----	3,31 cm $\pm$ 0,55 cm 5,2% $\pm$ 6,9%	3,39 cm $\pm$ 0,50 cm

Bizepscurl (beidarmig): In die Gruppe TS1 wurden alle Männer mit einem 1RM/KG-Wert über 0,39 und alle Frauen über 0,25 eingeordnet. Alle Männer und Frauen mit einem niedrigeren 1RM/KG-Wert wurden als TS2 zusammengefasst. Die Ergebnisse der Trainingsstatusanalyse für die Entwicklung der Maximalkraft sind in Tabelle 15 dargestellt. Beide TS-Gruppen konnten ihr 1RM-Ergebnis signifikant während des 3ST steigern. Während des 1ST gelang das nur der Gruppe TS1. Die Gruppe TS2 verbesserte ihr 1RM-Ergebnis signifikant mehr während des 3ST ($22,8 \pm 9,7\%$) als während des 1ST ($4,7 \pm 9,3\%$). Die Muskeldicke des m. biceps brachii konnte nur von der Gruppe TS1 beim 1ST und 3ST signifikant vergrößert werden.

Beinpresse (links): In die Gruppe TS1 wurden alle Männer mit einem 1RM/KG-Wert über 2,15 und alle Frauen über 2,09 eingeordnet. Alle Männer und Frauen mit einem niedrigeren 1RM/KG-Wert wurden als TS2 zusammengefasst. Beide TS-Gruppen konnten ihr 1RM-Ergebnis signifikant während des 3ST steigern. Während des 1ST gelang das nur der Gruppe TS2. Bei den anderen Parametern konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Trainingsformen ermittelt werden.

Beinpresse (rechts): In die Gruppe TS1 wurden alle Männer mit einem 1RM/KG-Wert über 2,23 und alle Frauen über 2,13 eingeordnet. Alle Männer und Frauen mit einem niedrigeren 1RM/KG-Wert wurden als TS2 zusammengefasst. Beide TS-Gruppen konnten ihr 1RM-Ergebnis signifikant während des 3ST steigern. Während des 1ST gelang das nur der Gruppe TS2. Die nach Trainingsstatus differenzierte Satzanalyse ergab für keinen der anderen Parameter signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Trainingsregimen.

Bankdrücken: In die Gruppe TS1 wurden alle Männer mit einem 1RM/KG-Wert über 0,82 und alle Frauen über 0,52 eingeordnet. Alle Männer und Frauen mit einem niedrigeren 1RM/KG-Wert wurden als TS2 zusammengefasst. Beide Gruppen konnten ihr 1RM-Ergebnis signifikant beim ZT und Post-T gegenüber Pre-T beim 1ST und 3ST steigern. Die nach Trainingsstatus differenzierte Satzanalyse ergab für keinen der anderen Parameter signifikante Unterschiede zwischen den Trainingsformen.

Summen-1RM: In die Gruppe TS1 wurden alle Männer mit einem 1RM/KG-Wert über 3,55 und alle Frauen über 3,26 eingeordnet. Alle Männer und Frauen mit einem niedrigeren 1RM/KG-Wert wurden als TS2 zusammengefasst. Beide Gruppen steigerten ihr S-1RM-Resultat signifikant während 1ST und 3ST. Die prozentuale Verbesserung des S-1RM für TS1 war signifikant größer während 3ST ($18,0\% \pm 8,7\%$) als während 1ST ($5,7\% \pm 7,2\%$). Beim Pre-T während des 1ST war das S-1RM signifikant größer als während des 3ST für TS1. Bei der Gruppe TS2 waren die S-1RM-Werte beim Pre-T und ZT signifikant größer während des 3ST als während des 1ST.

Trainingsstatistik

Die Trainingsdaten analysiert nach der Trainingsstatusanalyse sind in Tabelle 14 dargestellt. Beide Gruppen TS1 und TS2 konnten ihr Trainingsgewicht in den Wochen 5 und 9 gegenüber Woche 2 sowohl während des Ein- als auch des Mehr-Satz-Trainings signifikant steigern. Die prozentualen Steigerungen für Gruppe TS2 des Trainingsgewichtes beim Bizepscurl (1ST: $8,7 \pm 9,4\%$; 3ST: $18,6 \pm 10,1\%$) und beim Bankdrücken (1ST: $7,5 \pm 5,1\%$; 3ST: $16,1 \pm 11,4\%$) waren signifikant höher während des 3ST als während des 1ST.

Tabelle 14: Darstellung der Trainingsstatistik (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung) – Trainingsstatusanalyse;
 *p<0,05 gegenüber Woche 2; +p<0,05 gegenüber Einsatztraining

			Woche 2		Woche 5		Woche 9	
Bizepscurl								
TS 1 (n=11)	Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	28,0 kg	± 9,8 kg	30,1 kg	± 10,0 kg'	30,9 kg	± 9,4 kg'
		%1RM	91,4%	± 4,7%	91,2%	± 4,0%	91,7%	± 5,9%
		Wiederholungen (1.Satz)	10,2	± 1,9	9,2	± 2,2	7,5	± 1,3
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		11,9%	± 7,9%	-----	
TS 1 (n=11)	Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	27,6 kg	± 8,8 kg	29,9 kg	± 9,2 kg'	31,2 kg	± 9,5 kg'
		%1RM	90,4%	± 4,6%	89,9%	± 4,4%	90,6%	± 2,8%
		Wiederholungen (1.Satz)	9,6	± 1,7	8,5	± 2,1	8,3	± 2,3
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		14,0%	± 8,1%	-----	
TS 2 (n=11)	Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	22,6 kg	± 6,0 kg	24,1 kg	± 5,7 kg'	24,2 kg	± 5,4 kg'
		%1RM	89,7%	± 7,4%	94,7%	± 4,3%	93,0%	± 4,4%
		Wiederholungen (1.Satz)	8,9	± 1,9	8,1	± 2,1	8,0	± 2,0
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		8,7%	± 9,4%	-----	
TS 2 (n=11)	Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	20,7 kg	± 5,8 kg	22,7 kg	± 5,5 kg'	24,2 kg	± 5,8 kg'
		%1RM	93,8%	± 5,1%	89,1%	± 5,7%	90,7%	± 7,1%
		Wiederholungen (1.Satz)	10,3	± 2,7	9,9	± 1,7	8,9	± 1,7
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		18,6%	± 10,1% +	-----	
Beinpresse (links)								
TS 1 (n=7)	Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	179,4 kg	± 44,6 kg	194,4 kg	± 41,9 kg'	196,1 kg	± 38,9 kg'
		%1RM	98,7%	± 6,7%	100,8%	± 10,0%	103,8%	± 8,7%
		Wiederholungen (1.Satz)	11,5	± 3,1	10,2	± 1,9	9,3	± 1,8
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		10,7%	± 11,8%	-----	
TS 1 (n=7)	Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	168,6 kg	± 31,9 kg	196,9 kg	± 48,7 kg'	203,0 kg	± 48,3 kg'
		%1RM	92,1%	± 9,9%	97,5%	± 12,7%	98,3%	± 6,6%
		Wiederholungen (1.Satz)	11,8	± 3,8	11,1	± 3,2	9,6	± 2,6
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		20,0%	± 15,1%	-----	
TS 2 (n=9)	Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	154,0 kg	± 27,3 kg	163,6 kg	± 29,0 kg'	170,4 kg	± 29,4 kg'
		%1RM	97,6%	± 7,3%	94,1%	± 6,2%	96,1%	± 4,6%
		Wiederholungen (1.Satz)	10,1	± 1,1	8,9	± 1,0	8,8	± 1,5
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		11,0%	± 7,3%	-----	
TS 2 (n=9)	Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	144,8 kg	± 30,0 kg	162,3 kg	± 29,8 kg'	173,4 kg	± 28,9 kg'
		%1RM	96,5%	± 4,7%	92,1%	± 6,5%	99,0%	± 6,3%
		Wiederholungen (1.Satz)	11,7	± 3,2	10,4	± 2,2	9,5	± 2,2
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		21,1%	± 12,7%	-----	
Beinpresse (rechts)								
TS 1 (n=9)	Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	177,5 kg	± 46,5 kg	188,5 kg	± 46,2 kg'	193,4 kg	± 46,0 kg'
		%1RM	98,3%	± 9,3%	96,9%	± 9,2%	100,8%	± 10,0%
		Wiederholungen (1.Satz)	11,7	± 3,9	11,3	± 2,9	9,5	± 2,6
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		9,8%	± 9,6%	-----	
TS 1 (n=9)	Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	170,3 kg	± 44,8 kg	192,1 kg	± 53,5 kg'	201,1 kg	± 53,2 kg'
		%1RM	94,3%	± 8,4%	93,2%	± 11,3%	98,9%	± 6,7%
		Wiederholungen (1.Satz)	13,3	± 4,8	12,1	± 2,8	9,7	± 2,2
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		18,5%	± 10,5%	-----	
TS 2 (n=8)	Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	160,5 kg	± 27,2 kg	173,0 kg	± 27,0 kg'	178,9 kg	± 27,5 kg'
		%1RM	97,9%	± 6,0%	96,1%	± 6,9%	97,7%	± 6,2%
		Wiederholungen (1.Satz)	10,4	± 1,4	9,3	± 2,0	8,2	± 1,7
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		12,3%	± 9,9%	-----	
TS 2 (n=8)	Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	158,8 kg	± 28,9 kg	174,0 kg	± 30,2 kg'	183,3 kg	± 28,8 kg'
		%1RM	97,0%	± 3,9%	93,8%	± 6,4%	99,1%	± 8,9%
		Wiederholungen (1.Satz)	10,8	± 1,9	9,4	± 1,9	7,9	± 1,2
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		16,2%	± 9,7%	-----	
Bankdrücken								
TS 1 (n=9)	Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	50,8 kg	± 22,9 kg	54,4 kg	± 23,8 kg'	55,9 kg	± 22,7 kg'
		%1RM	81,6%	± 6,7%	81,9%	± 3,0%	83,4%	± 5,0%
		Wiederholungen (1.Satz)	8,9	± 2,1	8,4	± 1,0	7,3	± 1,1
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		12,4%	± 9,7%	-----	
TS 1 (n=9)	Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	51,5 kg	± 21,3 kg	54,8 kg	± 22,0 kg'	57,3 kg	± 24,3 kg'
		%1RM	82,7%	± 3,7%	81,2%	± 5,6%	81,7%	± 4,7%
		Wiederholungen (1.Satz)	9,4	± 1,6	8,0	± 2,0	7,6	± 1,2
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		11,0%	± 4,5%	-----	
TS 2 (n=12)	Einsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	44,1 kg	± 11,6 kg	46,7 kg	± 12,3 kg'	47,3 kg	± 12,4 kg'
		%1RM	85,8%	± 2,8%	85,5%	± 4,1%	83,1%	± 5,7%
		Wiederholungen (1.Satz)	8,1	± 1,5	7,6	± 1,5	7,8	± 1,4
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		7,5%	± 5,1%	-----	
TS 2 (n=12)	Mehrsatztraining	Trainingsgewicht (kg)	40,8 kg	± 14,0 kg	43,7 kg	± 14,2 kg'	46,5 kg	± 14,5 kg'
		%1RM	82,8%	± 5,9%	79,7%	± 3,8%	80,3%	± 3,1%
		Wiederholungen (1.Satz)	9,2	± 1,4	8,5	± 1,4	9,0	± 1,4
		% Trainingsgewicht Woche 2-9	-----		16,1%	± 11,4% +	-----	

10. Review der Studien

Um die Ergebnisse dieser Studie besser einordnen zu können, wird nun vor der Diskussion ein ausführlicher Überblick über die Studien gegeben, welche die Frage der Satzzahl zumindest am Rande untersuchten. Der Übersicht halber werden die Ergebnisse der Untersuchungen nach verschiedenen Kriterien unterteilt und gesondert dargestellt. Die Review der Studien erfolgt für die Aspekte Maximalkraft und Muskelmasse, Kraftausdauer, anaerobe Kapazität und Schnellkraft getrennt.

Maximalkraft und Muskelmasse

Die Untersuchung der Effekte von unterschiedlichen Satzzahlen auf die Maximalkraft hat eine relativ lange Geschichte. Bereits 1956 veröffentlichte Capen¹³ eine Studie, in der verschiedene Trainingsprogramme mit teilweise unterschiedlichen Satzzahlen miteinander verglichen wurden. Über 12 Wochen mit 2-3 Trainingseinheiten pro Woche trainierten insgesamt 141 Probanden mit vier unterschiedlichen Programmen. Programm 1 bestand aus 1 x 8-15 Wdh., Programm 2 aus 1 x 8-15 Wdh. plus 1 x 5 Wdh., Programm 3 aus 3 x 5 Wdh. und Programm 4 aus 3 x 1 Wdh. mit dem jeweiligen RM-Gewicht. Die Effekte des dynamischen Trainings von insgesamt 5 Muskelgruppen wurden mit einem isometrischen Maximalkrafttest gemessen. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Trainingsprogrammen. In dieser sehr unübersichtlichen Studie wurden Trainingsprogramme mit sehr unterschiedlichen Intensitäten verwendet, was die Vergleichbarkeit nicht gewährleistet. Zusätzlich machen die unterschiedlichen Trainings- und Testmodalitäten (dynamisch und isometrisch) die Untersuchung nicht aussagekräftig in Bezug auf die Frage der Satzzahl beim Krafttraining.

Berger⁸ verglich 9 verschiedene Gruppen (1x2; 1x6; 1x10; 2x2; 2x6; 2x10; 3x2; 3x6; 3x10 Wdh.) und stellte fest, dass die 3-Satz – Gruppe (3x2; 3x6; 3x10) nach 12 Wochen Krafttraining (dreimal wöchentlich) signifikant höhere 1RM-Werte beim Bankdrücken aufwies als die 1- und 2-Satzgruppe. Die Probanden führten nebenher ein zusätzliches Krafttraining durch, das

nicht genauer spezifiziert wurde und von dem somit auch nicht gesagt werden kann, ob es die Ergebnisse mit beeinflusst hat. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren relativ klein ($\leq 1,7$ kg) und liegen in der Größenordnung des potentiellen Messfehlers. Wahrscheinlich ist die Tatsache, dass diese Unterschiede signifikant waren, der sehr großen Stichprobe ($n=177$) geschuldet.

In einer zweiten Studie von Berger⁷ trainierten 48 Studenten über einen Zeitraum von 9 Wochen dreimal pro Woche. An der gewählten Übung, dem Bankdrücken, führte Gruppe I 6x2 Wdh. mit dem 2RM-Gewicht durch, Gruppe II 3x6RM und Gruppe III 3x10RM. Alle Gruppen steigerten ihre 1RM-Leistung signifikant, doch zeigten sich keine Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Der Trainingsstatus der Probanden wurde nicht erwähnt und die Körperzusammensetzung nicht ermittelt. Zudem weisen die Ergebnisse nicht nach, ob der nicht signifikante Unterschied ein Ergebnis der unterschiedlichen Satzzahl oder der verschiedenen Wiederholungsanzahl ist, wodurch keine Aussage auf die Frage der Satzzahl aus dieser Studie zu ziehen ist.

1967 veröffentlichten Leighton et al.⁸² eine Untersuchung, in der 10 verschiedene Trainingsregime miteinander verglichen wurden. Zwei davon beinhalteten ein 1-Satz-Training und sieben ein 3-Satz-Training über jeweils 8 Wochen mit einer Trainingsfrequenz von zweimal wöchentlich. Die genauen Trainingsumfänge und -intensitäten, Wiederholungszahlen und die Ausbelastungsstrategien wurden nur angedeutet und nicht detailliert beschrieben. Die Studie führte zu unübersichtlichen Ergebnissen. Einige Trainingsregime verbesserten ihre Maximalkraftwerte signifikant, doch ergab sich kein klarer Trend zugunsten eines Trainingsprogramms. Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen wurden nicht auf Signifikanz getestet. Die Trainings- und Testmodalitäten waren verschieden (dynamisch und isometrisch), wodurch die Studie keine Einsicht in die Frage der Satzzahl bietet.

Auch von der Studie von Withers¹⁴⁹ kann keinen Einblick in die Satzproblematik geben, da die drei verwendeten 9-wöchigen Trainingsprogramme sich sowohl von der Satzzahl (3, 4 und 5), als auch der Wiederholungszahl und Intensität (7RM, 5RM und 3RM) voneinander

unterschieden. Alle drei Gruppen steigerten ihre 1RM-Werte signifikant und in ähnlichem Maße.

In der 1977 veröffentlichten Untersuchung von Coleman¹⁹ wurden 60 männliche Studenten auf Auswirkungen eines unterschiedlichen Krafttrainingsvolumens auf die Maximalkraft und die Körperzusammensetzung getestet. Die Probanden trainierten 10 Wochen lang dreimal wöchentlich entweder an Nautilus Maschinen (1-Satz-Gruppe / n=24) oder Universal Gym Maschinen (2-Satz-Gruppe / n=36) mit jeweils elf Übungen. Die 1-Satz-Gruppe trainierte mit dem 10-12RM-Gewicht, und die 2-Satz-Gruppe mit dem 10RM- im ersten und dem 8RM-Gewicht im zweiten Satz. Pre- und Posttraining wurden die 1RM-Leistungen an vier Übungen (Bankdrücken, Bicepscurl, Beinpresse und Lat-Zug) mit Universal Gym Maschinen und die Körperzusammensetzung (Kaliper) ermittelt. Beide Gruppen verbesserten ihre Maximalkraft signifikant und die prozentualen Zuwächse waren praktisch identisch (insgesamt: 16,2% vs. 16,5%). Das Körpergewicht und die Körpermagermasse nahmen signifikant zu, während sich die absolute Fettmasse und der prozentuale Körperfettgehalt signifikant verringerten. Da die Trainingsmodalitäten durch unterschiedliche Übungsauswahl und verschiedene Trainingsgeräte-Typen nicht identisch waren, lässt sich bei dieser Studie nicht von einer streng-kontrollierten Untersuchung sprechen, weil mehr als eine abhängige Variable (Satzzahl, Wiederholungszahl, Trainingsmodalität) zur Erklärung der Ergebnisse herangezogen werden kann.

Auch Anderson et al.³ untersuchten die Effekte von drei Krafttrainingsmethoden mit unterschiedlicher Satzzahl (3, 2 und 1) auf die 1RM-Werte, doch waren die Wiederholungszahlen und die Trainingsintensitäten (6-8RM, 30-40RM und 100-150RM) so stark verschieden, dass die Satzzahl höchstwahrscheinlich nur eine Nebenrolle bei der Steigerung der Maximalkraft hatte.

Silvester et al.¹²⁶ testeten die Auswirkungen eines achtwöchigen, dynamischen Trainings mit beidarmigen Bizepscurls auf die isometrische, einarmige Maximalkraft in den Winkeln 180°, 135°, 90° und 70°. 48 Probanden (Trainingsstatus nicht angegeben) wurden randomisiert in vier Gruppen eingeteilt. Gruppe I trainierte die Bizepscurls mit einer Freihantel

und mit einem Satz à etwa 10-12 Wiederholungen bis zum muskulären Versagen. Gruppe II benutzte auch eine Freihantel, doch führte sie drei Sätze à 6 Wiederholungen mit 80% des 1RM-Gewichtes durch. Die Gruppen III und IV trainierten mit der Nautilus Bizeps Maschine, Gruppe III mit einem Satz (10-12 Wdh.) bis zum muskulären Versagen und Gruppe IV mit drei Sätzen à 6 Wdh. mit 80% des 1RM-Gewichtes. Das Training führte bezogen auf die Maximalkraft zu keinem signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Die Anzahl der Wiederholungen (6 bzw. 10-12RM), die Intensität (Erreichen des muskulären Versagens) und die unterschiedlichen Trainings- und Testmodalitäten (dynamisch-beidarmig und isometrisch-einarmig) könnten auch Einfluss auf die Ergebnisse genommen haben, so dass die Studie nur wenig Aufschluss darüber geben kann, wie sich unterschiedliches Krafttrainingsvolumen auf die Maximalkraft auswirkt.

Stowers et al.¹³⁴ führten eine Untersuchung durch, bei der insgesamt 84 untrainierte, männliche Studenten für 7 Wochen dreimal pro Woche trainierten. Gruppe 1 trainierte 1x10 Wdh., Gruppe 3 absolvierte 3x10 Wdh., und Gruppe P ein periodisiertes Mehr-Satz-Training. Alle Gruppen verbesserten ihr 1RM signifikant beim Bankdrücken und bei der Kniebeuge. Es kam dabei weder beim Bankdrücken, noch bei der Kniebeuge zu einem signifikanten Unterschied am Ende der 7 Wochen zwischen Gruppe 1 und 3. Nach 7 Wochen zeigte nur die Gruppe P signifikant höhere Maximalkraft bei der Kniebeuge als beide anderen Gruppen. Das Körpergewicht der Probanden veränderte sich nicht und die Körperzusammensetzung wurde nicht untersucht.

In einer 1985 publizierten Studie⁹⁵ untersuchten Messier et al. die Auswirkungen eines Krafttrainings mit Nautilus Maschinen (1 x 8-12 Wdh. für die Übungen des Oberkörpers und 1 x 15-20 Wdh. für den Unterkörper bis zum muskulären Versagen) und einem Freihantel-Programm (3 x 6 Wdh. mit 75% des 1RM) auf die isokinetische Kraftspitze bei 60°/s. Die Untersuchung wurde über einen Zeitraum von 10 Wochen mit einer Frequenz von 3 Trainingseinheiten pro Woche durchgeführt. Beide Gruppen verbesserten ihre isokinetische Kraftspitze für Kniegelenksflexion und –extension und für Ellenbogenflexion und –extension nicht signifikant, und es kam zu keinen Unterschieden zwischen den Gruppen. Die

Trainingsprogramme unterschieden sich in Bezug auf Übungsauswahl, Satzzahl und Wiederholungszahl. Ausserdem unterschieden sich Trainings- und Testmodalitäten (Nautilus dynamisch bzw. Freihantel dynamisch und Cybex isokinetisch). Die Ergebnisse dieser Studie lassen somit keine Schlussfolgerungen auf die Frage der Satzzahl zu.

In einer 1985 durchgeführten Studie untersuchten Terbizan et al.¹³⁵ 101 zuvor untrainierte Frauen, die über 8 Wochen dreimal wöchentlich ein Krafttraining an insgesamt fünf Geräten (Beinbeuger, Beinstrecker, Armflexion, Armextension, und Lat-Zug) durchführten. Gruppe A trainierte mit 1 x 6-9 Wdh., Gruppe B mit 1 x 10-15 Wdh., Gruppe C mit 3 x 6-9 Wdh., Gruppe D mit 3 x 10-15 Wdh. und 20 Frauen dienten als nicht-trainierende Kontrollgruppe. Alle Gruppen (ausser die Kontrollgruppe) verbesserten ihre 1RM-Leistung signifikant, doch konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Trainingsgruppen festgestellt werden. Im Vergleich zur Kontrollgruppe erhöhte sich die Körpermagermasse signifikant bei den Trainingsgruppen. Diese Studie liegt nur als Abstract vor und somit kann die verwendete Methodik nicht exakt evaluiert werden.

Westcott¹⁴⁶ führte eine Studie über vier Wochen durch, um die Auswirkungen eines 1- bzw. 2-Satz-Trainings auf die Muskelkraft zu bestimmen. 44 zuvor untrainierte Probanden trainierten dreimal wöchentlich an den Übungen Beinstrecker, Beinbeuger, Bizepscurl, Trizepsextension und Überzüge. Die Gruppe (n=22), die mit 1x10 Wdh. trainierte, verbesserte ihre „overall muscle strength“¹⁴⁶ um 56%, während die Gruppe (n=22), die mit 2x10 Wdh. trainierte, ihre Kraftwerte um 54% steigerte. Unklar bleibt bei dieser Studie, welche Methodik verwendet wurde, da die Vorgehensweisen bei der Bestimmung der Kraftwerte und das Training nicht beschrieben wurden. Die angegebenen Kraftsteigerungen sind angesichts der Dauer von 4 Wochen wenig glaubwürdig. Diese Untersuchung wurde in der Zeitschrift „Scholastic Coach“ (nicht peer-reviewed) veröffentlicht.

Reid et al.¹¹² führten eine Studie durch, in der die Effekte verschiedener Krafttrainingsformen mit unterschiedlichen Satz- und Wiederholungszahlen und Übungsausführungen untersucht wurden. Die Studiendauer betrug acht Wochen und die Trainingsfrequenz lag bei dreimal wöchentlich. 45 Männer (34 beendeten die Studie) wurden randomisiert in vier

Trainingsgruppen eingeteilt: (1) Endurance (n=11): 2x15-18RM; (2) Explosive (n=5): 1x15-18 Wdh. mit explosiver Ausführung; (3) Strength 1 (n=9): 3x6-8RM; (4) Strength 2 (n=9): 1x10-12RM zweimal, 1x3-5RM einmal pro Woche. Das Krafttraining umfasste insgesamt neun Übungen. Pre- und Posttraining wurden die isometrischen Maximalkraftleistungen (Armextension, Armflexion, Beinflexion, Beinextension, Schulterflexion und Schulterextension) ermittelt. Praktisch alle isometrischen Maximalkraftwerte verbesserten sich signifikant. Zwischen den Gruppen konnte aber für keine Übung ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Die Körpermagermasse nahm signifikant in drei der vier Gruppen zu (ausser Strength 1). Neben der Satzzahl variierten auch die Wiederholungszahlen bzw. die Übungsausführungen zwischen den Gruppen. Ausserdem waren die Test- und Trainingsmodalitäten nicht identisch (isometrisch vs. dynamisch), wodurch man auch hier nicht von einer streng-kontrollierten Studie zur Ermittlung der Effekte des Krafttrainingsvolumens sprechen kann.

Dudley et al.²⁴ verglichen die Auswirkungen eines 19-wöchigen Trainings auf die rein-konzentrische 3RM-Leistung. Das Training bestand aus konzentrischen Muskelkontraktionen für die Gruppe CON (n=8) mit 4-5 Sätzen à 6-12 Wdh. und für die Gruppe CON/CON (n=10) mit 8-10 Sätzen à 6-12 Wdh. an der Beinpresse und dem Beinstrecker. Die Trainingsfrequenz lag bei 2 mal pro Woche. Jeder Satz wurde bis zum muskulären Versagen durchgeführt. Beide Gruppen verbesserten ihre konzentrische 3RM-Leistungen. Die Gruppe CON/CON verbesserte sich signifikant mehr als die Gruppe CON. Der einzige Unterschied zwischen den CON- und CON/CON-Trainingsregimen war die unterschiedliche Satzzahl. Allerdings ist die Durchführung mit rein-konzentrischen Kontraktionen praxisfern und lässt sich nur mit großem apparativen Aufwand bewerkstelligen. Ausserdem kann diese Studie nicht zur Lösung der Kontroverse 1-Satz- vs. Mehr-Satz-Training beitragen, da zwei Trainingsprotokolle mit sehr hoher Satzzahl verglichen wurden.

In einer Reihe von zehn Studien an der University of Maryland in Baltimore (USA) wurden die Auswirkungen eines Krafttrainings auf verschiedene Parameter untersucht (Knochenmineraldichte^{94, 119}, Muskelhypertrophie und Muskelzellenverteilung⁵⁸, fettfreie Körpermasse und Ruhe-Metabolismus¹¹⁸,

Insulinaktivität⁹⁶, Blutdruckveränderungen⁸⁴, Gastrointestinale Transitzeit⁶⁷, Urinale Chromexkretion¹¹⁶, akute und chronische Testosteron-, Wachstumshormon- und IGF-1-Reaktion¹⁰¹, totale und regionale Körperzusammensetzung¹³⁹). Alle diese Studien wurden mit verschiedenen Probandengruppen (alle untrainiert), aber mit identischen Trainingsprotokollen durchgeführt. An den Übungen für den Oberkörper (insgesamt neun) wurde mit einem Satz, an den Übungen für die unteren Extremitäten (insgesamt fünf) mit zwei Sätzen jeweils à 15 Wiederholungen trainiert. Hierbei wurde eine besondere Ausbelastungsstrategie verwendet. Beginnend mit 90% des 3RM-Gewichtes wurde das Trainingsgewicht nach Erreichen des muskulären Versagens soweit reduziert, dass wiederum einige Wiederholungen möglich waren. So war – nach Ansicht der Autoren – gewährleistet, dass die Probanden mit annähernd maximalem Aufwand bei jeder Wiederholung¹¹⁸ trainierten. Das Training wurde über einen Zeitraum von 16 bzw. 13⁶⁷ oder 26⁸⁴ Wochen mit einer Trainingsfrequenz von dreimal pro Woche durchgeführt. Die Probanden wurden vor und nach dieser Zeit auf ihre 3RM-Leistung bzw. die isokinetische Maximalkraft¹¹⁸ oder das 1RM⁸⁴ getestet. Für die getesteten Übungen wurde jeweils für Ober- und Unterkörper ein zusammengefasster Kraftsummenwert angegeben. Die prozentualen Steigerungen der Kraftparameter waren wie folgt: 43,1% / 43,8% (Oberkörper / Unterkörper)⁵⁸; 37,9% / 37,5%¹¹⁹; 41,1% / 45,2%⁹⁴; 39,1% / 40,8%¹³⁹; 64,2% / 40,4%⁹⁶; 41% / 45%⁶⁷; 40% / 41%¹¹⁶; 37% / 39%¹⁰¹; 43,8% (Beinpresse 30°/s), 27,7% (Beinpresse 180°/s), 58,7% (Armflexion 45°/s), 40% (Armextension 45°/s)¹¹⁸; 22,2% / 23,4% (1RM)⁸⁴. Die erreichten Steigerungen des 3RM bzw. der isokinetischen Maximalkraft waren ähnlich für die Muskelgruppen des Ober- und Unterkörpers, d.h. für das 1-Satz- und das 2-Satz-Training. Zu bedenken ist allerdings, dass die unterschiedlichen Muskelgruppen aufgrund ihrer verschiedenen Alltagsbelastung nicht identisch auf ähnliche Trainingsreize ansprechen¹⁰⁶. Alle diese Studien waren nicht dazu konzipiert, die Auswirkungen einer unterschiedlichen Satzzahl zu überprüfen. Somit kann von diesen Studien auf keine Aussage über die Frage der Satzzahl geschlossen werden.

Pollock et al.¹¹¹ untersuchten die Auswirkungen eines Trainings auf die isometrische Kraft der Halsmuskeln (cervical extension) über einen Zeitraum

von 12 Wochen. Dabei wurden vier verschiedene Kombinationen von Trainingsfrequenz und -volumen untersucht. Gruppe DYN1x (n=14) und Gruppe DYN-IM1x (n=16) trainierten einmal, die Gruppen DYN2x (n=19) und DYN-IM2x (n=10) trainierten zweimal pro Woche. Alle Gruppen führten einen Satz (8-12 Wdh.) mit langsamer (2 sec konzentrisch / 1 sec Pause / 4 sec exzentrisch) und dynamischer Ausführung bis zur subjektiven Ausbelastung durch. Die Gruppen DYN-IM1x/2x führten zusätzlich noch einen zweiten Satz mit isometrischer Kontraktion (Dauer 2-3 sec) an 8 verschiedenen Winkeln (0°-126°) aus. Alle vier Gruppen verbesserten die isometrische Kraft in allen 8 Winkeln signifikant, ausser Gruppe DYN1x bei 0°. Die Ergebnisse des isometrischen Tests nach der Trainingsphase wiesen keine Unterschiede zwischen den vier einzelnen Gruppen noch zwischen den kombinierten 1-Satz- (DYN 1x/2x) und 2-Satz-Gruppen (DYN-IM1x/2x) auf. Wegen der unterschiedlichen Trainings- und Testmodalitäten (dynamisch und isometrisch) lässt diese Studie nur wenig Aussage über die Satzfrage zu.

Durell²⁵ verweist auf eine unpublizierte Studie von Sansone et al. aus dem Jahr 1993, bei der die 1-Satz-Gruppe (26.95%), größere Kraftzuwächse als die 2-Satz-(23.54%) und die 3-Satz-Gruppe (16.42%) in den oberen Extremitäten aufwies. Allerdings erwähnt er nicht, ob es sich um signifikante Unterschiede handelt, an welchen Übungen trainiert und getestet wurde, über welchen Zeitraum und mit welcher Frequenz trainiert wurde. Diese Studie ist nicht veröffentlicht worden, und somit lässt sich die Wissenschaftlichkeit der Methodik nicht bewerten.

Starkey et al.¹²⁷ veröffentlichten 1996 eine Studie, die die Auswirkungen des Volumens eines dynamischen Krafttrainings auf die statische Maximalkraft der Knieextension und der Knieflexion und die Muskeldicke des m. quadrizeps femoris und m. biceps femoris (gemessen mit Ultraschall) ermittelte. Dabei trainierten 38 Probanden entweder mit einem Satz (EX-1 / N= 18) oder drei Sätzen (EX-3 / N=20) mit jeweils 8-12 Wiederholungen dreimal pro Woche über einen Zeitraum von 14 Wochen. 10 Probanden dienten als nicht-trainierende Kontrollgruppe. Die Probanden trainierten dynamisch an den identischen Geräten, an denen auch die statischen Maximalkrafttests (108°, 96°, 78°, 60°, 42°, 24°, 6°) durchgeführt wurden. Die Muskeldicke des m. quadrizeps femoris wurde an insgesamt 10, die der

ischiokruralen Muskulatur an 2 verschiedenen Stellen mittels eines B-Mode Ultraschallgerätes gemessen. Es kam zu signifikanten Verbesserungen der isometrischen Maximalkraft sowohl bei EX-1 als auch EX-3 in fast allen Winkeln (ausser 6°, 96° und 108° bei der Knieextension und 6° bei Knieflexion). Die Muskeldicke vergrößerte sich in EX-1 und EX-3 an allen gemessenen Stellen, doch nicht an allen Stellen waren diese Verbesserungen signifikant. Es konnten keine Unterschiede zwischen den Experimentalgruppen festgestellt werden (ausser bei 24° der Knieextension EX-1>EX-3). Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass das 1-Satz- und Mehr-Satz-Training in gleicher Weise effektiv waren. Allerdings lässt diese Studie wegen der unterschiedlichen Trainings- und Testmodalitäten (dynamisch und isometrisch) nur wenig Aussage über die Satzfrage zu.

Eine Studie von Kramer et al.⁸¹ zeigte klare Vorteile für das Mehr-Satz-Training bei der Kniebeuge-Übung. Dabei trainierten „moderately trained“ Studenten (konnten mindestens ihr eigenes Körpergewicht bei der Kniebeuge einmal heben). Die 1-Satz-Gruppe (SS) (n=16) trainierte 2 mal wöchentlich die Kniebeuge mit 8-12 Wdh. bis zum muskulären Versagen, die Mehr-Satz-Gruppe (MS) (n=14) absolvierte 3x10 Wdh., ohne bis zum muskulären Versagen zu gehen. Der Untersuchungszeitraum betrug 14 Wochen. Beide Gruppen zeigten signifikante Verbesserungen des 1RM über den Untersuchungszeitraum. Die Gruppe MS zeigte statistisch signifikant größere Verbesserungen als SS beim 1RM. Körpergewicht und -komposition veränderten sich in keiner Gruppe signifikant. Neben der Satzzahl unterschieden sich die Trainingsprogramme der Gruppen in Bezug auf die Ausbelastungsstrategie, wodurch die Aussagekraft der Studie gemindert wird. Allerdings ist es unwahrscheinlich, dass die höhere Trainingsintensität durch die Satzdurchführung bis zur muskulären Ausbelastung bei SS die Maximalkraftverbesserung beeinträchtigte.

Kraemer⁷⁰ untersuchte über einen Zeitraum von 14 Wochen mit 3 Trainingseinheiten wöchentlich Football-Spieler eines Division I Colleges auf Unterschiede in der Adaptation an ein 1-Satz- und ein Mehr-Satz-Training. Die 1-Satz-Gruppe trainierte an 10 Krafttrainingsgeräten mit 8-12 Wiederholungen mit einem 8-12RM-Gewicht und mit erzwungenen Wiederholungen am Ende des Satzes. Die Mehr-Satz-Gruppe durchlief

denselben Circuit wie die 1-Satz-Gruppe dreimal. Die Mehr-Satz-Gruppe zeigte signifikant größere Steigerungen des 1RM bei der Kniebeuge und beim Bankdrücken. Auch in dieser Untersuchung unterschieden sich die Trainingsprogramme der Gruppen in Bezug auf die Satzzahl und die Ausbelastungsstrategie, wodurch die Aussagekraft der Studie gemindert wird.

Ostrowski et al.¹⁰⁵ untersuchten die Auswirkungen des Krafttrainingvolumens auf die Muskelgröße (gemessen mit Ultraschall), und die Maximalkraft (1RM) bei Bankdrücken und Kniebeuge an zuvor trainierten Männern. Über einen Zeitraum von 10 Wochen trainierten 3 Gruppen (low(LV)-, moderate(MV)-, high(HV)-volume) viermal pro Woche. Die getesteten Übungen wurden (Kniebeuge und Bankdrücken) einmal pro Woche durchgeführt. Dabei führte die LV-Gruppe 3 Sätze pro Muskelgruppe an einem Tag aus (z.B. Bankdrücken, Negativ- und Schräg-Bankdrücken), die MV-Gruppe 6 Sätze (2 pro Übung), die HV-Gruppe 12 Sätze (4 pro Übung). Alle drei Gruppen zusammen verbesserten sich signifikant bei den 1RM- und Muskelgrößen-Parametern, allerdings wurden die Veränderungen der drei Gruppen nicht einzeln auf Signifikanz untersucht. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen liessen sich zu keinem Zeitpunkt nachweisen. Aufgrund der nur einmal pro Woche ausgeführten, getesteten Übung und der Transfer-Spezifität von durchgeführten Übungen auf die erbrachte sportliche Leistung (bzw. Testleistung)¹²⁸, könnte darauf zu schliessen sein, dass die Trainingsfrequenz von quasi einmal pro Woche nicht ausreichte, um signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen herbeizuführen. Ausserdem verwundert die Tatsache, dass die Veränderungen der drei Gruppen einzeln nicht auf Signifikanz untersucht wurden. Diese Sachverhalte lassen Zweifel in Bezug auf die Aussagekraft der Studie zu.

Die beiden als Abstract 1998 veröffentlichten Studien von De Hoyos²³ und Pollock¹¹⁰ untersuchten die gleiche Probandengruppe auf Auswirkungen eines 1-Satz- und 3-Satz-Trainings auf die Maximalkraft²³ und Muskeldicke¹¹⁰ (gemessen mit B-Mode Ultraschall). Beide Gruppen trainierten mit 8-12 Wiederholungen bis zum muskulären Versagen dreimal wöchentlich über 25 Wochen mit 7 Krafttrainingsübungen. Die 5 ermittelten

1RM-Werte und die Muskeldicke an 8 Stellen vergrößerten sich signifikant im Laufe des Trainings bei beiden Experimentalgruppen, unterschieden sich jedoch nicht zwischen den Gruppen. Die genauen Vorgehensweisen bei den Untersuchungen lassen sich nicht genau nachvollziehen, da die Studien nur als Abstracts publiziert wurden.

2000 veröffentlichten Hass et al.⁵⁷ eine Studie, bei der eine Gruppe mit einem 1-Satz- und eine zweite mit einem 3-Satz-Training dreimal wöchentlich über einen Zeitraum von 13 Wochen trainierten. Beide Gruppen, deren Mitglieder über lange Krafttrainingserfahrung verfügten, führten 8-12 Wiederholungen bis zum muskulären Versagen an 9 Übungen durch. Beide Gruppen verbesserten ihr 1RM an 5 Übungen signifikant, doch kam es zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den Gruppen. Das gleiche gilt für die isometrische Maximalkraft. Die Körpermagermasse erhöhte sich signifikant bei beiden Gruppen, doch der prozentuale Fettanteil sank nur bei der 3-Satz-Gruppe. Auch bei diesem Parameter konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Experimentalgruppen nachgewiesen werden. In dieser Studie wurde keine Kontrollgruppe untersucht. Die Standardabweichung bei den meisten Parametern war sehr hoch, was nur aus dem 1998 publizierten Abstract hervorgeht⁵⁶, da Frauen und Männer gemeinsam ausgewertet wurden. Dadurch sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass Unterschiede zwischen den Gruppen als signifikant erkannt werden. Eine getrennte Geschlechterauswertung wäre interessant. Durch diese genannten Faktoren sinkt die Aussagekraft dieser Untersuchung.

Sanborn et al.¹²¹ ließen zuvor untrainierte Frauen dreimal wöchentlich über 8 Wochen mit einem unperiodisierten 1-Satz-Training (1 x 8-12RM bis zum muskulären Versagen) und einem periodisierten Mehr-Satz-Training (3-5 x 2-10 explosive Wdh. nicht bis zum muskulären Versagen) trainieren. Beide Gruppen verbesserten das Kniebeuge-1RM signifikant, doch konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Das Training der Gruppen unterschied sich in Bezug auf die Satzzahl, die Periodisierung, die Ausbelastungsstrategie und die Ausführungsgeschwindigkeit, wodurch die Aussagekraft für die Frage der Satzzahl sehr niedrig ist.

In einer Studie von Kraemer et al.⁷⁸ wurden die Auswirkungen eines 1-Satz- und eines periodisierten Mehr-Satz-Trainings untersucht. 24 kompetitive Tennisspielerinnen wurden in 3 Gruppen eingeteilt. Die 1-Satz-Gruppe (SSC / n=8) trainierte über 9 Monate 2-3 mal pro Woche (insgesamt 100 Trainingseinheiten) mit 8-10 Wdh. pro Übung, während die periodisierte Mehr-Satz-Gruppe (P / n=8) ein innerhalb der Woche variierendes Programm absolvierte. Gruppe P trainierte mit 2-4 Sätzen und 4-6, 8-10 bzw. 12-15 Wdh. je nach Trainingstag. Die insgesamt 14 benutzten Übungen umfassten die Beinpresse, das Bankdrücken und das Schulterdrücken mit Freihanteln. Die Übungen waren für beide Gruppen die gleichen. Die Kontrollgruppe (CON / n=8) durchlief kein Krafttraining, partizipierte aber wie die Mitglieder der anderen Gruppen auch an dem normalen Tennistraining und den Wettkämpfen. Vor dem Training, nach 4 Monaten, nach 6 Monaten und am Ende nach 9 Monaten wurden die Leistungstests durchgeführt. Untersucht wurden die Körperzusammensetzung (Kaliper) und die 1RM-Leistung (Beinpresse, Bankdrücken, Freihantel-Schulterdrücken). Das Körpergewicht veränderte sich nicht, doch der Fettgehalt zeigte bei der Gruppe P einen signifikanten Abfall, während dieser Parameter bei den Gruppen SSC und CON keine Veränderungen zeigte. Die Gruppe P verbesserte ihre 1RM-Leistung in allen Übungen von Test zu Test signifikant (einzige Ausnahme Bankdrücken zwischen 4 und 6 Monaten). Gruppe SSC zeigte nur in den ersten 4 Monaten signifikante Verbesserungen. Danach stagnierte die Maximalkraftleistung. Die Kontrollgruppe zeigte keine Veränderungen in diesem Parameter. Offensichtlich kam es zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den Gruppen oder die Autoren versäumten es, die Daten daraufhin zu untersuchen. Da in dieser Studie Unterschiede zwischen den Gruppen auf mindestens zwei Einflüsse zurückzuführen sind (Volumen und Periodisierung), lassen sich keine klaren Aussagen über die Ursachen der Unterschiede machen.

Borst et al.⁹ veröffentlichten eine Studie, in der sie die Auswirkungen unterschiedlicher Satzzahlen auf die Maximalkraft untersuchten. Die 1-Satz-Gruppe (n=11) trainierte mit einem Satz, die 3-Satz-Gruppe (n=11) mit drei Sätzen à jeweils 8-12 Wiederholungen an insgesamt sieben Übungen inklusive der beiden Testübungen Bankdrücken und Beinstrecker. Die

Trainingsdauer betrug 25 Wochen, und sowohl unmittelbar davor, nach 13 und nach 25 Wochen wurde die Maximalkraft ermittelt. Beide Gruppen konnten sich signifikant verbessern, wobei der größte Teil der Verbesserung in der ersten Hälfte der Trainingsperiode vollzogen wurde. Die 3-Satz-Gruppe hatte gegenüber der 1-Satz-Gruppe signifikant höhere Maximalkraftwerte sowohl nach 13, als auch nach 25 Wochen. Die Tatsache, dass vor Beginn der Studie die Teilnehmer der 3-Satz-Gruppe ein deutlich höheres Körpergewicht und einen niedrigeren kombinierten 1RM-Wert aufwiesen, und die Körperzusammensetzung nicht gemessen wurde, wirft Fragen bezüglich der Aussagekraft der Untersuchung auf.

In der 2001 von Marx et al.⁸⁵ publizierten Studie wurden die Auswirkungen eines unperiodisierten 1-Satz- (3 Tage x Woche⁻¹ mit einem Satz und 8-12 Wdh. bis zum muskulären Versagen) und eines periodisierten Mehr-Satz-Trainings (4 Tage x Woche⁻¹ mit 2-4 Sätzen und 3-15 Wdh.) über 25 Wochen auf die dynamische Maximalkraft untersucht. Insgesamt 34 zuvor untrainierte Frauen trainierten je nach Gruppenzuweisung an teilweise verschiedenen Übungen. Die Kontrollgruppe trainierte nicht. Die 1RM-Leistungen beim Bankdrücken und bei der Beinpresse verbesserten sich signifikant bei beiden Experimentalgruppen. Nach Abschluss der Trainingsphase wies die Mehr-Satz-Gruppe eine signifikant höhere Maximalkraft als die 1-Satz- und Kontrollgruppe auf. Die Körpermagermasse war signifikant größer und der prozentuale Fettanteil signifikant kleiner bei der Mehr-Satz-Gruppe im Vergleich zur 1-Satz- und Kontrollgruppe. Das Training der Gruppen unterschied sich in Bezug auf Trainingsfrequenz, Übungsauswahl, Periodisierung, Satzzahl und Wiederholungszahl. Somit kann man bei dieser Untersuchung nicht von einer kontrollierten Studie sprechen und die Aussagekraft bezüglich der Frage der Satzzahl ist sehr klein.

Schlumberger et al.¹²⁴ veröffentlichten 2001 eine Studie, in der die Auswirkungen eines 1-Satz- und eines 3-Satz-Trainings mit jeweils 6-9 Wiederholungen über einen Zeitraum von 6 Wochen untersucht wurden. Die weiblichen Probanden trainierten 2 mal pro Woche und wurden vor und nach der Trainingsphase auf Veränderungen des 1RM beim Beinstrecker und beim Bankdrücken getestet. Die Gruppe, die mit dem 3-Satz-

Trainingsprogramm trainierte, verbesserte sich an beiden Geräten signifikant mehr als die 1-Satz-Gruppe. Diese Studie hat die Auswirkungen einer extrem kleinen Anzahl an Trainingseinheiten untersucht (12 TE). Dieser Sachverhalt schwächt die Aussagekraft der Ergebnisse ab. Die Zusammensetzung der Trainingsgruppen war sehr ungleich, da die 1-Satz-Gruppe deutlich älter, kleiner, und schwerer war als die Mehr-Satz-Gruppe. Inwieweit diese Unterschiede Einfluss auf das Ergebnis genommen haben, lässt sich nicht zweifelsfrei bestimmen. Doch lässt sich – aufgrund der anthropometrischen Verschiedenheiten – vermuten, dass die Gruppen aus unterschiedlich sportlichen und bewegungsfreudigen Frauen bestanden.

Rhea et al.¹¹⁴ untersuchten die Effekte eines periodisierten 1-Satz- und eines periodisierten Mehr-Satz-Trainings auf die 1RM-Leistung beim Bankdrücken und bei der Beinpresse mit zuvor trainierten Probanden. Zwei Gruppen trainierten entweder mit 1 x 4-10 Wdh. oder mit 3 x 4-10 Wdh. dreimal wöchentlich über einen Zeitraum von 12 Wochen an den beiden genannten Übungen. Beide Gruppen verbesserten ihre 1RM-Werte bei beiden Übungen signifikant, doch wies die Mehr-Satz-Gruppe signifikant höhere Steigerungen der Maximalkraft bei der Beinpresse als die 1-Satz-Gruppe auf. Die Körperzusammensetzung veränderte sich in keiner der Gruppen. Die Gruppen unterschieden sich deutlich vor Aufnahme des Trainings. Die Mehr-Satz-Gruppe wog bei gleichem prozentualem Körperfettanteil im Durchschnitt 14 kg mehr als die 1-Satz-Gruppe, wies aber eine um ca. 34 kg niedrigere Maximalkraft bei der Beinpresse auf. Dieser Sachverhalt lässt Zweifel an der Aussagekraft dieser Studie zu, da offensichtlich die größere Muskelmasse der Probanden der Mehr-Satz-Gruppe sich vor Beginn des Trainings nicht in höherer Maximalkraft ausdrückte. Hinzu kommt, dass es keine nicht-trainierende Kontrollgruppe gab.

Die jüngste, 2003 veröffentlichte Studie, welche die Effekte von unterschiedlichem Krafttrainingsvolumen auf die Maximalkraft untersuchte, ist die von Paulsen et al.¹⁰⁶. Diese Untersuchung benutzte ein interessantes Design. Eine Gruppe (3L-1U) trainierte an den Beinübungen mit 3 Sätzen und an den Übungen für den Oberkörper mit einem Satz jeweils mit einer 7RM-Last. Bei der anderen Gruppe (1L-3U) war es genau umgekehrt.

Insgesamt 18 untrainierte Männer trainierten an 7 Übungen (3 für die Beine und 4 für den Oberkörper) über einen Zeitraum von 6 Wochen dreimal wöchentlich. Beide Gruppen steigerten ihr 1RM an allen getesteten Übungen. 3L-1U wies eine signifikant höhere relative Maximalkraftsteigerung für die 3 Beinübungen auf als 1L-3U. Für die Übungen des Oberkörpers konnte kein Unterschied beim 1RM zwischen den Gruppen festgestellt werden. Das Training wurde über einen verhältnismäßig kurzen Zeitraum durchgeführt. Zusätzlich wurde keine Kontrollgruppe untersucht, was die Aussagekraft der Studie schmälert.

Kraftausdauer

Anderson et al.³ untersuchten die Effekte von drei Krafttrainingsmethoden mit unterschiedlicher Satzzahl (3, 2 und 1) auf die Kraftausdauer, doch waren die Wiederholungszahlen und Trainingsintensitäten (6-8RM, 30-40RM und 100-150RM) so stark verschieden, dass die Satzzahl höchstwahrscheinlich nur eine Nebenrolle bei der Veränderung der Kraftausdauerwerte hatte.

Eine von McGee et al.⁹² 1992 veröffentlichten Studie untersuchte die Auswirkungen von drei unterschiedlichen Trainingsprogrammen (über 7 Wochen) auf die Ausdauer der Bein- und Hüftmuskulatur (ermittelt durch die Wiederholungszahl bei der Kniebeuge mit 60 kg mit einer Kadenz von einer Wiederholung pro 6 Sekunden, wobei nach jeder Minute die Last um 2.5 kg erhöht wurde, bis zur Erschöpfung). Alle 3 Gruppen verbesserten sich, doch waren Verbesserungen der mit 1x8-12 Wdh. trainierenden Gruppe nicht signifikant. Signifikante Unterschiede von Pre- und Post-Test-Ergebnissen gab es allerdings bei der 3x10 und der periodisierten Gruppe, allerdings konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen statistisch nachgewiesen werden.

Kraemer⁷⁰ untersuchte Football-Spieler eines Division I Colleges auf Unterschiede in der Adaptation an ein 1-Satz- und ein Mehr-Satz-Training. Die 1-Satz-Gruppe trainierte an 10 Krafttrainingsgeräten mit 8-12 Wiederholungen mit einem 8-12RM-Gewicht und mit erzwungenen Wiederholungen am Ende des Satzes. Die Mehr-Satz-Gruppe durchlief

denselben Circuit wie die 1-Satz-Gruppe dreimal. Nach dem 14-wöchigen Training mit einer Frequenz von 3 Trainingseinheiten pro Woche konnte die Mehr-Satz-Gruppe signifikant mehr Wiederholungen mit 85% des 1RM bei der Kniebeuge und mit 80% des 1RM beim Bankdrücken durchführen. In dieser Untersuchung unterschieden sich die Trainingsprogramme der Gruppen in Bezug auf die Satzzahl und die Ausbelastungsstrategie, wodurch die Aussagekraft der Studie gemindert wird. Allerdings ist es unwahrscheinlich, dass die höhere Trainingsintensität durch die Satzdurchführung bis zur muskulären Ausbelastung beim 1-Satz-Training die Verbesserung der Kraftausdauer beeinträchtigte.

Die als Abstract 1998 veröffentlichte Studie von De Hoyos²³ untersuchte die Auswirkungen eines 1-Satz- und 3-Satz-Trainings auf die maximale Wiederholungszahl mit 75% des Pre-Training-1RM beim Bankdrücken und Beinstrecker. Beide Gruppen trainierten mit 8-12 Wiederholungen bis zum muskulären Versagen dreimal wöchentlich über 25 Wochen mit 7 Krafttrainingsübungen. Die Post-Training-Kraftausdauerwerte lagen signifikant über den Pre-Training-Werten bei beiden Gruppen. Die maximale Wiederholungszahl beim Bankdrücken der 3-Satz-Gruppe war signifikant größer als die der 1-Satz-Gruppe. Die genauen Vorgehensweisen bei der Untersuchung lassen sich nicht nachvollziehen, da die Studie nur als Abstract publiziert wurde.

2000 veröffentlichten Hass et al.⁵⁷ eine Studie, bei der eine Gruppe mit einem 1-Satz- und eine zweite mit einem 3-Satz-Training dreimal wöchentlich über einen Zeitraum von 13 Wochen trainierten. Beide Gruppen, deren Mitglieder über lange Krafttrainingserfahrung verfügten, führten 8-12 Wiederholungen bis zum muskulären Versagen an 9 Übungen durch. Beide Gruppen konnten nach dem Training signifikant mehr Wiederholungen mit 75% des Pre-Training-1RM beim Bankdrücken und Kniestrecker durchführen, doch kam es zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den Gruppen. In dieser Studie wurde keine Kontrollgruppe untersucht.

In einer Studie von Remmert¹¹³, die als Diplomarbeit veröffentlicht wurde, trainierten 22 Probanden über einen Zeitraum von 6 Wochen zweimal wöchentlich an je nach Gruppenzuteilung größtenteils verschiedenen

Krafttrainingsübungen. Die 1-Satz-Gruppe trainierte mit 12 Wdh. bei RPE von 15-18 (RPE = rate of perceived exertion) und die 3-Satz-Gruppe mit ebenfalls 12 Wdh. bei RPE von 13-16. Die 10RM-Leistung an 5 Übungen wurde bestimmt, wobei allerdings nur eine Übung von beiden Gruppen als Trainingsübung verwendet wurde, die anderen vier waren im Training entweder von der einen oder anderen Gruppe verwendet worden. Nichtsdestotrotz konnten beide Gruppe ihre 10RM-Leistung an allen Übungen signifikant steigern, doch konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen aufgezeigt werden. Das Training der beiden Gruppen unterschied sich bezüglich der Satzzahl, der Übungsauswahl und der Trainingsintensität, wodurch die gefundenen Ergebnisse nur begrenzt eine Antwort auf die Frage der Satzzahl zulassen. Zudem war der Untersuchungszeitraum verhältnismäßig kurz, die Trainingsfrequenz niedrig und es wurde keine Kontrollgruppe untersucht.

In der 2001 von Marx et al.⁸⁵ publizierten Studie wurden die Auswirkungen eines unperiodisierten 1-Satz- (3 Tage x Woche⁻¹ mit 1 Satz und 8-12 Wdh. bis zum muskulären Versagen) und eines periodisierten Mehr-Satz-Trainings (4 Tage x Woche⁻¹ mit 2-4 Sätzen und 3-15 Wdh.) über 25 Wochen auf die maximale Wiederholungszahl mit 80% des individuellen 1RM beim Bankdrücken und der Beinpresse und die maximale Anzahl von Sit-ups innerhalb einer Minute untersucht. Insgesamt 34 zuvor untrainierte Frauen trainierten je nach Gruppenzuweisung an teilweise verschiedenen Übungen. Die Kontrollgruppe trainierte nicht. Alle drei Kraftausdauer-Leistungen verbesserten sich signifikant bei beiden Experimentalgruppen. Nach Abschluss der Trainingsphase wies die Mehr-Satz-Gruppe eine signifikant höhere Wiederholungszahl bei den drei Übungen als die 1-Satz- und Kontrollgruppe auf. Das Training der Gruppen unterschied sich in Bezug auf Trainingsfrequenz, Übungsauswahl, Periodisierung, Satzzahl und Wiederholungszahl. Somit kann man bei dieser Untersuchung nicht von einer kontrollierten Studie sprechen, und die Aussagekraft bezüglich der Auswirkung der Satzzahl auf die Kraftausdauer ist sehr klein.

Anaerobe Kapazität

Eine von McGee⁹² 1992 veröffentlichte Studie untersuchte die Auswirkungen von drei unterschiedlichen Trainingsprogrammen (über 7 Wochen) auf die Ausdauer der Bein- und Hüftmuskulatur (ermittelt durch die Zeit bei einem Fahrradtest bei 265 Watt bis zur Erschöpfung. Alle 3 Gruppen verbesserten sich, doch waren Verbesserungen der mit 1x8-12 Wdh. trainierenden Gruppe nicht signifikant. Signifikante Unterschiede von Pre- und Post-Test-Ergebnissen gab es allerdings bei der 3x10 und der periodisierten Gruppe, allerdings konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen statistisch nachgewiesen werden. Das Körpergewicht der Probanden veränderte sich nicht, und die Körperzusammensetzung wurde nicht untersucht. Des weiteren wurde der Trainingsstatus der Probanden nicht definiert.

Schnellkraft

Stowers et al.¹³⁴ führten eine Untersuchung durch, bei der insgesamt 84 untrainierte, männliche Studenten für 7 Wochen dreimal pro Woche trainierten. Gruppe 1 trainierte mit 1x10 Wdh., Gruppe 3 mit 3x10 Wdh., und Gruppe P mit einem periodisiertem Mehr-Satz-Training. Über den Zeitraum von 7 Wochen zeigte nur die Gruppe P eine signifikante Steigerung der vertikalen Sprungleistung. Dieser Post-Test-Wert war signifikant größer als bei beiden anderen Gruppen, die sich untereinander nicht unterschieden.

Ostrowski et al.¹⁰⁵ untersuchten die Auswirkungen des Krafttrainingsvolumens auf die Vertikalsprungleistung und die vertikale Wurfhöhe mit einer Bankdrückbewegung bei krafttrainingserfahrenen Männern. Über einen Zeitraum von 10 Wochen trainierten 3 Gruppen (low(LV)-, moderate(MV)-, high(HV)-volume) viermal pro Woche. Die Probanden trainierten mit einem Split-Programm, bei dem jede Muskelgruppe einmal pro Woche belastet wurde. Dabei führte die LV-Gruppe 3 Sätze pro Muskelgruppe an einem Tag aus (1 Satz pro Übung), die MV-Gruppe 6 Sätze (2 pro Übung), die HV-Gruppe 12 Sätze (4 pro Übung). Die vertikale Bankdrück-Wurfhöhe verbesserte sich signifikant für alle Gruppen zusammen, die Vertikalsprungleistung nicht. Es konnten keine Unterschiede

zwischen den Gruppen ermittelt werden. Die Veränderungen der Gruppen einzeln wurden nicht auf Signifikanz untersucht, wodurch die Aussagekraft der Studie bezüglich der Auswirkung des Krafttrainingsvolumens auf Schnellkraftparameter gemindert wird.

Sanborn et al.¹²¹ ließen zuvor untrainierte Frauen dreimal wöchentlich über 8 Wochen mit einem unperiodisierten 1-Satz-Training (1 x 8-12RM bis zum muskulären Versagen) und einem periodisierten Mehr-Satz-Training (3-5 x 2-10 explosive Wdh. nicht bis zum muskulären Versagen) trainieren. Beide Gruppen verbesserten die Sprunghöhe beim Counter-movement-vertical-jump (0,3% 1-Satz-Gruppe vs. 11,3% Mehr-Satz-Gruppe), doch waren diese Veränderungen nicht signifikant. Trotzdem führten die Autoren eine signifikante ANOVA-Interaktion zwischen den Gruppen an, was in Anbetracht der Post-Training-Sprunghöhe (1-Satz-Gruppe: $33,4 \pm 5,2$ cm vs. Mehr-Satz-Gruppe: $33,7 \pm 2,4$ cm) verwundert. Möglich ist natürlich, dass sich die prozentualen Veränderungen der beiden Gruppen signifikant unterschieden, doch wird in der Studie nicht darauf verwiesen. Das Training der Gruppen unterschied sich in Bezug auf die Satzzahl, die Periodisierung, die Ausbelastungsstrategie und die Ausführungsgeschwindigkeit, wodurch die Aussagekraft für die Frage der Satzzahl sehr niedrig ist.

In einer Studie von Kraemer et al.⁷⁸ wurden die Auswirkungen eines 1-Satz- und eines periodisierten Mehr-Satz-Trainings untersucht. 24 kompetitive Tennisspielerinnen wurden in 3 Gruppen eingeteilt. Die 1-Satz-Gruppe trainierte über 9 Monate 2-3 mal pro Woche (insgesamt 100 Trainingseinheiten) mit 8-10 Wdh. pro Übung, während die periodisierte Mehr-Satz-Gruppe (P) ein innerhalb der Woche variierendes Programm absolvierte. Gruppe P trainierte mit 2-4 Sätzen und 4-6, 8-10 bzw. 12-15 Wdh. je nach Trainingstag. Die Kontrollgruppe durchlief kein Krafttraining, partizipierte aber wie die Mitglieder der anderen Gruppen auch an dem normalen Tennistraining und den Wettkämpfen. Vor dem Training, nach 4 Monaten, nach 6 Monaten und am Ende nach 9 Monaten wurden die Leistungstests durchgeführt. Untersucht wurden die anaerobe Schnellkraft (Wingate-Test), die Counter-Movement-Jump Leistung (CMJ) und die maximale Aufschlagsgeschwindigkeit. Diese Parameter zeigten nur in Gruppe P einen kontinuierlichen, signifikanten Anstieg. Offensichtlich kam

es zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den Gruppen oder die Autoren versäumten es, die Daten daraufhin zu untersuchen. Da in dieser Studie Unterschiede zwischen den Gruppen auf mindestens zwei Einflüsse zurückzuführen sind (Volumen und Periodisierung), lassen sich keine klaren Aussagen über die Ursachen der Unterschiede machen.

In der 2001 von Marx et al.⁸⁵ publizierten Studie wurden die Auswirkungen eines unperiodisierten 1-Satz- (3 Tage x Woche⁻¹ mit 1 Satz und 8-12 Wdh. bis zum muskulären Versagen) und eines periodisierten Mehr-Satz-Trainings (4 Tage x Woche⁻¹ mit 2-4 Sätzen und 3-15 Wdh.) über 25 Wochen auf die Leistung beim Wingate-Test, der vertikalen Sprungleistung und 40-Yard-Sprintzeit untersucht. Insgesamt 34 zuvor untrainierte Frauen trainierten je nach Gruppenzuweisung an teilweise verschiedenen Übungen. Die Kontrollgruppe trainierte nicht. Alle Schnellkraftleistungen verbesserten sich signifikant bei der Mehr-Satzgruppe, während die 1-Satz-Gruppe nur die vertikale Sprungleistung erhöhte. Nach Abschluss der Trainingsphase wies die Mehr-Satz-Gruppe signifikant bessere Ergebnisse bei allen drei Schnellkrafttests als die 1-Satz- und Kontrollgruppe auf. Das Training der Gruppen unterschied sich in Bezug auf Trainingsfrequenz, Übungsauswahl, Periodisierung, Satzzahl und Wiederholungszahl. Somit kann man bei dieser Untersuchung nicht von einer kontrollierten Studie sprechen und die Aussagekraft bezüglich der Effekte der Satzzahl auf die Schnellkraft ist sehr klein.

Die meisten der aufgeführten Untersuchungen der Auswirkungen des Krafttrainingsvolumens auf die verschiedenen Parameter weisen methodische Mängel auf. Vor allem die Kontrolle der Variablen (Trainingsfrequenz, Übungsauswahl, Periodisierung, Trainingsintensität und Wiederholungsanzahl) war in vielen Fällen nicht ausreichend, um eine klare Aussage über die Effekte von unterschiedlicher Satzzahl zu treffen. Andere Faktoren, die die Aussagekraft der genannten Studien beeinträchtigen, sind die Unregelmäßigkeiten bei der Durchführung, der kurze Untersuchungszeitraum, die verschiedenen Trainings- und Testmodalitäten, die Tatsache, dass einige Untersuchung nicht oder in nicht ausführlicher Form

veröffentlicht wurden, und der andere Fokus eines Teils der aufgeführten Studien.

Diese Review der Studien beleuchtet die verschiedenen Arten der Kraftentfaltung. Eine kurze Übersicht über die Auswirkungen des Krafttrainingsvolumens auf die Maximalkraft, die Muskelmasse, die Körperzusammensetzung, die Schnellkraft, die anaerobe Kapazität und die Kraftausdauer wird in den Tabellen 15-20 gegeben.

Tabelle 15 (Teil 1): Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Maximalkraft untersuchten; kA= keine Angabe; NS= nicht signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe; $p < 0,05$ = signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe

MAXIMALKRAFT										
Author (Jahr)	Sex	Trainingszustand	N	TE/Wo	Wo	Testung	Training	Sätze x Wdh.	% Zunahme	Signifikanz
Capen (1956) ¹³	M	keine Angabe	141	2	12	isometrisch Armflexion	dynamisch Bizepscurl	1x 8-15RM 3x 5RM 3x 1-3RM	4% 7% 9,4%	NS $p < 0,05$
Berger (1962) ⁸	M	keine Angabe	177	3	12	dynamisch Bankdrücken	dynamisch Bankdrücken	1x 2/6/10 2x 2/6/10 3x 2/6/10	22,5% 22% 25,5%	NS $p < 0,05$
Berger (1963) ⁷	kA	keine Angabe	48	3	9	dynamisch Bankdrücken	dynamisch Bankdrücken	6x 2RM 3x 6RM 3x 10RM	16,9% 21,3% 20%	NS NS
Leighton et al. (1967) ⁸²	M/W	keine Angabe	217	2	8	isometrisch 3 Übungen	dynamisch 10 Übungen	1x 6RM 3x 6RM	4,8%-29,6% 7,2%-23,2%	kA
Withers (1970) ¹⁴⁹	M	Untrainiert	55	2	9	dynamisch 3 Übungen	dynamisch 3 Übungen	3x 7RM 4x 5RM 5x 3RM	19,3% 23% 19,3%	NS NS
Coleman (1977) ¹⁹	M	keine Angabe	60	3	10	dynamisch 4 Übungen	dynamisch 11 Übungen	1x 10-12RM 2x 8-10RM	12,3%-20,2% 12,4%-20%	NS
Anderson et al. (1982) ³	M	untrainiert	43	3	9	dynamisch Bankdrücken	dynamisch Bankdrücken	1x 100-150RM 2x 30-40RM 3x 6-8RM	4,9% 8,2% 20,2%	NS $p < 0,05$
Silvester et al. (1982) ¹²⁶	M	keine Angabe	48	3	8	isometrisch Armflexion	dynamisch Bizepscurl (Freihantel)	1x 8-12RM 3x 6	22% 30,4%	NS
							Bizepscurl (Nautilus)	1x 8-12RM 3x 6	24,7% 19,4%	NS

Tabelle 15 (Teil 2): Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Maximalkraft untersuchten; kA= keine Angabe; NS= nicht signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe; $p < 0,05$ = signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe

MAXIMALKRAFT (fortgesetzt)										
Author (Jahr)	Sex	Trainingszustand	N	TE/Wo	Wo	Testung	Training	Sätze x Wdh.	% Zunahme	Signifikanz
Stowers et al. (1983) ¹³⁴	M	untrainiert	84	3	7	dynamisch 2 Übungen	dynamisch 4 Übungen	1x 10-12RM 3x 10-12RM	6,6%-15,2% 8,3%-20,3%	NS
Messier et al. (1985) ⁹⁵	M	Untrainiert	23	3	10	isokinetisch (60°/sec) 4 Übungen	dynamisch Nautilus 12 Übungen	1x 8-12RM OK 1x 15-20RM UK	-1,3%-19,6%	NS
							Freihantel 9 Übungen	3x 6	6,1%-13,7%	
Terbizan et al. (1985) ¹³⁵	W	untrainiert	101	3	8	dynamisch 5 Übungen	dynamisch 5 Übungen	1x 6-9 3x 6-9	kA kA	NS
								1x 10-15 3x 10-15	kA kA	NS
Westcott (1986) ¹⁴⁶	M/W	untrainiert	44	3	4	dynamisch 5 Übungen	dynamisch 5 Übungen	1 x 10 2 x 10	56% 54%	NS
Reid et al. (1987) ¹¹²	M	keine Angabe	45	3	8	isometrisch 6 Übungen	dynamisch 9 Übungen	1x 15 explosiv (40%1RM)	5,9%-41,4%	NS
								2x 15RM	8,8%-23,8%	
								1x 10-12RM; 2T 1x 3RM; 1T	11,7%-23,3%	
Dudley et al. (1991) ²⁴	M	Untrainiert	35	2	19	dynamisch konzentrisches 3RM: a.) Beinpresse b.) Beinstrecker	dynamisch Beinpresse Beinstrecker	4-5x 6-12RM konzentrisch	a.) 12% b.) 24%	p<0,05 NS
								8-10x 6-12RM konzentrisch	a.) 18% b.) 31%	

Tabelle 15 (Teil 3): Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Maximalkraft untersuchten; kA= keine Angabe; NS= nicht signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe; $p < 0,05$ = signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe

MAXIMALKRAFT (fortgesetzt)										
Author (Jahr)	Sex	Trainingszustand	N	TE/Wo	Wo	Testung	Training	Sätze x Wdh.	% Zunahme	Signifikanz
Koffler et al. (1992) ⁶⁷	M/W	Untrainiert		3	13	dynamisch 3RM (6 Übungen)	dynamisch 14 Übungen	1 x 15 OK 2 x 15 UK	41% 45%	kA
Pollock et. al. (1993) ¹¹¹	M/W	Untrainiert	78	2	12	isometrisch HWS-Extension	HWS-Extension	1 x 8-12 2 x 8-12	21,9 22,4	NS
Sansone et al. (1993) (zitiert nach Durell ²⁵)	kA	keine Angabe	61	kA	kA	keine Angabe	keine Angabe	1 x kA 2 x kA 3 x kA	26,9% 23,5% 16,4%	kA kA kA
Menkes et al. (1993) ⁹⁴ Ryan et al. (1994) ¹¹⁹ Treuth et al. (1994) ¹³⁹ Miller et al. (1994) ⁹⁶ Hurley et al. (1995) ⁵⁸ Nicklas et al. (1995) ¹⁰¹ Rubin et al. (1998) ¹¹⁶	M M M M M/W M/W M	untrainiert	18 21 13 11 23 13 10	3	16	dynamisch 3RM (6 Übungen)	dynamisch 14 Übungen	1x 15 OK 2x 15 UK	37%-64,2% 37,5%-45,2%	kA
Ryan et al. (1995) ¹¹⁸	W	untrainiert	15	3	16	isokinetisch 30°-180°/s 4 Übungen	dynamisch 14 Übungen	1x 15 OK 2x 15 UK	40%-58,7% 27,7%-43,8%	kA
Starkey et al. (1996) ¹²⁷	M/W	untrainiert	48	3	14	isometrisch 2 Übungen	dynamisch 2 Übungen	1x 8-12RM 3x 8-12RM	10,8%-13,3% 10,8%-17,4%	NS
Kramer et al. (1997) ⁸¹	M	trainiert	43	3	14	dynamisch Kniebeuge	dynamisch 8 Übungen	1x 8-12RM 3x 10	12% 25,6%	$p < 0,05$
Kraemer (1997) ⁷⁰	M	trainiert	40	3	10	dynamisch 2 Übungen	dynamisch 10 Übungen	1x 8-12RM 3x 8-12RM	2,8%-4,1% 12,6%-18,6%	$p < 0,05$

Tabelle 15 (Teil 4): Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Maximalkraft untersuchten; kA= keine Angabe; NS= nicht signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe; $p < 0,05$ = signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe

MAXIMALKRAFT (fortgesetzt)										
Author (Jahr)	Sex	Trainingszustand	N	TE/Wo	Wo	Testung	Training	Sätze x Wdh.	% Zunahme	Signifikanz
Ostrowski et al. (1997) ¹⁰⁵	M	trainiert	27	4	10	dynamisch 2 Übungen	dynamisch 24 Übungen 6 Übungen/T	1x 7-12RM 2x 7-12RM 4x 7-12RM	4%-7,5% 5%-5,5% 1,9%-11,6%	NS NS
De Hoyos et al. (1998) ²³	kA	keine Angabe	30	3	25	dynamisch 5 Übungen	dynamisch 7 Übungen	1x 8-12RM 3x 8-12RM	26,7%-34,4% 35,9%-46,6%	NS
Martel et al. (1999) ⁸⁴	M/W	untrainiert	21	3	26	dynamisch 7 Übungen	dynamisch 11 Übungen	1 x 15 OK 2 x 15 UK	13,2%-31,4% 22,3%-28%	kA
Hass et al. (2000) ⁵⁷	M/W	trainiert	42	3	13	dynamisch 5 Übungen	dynamisch 9 Übungen	1x 8-12RM 3x 8-12RM	8,3%-13,6% 10,3%-13,5%	NS
Sanborn et al. (2000) ¹²¹	W	untrainiert	17	3	8	dynamisch Kniebeuge	dynamisch 10 Übungen 5 Übungen/T	1x 8-12RM 3-5x 2-10 (periodisiert)	24,2% 34,7%	NS
Kraemer et al. (2000) ⁷⁸	W	trainiert	16	2 bis 3	38	dynamisch 3 Übungen	dynamisch 14 Übungen	1x 8-10RM 3x 4-15RM (periodisiert)	kA kA	$p < 0,05$
Schlumberger et al. (2001) ¹²⁴	W	untrainiert	18	2	6	dynamisch a.) Kniestrecker b.) Bankdrücken	dynamisch 7 Übungen	1 x 6-9RM 3 x 6-9RM	a.) 6% b.) 4% a.) 15% b.) 10%	$p < 0,05$ $p < 0,05$
Marx et al. (2001) ⁸⁵	W	untrainiert	24	3+4	24	dynamisch 2 Übungen	dynamisch 7-12 Übungen/T	1 x 8-12RM 3x 3-15RM (periodisiert)	11,2%-12,2% 31,9%-46,8%	$p < 0,05$
Borst et al. (2001) ⁹	M/W	untrainiert	22	3	25	dynamisch 2 Übungen	dynamisch 7 Übungen	1x 8-12RM 3x 8-12RM	kA kA	$p < 0,05$

Tabelle 15 (Teil 5): Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Maximalkraft untersuchten; kA= keine Angabe; NS= nicht signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe; $p < 0,05$ = signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe

MAXIMALKRAFT (fortgesetzt)										
Author (Jahr)	Sex	Trainingszustand	N	TE/Wo	Wo	Testung	Training	Sätze x Wdh.	% Zunahme	Signifikanz
Rhea et al. (2002) ¹¹⁴	M	trainiert	16	3	12	dynamisch a.) Beinpresse b.) Bankdrücken	dynamisch 7 Übungen	1 x 4-10RM (periodisiert)	a.) 26% b.) 20%	$p < 0,05$ NS
								3 x 4-10RM (periodisiert)	a.) 56% b.) 33%	
Paulsen et al. (2003) ¹⁰⁶	M	untrainiert	18	3	6	dynamisch 6 Übungen a.) 3 Übungen UK b.) 3 Übungen OK	dynamisch 7 Übungen	1x 7RM UK 3x 7RM OK	a.) 14% b.) 14%	NS $p < 0,05$
								3x 7RM UK 1x 7RM OK	a.) 21% b.) 16%	

Tabelle 16: Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Muskelmasse untersuchten; kA= keine Angabe; NS= nicht signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe; p<0,05= signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe

MUSKELMASSE										
Author (Jahr)	Sex	Trainingszustand	N	TE/Wo	Wo	Testung	Training	Sätze x Wdh.	% Zunahme	Signifikanz
Starkey et al. (1996) ¹²⁷	M/W	untrainiert	48	3	14	Muskeldicke (Oberschenkel)	<i>dynamisch</i> 2 Übungen	1x 8-12RM 3x 8-12RM	2,5% 2,9%	NS
Ostrowski et al. (1997) ¹⁰⁵	M	trainiert	27	4	10	Muskelquerschnitt (Rectus femoris) Muskeldicke (Trizeps brachii)	<i>dynamisch</i> 24 Übungen 6 Übungen/T	1x 7-12RM 2x 7-12RM 4x 7-12RM	2,2%-6,8% 4,6%-5,0% 4,8%-13,1%	NS NS
Pollock et al. (1998) ¹¹⁰	kA	keine Angabe	30	3	25	Muskeldicke 8 Meßpunkte	<i>dynamisch</i> 7 Übungen	1 x 8-12RM 3 x 8-12RM	7,7%-31,8% 4,1%-30,4%	NS

Tabelle 17 (Teil 1): Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Körperzusammensetzung untersuchten; kA= keine Angabe; NS= nicht signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe; p<0,05= signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe

KÖRPERZUSAMMENSETZUNG										
Author (Jahr)	Sex	Trainingszustand	N	TE/Wo	Wo	Testung	Training	Sätze x Wdh.	% Zunahme	Signifikanz
Coleman (1977) ¹⁹	M	keine Angabe	60	3	10	<i>Körpermagermasse</i> (Kaliper)	<i>dynamisch</i> 11 Übungen	1x 10-12RM 2x 8-10RM	3,9% 3,2%	NS
Terbizan et al. (1985) ¹³⁵	W	untrainiert	101	3	8	<i>Körpermagermasse</i>	<i>dynamisch</i> 5 Übungen	1x 6-9 3x 6-9 1x 10-15 3x 10-15	kA kA kA kA	NS NS
Reid et al. (1987) ¹¹²	M	keine Angabe	45	3	8	<i>Körpermagermasse</i>	<i>dynamisch</i> 9 Übungen	1x 15 explosiv (40%1RM) 2x 15RM 1x 10-12RM; 2T 1x 3RM; 1T 3x 6-8RM	3,1% 2,3% kA 3,9%	NS NS

Tabelle 17 (Teil 2): Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Körperzusammensetzung untersuchten; kA= keine Angabe; NS= nicht signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe; p<0,05= signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe

KÖRPERZUSAMMENSETZUNG (fortgesetzt)										
Author (Jahr)	Sex	Trainingszustand	N	TE/Wo	Wo	Testung	Training	Sätze x Wdh.	% Zunahme	Signifikanz
Kramer et al. (1997) ⁸¹	M	trainiert	43	3	14	<i>Körpermagermasse</i>	<i>dynamisch</i> 8 Übungen	1x 8-12RM 3x 10	0,6% 1,7%	NS
Hass et al. (2000) ⁵⁷	M/W	trainiert	42	3	13	<i>Körpermagermasse</i>	<i>dynamisch</i> 9 Übungen	1x 8-12RM 3x 8-12RM	kA kA	NS
Kraemer et al. (2000) ⁷⁸	W	trainiert	16	2 bis 3	38	<i>Körpermagermasse</i>	<i>dynamisch</i> 14 Übungen	1x 8-10RM 3x 4-15RM (periodisiert)	kA kA	kA
Marx et al. (2001) ⁸⁵	W	untrainiert	24	3+4	24	<i>Körpermagermasse</i>	<i>dynamisch</i> 7-12 Übungen/T	1 x 8-12RM 3x 3-15RM (periodisiert)	2,4% 7,8%	p<0,05
Rhea et al. (2002) ¹¹⁴	M	trainiert	16	3	12	<i>Körpermagermasse</i>	<i>dynamisch</i> 7 Übungen	1 x 4-10RM (periodisiert) 3 x 4-10RM (periodisiert)	0,9% 1,3%	NS

Tabelle 18: Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Schnellkraft untersuchten; kA= keine Angabe; NS= nicht signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe; p<0,05= signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe

SCHNELLKRAFT										
Author (Jahr)	Sex	Trainingszustand	N	TE/Wo	Wo	Testung	Training	Sätze x Wdh.	% Zunahme	Signifikanz
Stowers et al. (1983) ¹³⁴	M	untrainiert	84	3	7	Vertikale Sprunghöhe (VJ)	dynamisch 4 Übungen	1x 10-12RM 3x 10-12RM	0,2% 0,7%	NS
Ostrowski et al. (1997) ¹⁰⁵	M	trainiert	27	4	10	Vertikale Sprunghöhe (VJ)	dynamisch 24 Übungen 6 Übungen/T	1x 7-12RM 2x 7-12RM 4x 7-12RM	-5,0% -2,0% 3,6%	NS NS
Sanborn et al. (2000) ¹²¹	W	untrainiert	17	3	8	Vertikale Sprunghöhe (CMJ)	dynamisch 10 Übungen 5 Übungen/T	1x 8-12RM 3-5x 2-10 (periodisiert)	0,3% 11,2%	p<0,05
Kraemer et al. (2000) ⁷⁸	W	trainiert	16	2 bis 3	38	Vertikale Sprunghöhe (CMJ) Wingate Test Tennis-Aufschlag-Geschwindigkeit	dynamisch 14 Übungen	1x 8-10RM 3x 4-15RM (periodisiert)	kA kA	p<0,05
Marx et al. (2001) ⁸⁵	W	untrainiert	24	3+4	24	Vertikale Sprunghöhe (VJ) Wingate Test 40-Yard-Sprint	dynamisch 7-12 Übungen/T	1 x 8-12RM 3x 3-15RM (periodisiert)	0,7%-10,3% 6,8%-39,7%	p<0,05

Tabelle 19: Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die anaerobe Kapazität untersuchten; kA= keine Angabe; NS= nicht signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe; p<0,05= signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe

ANAEROBE KAPAZITÄT										
Author (Jahr)	Sex	Trainingszustand	N	TE/Wo	Wo	Testung	Training	Sätze x Wdh.	% Zunahme	Signifikanz
McGee et al. (1992) ⁹²	M	keine Angabe	27	3	7	Fahrradergometer (265 Watt) Zeit bis zur Ermüdung	dynamisch Kniebeuge	1x 12RM 3x 10	13% 29%	NS

Tabelle 20: Tabellarische Übersicht über die Studien, die die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen auf die Kraftausdauer untersuchten; kA= keine Angabe; NS= nicht signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe; p<0,05= signifikanter Unterschied zur 1-Satz-Gruppe

KRAFTAUSDAUER										
Author (Jahr)	Sex	Trainingszustand	N	TE/Wo	Wo	Testung	Training	Sätze x Wdh.	% Zunahme	Signifikanz
Anderson et al. (1982) ³	M	untrainiert	43	3	9	dynamisch absolute Kraftausdauer (Bankdrücken) relative Kraftausdauer (Bankdrücken)	dynamisch Bankdrücken	1x 100-150RM 2x 30-40RM 3x 6-8RM	28%-41% 22%-39% -7%-24%	p<0,05 p<0,05
McGee et al. (1992) ⁹²	M	keine Angabe	27	3	7	dynamisch absolute Kraftausdauer (Kniebeuge)	dynamisch Kniebeuge	1x 12RM 3x 10	46% 74%	NS
Kraemer (1997) ⁷⁰	M	trainiert	40	3	10	dynamisch relative Kraftausdauer Bankdrücken + Kniebeuge	dynamisch 10 Übungen	1x 8-12RM 3x 8-12RM	10%-12% 32%-36%	p<0,05
De Hoyos et al. (1998) ²³	kA	keine Angabe	30	3	25	dynamisch relative Kraftausdauer a.) Bankdrücken b.) Beinstrecker	dynamisch 7 Übungen	1x 8-12RM 3x 8-12RM	a.) 144% b.) 100% a.) 170% b.) 156%	p<0,05 NS
Hass et al. (2000) ⁵⁷	M/W	trainiert	42	3	13	dynamisch relative Kraftausdauer Bankdrücken + Beinstrecker	dynamisch 9 Übungen	1x 8-12RM 3x 8-12RM	48%-50% 58%-67%	NS
Marx et al. (2001) ⁸⁵	W	untrainiert	24	3+4	24	dynamisch relative Kraftausdauer Bankdrücken + Beinpresse	dynamisch 7-12 Übungen/T	1x 8-12RM 3x 3-15RM (periodisiert)	10%-19% 24%-65%	p<0,05
Remmert (o.J.) ¹¹³	M/W	untrainiert	22	2	6	dynamisch 10RM 5 Übungen	dynamisch 6-12 Übungen	1x 12 3x 12	11%-24% 10%-23%	NS

11. Diskussion

Die vorliegende Studie wurde so durchgeführt, dass die methodischen Fehler der – in Kapitel 10 (Review der Studien) – genannten Studien vermieden wurden. Die Aussagekraft dieser Untersuchung für die Frage der Satzzahl ist höher als die der aufgeführten Studien. Das lag an folgenden Faktoren:

- a.) Es wurde auf eine strenge Kontrolle der Variablen geachtet, d.h. das Ein- und das Mehr-Satz-Training unterschieden sich nur in Bezug auf die Satzzahl. Sie sind in Bezug auf Trainingsfrequenz, Übungsanzahl, Wiederholungszahl, Trainingsintensität, Ausbelastungsstrategien und Variation der Steuerungsparameter deckungsgleich.
- b.) Mit Hilfe eines Cross-Over-Designs wurde ein innovativer Weg bei der Evaluation von Krafttraining in Longitudinal-Studien beschritten, der die Kontrolle einer weiteren Variablen, nämlich der genetischen Variation, ermöglichte. Vor allem die Satzanalyse ist meines Wissens, aufgrund des Ausschlusses von genetischer Variation, einzigartig bei der Untersuchung von Daten aus einer Longitudinal-Trainingsstudie.
- c.) Andere Variablen (Betreuung der Probanden, Anfeuerung bei der Testung) wurden ebenfalls kontrolliert.
- d.) Zusätzliches Krafttraining neben der Studie wurde auf Muskelgruppen beschränkt, die keinen Einfluss auf die Ergebnisse dieser Studie nehmen konnten.
- e.) Die Trainings- und Testmodalitäten waren identisch.
- f.) Die Länge der Trainingsphasen lag mit 9 Wochen in einem Bereich, in dem neben koordinativen und neuronalen Verbesserungen auch ein Muskelwachstum zu erwarten ist.
- g.) Durch eine Habitualisierungs-(Gewöhnung)-Phase wurden reine Lerneffekte der Bewegungsausführung minimiert.
- h.) Die Effekte des dynamischen Krafttrainings wurden mit dynamischen Maximalkrafttests an jeweils den identischen Geräten überprüft.

Durch die Kontrolle dieser Faktoren kann man bei dieser Untersuchung von einer streng-kontrollierten Studie sprechen, deren Ergebnisse in der Folge einzeln diskutiert werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen sich auf zwei Arten interpretieren: Die erste Interpretationsmöglichkeit weist auf eine bessere Maximalkraftveränderung mit einem 3-Satz-Training im Vergleich zu einem 1-Satz-Training hin. Vor allem die Daten der Gruppenanalyse in Trainingsphase #2 und der Satzanalyse zeigen einen deutlichen Trend zugunsten des 3ST als Trainingsform, die eine stärkere Erhöhung der Maximalkraft bewirkt. Die zweite Interpretationsmöglichkeit ist die, dass die vorliegenden Ergebnisse vor allem der Gruppenanalyse zufällig, d.h. aufgrund möglicher genetischer Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen, zustande gekommen sind. Wegen der großen Bandbreite an individuellen Anpassungsentwicklungen an Krafttraining erscheint auch diese Interpretation möglich. Diese beiden Interpretationsansätze werden in der Folge detailliert diskutiert.

Die Probandengruppe dieser Studie bestand aus – auf das Krafttraining bezogen – untrainierten, weitestgehend jungen Männern und Frauen ($25,7 \pm 8,2$ Jahre). Dies wird deutlich beim Vergleich der Maximalkraftwerte beim Pre-Test1 mit den Werten anderer Studien.

Für den Bizepscurl ermittelten Maughan et al.⁸⁶ ein 1RM für untrainierte Männer in Höhe von $40,9 \pm 9,0$ kg und für untrainierte Frauen in Höhe von $19,0 \pm 3,3$ kg, womit die Maximalkraft leicht über den Ergebnissen beim Pre-Test#1 dieser Studie ($\text{♂ } 32,9 \pm 7,8$ kg; $\text{♀ } 17,1 \pm 2,4$ kg) liegt. Für die Beinpresse lassen sich die Ergebnisse dieser Studie nicht direkt mit denen anderer Studien vergleichen, da hier Hangabtriebskräfte mit einem Winkel von 45° ermittelt wurden, was in keiner der vorliegenden Studien gemacht wurde. Wie in Tabelle 21 zu sehen ist, sind die 1RM-Mittelwerte beim Bankdrücken für männliche und weibliche Probanden dieser Studie vergleichbar mit Untersuchungen, an denen untrainierte Personen teilnahmen. Die Studien, in denen trainierte Teilnehmer untersucht wurden, zeigen höhere Maximalkraftwerte als die vorliegende Untersuchung. Somit können die Teilnehmer dieser Studie als untrainiert eingestuft werden, was in Anbetracht der Trainingsbiographien (kein Proband hat ein Jahr vor

Tabelle 21: Vergleich der 1RM-Werte beim Bankdrücken anderer Studie mit denen der vorliegenden Studie

	Trainingsstatus	Frauen	Männer
Vorliegende Studie	untrainiert	34,6 ± 3,8 kg	66,3 ± 15,4 kg
Mayhew et al. ⁸⁷	untrainiert	33,7 ± 3,4 kg	69,5 ± 18,3 kg
Marx et al. ⁸⁵	untrainiert	22,2 ± 2,4 kg	-
Mazzetti et al. ⁸⁹	trainiert	-	89,4 ± 4,9 kg
Ostrowski et al. ¹⁰⁵	trainiert	-	87,9 ± 10,2 kg
Rhea et al. ¹¹⁴	trainiert	-	65,4 ± 8,1 kg
Mayhew et al. ⁸⁸	trainiert	-	83,3 ± 3,3 kg
Ware et al. ¹⁴⁴	trainiert	-	124,3 ± 18,3 kg

Beginn der Studie ein leistungsorientiertes Krafttraining durchgeführt) auch nicht verwundern sollte.

Durch die Teilnahme von untrainierten Probanden sind die Ergebnisse dieser Studie nur beschränkt interpretierbar. Bei untrainierten Teilnehmern ist anzunehmen, dass anfängliche Kraftsteigerungen hauptsächlich auf neuronale Anpassungen zurückzuführen sind^{41-44, 125}. Die Ergebnisse dieser Studie lassen sich somit nur in begrenztem Umfang auf fortgeschrittene Athleten übertragen²⁷. In dieser Studie war durch das Verwenden des Cross-Over-Designs ein höherer Trainingsstatus der Probanden in Trainingsphase #2 zu erwarten, weil grundsätzliche Bewegungsmuster und Einschätzungen über die erforderlichen motivationalen Faktoren¹¹⁷ bereits in Trainingsphase #1 erworben worden waren. Die 1RM-Leistungen vor Trainingsphase #2 lagen leicht über den Werten vor Trainingsphase #1, ohne dass Unterschiede in der Muskeldicke zu erkennen waren. Hinzu kommt, dass die prozentualen Verbesserungen in Trainingsphase #1 bei allen Übungen mit Studien mit untrainierten Probanden und während Trainingsphase #2 mit Studien mit trainierten Teilnehmern vergleichbar sind. Das alles stützt die These, dass der Trainingsstatus aufgrund von in Trainingsphase #1 erlernten grundsätzlichen Bewegungsmustern und Einschätzungen über die

erforderlichen motivationalen Faktoren in Trainingsphase #2 höher war als in Trainingsphase #1. Somit konnte durch die Verwendung verschiedener Analysetechniken die Auswirkungen der Satzzahl ohne (Trainingsphase #1) und mit (Trainingsphase #2) vorherigem Krafttraining ermittelt werden.

Die Erhebung des Summen-1RM (S-1RM) ermöglicht durch höhere Absolutwerte eine leichtere Aufdeckung von kleineren Unterschieden zwischen zwei Trainingsformen¹³³. Diese Tatsache wurde in dieser Studie mit berücksichtigt und das S-1RM verwendet. Dadurch konnten interessante Einblicke in die Frage der Satzzahl gewonnen werden.

Die Veränderungen beim dynamischen Kraftausdauerparameter MaxWdh80% konnten keine klare Tendenz erbringen. Dieser Parameter erwies sich als nicht reliabel genug, um mögliche kleine Unterschiede bei den Auswirkungen von Trainingsregimen mit unterschiedlicher Satzzahl bei zuvor untrainierten Probanden aufdecken zu können. Der Reliabilitätskoeffizient für zwei Messungen an unterschiedlichen Tagen lag für den Bizepscurl (n=28) bei $r=0,50$ ($p<0,05$), für die Beinpresse (n=22) bei $r=0,43$ ($p<0,05$) und für das Bankdrücken (n=27) bei $r=0,64$ ($p<0,05$) und war somit relativ klein. Auch der Variationskoeffizient (Bizepscurl: $28,1 \pm 28,2\%$; Beinpresse: $33,0 \pm 31,0\%$; Bankdrücken: $33,7 \pm 30,4\%$) zeigte, dass der Kraftausdauerparameter nicht als reliabel zu werten ist. Motivationale Aspekte spielen bei der Durchführung dieses Tests eine große Rolle, da eine gewisse Schmerzwahrnehmung zu zentral-nervöser Ermüdung in erheblichem Maße beitragen kann^{33, 34, 59}. Es gibt eine Reihe von Studien^{23, 57, 70, 85}, in denen der Parameter MaxWdh80% in vergleichbarer Form erhoben wurde und eine klare Entwicklung im Laufe der Trainingsintervention vollzog. Das konnte in dieser Studie nicht reproduziert werden, was verschiedene Gründe haben kann. Erstens wurde in den Studien von De Hoyos et al.²³ und Hass et al.⁵⁷ für den Kraftausdauer-Test eine Last aufgelegt, die 75% des Pre-Training-1RM entsprach, wodurch eine nicht relative, wie in der vorliegenden Studie, sondern eine absolute Kraftausdauerleistung abgefragt wurde. Dadurch ist die Methodik jener beiden Studien^{23, 57} nicht mit der dieser Studie vergleichbar. Zweitens wurde in der Studie von Marx et al.⁸⁵ eine Studiendauer von 24 Wochen untersucht, die deutlich länger war als in der vorliegenden Untersuchung.

Möglicherweise entwickelt sich über einen solch langen Zeitraum die spezifische Kraftausdauer so viel mehr, dass die – durch motivationale Faktoren verursachte – Variabilität der Testmethode überdeckt wurde. Drittens ist es denkbar und wahrscheinlich, dass Probanden mit hohem Trainingsstatus, wie in der Studie von Kraemer⁷⁰ und am Ende der Studie von Marx et al.⁸⁵, zu einer verbesserten Reliabilität des MaxWdh80%-Testes beitragen. Das liegt vermutlich daran, dass erfahrene Kraftsportler über eine größere Konstanz beim Abrufen der Kraftausdauer-Leistung und der mit ihr verbundenen leistungsrelevanten Motivationsaspekte verfügen. Allerdings wurde die Reliabilität des Testverfahrens bei drei der anderen Studien^{23, 57, 85} nicht untersucht, wodurch keine Aussage über die verwendete Methodik möglich ist. Für die Methodik der Studie, in der erfahrene Kraftsportler teilnahmen⁷⁰, wurde ein Reliabilitätskoeffizient von $r \geq 0,96$ ermittelt. Dies steht im klaren Kontrast zu den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung, in der der MaxWdh80%-Test als nicht reliabel einzustufen war. Das spricht dafür, dass mit steigender Erfahrung und Routine beim Krafttraining die Leistungskonstanz bei Kraftausdauer Tests größer wird.

Diese drei Sachverhalte scheinen ursächlich für die Diskrepanz zwischen den Studien^{23, 57, 70, 85}, die den MaxWdh80%-Test in ähnlicher oder identischer Form durchgeführt haben, und der vorliegenden Untersuchung zu sein. Deshalb konnte dieser Parameter in der vorliegenden Studie keine Erkenntnisse für die Frage der Satzzahl erbringen, und es erscheint wenig sinnvoll und erfolgsversprechend, diesen Parameter bei Krafttrainingsanfängern in zukünftigen Studien zu erheben. In der weiteren Diskussion der Ergebnisse wird zu diesem Parameter nicht weiter Stellung genommen.

Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt getrennt nach Vorgehensweise bei der Analyse, in Kapitel 11.1. die Gruppenanalyse, in Kapitel 11.2. die Satzanalyse, in Kapitel 11.3. die Geschlechteranalyse und Kapitel 11.4. die Trainingsstatusanalyse.

11.1 Gruppenanalyse

Maximalkraft

Das 3ST bewirkte bessere 1RM-Ergebnisse als das 1ST. Allerdings erreichte nur beim Bizepscurl und beim Bankdrücken in Trainingsphase #2 der Unterschied zwischen den beiden Trainingsmethoden das Signifikanzniveau.

Zwischen den Trainingsgruppen gab es keine signifikanten Unterschiede in der Ausprägung der absoluten 1RM-Werte an den relevanten Zeitpunkten (ZT und Post-T). Auch in der zeitlichen Entwicklung der Unterschiede im Vergleich zur KG unterschieden sich G1 und G3 nicht. Die Maximalkraftwerte beider Gruppen waren bei drei Übungen beim ZT1 und ab da konstant signifikant größer als die der KG. Einzige Ausnahme ist hier der Bizepscurl, wo sich bei ZT1 nur G3 und nicht G1 von KG unterschied. Die Tatsache, dass sich die beiden Trainingsgruppen nicht statistisch

Tabelle 22: Tabellarische Darstellung der Min-Max-Werte der absoluten (Δ -Werte) und prozentualen ($\Delta\%$ -Werte) Steigerungen der 1RM-Leistungen beim Bizepscurl, bei der Beinpresse (links und rechts) und beim Bankdrücken; TP#1 (G1: 1ST, G3:3ST); TP#2 (G1: 3ST, G3: 1ST)

		Gruppe 1				Gruppe 3			
		TP#1		TP#2		TP#1		TP#2	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Bizepscurl	Δ -Werte	0,0 kg	5,7 kg	2,3 kg	4,3 kg	0,8 kg	8,2 kg	-2,5 kg	2,5 kg
	$\Delta\%$ -Werte	0%	34%	8%	21%	2%	39%	-8%	13%
Beinpresse links	Δ -Werte	-5,0 kg	35,0 kg	-7,5 kg	55,0 kg	0,0 kg	50,0 kg	-10,0 kg	50,0 kg
	$\Delta\%$ -Werte	-2%	35%	-5%	25%	0%	40%	-5%	25%
Beinpresse rechts	Δ -Werte	-5,0 kg	40,0 kg	5,0 kg	40,0 kg	0,0 kg	50,0 kg	-10,0 kg	22,5 kg
	$\Delta\%$ -Werte	-2%	35%	3%	19%	0%	26%	-5%	15%
Bankdrücken	Δ -Werte	2,5 kg	12,5 kg	2,5 kg	10,0 kg	5,0 kg	15,0 kg	2,5 kg	7,5 kg
	$\Delta\%$ -Werte	5%	23%	4%	17%	10%	50%	3%	13%

nachweisbar voneinander unterschieden, deckt sich mit einer Reihe von Untersuchungen^{19, 95, 105, 106, 126, 134, 135}, die einen vergleichbar langen Trainingszeitraum untersucht hatten. Allerdings gibt es auch eine gewisse Anzahl an Studien^{8, 70, 106}, die Unterschiede zwischen den Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlicher Satzzahl nachweisen konnten. In Anbetracht dieser Diskrepanz ist es möglich, dass die

Untersuchungsergebnisse zufällig zustande gekommen sind. Dieser Sachverhalt wird in der Folge diskutiert.

Die Steigerungen, die durch ein Trainingsprogramm hervorgerufen werden, lassen sich auf zwei Arten beschreiben, zum Einen als Δ -Wert (in kg), d.h. als die Differenz zwischen absoluten Post- und Pre-Trainings-Werten, und zum Zweiten als prozentuale Veränderung ($\Delta\%$ -Wert), d.h. die relative Differenz zwischen Post- und Pre-Trainings-Werten. Wenn man nun die kleinsten und größten Steigerungen kennt, d.h. die Min-Max-Werte, kann man daraus die Spannbreite der Ergebnisse ersehen.

Die Übersicht in Tabelle 22 gibt interessante Einsichten in die Verschiedenheiten der individuellen Anpassungsentwicklungen. Es zeigt sich, dass es eine große Spannbreite an unterschiedlichen Entwicklungspotentialen und -geschwindigkeiten gibt und dass es deshalb schwierig ist, präzise Aussagen über Effektivitäten von unterschiedlichen Krafttrainingsmethoden zu machen. Anscheinend gibt es eine große Vielfalt an individuellen Voraussetzungen für das Krafttraining, die von genetischen¹³⁷, psychischen⁵⁹, nutritiven^{80, 102, 142} und sozialen⁵⁹ Faktoren abhängen. Die Tatsache, dass das gleiche Trainingsprogramm (1ST in Trainingsphase #1) mit identischer Trainingsfrequenz, Satzzahl, Intensität und Ausbelastungsstrategie beim Bizepscurl bei einem Teilnehmer zu keinen Veränderungen bei der 1RM-Leistung führt, während ein anderer eine Steigerung von 34% erfährt, deutet das an. Auch die anderen Min-Max-Werte der Steigerungsraten zeigen, wie unterschiedlich Menschen mit ähnlichem Niveau an Krafttrainingserfahrung auf den gleichen Trainingsreiz reagieren können. Die Diskrepanz in den Anpassungsentwicklungen findet auch Ausdruck in der Diskrepanz der Ergebnisse der publizierten Studien^{8, 19, 70, 95, 105, 106, 126, 134, 135}, die die Frage der Satzzahl über einen vergleichbar langen Zeitraum untersuchten. Interessant ist auch der Blick auf die Anpassungsentwicklungen verschiedener Einzelpersonen. Wie in Abbildung 18 zu sehen ist, gibt es keine klare Tendenz bezüglich der individuellen Anpassungen an das 1ST respektive an das 3ST. Die Spanne der individuellen Steigerungen der Maximalkraft reichte von sehr großen Verbesserungen während des 3ST und keinen Veränderungen während des 1ST bis zu größeren Steigerungen während des 1ST als während des 3ST.

Diese Spanne reflektiert die großen individuellen Unterschiede bei den Adaptationspotentialen an Krafttraining per se und an Krafttraining mit unterschiedlichen Satzzahlen im speziellen. Aus diesem Zusammenhang erscheint es zunächst nicht sinnvoll, nach einer pauschalen Antwort auf die Frage der Satzzahl zu suchen.

Die Wahl des Cross-Over-Studiendesigns ermöglichte interessante Einblicke in den Verlauf von Anpassungen an Training mit unterschiedlicher Satzzahl. Beim Verlauf der Anpassungen an die beiden Trainingsregime konnten einige Unterschiede zwischen den beiden getesteten Gruppen nachgewiesen werden. So gab es signifikante Verbesserungen der Maximalkraft in der Regel für G1 (1ST) und G3 (3ST) in Trainingsphase #1 (Bizepscurl, Beinpresse (rechts) und Bankdrücken (Beinpresse (links) nur für G3)), während eine signifikante Steigerung des 1RM in Trainingsphase #2 nur für G1 (3ST) (Bizepscurl, Beinpresse (links und rechts), (Bankdrücken für G1 und G3)) nachzuweisen war. Im untrainierten Zustand bewirkten sowohl ein 1ST, als auch ein 3ST signifikante Verbesserungen des 1RM. Nach vorherigem Training und dem Erlernen von grundsätzlichen Bewegungsmustern und motivationalen Aspekten bewirkte dagegen nur ein 3ST Verbesserungen der Maximalkraft. Dieses Phänomen spiegelt sich auch

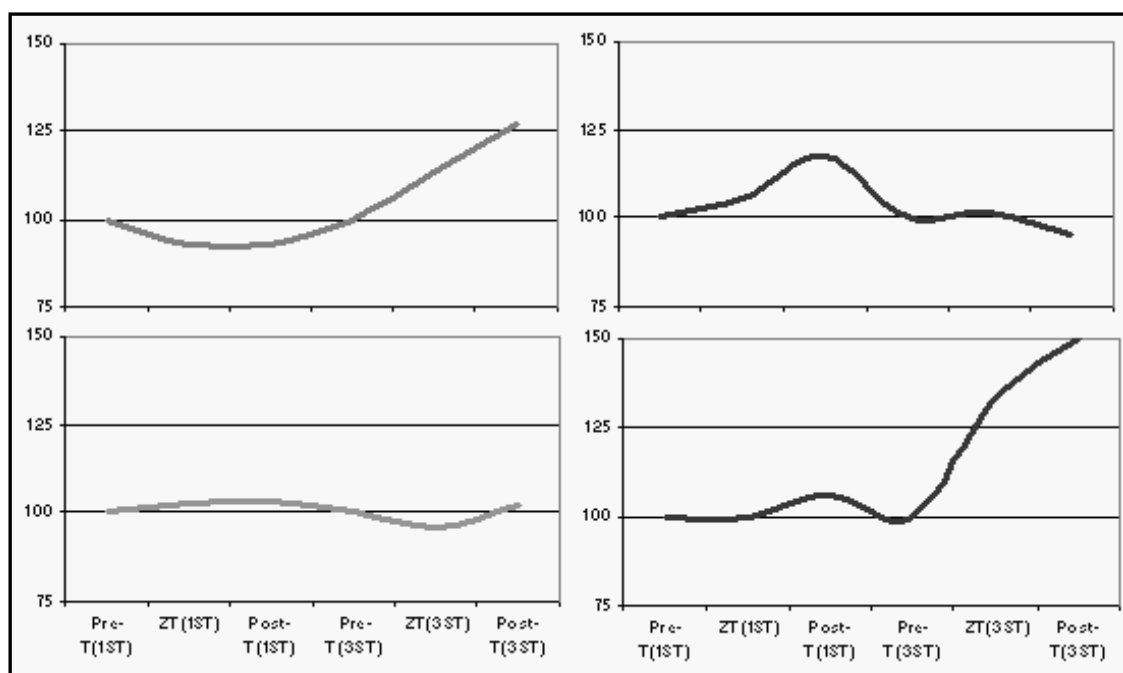


Abbildung 18: Exemplarische Darstellung der individuellen Entwicklung der 1RM-Ergebnisse; Darstellung in Prozent relativ zum jeweiligen Pre-Test-Ergebnis; auf die Darstellung der Wash-Out-Phase wurde zugunsten der Übersichtlichkeit verzichtet

in der prozentualen Veränderung der Maximalkraftniveaus wider und lässt sich vermutlich auf den verbesserten Trainingszustand in Trainingsphase #2 zurückführen.

Die prozentualen Veränderungen während der beiden Trainingsphasen ergaben klarere Tendenzen. Die Trainingsgruppe, die mit dem 3ST trainierte, erzielte bei allen Übungen tendenziell höhere 1RM-Verbesserungen während der jeweiligen Trainingsphase (vgl. Tab. 23). Dabei zeichnete sich folgendes Bild ab: In Trainingsphase #1 verbesserte G3 (3ST) ihre 1RM-Werte in größerem Umfang als G1 (1ST). Diese Unterschiede erreichten allerdings nicht das Signifikanzniveau. In Trainingsphase #2 erzielte G1 (3ST) 1RM-Verbesserungen, die über denen von G3 (1ST) lagen (vgl. Tab. 23), wobei die Unterschiede beim Bizepscurl und beim Bankdrücken signifikant waren. Die prozentualen Verbesserungen beim Bizepscurl liegen für Trainingsphase #1 über den Ergebnissen von Hass et al.⁵⁷ (1ST: 8,3%; 3ST: 10,3%), deren Probanden als trainiert eingestuft wurden. Die Veränderungen in Trainingsphase #2 sind mit den Ergebnissen von Hass et al.⁵⁷ sehr viel vergleichbarer, was in Anbetracht des Trainingsstatus‘ der Probanden in der Studie von Hass et al.⁵⁷ auf einen verbesserten Trainingsstatus während Trainingsphase #2 im Vergleich zu Trainingsphase #1 in dieser Studie hinweist. Die Veränderungen des 1RM beim Bizepscurl und der Beinpresse in Trainingsphase #1 lassen sich auch gut vergleichen mit der Studie von Coleman¹⁹ (Bizepscurl: 1ST: 15,9%; 2ST: 15,1% / Beinpresse: 1ST: 17,9%; 2ST: 17,4%), deren Probanden als untrainiert eingestuft wurden. Während Trainingsphase #2 waren Verbesserungen bei der Beinpresse zu verzeichnen, die mit der Studie mit trainierten Probanden von Kraemer⁷⁰ (1ST: 2,8%; 3ST: 18,6%) vergleichbar sind. Die Verbesserungen beim Bankdrücken in Trainingsphase #1 sind ähnlich groß wie in der Studie mit untrainierten Teilnehmern von Berger⁸ (1ST: 22,5%; 3ST: 25,5%). In Trainingsphase #2 wurden Verbesserungen erzielt, die vergleichbar sind mit den Veränderungen des 1RM beim Bankdrücken mit trainierten Probanden bei der Studie von Hass et al.⁵⁷ (1ST: 11,8%; 3ST: 13,9%) und von Kraemer⁷⁰ (1ST: 4,1%; 3ST: 12,6%). Die Tatsache, dass die prozentualen Verbesserungen in Trainingsphase #1 bei allen Übungen mit Studien mit untrainierten Probanden und während Trainingsphase #2 mit Studien mit

trainierten Teilnehmern vergleichbar sind, unterstreicht, dass der Trainingsstatus aufgrund von in Trainingsphase #1 erlernten grundsätzlichen Bewegungsmustern und Einschätzungen über die erforderlichen motivationalen Faktoren in Trainingsphase #2 höher war als in Trainingsphase #1. Unter diesem Gesichtspunkt sind die Ergebnisse

Tabelle 23: Darstellung der prozentualen ($\Delta\%$) 1RM-Veränderungen während Trainingsphase #1 und #2 für Gruppe 1 (G1) und Gruppe 3 (G3); 3ST/1ST = Quotient der $\Delta\%$ -Werte für 3-Satz-Training und für 1-Satz-Training während der jeweiligen Trainingsphase

	Trainingsphase #1 ($\Delta\%$)			Trainingsphase #2 ($\Delta\%$)		
	G1 (1ST)	G3 (3ST)	3ST/1ST	G1 (3ST)	G3 (1ST)	3ST/1ST
Bizepscurl	13,0 $\pm$ 11,4%	22,6 $\pm$ 10,5%	1,7	13,0 $\pm$ 4,9%	4,1 $\pm$ 6,0%	3,2
Beinpresse (links)	13,6 $\pm$ 10,4%	20,3 $\pm$ 13,6%	1,5	10,6 $\pm$ 10,4%	5,3 $\pm$ 9,7%	2,0
Beinpresse (rechts)	15,8 $\pm$ 11,9%	16,3 $\pm$ 8,7%	1,0	9,9 $\pm$ 5,0%	4,3 $\pm$ 7,0%	2,3
Bankdrücken	14,2 $\pm$ 6,6%	21,1 $\pm$ 11,2%	1,5	11,3 $\pm$ 4,4%	7,3 $\pm$ 3,7%	1,5

dieser Untersuchung nun zu beleuchten.

In dieser Studie wurde mit 3ST höhere Zuwächse der 1RM-Leistung bei allen Übungen erzielt. Der Unterschied bei der prozentualen Steigerung des 1RM war nur für den Bizepscurl und das Bankdrücken während Trainingsphase #2 signifikant. Die Verbesserungen in Trainingsphase #2 lagen für beide Gruppen bei allen Übungen deutlich unter denen in Trainingsphase #1. Dies deutet erneut auf einen verbesserten Trainingsstatus zu Beginn von Trainingsphase #2 im Vergleich zu Trainingsphase #1 hin, da – im Vergleich zu untrainierten – niedrigere Zuwächse bei der Maximalkraft ein Attribut von besser trainierten Probanden ist^{42, 52, 53}. Der verbesserte Trainingszustand bei Beginn der Trainingsphase #2 ist vor allem damit zu erklären, dass grundsätzliche Bewegungsmuster und Einschätzungen über die erforderlichen motivationalen Faktoren bereits in Trainingsphase #1 erworben worden waren. Auch das signifikant höhere Maximalkraftniveau der Probanden der Trainingsgruppen bei einigen Übungen vor Trainingsphase #2 lässt sich vor allem durch die eben genannten Faktoren erklären. Eine größere Muskeldicke des m. biceps brachii beim Pre-T2 im Vergleich zum Pre-T1 konnte nicht nachgewiesen werden. In der Regel bewirkt ein Detraining, wie es in der vorliegenden Studie mit der Wash-Out-Phase vonstatten ging, in

etwa gleichem zeitlichen Umfang gegenteilige Anpassungen wie ein vorangegangenes Krafttraining¹⁰⁰. Die Länge der Wash-Out-Phase war identisch zu der vorangegangenen Trainingsphase #1. Dieser Punkt und die Daten der Ultraschalluntersuchung weisen auf koordinative und motivationale Aspekte als Erklärung für das zum Teil höhere Maximalkraftniveau vor Trainingsphase #2 im Vergleich zu Trainingsphase #1 hin. Obwohl die Steigerungen des 1RM in Trainingsphase #2 kleiner sind als in Trainingsphase #1, gibt es größere Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen. Das 3ST (G3) bewirkte prozentuale Maximalkraftverbesserungen in Trainingsphase #1, die um die Faktoren 1,0-1,7 größer waren als die Auswirkungen des 1ST (G1). Für Trainingsphase #2 betrugen diese Faktoren 1,5-3,2 (vgl. Tabelle 23). Der Unterschied zwischen den Auswirkungen von 3ST und 1ST war also bei verbessertem Trainingszustand in Trainingsphase #2 größer.

Das deutet auf ein mögliches Erklärungsmuster für die Frage der Satzzahl beim Krafttraining hin. In untrainiertem Zustand erzielt der Sportler sowohl mit einem 3ST als auch mit einem 1ST hohe Verbesserungsraten beim 1RM. Dennoch führt das 3ST zu größeren Anpassungen. Je trainierter der Sportler wird, desto kleiner werden die Steigerungen der Maximalkraft mit den beiden Trainingsmethoden. Der Vorteil gegenüber 1ST, den der Sportler durch das Training mit einem 3ST erringen könnte, ist in absoluten Werten größer in untrainiertem Zustand. In trainiertem Zustand allerdings erreicht der Trainierende relativ größere Zuwächse im 1RM mit 3ST als mit 1ST. Einfach formuliert: Je trainierter ein Sportler ist, desto mehr Aufwand ist nötig, um noch Anpassungen hervorzurufen. Dieser Sachverhalt spricht dafür, dass das Krafttrainingsvolumen ein Teil der Schwelle ist, die überschritten werden muss, um Adaptationen zu bewirken.

Die einzigen signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Trainingsgruppen bei der 1RM-Entwicklung waren die prozentualen Veränderungen während Trainingsphase #2 beim Bizepscurl und beim Bankdrücken. Das 3ST erwies sich bei der Entwicklung der Maximalkraft dem 1ST überlegen. Diese Überlegenheit ist allerdings im Kontext der Studie zu sehen. Während Trainingsphase #1 kam es zu keinen Unterschieden zwischen G1 und G3. Die Tatsache, dass dann in Trainingsphase #2 eine

größere prozentuale Verbesserung durch das 3ST hervorgerufen wurde, lässt sich auf zwei Arten erklären: 1.) Der Trainingsstatus während Trainingsphase #2 war für beide Gruppen verbessert, wodurch das Krafttrainingsvolumen eine stärkere Rolle bei der Größe und der Geschwindigkeit der Adaptation gespielt hat. 2.) G1 und G3 unterschieden sich in den genetischen Voraussetzungen in der Art, dass die potentielle Entwicklung der Maximalkraft bei den beiden Oberkörper-Übungen bei G1 höher ausgeprägt war, so dass G1 eine größere Steigerung erreichen konnte. Diese Möglichkeit erscheint aufgrund der fehlenden Unterschiede bei der Muskeldicke als eher unwahrscheinlich, da genetisch-determinierte Unterschiede vor allem bei der Zunahme von Muskelmasse für die Maximalkraftentwicklung relevant sind. Genetische Unterschiede bei den biomechanischen Faktoren der Kraftgenerierung sind auszuschliessen, da sich diese in gleichem Maße zu allen Zeitpunkten ausgewirkt hätten. Durch die Tatsache, dass sich durch den Ausschluss von genetischer Heterogenität durch die Satzanalyse auch signifikante Unterschiede zwischen den Auswirkungen des 1ST und 3ST ergeben haben, lassen sich genetische Unterschiede zwischen G1 und G3 als Ursache für die aufgetretenen verschiedenen prozentualen Verbesserungen beim Bizepscurl und Bankdrücken in Trainingsphase #2 ausschliessen.

Erstaunlich ist, dass es zu Unterschieden zwischen G1 und G3 in der Maximalkraftentwicklung beim Bizepscurl und Bankdrücken gekommen ist und bei den anderen beiden Übungen nicht. Paulsen et al.¹⁰⁶ haben in ihrer Untersuchung Unterschiede bei der Anpassung an Trainingsprogramme mit verschiedener Satzzahl nur in den Übungen für die Beine und nicht für den Oberkörper gefunden. Sie begründen ihre Resultate mit der Vermutung, dass Muskeln, die dauerhaft der Gravitationskraft entgegenarbeiten, wie z.B. die Beine, ein größeres Krafttrainingsvolumen brauchen, um Anpassungen hervorzurufen. Diese These konnte durch die Daten dieser Studie nicht belegt werden.

Die Ergebnisse des S-1RM mit Hilfe der Gruppenanalyse untermauert die These, dass das Krafttrainingsvolumen einen wichtigen Schwellenfaktor darstellt, den man überschreiten muss, um Anpassungen zu erzielen. Beim Post-Test1 war der S-1RM-Wert von G3 (3ST) signifikant größer als der von

G1 (1ST). Während Trainingsphase #2 erreichte G1 (3ST) eine signifikant höhere S-1RM-Verbesserung als G3 (1ST). Eine Studie hat den Parameter S-1RM (für Kniestrecker und Bankdrücken) ermittelt und vergleichbare Ergebnisse gefunden⁹. Eine andere Studie¹⁴⁶, deren Methodik allerdings in der Veröffentlichung nicht dargestellt wurde, ergab keine Unterschiede zwischen Trainingsformen mit unterschiedlicher Satzzahl nach 4 Wochen Training beim S-1RM (Kniestrecker, Kniebeuger, Überzüge, Trizepszug und Bizepscurl¹⁴⁶). Der Gebrauch des S-1RM spiegelt vor, die Maximalkraftentwicklung des ganzen Körpers zu untersuchen, und macht somit pauschale – für alle Muskelgruppen gültige – Empfehlungen wahrscheinlich. Das S-1RM verschleiert allerdings mögliche Unterschiede zwischen den Muskelgruppen bei der Anpassung an Krafttraining mit unterschiedlicher Satzzahl. Die Ergebnisse der Studien von Borst et al.⁹ und von Westcott¹⁴⁶ wurden nicht zusätzlich noch differenziert dargestellt, wodurch keine gezielte Aussage über die Muskelgruppenspezifität bei der Adaptation an unterschiedliches Krafttrainingsvolumen getroffen werden kann. Bezogen auf die vorliegende Studie wäre der alleinige Gebrauch des S-1RM als Maximalkraftparameter irreführend, da er suggerieren würde, dass das Training auch an der Beinpresse zu signifikant größeren Verbesserungen mit dem 3ST als mit dem 1ST geführt hat, was ja bekanntlich nicht der Fall war. Dennoch ist bei allen Übungen ein ähnlicher Trend zu sehen, der sich natürlich auch beim S-1RM widerspiegelt. Auch beim S-1RM führt das 3ST zu größeren Verbesserungen als das 1ST. Während Trainingsphase #1 betrug dieser Unterschied 13,2 kg oder 5% und während Trainingsphase #2 15,5kg oder 5,4%. Nur im Falle der prozentualen Verbesserung während Trainingsphase #2 war dieser Unterschied signifikant. Mit verbessertem Trainingszustand durch das Erlernen von Bewegungs- und Motivationsmustern vor Trainingsphase #2 scheint das Krafttrainingsvolumen größere Bedeutung für die Trainingsanpassungen gehabt zu haben als im schlechteren Trainingszustand vor Trainingsphase #1.

Eine Tendenz, die bei allen 1RM-Parametern zu beobachten ist, ist dementsprechend auch beim S-1RM zu sehen. Während Trainingsphase #1 verbessern beide Trainingsgruppen ihre Maximalkraft, wobei die

Steigerungen von G3 (3ST) größer sind als von G1 (1ST). Am Ende von Trainingsphase #2 hat sich dieser Unterschied meist vollständig ausgeglichen, so dass die Maximalkraft von G1 und G3 fast identisch ist. Vergleicht man nun die Post-Test-Ergebnisse von Trainingsphase #1 und Trainingsphase #2, so stellt man fest, dass sich G1 durch das 3ST in Trainingsphase #2 auf ein höheres 1RM-Niveau bringen konnte als durch das 1ST in Trainingsphase #1. G3 hatte beim Post-Test2 in der Regel gleich hohe 1RM-Werte wie beim Post-T1. Diese Beobachtung lässt sich auf zwei Arten erklären: Erstens ist es denkbar, dass die Probanden der beiden Trainingsgruppen ihr maximales Adaptationspotential während dieser Studie ausgeschöpft haben und dass sich zumindest G3 in Trainingsphase #2 nicht über das Niveau von Post-Test1 hinaus weiterentwickeln konnte. Gegen diese mögliche Erklärung spricht eindeutig, dass Weiterentwicklungen der Maximalkraft auch nach vielen Jahren des Krafttrainings möglich sind⁵². Wahrscheinlicher ist es, zweitens, dass die Reihenfolge der zwei Trainingsformen entscheidenden Einfluss auf den Verlauf der Maximalkraftentwicklung genommen hat. G1 konnte nach der Anpassung an ein 1ST während Trainingsphase #1 in Trainingsphase #2 einen neuen Trainingsreiz setzen in Form eines 3ST. Für G3 stellte das 1ST in Trainingsphase #2 keinen ausreichend hohen Reiz dar, um nach den Adaptationen an das 3ST in Trainingsphase #1 ein höheres Maximalkraftniveau beim Post-Test2 zu erreichen als beim Post-Test1. Das 1ST für G3 in Trainingsphase #2 hatte vielmehr den Effekt eines Erhaltungstrainings. Diese Erklärung wird auch durch weitestgehend nicht signifikante Veränderungen des 1RM von Pre-Test2 bis Post-Test2 für G3 (1ST) gestützt.

Das S-1RM spiegelt diese Tendenz durch verschiedene Tatsachen wider: Zum einen ist das S-1RM von G1 beim Post-Test2 signifikant größer als beim Post-Test1, während dieser Sachverhalt für G3 nicht zutrifft. Zum zweiten konnte G1 sowohl in Trainingsphase #1 und Trainingsphase #2 signifikante Verbesserungen erzielen, während G3 dies nur für Trainingsphase #1 möglich war. Das S-1RM fasst somit zusammen, was als Tendenz bei den anderen 1RM-Parametern zu beobachten ist.

Muskeldicke

Muskelhypertrophie ist eine Ursache für gesteigerte Maximalkraft^{41, 43, 44, 90, 125}. Die Zunahme der Muskelmasse vollzieht sich aber nicht in gleichem Umfang wie die Steigerung des 1RM. Die Zuwächse des 1RM in den ersten Wochen sind hauptsächlich mit neuronalen Anpassungen zu erklären. Dies wird auch in dieser Studie deutlich, in der es zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen G1 und G3 in der Zunahme der Muskeldicke des m. biceps brachii kam. Der Zeitraum von 9 Wochen, der jeweils für das Training in den beiden Trainingsphasen genutzt wurde, scheint zu kurz gewesen zu sein, um mögliche Unterschiede zwischen den Gruppen bei dem Parameter Muskeldicke hervorzurufen. Eine andere mögliche Erklärung ist, dass die Untersuchungsmethodik zur Bestimmung der Muskelhypertrophie nicht sensibel genug war oder zu viele methodische Fehler aufwies, um kleine Unterschiede aufzudecken. Die Messung der Muskeldicke mit B-Mode Ultraschall hat sich als valide^{1, 28, 32} und reliabel^{32, 61, 145} erwiesen. Für die konkrete Vorgehensweise bei dieser Studie wurde ein Reliabilitätskoeffizient von $r=1,00$ ($p<0,05$) für zwei direkt aufeinander folgende Messungen und von $r=0,92$ ($p<0,05$) für zwei Messungen, die zwei Wochen auseinander lagen, ermittelt. Trotz der Vielzahl der potentiellen Fehler bei der Muskeldickenbestimmung mittels B-Mode Ultraschall (Applikation von Druck auf den Muskel mit dem Schallkopf, die Standardisierung der Messpunkte, der Winkel der Schallebene zum Knochen, die Muskellänge und -spannung, die Subjektivität des Testers, die Tageszeit, die körperliche Belastung des Probanden vor der Messung, der Ernährungs- und Hydratationsstatus und bezogen auf weibliche Probanden der Zeitpunkt der Messung in Bezug auf die Periode) ergibt unsere Vorgehensweise einen ausreichend hohen Reliabilitätskoeffizienten. Dies deutet darauf hin, dass durch die gewählte Methodik die potentiellen Fehler die Aussagekraft dieser Messmethodik weitestgehend nicht beeinträchtigt haben. Eine weitere mögliche Erklärung für die nicht existenten Unterschiede zwischen den Gruppen bei der Muskeldicke des m. biceps brachii trotz signifikanter Unterschiede bei der Maximalkraftentwicklung für den Bizepscurl könnte die Wahl des zu messenden Muskels respektive des Messpunktes, sein. Es ist denkbar, dass der m. biceps brachii weniger stark auf Krafttraining mit

Hypertrophie reagiert als andere Muskelgruppen. Aus dieser Studie lässt sich dies nicht zweifelsfrei widerlegen, da nur bei einer Muskelgruppe die Muskeldicke erfasst wurde. Doch die Steigerung der Maximalkraft war für den Bizepscurl größer als für die beiden anderen Übungen. Allerdings ist es unwahrscheinlich, dass die Anpassungen der verschiedenen Muskeln an Krafttraining unterschiedlich verlaufen könnten.

Die Muskelmasse kann sich innerhalb eines Muskels non-uniform entwickeln¹¹⁵. Der Messpunkt bei dieser Studie lag auf dem dicksten Teil des Muskelbauches, wodurch zu erwarten ist, dass die Steigerung der Muskeldicke unterhalb dieses Punktes die Entwicklung des Muskels repräsentiert.

Hypertrophie ist ein komplexer und komplizierter Prozess, der im Resultat zu einer Steigerung der Proteinsynthese und/oder zu einer Abnahme der Proteindegradation führt¹³³. Voraussetzung dafür ist ein Trainingsreiz, der über der Belastung des individuellen Muskels im bisherigen Alltag liegt^{43, 68}. Dieser führt bei entsprechender Stärke zu einem kompensatorischen Muskelwachstum³⁷. Die Trainingsbelastung muss in Bezug auf die Muskelaktivierung und –spannung^{37, 68, 123}, die Ausschöpfung der kurzfristig verfügbaren Energiereserven, v.a. die Kreatin-Phosphat-Speicher¹²³, und die Auslenkung des hormonellen Systems⁶⁸ über den bis dahin alltäglichen, gewohnten Belastungen liegen, an die sich der Organismus bereits angepasst hat. Die Höhe des Trainingsreizes hängt von der Wahl der Übungen (Größe der zu aktivierenden Muskelmasse), vom Trainingsvolumen (Übungs-, Satz- und Wiederholungszahl), von der Trainingsintensität, der Pausenlänge und – kumulierend – von der Trainingsfrequenz ab.

Ist der Kraftbelastungsreiz ausreichend hoch, kommt es zu hormonellen Auslenkungen, d.h. einer akuten Veränderung der hormonellen Homöostase, wobei die Blutkonzentration sowohl anabol- als auch katabol-wirkender Hormone erhöht wird. Die Serumkonzentrationen von Testosteron^{40, 54, 72, 91, 93}, Wachstumshormon (GH)^{40, 54, 72, 91, 93, 98, 101, 147}, IGF-1^{73, 74, 91}, Adrenalin (alle anabol-wirkend) und Kortisol^{40, 72, 91, 93, 98, 147} (katabol-wirkend) steigen während und nach einer Krafttrainingseinheit an. Die Höhe der Konzentrationssteigerung hängt u.a. vom Krafttrainingsvolumen ab. Eine 3-Satz-Trainingseinheit hebt kurzfristig die Blutkonzentration von GH^{21, 40, 98}

und Kortisol^{40, 98} und Testosteron⁹⁸ signifikant stärker an als eine 1-Satz-Trainingseinheit. Der entscheidende Faktor für die aufgetretenden Unterschiede scheint nicht die Satzzahl per se zu sein. Das Gesamtvolumen (Übungs- und Satzzahl)¹⁴⁷ und die Stressbelastung, vor allem die Erhöhung der Laktatkonzentration^{38, 54, 73} entscheidet über die hormonellen Auslenkungen. Unterschiede in der Höhe der Hormonkonzentrationssteigerungen lassen keinen direkten Schluss auf die zu erwartende Hypertrophie und Kraftsteigerung bei mittel- bis langfristiger Durchführung der entsprechenden Trainingsform zu. Das liegt daran, dass ein größeres Krafttrainingsvolumen die Serumkonzentration sowohl anabol- als auch katabol-wirkender Hormone in stärkerem Maße hebt und dass dadurch – je nach genetischer Veranlagung¹³⁷ – ein netto anaboler oder netto kataboler Effekt ausgelöst wird. Diese Unklarheit wird dadurch untermauert, dass auch Ausdauer-Training zu hormonellen Auslenkungen^{64, 141}, doch zu keiner oder nur geringer Hypertrophie führt. Somit lassen sich alleine über die hormonellen Parameter keine Rückschlüsse auf die zu erwartenden Maximalkraftsteigerungen und Muskelmassenvergrößerungen ziehen. Dennoch sind die akuten hormonalen Konzentrationsausschläge nach Krafttraining ein wichtiger Faktor bei der Maximalkraftsteigerung⁵⁵ und der Muskelhypertrophie, da die erhöhte Hormonkonzentration unmittelbar nach einer Krafttrainingseinheit zu einer Steigerung der Proteinsynthese und einer Verminderung der Proteindegradation führt^{18, 109}. Die deutlich größeren Konzentrationserhöhungen der anabolen Hormone nach Mehr- im Vergleich zum 1-Satz-Training legen den Schluss nahe, dass das 3ST in dieser Studie zu einer größeren Muskelhypertrophie als das 1ST hätte führen müssen. Dies war aber nicht der Fall. Möglicherweise ist die absolute Höhe der Hormonausschläge nicht der entscheidende Faktor, sondern nur, ob sie einen gewissen Schwellenwert überschreiten. Ein denkbare Modell ist, dass sich dieser Schwellenwert mit besser werdendem Trainingszustand erhöht¹⁸, so dass immer mehr Aufwand betrieben werden muss, um den für Anpassungen erforderlichen Hormonausschlag zu erreichen. Das würde erklären, warum sich in dieser Studie die Muskeldicke der beiden Gruppen, trotz zu erwartender stärkerer Auslenkung des hormonellen Systems bei einem 3ST, nicht unterschiedlich entwickelte, da in Anbetracht der

Studiendauer von 9 Wochen möglicherweise ein 1ST ausreichte, diesen Schwellenwert für die akute hormonelle Auslenkung zu überschreiten. Eine längere Studie könnte über diesen Sachverhalt Aufschluss geben.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die langfristige Auswirkung von regelmäßig ausgeführtem Krafttraining auf das hormonelle Milieu. Langfristige Veränderungen der hormonellen Homöostase durch Krafttraining sind in einigen Studien gefunden worden^{9, 79, 85}, aber in anderen nicht^{63, 91, 101, 105}. Das gleiche gilt für die Longitudinal-Studien, die die Auswirkung von Training mit unterschiedlicher Satzzahl auf die Hormonblutkonzentration in Ruhe untersuchten. Marx et al.⁸⁵ fanden nach 24 Wochen Training mit entweder einem unperiodisiertem 1-Satz-Training oder einem periodisierten Mehr-Satz-Training eine signifikant höhere Testosteron- und eine signifikant niedrigere Kortisol-Serumkonzentration bei der Mehr-Satz-Gruppe, was im Kontrast zu den Resultaten der Studie von Ostrowski et al.¹⁰⁵ steht. Es kam auch zu einem signifikanten Anstieg der IGF-1-Konzentration bei beiden Gruppen, ohne dass sich diese unterschieden, was sich auch mit den Ergebnissen von Borst et al.⁹ deckt. Unklar ist in diesem Zusammenhang allerdings, in wie weit die Untersuchungsmethodik entscheidenden Einfluss auf die gefundenen Ergebnisse hatte. In den Studien von Marx et al.⁸⁵ und Borst et al.⁹ wurde die Serumkonzentration und in der von Ostrowski et al.¹⁰⁵ wurden Veränderungen der urinalen Exkretion von Testosteron und Kortisol untersucht. Langfristig sollte eine Erhöhung der anabolen und Senkung der katabolen Hormonkonzentrationen zu einer Steigerung der Muskelmasse führen. Die Untersuchungen von Marx et al.⁸⁵ und Borst et al.⁹ legen den Schluss nahe, dass das 3ST in dieser Studie zu deutlich größerer Muskelhypertrophie hätte führen müssen, was aber nicht der Fall war. Wahrscheinlich war die Dauer dieser Studie nicht lang genug, damit sich eine Veränderung des hormonellen Milieus manifestieren konnte. Die Studien von Marx et al.⁸⁵ und Borst et al.⁹ waren 24 bzw. 25 Wochen lang, während die Studie von Ostrowski et al.¹⁰⁵ nur über einen Zeitraum von 10 Wochen lief. Somit ist zu vermuten, dass sich Veränderungen in der hormonellen Homöostase erst nach einigen Monaten entwickeln und dass erst dann Unterschiede zwischen Trainingsprogrammen mit unter-

schiedlicher Satzzahl in Bezug auf die Hormonkonzentration in Ruhe entstehen können.

Es ist denkbar, dass das Training in dieser Studie nicht intensiv genug oder mit nicht ausreichend vielen Übungen durchgeführt wurde, um kurzfristige Ausschläge der Hormonkonzentration und langfristige Veränderungen der hormonellen Homöostase hervorzurufen. In dieser Untersuchung wurde mit einer Last trainiert, die dem 6-10RM entsprach. Hinzu kamen noch pro Satz zwei assistierte Wiederholungen, um eine noch größere Ausbelastung und eine Rekrutierung von einer großen Anzahl von motorischen Einheiten zu erreichen. Es ist gezeigt worden, dass ein Training mit einer Last von 10RM im Vergleich zu einer Last von 5RM und ein Training mit einer Pause von 1 Minute im Vergleich zu einer Pause von 3 Minuten größere Hormonreaktionen hervorruft^{71, 74}. In der vorliegenden Untersuchung wurde eine Pause zwischen den Sätzen beim 3ST von 1 Minute erlaubt, um eine kumulierende Ermüdung zu gewährleisten. Ausserdem entscheidet die Übungsauswahl über die Höhe der akuten hormonellen Auslenkung. Je größer die aktivierte Muskelmasse während des Trainings ist, desto stärker fällt die Steigerung der Hormonkonzentration aus⁵⁵. Hansen et al.⁵⁵ konnten zeigen, dass die Hinzunahme einer Übung für die Beine in ein Krafttrainingsprogramm für die Arme zu einer deutlichen Erhöhung der Hormonreaktion führt. In dieser Studie wurden in jeder Trainingseinheit sowohl Oberkörper- als auch Beinmuskeln trainiert, was darauf schliessen lässt, dass die Auswahl der Übungen eine ausreichend hohe Muskelmasse angesprochen hat, um hormonelle Ausschläge hervorzurufen. Allerdings konnten einige der Probanden aufgrund von Verletzungen, die nicht mit dieser Studie zusammenhingen, an der Beinpresse nicht trainieren oder mussten das Training an dieser Übung abbrechen. Ob diese Tatsache die Ergebnisse beeinflusst hat, ist nicht mit letzter Sicherheit zu klären. Allerdings ergibt die – nach Teilnahme am Training an der Beinpresse getrennte – Auswertung der prozentualen Verbesserungen der 1RM-Werte beim Bizepscurl und beim Bankdrücken und der Muskeldicke am m. biceps brachii mit Hilfe der Satzanalyse keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Probanden, die an der Beinpresse trainierten, und denen, die das nicht taten. Somit ist

auszuschliessen, dass die Nichtteilnahme am Training für die Beine negative Folgen für die Veränderungen des 1RM an den anderen Übungen hatte.

Trainingsstatistik

Die Daten der Trainingsstatistik geben noch zusätzliche Einsicht in die potentiellen Effekte von Training mit unterschiedlicher Satzzahl. In dieser Studie wurde mit einer Wiederholungsanzahl von 8-12 pro Satz trainiert. Es ist zu vermuten, dass das Training in diesem Wiederholungsbereich spezifische Anpassungen hervorruft, die vor allem zu einer Leistungssteigerung in diesem Wiederholungsanzahlbereich führt. Da der Kraftausdauerparameter MaxWdh80% sich als nicht reliabel genug erwies, kann die Trainingsstatistik bessere Aussagen treffen über die Spezifität der Trainingsanpassungen mit Programmen mit unterschiedlicher Satzzahl. In der Studie von Starkey et al.¹²⁷, die nach meiner Kenntnis die einzige ist, in der eine Trainingsstatistik erhoben wurde, kam es beim Training mit dem Beinstrecker und Beinbeuger zu signifikanten Steigerungen des Trainingsgewichtes im Laufe der 14 Trainingswochen. Dabei entwickelte sich das Trainingsgewicht während des 1ST (Beinstrecker / Beinbeuger: 38% / 53% (nach 7 Wochen); 55% / 72% (nach 14 Wochen)) ähnlich und nicht signifikant unterschiedlich wie während des 3ST (Beinstrecker / Beinbeuger: 40% / 48% (nach 7 Wochen); 52% / 62% (nach 14 Wochen)). Die Verbesserungen des Trainingsgewichtes in der Studie von Starkey et al.¹²⁷ liegt somit auch nach nur 7 Wochen deutlich höher als in dieser Studie. Dies ist erklärbar zum einen durch die unterschiedlichen Trainingsübungen, wobei der Beinstrecker bzw. Beinbeuger durch ihre alltagsfremde Bewegungsmuster ein deutlich höheres Maß an spezifischer Kraftsteigerung durch koordinative Verbesserungen aufweisen als der Bizepscurl, die Beinpresse und das Bankdrücken. Zum anderen ist durch die Habitualisierungsphase in dieser Studie das Potential für Kraftsteigerungen aufgrund von koordinativen Verbesserungen reduziert worden. Die Entwicklung des Trainingsgewichtes in Trainingsphase #1 wies einen ähnlichen Verlauf auf wie die in der Studie von Starkey et al.¹²⁷. Das Trainingsgewicht bei allen Übungen wurde von G1 (1ST) und G3 (3ST) signifikant und nicht unterschiedlich stark gesteigert. In Trainingsphase #2

konnte nur noch G1 (3ST) das Trainingsgewicht erhöhen, während G3 (1ST) stagnierte. Die prozentuale Erhöhung des Trainingsgewichtes unterschied sich signifikant zwischen den Gruppen beim Bizepscurl und bei der Beinpresse links und rechts. Die Steigerung des Trainingsgewichtes in der Studie von Starkey et al.¹²⁷ lag deutlich höher als die Verbesserung der isometrischen Maximalkraftwerte. Das ist mit der Spezifität der Trainingsanpassungen zu erklären, die zu Verbesserungen der Leistung in dem Wiederholungsbereich führen, in dem trainiert wird. In dieser Studie lagen die Steigerungen des Trainingsgewichtes nur marginal über den Verbesserungen der 1RM-Leistung. Die Erhöhung des Trainingsgewichtes könnte durch die höhere Reizsetzung als unmittelbarer Vorläufer einer Maximalkraftsteigerung angesehen werden. Die Korrelationen zwischen den Steigerungen des Trainingsgewichtes und des 1RM waren für alle Übungen und beide Trainingsphasen signifikant und lagen zwischen $r=0,51$ und $r=0,74$. Das zeigt, dass ein starker Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern besteht und dass aber auch andere Faktoren eine Rolle spielen. Somit könnten die signifikant höheren Steigerungen des Trainingsgewichtes bei G1 (3ST) im Vergleich zu G3 (1ST) in Trainingsphase #2 bei gleichen Wiederholungszahlen ein Indikator für ein stärkeres Adaptationspotential des 3ST bei Personen mit verbessertem Trainingsstatus sein. Die Dauer der Trainingsphase #2 hat möglicherweise nicht ausgereicht, um die Anpassungsunterschiede zwischen 1ST und 3ST bei dem Parameter 1RM bei der Beinpresse (links und rechts) nach Erlernen der grundsätzlichen Bewegungsmuster und motivationalen Faktoren signifikant werden zu lassen. Die Steigerungen des Trainingsgewichtes als möglicher Indikator der baldigen Maximalkraftentwicklung lassen die Vermutung zu, dass eine längere Trainingsphase auch zu statistisch nachweisbaren Unterschieden bei der Maximalkraftentwicklung geführt hätte.

EMG

Die Daten der EMG-Untersuchung bei isometrischer, gehaltener MVC zeigen keine klare Tendenz. Nur G1 (1ST) konnte die isometrische Maximalkraft in Trainingsphase #1 steigern. Das steht im Gegensatz zu den dynamischen 1RM-Resultaten beim Bizepscurl, wo zum einen deutlich

größere Steigerungen möglich waren und wo es zu einem signifikanten Unterschied zwischen G1 (3ST) und G3 (1ST) in Trainingsphase #2 gekommen ist. Diese Diskrepanz der beiden Maximalkraft-Ergebnisse lässt sich durch die unterschiedlichen Kontraktionsformen während der Testsituationen erklären. Das Prinzip der Spezifität erklärt, dass eine Leistung in einer bestimmten Testsituation in desto größerem Umfang verbessert werden kann, je stärker das Training der abgefragten Leistung in der Testsituation (in Bezug auf Bewegungsausführung, -geschwindigkeit, -intensität, Kontraktionsform, etc.) ähnelt^{43, 44, 46, 69, 76}. Die Ergebnisse dieser Studie bestärken die Vermutung, dass die Studien^{13, 82, 95, 111, 112, 126, 127}, die Auswirkungen von dynamischen Trainingsmethoden mit unterschiedlicher Satzzahl auf die isometrische Maximalkraft untersuchten, keine Antwort auf die Frage der Satzzahl geben können. Isometrische Kontraktionen erfordern andere neuronale Ansteuerungsmuster als dynamische, wodurch sich der Lerneffekt des Trainings in sehr viel höherem Maße auf die trainierte Kontraktionsform übertragen lässt⁹⁹. Hinzu kommt, dass der isometrische Test unilateral, während das Training am Bizepscurl beidarmig ausgeführt wurde, was einen weiteren Unterschied zwischen Test- und Trainingsmodalitäten darstellt, der die Effekte des Trainings mit unterschiedlicher Satzzahl nicht an der isometrischen Maximalkraftleistung ablesbar macht.

Somit kann aufgrund der EMG- und Isometriedaten – im Zusammenhang mit der Gruppenanalyse – nicht davon gesprochen werden, dass sie Unterschiede in der Entwicklung der dynamischen Maximalkraftwerte erklären können. Es wird durch die vorliegende Studie deutlich, dass die Auswirkungen von Krafttraining nur mit spezifischen Testmethoden untersucht werden sollten. Unspezifische Testungen können Unterschiede zwischen verschiedenen Trainingsformen nicht akkurat genug aufdecken.

11.2 Satzanalyse

Die Satzanalyse bietet die Möglichkeit, die Auswirkungen der beiden Trainingsregime unter Ausschluss von genetischer Variation zu untersuchen. Dadurch wird eine weitere Variable kontrolliert, die potentiell

zu Verfälschungen bei den Resultaten von Trainingsinterventionen führen kann.

Maximalkraft

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen stärkere Zuwächse bei der Maximalkraft und der Muskeldicke am m. biceps brachii im Laufe des 3ST als während des 1ST. Die Unterschiede zwischen 3ST und 1ST waren nur bei der prozentualen Verbesserung des 1RM beim Bizepscurl und Bankdrücken signifikant. Beim Bizepscurl lag der Unterschied bei der Verbesserung des 1RM bei 2,3 kg oder 10,0%. Die entsprechenden Werte für die anderen Übungen lagen bei: Beinpresse (links): 10,9 kg (6,1%); Beinpresse (rechts): 8,9 kg (3,6%); Bankdrücken: 2,5 kg (5,9%). Der Unterschied zwischen 1ST und 3ST bei der prozentualen Verbesserung des 1RM der Beinpresse war ähnlich wie beim Bankdrücken, doch waren aufgrund einer kleineren Zahl von Probanden, die das Training an der Beinpresse beenden konnten, diese Unterschiede nicht signifikant.

Die Vorgehensweise der Satzanalyse ist meines Wissens in dem Bereich der Longitudinal-Trainings-Studien bisher einzigartig. Sie ermöglicht einen genaueren Blick auf die beiden Trainingsformen dieser Studie. In Anbetracht des Ausschlusses genetischer Unterschiede sind die Mittelwerte der 1RM-Leistungen deutlich weniger der Gefahr ausgesetzt, Zufallsprodukte zu sein. Die Unterschiede zwischen den Effekten des 1ST und des 3ST sind nicht sehr groß und nur in dem Fall des Bizepscurls und des Bankdrückens signifikant. Trotz der fehlenden Signifikanz der Unterschiede bei der Beinpresse erhalten diese Unterschiede mehr Gewicht, wenn man sich vor Augen führt, dass dieselben Personen nach 9 Wochen Training im Schnitt eine um ~10kg höhere 1RM-Leistung pro Bein mit dem 3ST als mit dem 1ST aufzuweisen hatten. Man kann nur bei den Übungen Bizepscurl und Bankdrücken von signifikanten Unterschieden zwischen den Effekten der beiden Trainingsformen sprechen, doch erscheinen die Unterschiede bei allen Übungen relevant, da die Wahrscheinlichkeit für ein zufälliges Zustandekommen dieser Unterschiede – in Bezug auf diese Probandengruppe – sehr gering ist.

Die Tatsache, dass die Unterschiede in der Entwicklung der Maximalkraft nur für die Übungen des Oberkörpers signifikant waren, überrascht etwas, da die Ergebnisse einer anderen Studie eher auf das Gegenteil schliessen lassen. Paulsen et al.¹⁰⁶ haben in ihrer Untersuchung verschiedene Anpassungen an unterschiedliche Satzzahlen nur in den Übungen für die Beine und nicht für den Oberkörper gefunden. Sie stellen – basierend auf ihren Ergebnissen – die Hypothese auf, dass die Beinmuskeln, die dauerhaft der Gravitationskraft entgegenarbeiten, einen größeren Krafttrainingsreiz brauchen, um Anpassungen hervorzurufen. So logisch, begründet und durch die Resultate ihrer eigenen Studie auch gestützt diese Hypothese von Paulsen et al.¹⁰⁶ auch ist, sie deckt sich nicht mit den Maximalkrftergebnissen der vorliegenden Studie. Zwei Gründe können diesen Unterschied erklären. Erstens ist bei jeder Messung der Maximalkraft eine moderate Variabilität in Höhe von $\pm 5-15\%$ ^{10, 17, 138, 140, 143} mit einzukalkulieren. Der Reliabilitätskoeffizient bei dieser Untersuchung für die Messung der Maximalkraft an zwei verschiedenen Tagen lag bei allen 4 Übungen zwischen $r=0,92-0,97$ und ist somit als hoch zu bewerten. Der Reliabilitätskoeffizient ist aber kein Maß für die Variabilität der Messergebnisse und kann deshalb nur ansatzweise Aufschluss darüber geben, wie stark die beiden Messungen voneinander abweichen. Der Variationskoeffizient lag in dieser Studie bei allen Übungen zwischen 6,7% und 8,1% für die 1RM-Bestimmung und somit in dem Bereich, der in den oben genannten Studien^{10, 17, 138, 140, 143} ermittelt wurde. Diese normale Variabilität der Ergebnisse macht es möglich, dass Unterschiede bei einigen Übungen ihre Signifikanz verlieren oder hinzugewinnen. Somit könnte der Unterschied zwischen dieser Untersuchung und der Studie von Paulsen et al.¹⁰⁶, aber auch einer langen Reihe anderer Trainingsstudien, die die Frage der Satzzahl untersuchten, zufällig, d.h. aufgrund von normalen Schwankungen der Maximalkraftleistung, zustande gekommen sein. Zweitens deuten persönliche Eindrücke durch Gespräche mit den Probanden darauf hin, dass die in dieser Studie verwendete Beinpresse für die meisten Teilnehmer eine unangenehme Übung war. Viele von ihnen fühlten sich unwohl, aufgrund der Sitzhaltung und aber auch aufgrund der Anstrengung, die mit diesem Gerät – wegen der großen zu aktivierenden

Muskelmasse – verbunden ist. Diese Eindrücke sind keine systematisch erhobenen Meinungen, und somit nicht verwertbar als Erklärung für die Tatsache, dass die Unterschiede bei den Oberkörper-Übungen signifikant und bei der Beinpresse nicht signifikant waren. Interessant in diesem Zusammenhang ist auch die frühe Stagnation der 1RM-Leistung bei der Beinpresse (links und rechts), die nur bis zum Zwischen-Test gesteigert werden konnte und sich danach nicht weiter entwickelte. Psychische Inhibition könnte der Grund für dieses sehr frühe Erreichen eines Maximalkraftplateaus sein.

Interessanterweise entwickelten sich die Trainingsgewichte in etwas anderer Weise als es die 1RM-Werte getan haben. Es kam zu signifikant größeren Steigerung des Trainingsgewichtes während des 3ST beim Bizepscurl und bei der Beinpresse (links) im Vergleich zum 1ST. Auch die Steigerungen des Trainingsgewichtes bei der Beinpresse (rechts) ($p=0,08$) und beim Bankdrücken ($p=0,107$) waren deutlich unterschiedlich zwischen den Trainingsformen, doch erreichte dieser Unterschied nicht die Signifikanz, was vermutlich einer zu kleinen Probandenanzahl geschuldet ist. Die größten Unterschiede waren bei der Steigerung des Trainingsgewichtes bei den beiden Beinpresse-Übungen zu sehen. Diese Tatsache lässt sich als möglicher Indikator für die Hypothese von Paulsen et al.¹⁰⁶ interpretieren, obwohl das Trainingsgewicht ein nicht so aussagekräftiger Parameter ist wie das 1RM.

Das Summen-1RM zeigte keine signifikant unterschiedliche Anpassung der Probandengruppe an Trainingsprogramme mit verschiedenen Satzzahlen. Das S-1RM ist zwar eine Art Zusammenfassung der Ergebnisse der einzelnen Übungen, doch ist es aufgrund der unterschiedlich hohen 1RM-Werte tendenziell ein Parameter, der die Ergebnisse an der Beinpresse in höherem Maße berücksichtigt als die der beiden anderen Übungen. Das erklärt möglicherweise auch, warum das S-1RM trotz signifikant unterschiedlichen Verbesserungen beim Bizepscurl und beim Bankdrücken keine signifikanten Unterschiede zwischen den Effekten der beiden Trainingsregime aufdecken konnte. Nichtsdestotrotz ist auch für den Parameter S-1RM zu konstatieren, dass – aufgrund der analytischen Vorgehensweise mit der Satzanalyse und der damit verbundenen personellen

Deckungsgleichheit der Probandengruppen – die Unterschiede als relevant zu bezeichnen sind. Durch das 3ST steigerte sich das S-1RM um 14,3 kg mehr als durch das 1ST, was einem Unterschied von 5,2% ($p=0,116$) bei der durchschnittlichen Verbesserung während des Trainings entspricht. Der Unterschied beim S-1RM beim Post-Test zwischen 1ST und 3ST war annähernd signifikant ($p=0,097$). Das S-1RM wurde für die Probanden gebildet, die alle Tests an allen Übungen absolviert hatten. Somit war – genauso wie an der Beinpresse bzw. durch die Drop-Out-Quote bei der Beinpresse bedingt – die Probandenzahl, die in die Auswertung des S-1RM genommen wurden, reduziert. Das erklärt, warum die relativ großen Unterschiede bei der prozentualen Steigerung während 1ST und 3ST nicht zu einer statistischen Signifikanz geführt haben.

Muskeldicke

Obwohl die Steigerungen der Maximalkraft und des Trainingsgewichtes beim Bizepscurl signifikant unterschiedlich zwischen 1ST und 3ST waren, konnten keine Unterschiede zwischen den Effekten der beiden Trainingsformen bei der Muskeldicke nachgewiesen werden. Als wahrscheinlichste Erklärung erscheint, dass die Dauer der Trainingsphasen mit 9 Wochen nicht ausreichend lang war, um Unterschiede bei der Muskelhypertrophie des m. biceps brachii zu entwickeln. Allerdings könnte die Entwicklung des Trainingsgewichtes darauf hindeuten, dass aufgrund der langfristig höheren Belastung ein größerer Hypertrophiereiz auf die Muskulatur mit einem 3ST ausgeübt werden würde. Der Zusammenhang zwischen Entwicklung des Trainingsgewichtes und Muskelhypertrophie ist allerdings nicht nachgewiesen. In dieser Studie waren die Korrelationen zwischen den Steigerungen des Trainingsgewichtes beim Bizepscurl und der Vergrößerungen der Muskeldicke des m. biceps brachii nicht signifikant und klein während des 1ST ($r=0,26$ / $n=22$) und während des 3ST ($r=0,09$ / $n=22$). Vollkommen überraschend ist die Tatsache, dass bei der neuronalen Aktivierungsfähigkeit (vgl. Anhang) das 1-Satz-Training zu einer höheren (n.s. / $p=0,277$) Steigerung des iEMG führte. Die EMG-Messung wurde während einer gehaltenen isometrischen Kontraktion durchgeführt, was einer Aufgabenkonstellation entspricht, die deutlich anders als während

einer dynamischen 1RM-Testung oder der Ermittlung der MaxWdh80%-Leistung ist. Somit erfolgte die Steigerung des iEMG in einer spezifischen Testsituation, deren Ergebnisse nicht auf die der anderen Tests zu übertragen ist. Denkbar ist, dass das 1-Satz-Training deshalb einen positiven Effekt auf die neuronale Aktivierungsfähigkeit ausgeübt hat, weil durch die einmalige Ausbelastung im Training die Bereitschaft und/oder die Fähigkeit zu einer größeren Ausbelastung auch während der isometrischen Kontraktion entstehen konnte. Die mehrmalige Belastung während eines Mehr-Satz-Trainings könnte zu psychischen Inhibitionen bei der Bereitschaft und/oder der Fähigkeit zur einmaligen Ausbelastung führen. Über diese Frage kann anhand der vorliegenden Daten nur spekuliert werden. Da auch die Frequenzparameter MF und MPF keine Unterschiede zwischen den Auswirkungen der beiden Trainingsformen aufdecken konnten, bleibt es unklar, welcher Natur die Unterschiede bei der dynamischen Maximalkraft beim Bizepscurl zwischen 1ST und 3ST waren.

Aufgrund der belegten Zusammenhänge zwischen Krafttrainingsvolumen und Anstieg der Hormonkonzentration^{40, 98} auf der einen Seite und zwischen Anstieg der Hormonkonzentration und Maximalkraftsteigerung⁵⁵ auf der anderen Seite ist eine Überlegenheit eines Krafttrainings mit mehreren Sätzen gegenüber einem 1-Satz-Training zu erwarten. Die Daten der Satzanalyse dieser Studie lassen den Schluss zu, dass diese Erwartung richtig ist, doch erbringen sie nicht den endgültigen Beweis. Die Maximalkraftentwicklung während der Trainingsformen war teilweise (bei zwei Übungen) signifikant, aber bei allen Übungen relevant zugunsten des 3ST unterschiedlich. Zukünftige Studien mit einer größeren Probandenzahl könnten Gewissheit bringen, ob die Ergebnisse dieser Studie verallgemeinerbar sind.

11.3 Geschlechteranalyse

Die Auswertung der vorliegenden Daten nach Geschlechtern getrennt wurde deshalb zusätzlich durchgeführt, um ein höheres Maß an Homogenität der nach Geschlechtern getrennten Gruppen zu erreichen. Die Unterschiede zwischen den Geschlechtern beim Maximalkraftniveau, die in

dieser Untersuchung und in einer langen Reihe von anderen Studien^{50, 86, 87, 104, 120, 122} auftraten, erhöhen die Streuung innerhalb der Stichprobe, wodurch die statistischen Tests nur größere Unterschiede als signifikant einstufen. Durch eine Verringerung der Heterogenität der einzelnen Gruppen durch die Geschlechteranalyse wird die Wahrscheinlichkeit für signifikante Ergebnisse erhöht. Auf der anderen Seite wird dieser Effekt durch die Verkleinerung der Probandenzahl konterkariert. Rein sachlich könnte es durch biologisch-physiologische, v.a. endokrine^{49-51, 73, 79}, und sozial-psychologische⁵⁹ Unterschiede zwischen den Geschlechtern zu unterschiedlichen Anpassungen an verschiedene Krafttrainingsvolumina kommen, was durch die Geschlechteranalyse untersucht werden sollte.

Mit Hilfe der Geschlechteranalyse konnten interessante Einblicke in die Frage der Satzzahl gewonnen werden. Die Männer dieser Studie konnten ihre 1RM-Leistung bei allen Übungen und bei beiden Trainingsregimen signifikant steigern, doch unterschied sich die prozentuale Verbesserung nur beim Bizepscurl signifikant zwischen 1ST und 3ST. Aufgrund des Ausschlusses von genetischer Variation erscheinen die Unterschiede, wenn zwar nicht signifikant, auch bei den anderen Übungen relevant. Das 3ST bewirkte bei den Männern eine größere 1RM-Steigerung beim Bizepscurl von 2,3kg (8,4%), bei der Beinpresse (links) von 12,5kg (5,1%), bei der Beinpresse (rechts) von 9,2kg (2,0%) und beim Bankdrücken von 1,8kg (2,1%) als das 1ST. Die Unterschiede zwischen den 1RM-Werten beim Post-Test des 1ST und des 3ST bei der Beinpresse (rechts) ($p=0,075$), beim Bankdrücken ($p=0,054$) und beim Summen-1RM ($p=0,077$) waren annähernd signifikant. Diese Wirkungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen in einem Zeitraum von 9 Wochen bei der identischen Stichprobe von Männern deutet daraufhin, dass das Training mit mehreren Sätzen für die Entwicklung der Maximalkraft bei Männern effektiver ist als ein 1-Satz-Training. Die Daten der Trainingsstatistik ergaben ähnliche Tendenzen wie die 1RM-Werte.

Bei den Frauen gab es bei der Geschlechteranalyse noch klarere Tendenzen zugunsten des 3ST als bei den Männern. Das 3ST bewirkte bei den Frauen eine größere (n.s.) 1RM-Steigerung beim Bizepscurl von 2,1kg (12,6%), bei der Beinpresse (links) von 8,3kg (7,7%), bei der Beinpresse (rechts) von 8,6kg

(5,6%) und beim Bankdrücken von 3,4kg (11,0%) als das 1ST. Diese Unterschiede in der prozentualen Verbesserung waren annähernd signifikant für den Bizepscurl ($p=0,082$) und das Bankdrücken ($p=0,072$). Hinzu kommt, dass das 3ST bei allen Übungen eine signifikante Steigerung des 1RM bewirken konnte, während das 1ST nur das 1RM beim Bizepscurl und Bankdrücken signifikant steigerte. In Anbetracht dessen, dass es sich um die identische Stichprobe von Frauen handelte, die beide Trainingsprogramme absolvierte, lässt sich, trotz nicht signifikanter, von relevanten Unterschieden sprechen. Die Entwicklung des Trainingsgewichtes ergab ähnliche Tendenzen wie die der 1RM-Werte. Nur das 3ST bewirkte eine signifikante Steigerung der Muskeldicke des m. biceps brachii und die Muskeldicke beim Post-Test war signifikant größer nach dem 3ST ($3,09 \pm 0,22$ cm) als nach dem 1ST ($2,97 \pm 0,25$ cm), was die Unterschiede in der Maximalkraftentwicklung beim Bizepscurl teilweise erklärt.

Die Unterschiede zwischen Männern und Frauen bei der Anpassung an Training mit unterschiedlicher Satzzahl ist vor allem dadurch gekennzeichnet, dass die Geschlechter ähnlich auf das 1-Satz-Training reagierten und dass Frauen größere Adaptationen an das 3ST als die Männer zeigten. Eine Erklärung für diesen Sachverhalt ist schwierig zu finden. Erstens ist es denkbar, dass aufgrund des vorherrschenden, weiblichen Rollenbildes, d.h. – pauschalisierend – möglichst „weich und schwach“⁴⁻⁶ zu sein, die alltägliche Belastung der Muskulatur wenig Kraftreize beinhaltet. Dadurch waren die Frauen am Beginn der Trainingsphase #1 möglicherweise weniger (kraft-)trainiert als die männlichen Probanden. Unter Umständen war deshalb das relative Adaptationspotential an Krafttraining bei den Frauen dieser Studie höher als bei den Männern. Das würde erklären, warum die Frauen größere Anpassungen an das 3ST im Vergleich zu den männlichen Teilnehmern aufwiesen. Aufgrund des weiblichen Rollenbildes könnte bei den weiblichen Teilnehmern dieser Studie eine Inhibition bestanden haben, sich während der einzelnen Sätze objektiv auszubelasten. Es ist wahrscheinlich, dass nur wenige Frauen es als erstrebenswertes Attribut ansehen, sich quälen zu können. Wenn diese Inhibition bestanden hat und es vor allem Frauen schwer gefallen ist, sich objektiv auszubelasten, dürfte sich das besonders

beim 1ST negativ auf die Entwicklung des 1RM ausgewirkt haben, da das 1ST auf die einmalige Ermüdung einer möglichst großen Zahl von motorischen Einheiten angewiesen ist. Das 3ST hingegen ermöglicht eine akkumulierende Ermüdung der motorischen Einheiten, wenn die Pausen zwischen den Sätzen kurz genug sind, wie das in dieser Studie mit einer Minute der Fall war. Zweitens ist es möglich, dass Frauen früher mit der Adaptation an einen Krafttrainingsreiz stagnieren⁴³ als Männer. Das würde bedeuten, dass sie bei gleichbleibender Belastung schneller an den Punkt kommen, an dem das Training keinen Effekt mehr hat, d.h. an dem die Schwellenbelastung, die erforderlich für Anpassungen ist, nicht mehr überschritten wird, weil sich der Körper der Frauen im Verhältnis zum Entwicklungspotential schneller als der der Männer an die Belastung angepasst hat. Wenn man davon ausgeht, dass ein Teil dieser Schwelle das nötige Volumen ist, würde das erklären, warum Frauen größere Unterschiede bei den Anpassungen von Trainingsprogrammen mit unterschiedlicher Satzzahl aufweisen als Männer. Drittens ist nicht auszuschliessen, dass auch diese Ergebnisse aufgrund der großen Variation an individuellen Potentialen zur Anpassung an Krafttraining, was sich an der großen Streuung der Min-Max-Werte in Tabelle 21 ausdrückt, nur zufällig entstanden sind.

Auch hier müssen zukünftige Studien mit gleichem Design durchgeführt werden, um die Ergebnisse dieser Studie, die nur als Tendenz zu werten sind, zu erhärten.

11.4 Trainingsstatusanalyse

Die Zuteilung der Probanden in verschiedene Trainingsstatusgruppen ergab keinerlei zusätzliche Erkenntnisse. Die Satzanalyse ergab nur für die Gruppe der Probanden mit einem niedrigeren 1RM/KG-Quotienten beim Bizepscurl und für die Gruppe mit einem höheren 1RM/KG-Quotienten beim Summen-1RM einen signifikant größeren 1RM-Zuwachs beim 3ST als beim 1ST. Die gesamte Probandengruppe bestand aus untrainierten Männern und Frauen. Unterschiede in der relativen Maximalkraft können somit nicht durch einen unterschiedlichen Krafttrainingsstatus, sondern vielmehr durch

genetische Variation und Alltagsgebrauch der relevanten Muskelgruppen erklärt werden. Somit basiert die Zuteilung der Probanden zu den Gruppen TS1 und TS2 auf krafttrainingsfernen Aspekten. Es ist davon auszugehen, dass jedes Individuum genetisch-determinierte Grenzen bei der Entwicklung der Maximalkraft besitzt. Je trainierter eine Person ist, um so näher kommt sie an die obere Grenze heran, und dementsprechend kleiner wird die potentielle Weiterentwicklung der Maximalkraft. Die Probanden dieser Studie waren durchweg Personen, die mindestens ein Jahr vor Beginn dieser Untersuchung kein regelmäßiges oder leistungsorientiertes Krafttraining durchgeführt hatten. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die genetisch-determinierte potentielle Weiterentwicklung der Maximalkraft nicht durch ein vorangegangenes Krafttraining beeinträchtigt worden ist.

Eine mögliche Antwort auf die Frage der nötigen Sätze beim Krafttraining ist, dass bei zuvor untrainierten Personen das Krafttrainingsvolumen einen geringeren Einfluss auf die 1RM-Entwicklung hat als bei trainierten¹²³. Kurz gesagt: Je trainierter jemand wird, desto mehr Aufwand (sowohl größeres Volumen, als auch höhere Intensität) muss er aufwenden, um weiter Anpassungen an das Training hervorzurufen. Diese Frage sollte mit Hilfe der Trainingsstatusanalyse beleuchtet werden. Doch da zwar die relative Maximalkraft, aber mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht der Krafttrainingsstatus (d.h. das genetisch-determinierte Weiterentwicklungspotential der Maximalkraft) zwischen den Gruppen TS1 und TS2 verschieden war, wird deutlich, dass diese Frage mit der vorhandenen Probandengruppe mit Hilfe der Trainingsstatusanalyse nicht beantwortbar ist. Allerdings deuten einige Ergebnisse der Gruppenanalyse auf diese These hin, da die Steigerungen in Trainingsphase #2 (nach bereits vollzogenem Erlernen der grundlegenden Bewegungsmuster und motivationalen Aspekte während Trainingsphase #1) bei der Gruppe, die mit dem 3ST trainierte, deutlich höher ausfielen als bei der Gruppe, die das 1ST durchführte.

Den einzigen Hinweis aus der Trainingsstatusanalyse für eine Bestätigung der These, dass besser trainierte Probanden ein größeres Krafttrainingsvolumen als Trainingsreiz brauchen, um noch Adaptationen hervorzurufen, lieferte das Summen-1RM. Die Gruppe TS1 verbesserte ihr S-1RM-Ergebnis signifikant mehr während des 3ST ($18,0\% \pm 8,7\%$) als

während des 1ST ($5,7\% \pm 7,2\%$), was für die Gruppe TS2 nicht zutraf. Erstaunlich in diesem Zusammenhang ist, dass die Höhe der Steigerung während des 3ST größer ausfiel als bei allen vier einzelnen Übungen. Das ist zum einen in der Tatsache begründet, dass nur Probanden, die für alle vier Übungen alle Tests absolvierten, in die Analyse des Parameters S-1RM einbezogen wurden. Zum anderen war die Trainingsstatusanalyse des S-1RM ein separater Prozess und somit differierte die Gruppenbesetzung von TS1 und TS2 bei den einzelnen 1RM-Parametern. Es ist denkbar, aber nicht sonderlich wahrscheinlich, dass die Gruppeneinteilung nach 1RM/KG-Quotienten in besser und weniger gut trainierte Probanden beim Summen-1RM präziser den Trainingsstatus aufdeckt. Wenn das der Fall sein sollte, wäre die Trainingsstatusanalyse des S-1RM als Indiz für die These des Einflusses von Trainingsstatus auf die Effekte von Krafttraining mit unterschiedlichen Volumina zu werten. Eine wahrscheinlichere Erklärung für die S-1RM-Entwicklung bei TS1 ist allerdings, dass diese signifikanten Unterschiede zufällig zustande gekommen sind, da der 1RM/KG-Quotient bei untrainierten Probanden durch krafttrainingsferne Aspekte beeinflusst wird.

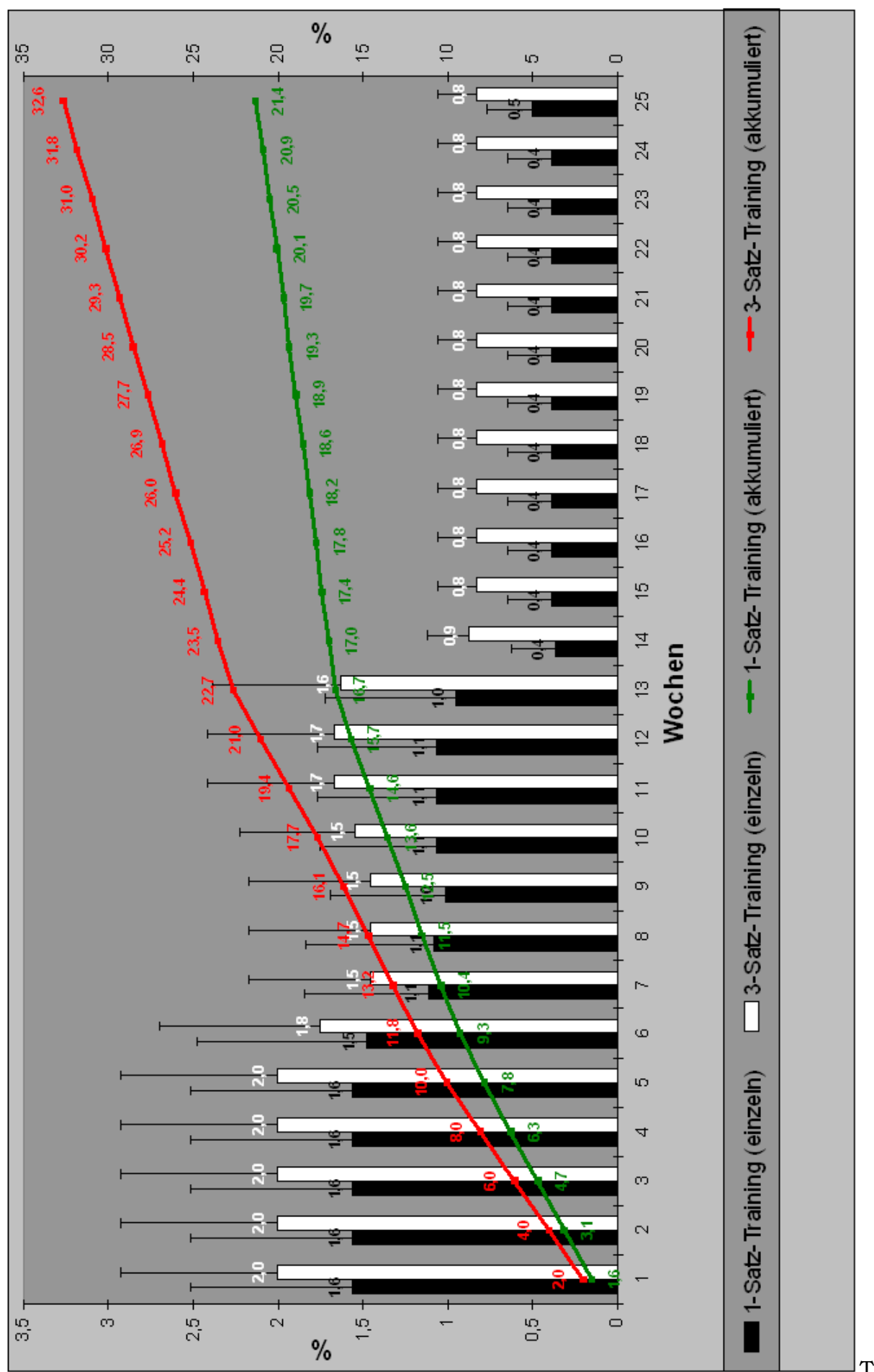
Für zukünftige Studien wäre es interessant, Gruppen mit tatsächlich untrainierten und trainierten Teilnehmern zu bilden und mögliche Unterschiede bei der Entwicklung der Maximalkraftparameter an verschiedene Krafttrainingsvolumina zu untersuchen. Nur dadurch könnte die These über den Einfluss von Trainingsstatus auf die Effekte von Krafttraining mit unterschiedlichen Volumina verifiziert werden.

12. Abschließende Gedanken + Zusammenfassung

Die Daten der vorliegenden Studie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- I. Die Gruppenanalyse konnte zeigen, dass die Reihenfolge der zu durchlaufenden Trainingsprogrammen mit unterschiedlichen Satzzahlen Einfluss auf die Entwicklung der Maximalkraft hat. In Trainingsphase #2 führte das 3ST nach dem Erlernen der grundsätzlichen Bewegungsmuster und motivationalen Erfordernissen während Trainingsphase #1 zu einer besseren Maximalkraftentwicklung.
- II. Die Satzanalyse zeigte, dass das 3ST bei der identischen Probandengruppe und unter Ausschluss von genetischer Heterogenität eine höhere Maximalkraftsteigerung bewirkt als das 1ST. Die Unterschiede zwischen den Effekten des 3ST und des 1ST waren zwar nur teilweise signifikant, aber angesichts der personellen Deckungsgleichheit der Probandengruppe erscheinen sie relevant.
- III. Die Geschlechteranalyse machte deutlich, daß Männer und Frauen unterschiedliche Anpassungen an Krafttrainingsformen mit verschiedenen Satzzahlen aufweisen, was möglicherweise mit psychisch-sozialen und physiologischen, vor allem endokrinen Unterschieden zwischen den Geschlechtern zu erklären ist.
- IV. Die Trainingsstatusanalyse zeigte vor allem, daß die Einteilung der Probanden nach – auf das Körpergewicht – relativierter Maximalkraft zu keiner akkuraten Differenzierung in trainiertere und untrainiertere Personen führt. Somit führte die Trainingsstatusanalyse zu keinen neuen Erkenntnissen.

Krafttraining mit mehreren Sätzen hat in allen bisher veröffentlichten Studien zu gleich großen oder signifikant größeren Erfolgen geführt als ein 1-Satz-Training. Somit stellt sich die Frage, wie deutlich das Mehr-Satz-Training die erfolgversprechendere Krafttrainingsmethode ist als das 1-Satz-Training oder ob aufgrund des geringeren Zeitaufwands das 1-Satz-Training das effizientere ist. Diese Frage lässt sich nicht pauschal beantworten, sondern muss differenziert nach Muskelgruppen, angestrebtem



rainingsziel, Trainingsstatus, Trainingsfrequenz, Trainingsintensität und maximal möglichem Zeitaufwand beurteilt werden.

In Abbildung 19 ist der Versuch dargestellt, die bisher veröffentlichten Studien zusammenzufassen. Die prozentualen Verbesserungen während der publizierten Untersuchungen^{8, 19, 23, 56, 57, 70, 81, 85, 105, 106, 114, 121}, deren Methodiken nachvollziehbar beschrieben wurden, und dieser Studie wurden

Abbildung 19 (gegenüberliegende Seite): Grafische Darstellung der prozentualen Verbesserungen der Maximalkraft durch jeweils unperiodisiertes 1-Satz-Training und 3-Satz-Training; Balken (linke Y-Achse) stellen die durchschnittliche Verbesserung der 1RM-Leistung in der jeweiligen Trainingswoche dar; Linien (rechte Y-Achse) repräsentieren den durchschnittlichen Verlauf der Maximalkraftsteigerungen als prozentuale Verbesserung relativ zum Pre-Training-Wert; bei der Errechnung der Prozentwerte wurde ein linearer Verlauf der Verbesserungen innerhalb der Trainingsperiode zwischen zwei Testungen zugrunde gelegt; die Daten stammen aus den veröffentlichten Studien^{8, 19, 23, 56, 57, 70, 81, 85, 105, 106, 114, 121} und dieser Untersuchung

für jede Trainingswoche errechnet. Dabei wurde für die Zeitspanne zwischen zwei Testungen ein linearer Verlauf der Trainingsanpassungen zugrunde gelegt. Aus den prozentualen Verbesserungen für die jeweilige Woche wurde der Mittelwert und die Standardabweichung aus allen Übungen der genannten Studien errechnet. Allerdings wurde keine Gewichtung nach Anzahl der untersuchten Probanden und keine Differenzierung nach getesteten Muskelgruppen vorgenommen. Somit kann diese Grafik nur als Hinweis und grobe Vereinfachung verstanden werden. Die Grafik zeigt für beide Trainingsformen relativ hohe 1RM-Verbesserungen während der ersten Wochen, die hauptsächlich auf Erlernen der Bewegungsmuster und der motivationalen Faktoren zurückzuführen sind¹¹⁷. Die Unterschiede zwischen den Trainingsregimen sind relativ klein. Je länger das Krafttraining fortgeführt wird, desto kleiner wird die absolute Steigerungsrate bei beiden Trainingsprogrammen. Die Anpassungsunterschiede zwischen 1-Satz- und 3-Satz-Training werden größer. Das 3-Satz-Training verursacht prozentuale Steigerungen, die bei 125% (Woche 1-6), bei 145% (Woche 7-13), bzw. bei 200% (Woche 14-25) der Verbesserungen durch das 1-Satz-Training lagen. Dieser Verlauf der Adaptationen konnte auch in der vorliegenden Studie bei

der Gruppenanalyse aufgezeigt werden. Auch hier waren die Steigerungen der Maximalkraftleistung während Trainingsphase #1, in der grundsätzliche Bewegungsmuster und motivationale Faktoren erlernt wurden, deutlich größer als während Trainingsphase #2. In der zweiten Trainingsphase allerdings waren die relativen Unterschiede zwischen den beiden Trainingsformen zugunsten des 3-Satz-Trainings deutlich ausgeprägter als in Trainingsphase #1. Diese Grafik lässt den Schluss zu, dass die Steigerung der Maximalkraft durch ein 3-Satz-Training höher ausfällt als bei einem 1-Satz-Training. Je trainierter die Sportler werden, desto größer wird der relative Vorteil des 3-Satz-Trainings gegenüber einem 1-Satz-Training. Es sei nochmal darauf hingewiesen, dass diese Grafik keine wissenschaftlichen Erkenntnisse liefern kann. Sie stellt vielmehr einen Hinweis für ein zugrundeliegendes Adaptationsmuster an unterschiedliche Krafttrainingsvolumen, das als Grundlage für zukünftige Studien dienen kann.

Aufgrund der Ergebnisse der Studie von Paulsen et al.¹⁰⁶ gibt es Hinweise, dass die verschiedenen Muskelgruppen wegen des Alltagsgebrauchs unterschiedliche Krafttrainingsvolumina brauchen, damit eine Adaptation hervorgerufen werden kann. Besonders eklatant ist dieser Unterschied zwischen den Muskeln der Beine und des Oberkörpers. Da die Beinmuskeln praktisch bei allen Bewegungen eine gegen die Gravitationskraft gerichtete Spannung aufrecht halten müssen, ist davon auszugehen, dass die Beinmuskeln die am besten auftrainierten Muskeln des Körpers sind. Durch diesen relativ hohen Trainingsstatus ist die Adaptationsschwelle für einen Trainingsreiz vermutlich höher als für die Muskeln mit niedrigerem Trainingsstatus. Hier kann möglicherweise ein Satz kein ausreichender Reiz sein, um eine Anpassung hin zu einem höheren Maximalkraftniveau zu bewirken. Auch innerhalb der Beinmuskeln und der Muskulatur des Oberkörpers sind möglicherweise Differenzierungen vorzunehmen. Dieser Sachverhalt konnte allerdings durch diese Studie nur anhand der Trainingsstatistik bestätigt werden.

Krafttraining wird mit sehr unterschiedlichen Zielstellungen angewandt. Neben der Verbesserung der Maximalkraft^{65, 104} und der Vergrößerung der Muskelmasse^{44, 62, 90} kann durch Krafttraining die Kraftausdauer¹⁰, die Schnell- und Explosivkraft^{42, 43, 63}, die anaerobe Kapazität^{20, 92, 130} und die

volitional-neuronale Ansteuerung der Skelettmuskulatur^{47, 60, 97} verbessert werden. Viele Leistungssportler bauen Krafttraining in ihren Trainingsalltag ein, um spezifische Teilaspekte ihrer Sportart gezielter verbessern zu können. Dabei spielt der Transfer von krafttrainingsspezifischen Anpassungen auf die sportartspezifische Leistungsfähigkeit die entscheidende Rolle^{48, 92}. Krafttraining ist zusätzlich eine sehr populär gewordene Form des Fitnesstrainings, wobei hier in der Regel die Vergrößerung der Muskelmasse und die gezielte Formung der körperlichen Proportionen im Vordergrund stehen. Als drittes Anwendungsgebiet wird Krafttraining als Präventions- und Rehabilitationsmaßnahme genutzt, um möglichen Krankheitsbildern vorzubeugen oder diese zu therapieren. Angemessen dosiertes Krafttraining reduziert das Risiko von koronaren Herzkrankheiten¹³⁰, Osteoporose, orthopädischen Verletzungen und nicht-insulin-abhängiger Diabetes⁹⁶, verzögert das Auftreten von altersbedingter Gebrechlichkeit⁴³, lindert Magen-Darm-Beschwerden durch Beschleunigung des gastrointestinalen Transits⁶⁷ und beugt Übergewicht durch Erhöhung des metabolischen Grundumsatzes vor. Die gewünschten Anpassungen bei präventiv- und rehabilitativ-medizinischem Training sind v.a. die Verbesserung der Muskelkraft⁶³, der allgemeinen Mobilität, des körperlichen Leistungsvermögens⁴³ und der Glukosetoleranz¹³⁰, Steigerung der Körpermagermasse^{118, 139}, der Knochendichte¹¹⁹ und der Stärke des Bindegewebes²⁶.

Alle diese Ziele erfordern ein individuelles Trainingsprogramm, das der individuellen Zielkonstellation, Leistungsfähigkeit, Vorerfahrung und ausserdem den sportlichen Präferenzen und Neigungen Rechnung trägt. Bei der Planung eines Krafttrainings haben folgende Steuerungsparameter entscheidende Bedeutung: Trainingsfrequenz, Trainingsintensität, Anzahl der Übungen, Trainingsvolumen (Satzzahl und Wiederholungsanzahl) und Pausenlänge. Die Satzzahl ist nur ein Steuerungsparameter unter vielen, entscheidet aber neben der Anzahl der Übungen über die zeitliche Länge einer Trainingseinheit. Generell gibt es eine sehr große Zahl an Kombinationsmöglichkeiten dieser Steuerungsgrößen. Die Frage der Satzzahl sollte immer im Kontext dieser Kombinationspotentiale betrachtet werden.

Bei einem Training, das auf Maximalkraft- und Muskelmassesteigerung ausgerichtet ist, reicht es für Anfänger aus, mit einem 1-Satz-Training und einem dementsprechend geringen Zeitaufwand zu trainieren. Zumindest für den Einsteiger ins Krafttraining scheint das 1-Satz-Training eine sinnvolle Trainingsmethode zu sein, weil eine erhöhte Anzahl von Sätzen keine nennenswert größeren Steigerungen für die Maximalkraft, die Muskelmasse oder die neuronale Aktivierungsfähigkeit zu bringen scheint. Um kontinuierliche Steigerungen erreichen zu können, sollte aber nach einem Zeitraum von etwa 1½ - 2 Monaten (vgl. Abbildung 19) die Satzzahl erhöht werden. Bei Fortgeschrittenen sollte mit mehreren Sätzen für die einzelnen Muskelgruppen trainiert werden. Das bedeutet allerdings nicht, dass die Sätze an einem Gerät durchzuführen sind. Eine generelle Trainingsplanung mit nur einem Satz pro Übung, aber mehreren Übungen pro Muskelgruppe ermöglicht dem Trainierenden ein höheres Maß an Abwechslung bei möglicherweise gleicher Anzahl von Sätzen pro Muskelgruppe. Dadurch kann die Eintönigkeit von Stationstraining vermieden, die Motivation aufrecht erhalten, größere Anpassungen des kardio-vaskulären Systems durch die zeitliche Verringerung der Pausen zwischen den Sätzen und ein höheres Maß an koordinativ-motorischer Bewegungsvielfalt ermöglicht werden.

Bei den Trainingszielen Schnellkraft-, Kraftausdauer- und anaerobe Kapazitätsverbesserung scheint aus theoretischer Sicht ein Mehr-Satz-einem 1-Satz-Training überlegen zu sein.

Schnellkraft ist als koordinative Fähigkeit zu sehen und ist somit vor allem durch vermehrtes Training zu verbessern, was durch mehrere Sätze gegeben wäre. Allerdings ist der entscheidende Faktor des Schnellkrafttrainings nicht die Satzzahl, sondern die Bewegungsgeschwindigkeit^{41, 43, 44, 125, 128}, was in den bisher publizierten Studien, die Schnellkraftparameter testeten, entweder keine oder nur einseitig auf der Seite des Mehr-Satz-Trainings Verwendung fand. Die Bewegungsgeschwindigkeit war entweder zu langsam^{105, 112, 134} oder nur bei einem periodisiertem Mehr-Satz-Training angemessen^{78, 85, 121}. Somit kann die theoretische Annahme, dass ein Mehr-Satz-Schnellkrafttraining per se einem 1-Satz-Schnellkrafttraining überlegen sei, bisher nicht empirisch belegt werden.

Kraftausdauer wird durch höheres Trainingsvolumen per Definition in größerem Umfang gesteigert, da längere Belastungen verstärkt die Ausdauerkomponente beanspruchen. Das wird auch durch eine Reihe von Studien gestützt^{23, 70, 85, 92}. Somit sollten mehrere Sätze das Mittel der Wahl sein, um das Trainingsziel Verbesserung der Kraftausdauer zu erreichen, was allerdings von dieser und der Untersuchung von Hass et al.⁵⁷ nicht bestätigt wird. Zusätzlich sei auch darauf hingewiesen, dass spezifisches Training der Kraftausdauer hauptsächlich über eine hohe Wiederholungsanzahl definiert wird^{41, 83, 125} und dass somit bisher kein wirklicher Vergleich zwischen einem spezifischen 1-Satz-Kraftausdauertraining und einem Mehr-Satz-Kraftausdauertraining durchgeführt wurde.

Die anaerobe Kapazität scheint auch durch ein Mehr-Satz-Training besser steigerbar zu sein als durch ein 1-Satz-Training. Da hier vor allem metabolische Prozesse entscheidend sind^{39, 130, 136}, erscheint es wahrscheinlich, dass durch eine vermehrte Reizsetzung in Form von mehreren Sätzen eine größere Verbesserung eintritt. Hierzu wurde allerdings erst eine Studie veröffentlicht⁹², die diese These bestätigt.

Weitere Faktoren bei der Krafttrainingsplanung sind die Trainingsfrequenz und die Trainingsintensität. Ein großes Krafttrainingsvolumen mit einer entsprechenden Trainingsfrequenz fordert den Gesamtorganismus sehr stark und kann zu Übertrainingszuständen führen^{77, 131, 132}. Das gleiche gilt für Krafttraining mit hoher Intensität und einem hohen Trainingsvolumen^{29, 30, 77}. In beiden Fällen könnte eine Reduktion des Trainingsvolumens, d.h. eine kleinere Satzzahl pro Übung, Übertrainingszustände vermeiden helfen und gleichzeitig eine hohe Intensität und hochfrequente Reizsetzung gewährleisten. Somit kann ein 1-Satz-Training auch bei intensiv trainierenden Personen eine gezielte Maßnahme zur Reduktion des Volumens und der Gesamtbelastung des Organismus sein. Das 1-Satz-Training kann ein wichtiges Element innerhalb eines periodisierten Trainingsjahres darstellen.

Ein Vorteil des 1-Satz-Trainings ist die geringe zeitliche Belastung der Trainierenden, die es ermöglicht, andere Trainingsziele durch andere Trainingsformen (Ausdauer-, Beweglichkeits-, Koordinationstraining) zu

erreichen. In der Diskussion um die Satzfrage wird häufig ausser acht gelassen, dass körperliche Fitness auch andere Dimensionen hat, die mit anderen Trainingsmethoden besser angesprochen werden können als mit Krafttraining. Somit kann es ratsam sein, die aufzubringende Zeit für das Krafttraining durch die Durchführung eines 1-Satz-Trainings zu reduzieren, um Zeit zu schaffen, auch andere Ziele zu verwirklichen. Auch für den Leistungssportler ist Krafttraining in den meisten Sportarten eine unspezifische Trainingsform, die wertvolle Zeit und Energieressourcen bindet, die möglicherweise für spezifischere Trainingsformen verwendet werden könnten. Für den Freizeit-Fitnesssportler kann es motivationsfördernd sein, wenn er keinen so großen zeitlichen Aufwand für sein Training aufbringen muss.

All dies muss bei der individuellen Trainingsplanung, sowohl von Freizeit- als auch Leistungssportlern, berücksichtigt werden. Trainingsplanung sollte nicht losgelöst von individuellen Bedingungen, Vorlieben, Veranlagungen, Trainingszielen und Vorerfahrungen sein. Bei der Suche nach dem individuell besten Trainingsplan sollte immer auch das 1-Satz-Training eine mögliche Trainingsmethode darstellen. Die Frage der Satzzahl lässt sich nicht pauschal beantworten.

13. Fazit und Ausblick

Es sind inzwischen sehr viele Studien veröffentlicht worden, die die Frage der Satzzahl untersuchten. Nur wenige davon lassen sich als wissenschaftlich wertvoll und aussagekräftig bezeichnen. Diese Studien und die vorliegende Untersuchung weisen auf ein mögliches Adaptationsmodell hin, das den zeitlichen Verlauf von Anpassungen der Maximalkraft an

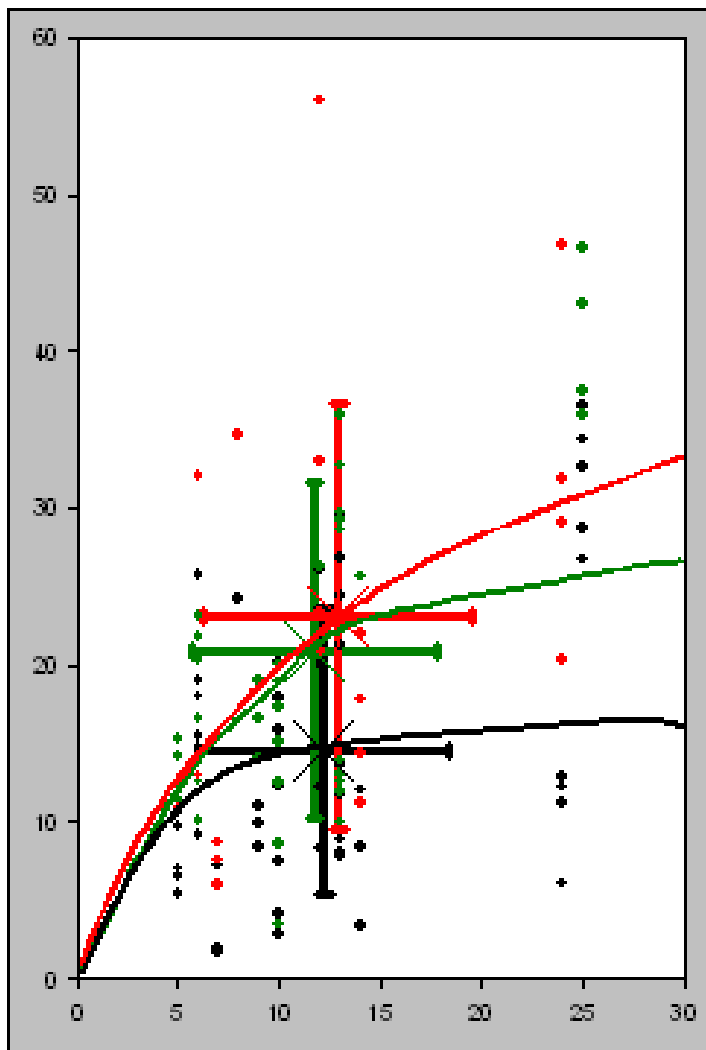


Abbildung 20: Grafische Darstellung der prozentualen Steigerungen der Maximalkraft aufgetragen gegen die Zeit in Wochen für Krafttraining mit einem Satz (schwarz), mit drei Sätzen (grün) und mit einem periodisierten Mehr-Satz-Programm (rot); Linien stellen schematisch den potentiellen Verlauf der Anpassungen der Maximalkraft an Krafttraining mit unterschiedlichen Programmen (Farben: vgl. oben); die Werte der prozentualen Steigerungen der Maximalkraft sind entnommen aus den publizierten Studien^{8, 19, 23, 56, 57, 70, 81, 85, 105, 106, 114, 121} und dieser Studie

Krafttraining mit unterschiedlichen Satzzahlen beschreiben könnte. Dieses Modell ist in Abbildung 20 schematisch dargestellt. Es geht davon aus, dass die Steigerung der Maximalkraft bei Anfängern mit einer annähernd gleichen Rate unabhängig von der Satzzahl verläuft. Erst ab einem bestimmten Zeitpunkt, der höchstwahrscheinlich individuell unterschiedlich ist, führt das 1-Satz-Training zu einer Leistungsstagnation, während das Mehr-Satz-Training weiterhin eine Belastung darstellt, die die – für eine Adaptation nötige – Schwelle übersteigt. Auch das unperiodisierte Mehr-Satz-Training verfügt nur über ein begrenztes Anpassungspot-

ential. Periodisiertes Krafttraining hat sich als effektiver erwiesen als unperiodisiertes^{27, 103, 148} und bietet die Möglichkeit, das genetisch-determinierte Adaptationspotential bei der Entwicklung der Maximalkraft auszuschöpfen.

Dieses Modell zielt auf eine Öffnung der Diskussion über die Frage der Satzzahl hin zu einer umfassenden Sichtweise der zur Verfügung stehenden Krafttrainingsmethoden. Die Satzzahl ist zwar ein wichtiger Aspekt bei der Planung von Krafttrainingsprogrammen, allerdings nur einer von vielen.

Zukünftige Studien sollten darauf abzielen, dieses Modell zu verifizieren oder zu falsifizieren, indem kürzere zeitliche Intervalle bei der Testung der Krafttrainingserfolge eingeplant werden. Ausserdem ist es interessant, die möglichen Modelle für ein periodisiertes Krafttraining – auch unter Einbeziehung von 1-Satz-Trainingsmethoden – untereinander zu vergleichen, um gezieltere Aussagen über deren Effektivität machen zu können. Das Cross-Over-Design dieser Studie hat sich bewährt und kann für die Verwendung in zukünftigen Studien empfohlen werden. Eine größere Probandenzahl und längere Trainings- und Wash-Out-Phasen könnten die Aussagekraft von kommenden Studien im Vergleich zu der vorliegenden Untersuchung noch weiter erhöhen.

14. Literatur

1. Abe, T., Y. Kawakami, M. Sugita, K. Yoshikawa, and T. Fukunaga. Use of b-mode ultrasound for visceral fat mass evaluation: Comparisons with magnetic resonance imaging. *Applied Human Science*. 14:133-139, 1995.
2. ACSM. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 30:975-991, 1998.
3. Anderson, T. and J. T. Kearney. Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 53:1-7, 1982.
4. Baron, R. A. *Psychology*. 3 ed. Needham Heights, MA: Allyn and Bacon, 1995
5. Baron, R. A. and D. Byrne. *Social psychology*. 6 ed. Needham Heights, MA: Allyn and Bacon, 1991
6. Berger, K. S. *The developing person through the life span*. 3 ed. New York, NY: Worth Publishers, 1994
7. Berger, R. A. Comparative effects of three weight training programs. *The Research Quarterly*. 34:396-398, 1963.
8. Berger, R. A. Effect of varied weight training programs on strength. *The Research Quarterly*. 33:168-181, 1962.
9. Borst, S. E., D. V. De Hoyos, L. Garzarella, K. Vincent, B. H. Pollock, D. T. Lowenthal, and M. L. Pollock. Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 33:648-653, 2001.
10. Braith, R. W., J. E. Graves, S. H. Leggett, and M. L. Pollock. Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 25:132-138, 1993.
11. Byrd, R., T. J. Chandler, M. S. Conley, A. C. Fry, G. G. Haff, A. Koch, F. Hatfield, K. B. Kirksey, J. McBride, T. McBride, H. Newton, H. S. O'Bryant, M. H. Stone, K. C. Pierce, S. Plisk, M. Ritchie-Stone, and D.

- Wathen. Strength training: Single versus multiple sets [letter]. *Sports Medicine*. 27:409-412, 1999.
12. Campos, G. R., T. Luecke, K. Toma, F. C. Hagerman, R. S. Hikida, K. Ragg, W. J. Kraemer, and R. S. Staron. The effects of three different resistance training regimens on muscle fiber type composition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 30:S207, 1998.
 13. Capen, E. K. Study of four programs of heavy resistance exercises for development of muscular strength. *The Research Quarterly*. 27:132-142, 1956.
 14. Carpinelli, R. N. Berger in retrospect: Effect of varied weight training programmes on strength. *British Journal of Sports Medicine*. 36:319-324, 2002.
 15. Carpinelli, R. N. and R. M. Otto. Strength training - single versus multiple sets. *Sports Medicine*. 26:73-84, 1998.
 16. Carpinelli, R. N. and R. M. Otto. Strength training: Single versus multiple sets [reply]. *Sports Medicine*. 27:412-416, 1999.
 17. Chaffin, D. B., G. D. Herrin, and W. M. Keyserling. Preemployment strength testing. *Journal of Occupational Medicine*. 20:403-408, 1978.
 18. Clarkson, P. M. and I. Tremblay. Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in humans. *Journal of Applied Physiology*. 65:1-6, 1988.
 19. Coleman, A. E. Nautilus vs Universal gym strength training in adult males. *American corrective therapy journal*. 31:103-107, 1977.
 20. Costill, D. L., E. F. Coyle, W. J. Fink, G. R. Lesmes, and F. A. Witzmann. Adaptations in skeletal muscle following strength training. *Journal of Applied Physiology*. 46:96-99, 1979.
 21. Craig, B. W. and H. Kang. Growth hormone release: A comparison of single vs. multiple sets during the back squat [abstract]. *Journal of Applied Sport Science Research*. 4:109, 1990.
 22. Crill, M., G. R. Campos, R. S. Staron, F. C. Hagerman, T. Luecke, T. Bailey, W. J. Kraemer, and R. S. Hikida. Different resistance training protocols and skeletal muscle fiber hypertrophy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 30:S207, 1998.

23. De Hoyos, D. V., T. Abe, L. Garzarella, C. J. Hass, M. Nordman, and M. L. Pollock. Effects of 6 months of high- or low-volume resistance training on muscular strength and endurance [abstract]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 30:S165, 1998.
24. Dudley, G. A., P. A. Tesch, B. J. Miller, and P. Buchanan. Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 62:543-550, 1991.
25. Durell, D. Effective strength training - Understanding the intensity-duration relationship. Aus: <http://www.cyberpump.com/hitstuff/intduration.html> Accessed, 1999.
26. Feigenbaum, M. S. and M. L. Pollock. Strength training: Rationale for current guidelines for adult fitness programs. *The Physician and Sportsmedicine*. 25:44-64, 1997.
27. Fleck, S. J. Periodized strength training: A critical review. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 13:82-89, 1999.
28. Fried, A. M., K. Coughlin, and W. O. Griffen. The sonographic fat/muscle ratio. *Investigative Radiology*. 21:71-75, 1986.
29. Fry, A. C. The role of training intensity in resistance exercise overtraining and overreaching. In: *Overtraining in Sport*. R. B. Kreider, A. C. Fry, and M. L. O'Toole (Eds.) Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, Inc, 1998, pp. 107-127.
30. Fry, A. C., W. J. Kraemer, and L. T. Ramsey. Pitutary-adrenal-gonadal responses to high-intensity resistance exercise overtraining. *Journal of Applied Physiology*. 85:2352-2359, 1998.
31. Fry, A. C., W. J. Kraemer, C. A. Weseman, B. P. Conroy, S. E. Gordon, J. R. Hoffman, and C. Maresh. The effects of an off-season strength and conditioning program on starters and non-starters in women's intercollegiate volleyball. *Journal of Applied Sport Science Research*. 5:174-181, 1991.
32. Fukunaga, T., A. Matsuo, Y. Ishida, N. Tsunoda, S. Uchino, and M. Ohkubo. Study for measurement of muscle and subcutaneous fat thickness by means of ultrasonic b-mode method [abstract]. *Japanese Journal of Medical Ultrasonics*. 16:50, 1989.

33. Gandevia, S. C. Neural control in human muscle fatigue: changes in muscle afferents, motoneurons and motor cortical drive. *Acta Physiologica Scandinavica*. 162:275-283, 1998.
34. Gandevia, S. C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*. 81:1725-1789, 2001.
35. Giessing, J. Das Heavy-Duty-Konzept. *Leistungssport*. 30:19-23, 2000.
36. Giessing, J. Training for muscular hypertrophy: A comparison of high and low-volume approaches. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*:27-32, 2003.
37. Goldberg, A. L., J. D. Etlinger, D. F. Goldspink, and C. Jablecki. Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports*. 7:248-261, 1975.
38. Gordon, S. E., W. J. Kraemer, N. Vos, J. M. Lynch, and H. G. Knuttgen. Effect of acid-base balance on the growth hormone response to acute high intensity exercise. *Journal of Applied Physiology*. 676:821-829, 1994.
39. Goreham, C., H. J. Green, M. Ball-Burnett, and D. Ranney. High-resistance training and muscle metabolism during prolonged exercise. *American Journal of Physiology*. 276:E489-E496, 1999.
40. Gotshalk, L. A., C. C. Loebel, B. C. Nindl, M. Putukian, W. J. Sebastianelli, R. U. Newton, K. Häkkinen, and W. J. Kraemer. Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 22:244-255, 1997.
41. Güllich, A. and D. Schmidtbleicher. Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 50:223-234, 1999.
42. Häkkinen, K. Factors influencing trainability of muscular strength during short term and prolonged training. *NSCA Journal*. 7:32-37, 1985.
43. Häkkinen, K. Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining, and immobilization. *Critical Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine*. 6:161-198, 1994.

44. Häkkinen, K. Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 29:9-26, 1989.
45. Häkkinen, K., M. Alen, M. Kallinen, R. U. Newton, and W. J. Kraemer. Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *European Journal of Applied Physiology*. 83:51-62, 2000.
46. Häkkinen, K., M. Kallinen, V. Linnamo, U. M. Pastinen, R. U. Newton, and W. J. Kraemer. Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiologica Scandinavica*. 158:77-88, 1996.
47. Häkkinen, K. and P. V. Komi. Changes in neuromuscular performance in voluntary and reflex contraction during strength training in man. *International Journal of Sports Medicine*. 4:282-288, 1983.
48. Häkkinen, K., A. Mero, and H. Kauhanen. Specificity of endurance, sprint and strength training on physical performance capacity in young athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 29:27-35, 1989.
49. Häkkinen, K. and A. Pakarinen. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages. *International Journal of Sports Medicine*. 16:507-513, 1995.
50. Häkkinen, K. and A. Pakarinen. Muscle strength and serum testosterone, cortisol and SHBG concentrations in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiologica Scandinavica*. 148:199-207, 1993.
51. Häkkinen, K. and A. Pakarinen. Serum hormones and strength development during strength training in middle-aged and elderly males and females. *Acta Physiologica Scandinavica*. 150:211-219, 1994.
52. Häkkinen, K., A. Pakarinen, M. Alen, H. Kauhanen, and P. V. Komi. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *Journal of Applied Physiology*. 65:2406-2412, 1988.
53. Häkkinen, K., A. Pakarinen, M. Alen, H. Kauhanen, and P. V. Komi. Relationships between training volume, physical performance capacity,

- and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *International Journal of Sports Medicine*. 8:61-65, 1987.
54. Häkkinen, K., A. Pakarinen, R. U. Newton, and W. J. Kraemer. Acute hormone responses to heavy resistance lower and upper extremity exercise in young versus old men. *European Journal of Applied Physiology*. 77:312-319, 1998.
 55. Hansen, S., T. Kvorning, M. Kjaer, and G. Sjøgaard. The effect of short-term strength training on human skeletal muscle: The importance of physiologically elevated hormone levels. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 11:347-354, 2001.
 56. Hass, C. J., L. Garzarella, D. V. De Hoyos, and M. L. Pollock. Effects of training volume on strength and endurance in experienced resistance trained adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 30:S115, 1998.
 57. Hass, C. J., L. Garzarella, D. V. De Hoyos, and M. L. Pollock. Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 32:235-242, 2000.
 58. Hurley, B. F., R. A. Redmon, R. E. Pratley, M. S. Treuth, M. A. Rogers, and A. P. Goldberg. Effects of strength training on muscle hypertrophy and muscle cell distribution in older men. *International Journal of Sports Medicine*. 16:378-384, 1995.
 59. Ikai, M. and A. H. Steinhaus. Some factors modifying the expression of human strength. *Journal of Applied Physiology*. 16:157-163, 1961.
 60. Ishida, K., T. Moritani, and K. Itoh. Changes in voluntary and electrically induced contractions during strength training and detraining. *European Journal of Applied Physiology*. 60:244-248, 1990.
 61. Ishida, Y., J. F. Carroll, M. L. Pollock, J. E. Graves, and S. H. Leggett. Reliability of b-mode ultrasound for the measurement of body fat and muscle thickness. *American Journal of Human Biology*. 4:511-520, 1992.
 62. Ivey, F. M., S. M. Roth, R. E. Ferrell, B. L. Tracy, J. T. Lemmer, D. E. Hurlbut, G. F. Martel, E. L. Siegel, J. L. Fozard, E. J. Metter, J. L. Fleg, and B. F. Hurley. Effect of age, gender, and myostatin genotype on the

- hypertrophic response to heavy resistance strength training. *Journal of Gerontology*. 55A:M641-M648, 2000.
63. Izquierdo, M., K. Häkkinen, J. Ibanez, M. Garrues, A. Antón, A. Zúniga, J. L. Larrión, and E. M. Gorostiaga. Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men. *Journal of Applied Physiology*. 90:1497-1507, 2001.
64. Jensen, J., H. Oftebro, B. Breigan, A. Johnsson, K. Öhlin, H. D. Meen, S. B. Strømme, and H. A. Dahl. Comparison of changes in testosterone concentrations after strength and endurance exercise in well trained men. *European Journal of Applied Physiology*. 63:467-471, 1991.
65. Jones, D. A. and O. M. Rutherford. Human muscle strength training: The effects of three different regimes and the nature of the resultant changes. *Journal of Physiology*. 391:1-11, 1987.
66. Kieser, W. Wieviele Sätze beim Krafttraining? *Leistungssport*. 28:50-51, 1998.
67. Koffler, K. H., A. Menkes, R. A. Redmond, W. E. Whitehead, R. E. Pratley, and B. F. Hurley. Strength training accelerates gastrointestinal transit in middle-aged and older men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 24:415-419, 1992.
68. Komi, P. V. Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical Factors. *International Journal of Sports Medicine*. 7:10-15, 1986.
69. Komi, P. V. and K. Häkkinen. Maximalkraft und Schnellkraft. In: *Kraft und Schnellkraft im Sport*. P. V. Komi (Ed.) Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 1994, pp. 157-167.
70. Kraemer, W. J. A series of studies - the physiological basis for strength training in american football: fact over philosophy. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 11:131-142, 1997.
71. Kraemer, W. J., J. E. Dziados, L. J. Marchitelli, S. E. Gordon, E. Harman, R. Mello, S. J. Fleck, P. N. Frykman, and N. T. Triplett. Effects of different heavy-resistance exercise protocols on plasma β -endorphin concentrations. *Journal of Applied Physiology*. 74:450-459, 1993.

72. Kraemer, W. J., A. C. Fry, B. J. Warren, M. H. Stone, S. J. Fleck, J. T. Kearney, B. P. Conroy, C. Maresh, C. A. Weseman, N. T. Triplett, and S. E. Gordon. Acute hormonal responses in elite junior weightlifters. *International Journal of Sports Medicine*. 13:103-109, 1992.
73. Kraemer, W. J., S. E. Gordon, S. J. Fleck, L. J. Marchitelli, R. Mello, J. E. Dziados, K. Friedl, E. Harman, C. Maresh, and A. C. Fry. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *International Journal of Sports Medicine*. 12:228-235, 1991.
74. Kraemer, W. J., L. J. Marchitelli, S. E. Gordon, E. Harman, J. E. Dziados, R. Mello, P. N. Frykman, D. McCurry, and S. J. Fleck. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *Journal of Applied Physiology*. 69:1442-1450, 1990.
75. Kraemer, W. J., S. A. Mazzetti, B. C. Nindl, L. A. Gotshalk, J. S. Volek, J. A. Bush, J. O. Marx, K. Dohi, A. L. Gomez, M. Miles, S. J. Fleck, R. U. Newton, and K. Häkkinen. Effect of resistance training on women's strength/power and occupational performances. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 33:1011-1025, 2001.
76. Kraemer, W. J. and R. U. Newton. Training for muscular power. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. 11:341-368, 2000.
77. Kraemer, W. J. and B. C. Nindl. Factors involved with overtraining for strength and power. In: *Overtraining in Sport*. R. B. Kreider, A. C. Fry, and M. L. O'Toole (Eds.) Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, Inc., 1998, pp. 69-86.
78. Kraemer, W. J., N. A. Ratamess, A. C. Fry, T. Triplett-McBride, L. P. Koziris, J. Bauer, J. M. Lynch, and S. J. Fleck. Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. *The American Journal of Sports Medicine*. 28:626-633, 2000.
79. Kraemer, W. J., R. S. Staron, F. C. Hagerman, R. S. Hikida, A. C. Fry, S. E. Gordon, B. C. Nindl, L. A. Gotshalk, J. S. Volek, J. O. Marx, R. U. Newton, and K. Häkkinen. The effects of short-term resistance training

- on endocrine function in men and women. *European Journal of Applied Physiology*. 78:69-76, 1998.
80. Kraemer, W. J., J. S. Volek, J. A. Bush, M. Putukian, and W. J. Sebastianelli. Hormonal responses to consecutive days of heavy-resistance exercise with or without nutritional supplementation. *Journal of Applied Physiology*. 85:1544-1555, 1998.
81. Kramer, J. B., M. H. Stone, H. S. O'Bryant, M. S. Conley, R. L. Johnson, D. C. Nieman, D. R. Honeycutt, and T. Hoke. Effects of single vs. multiple sets of weight training: impact of volume, intensity, and variation. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 11:143-147, 1997.
82. Leighton, J. R., D. Holmes, J. Benson, B. Wooten, and R. Schmerer. A study on the effectiveness of ten different methods of progressive resistance exercise on the development of strength, flexibility, girth and bodyweight. *Journal of the Association for Physical and Mental Rehabilitation*. 21:78-81, 1967.
83. Lillegard, W. A. and J. D. Terrio. Appropriate strength training. *Sports Medicine*. 78:457-477, 1994.
84. Martel, G. F., D. E. Horblut, M. E. Lott, J. T. Lemmer, F. M. Ivey, S. M. Roth, M. A. Rogers, J. L. Fleg, and B. F. Hurley. Strength training normalizes resting blood pressure in 65- to 73-year-old men and women with high normal blood pressure. *Journal of the American Geriatric Society*. 47:1215-1221, 1999.
85. Marx, J. O., N. A. Ratamess, B. C. Nindl, L. A. Gotshalk, J. S. Volek, K. Dohi, J. A. Bush, S. A. Mazzetti, S. J. Fleck, K. Häkkinen, R. U. Newton, and W. J. Kraemer. Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 33:635-643, 2001.
86. Maughan, R. J., M. Harmon, J. B. Leiper, D. G. Sale, and A. Delman. Endurance capacity of untrained males and females in isometric and dynamic muscular contractions. *European Journal of Applied Physiology*. 55:395-400, 1986.

87. Mayhew, J. L., T. E. Ball, and J. C. Bowen. Prediction of bench press lifting ability from submaximal repetitions before and after training. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation*. 3:195-201, 1992.
88. Mayhew, J. L., J. L. Prinster, J. S. Ware, D. L. Zimmer, J. R. Arabas, and M. G. Bemben. Muscular endurance repetitions to predict bench press strength in men of different training levels. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 35:108-113, 1995.
89. Mazzetti, S. A., W. J. Kraemer, J. S. Volek, N. D. Duncan, N. A. Ratamess, A. L. Gómez, R. U. Newton, K. Häkkinen, and S. J. Fleck. The influence of direct supervision of resistance training on strength performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 32:1175-1184, 2000.
90. McCall, G. E., W. C. Byrnes, A. Dickinson, P. M. Pattany, and S. J. Fleck. Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of Applied Physiology*. 81:2004-2012, 1996.
91. McCall, G. E., W. C. Byrnes, S. J. Fleck, A. Dickinson, and W. J. Kraemer. Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 24:96-107, 1999.
92. McGee, D., T. C. Jessee, M. H. Stone, and D. L. Blessing. Leg and hip endurance adaptations to three weight-training programs. *Journal of Applied Sport Science Research*. 6:92-95, 1992.
93. McMurray, R. G., T. K. Eubank, and A. C. Hackney. Nocturnal hormonal responses to resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 72:121-126, 1995.
94. Menkes, A., S. Mazel, R. A. Redmond, K. Koffler, C. R. Libanati, C. M. Gundberg, T. M. Zizic, J. M. Hagberg, R. E. Pratley, and B. F. Hurley. Strength training increases regional bone mineral density and bone remodeling in middle-aged and older men. *Journal of Applied Physiology*. 74:2478-2484, 1993.
95. Messier, S. P. and M. E. Dill. Alterations in strength and maximal oxygen uptake consequent to Nautilus circuit weight training. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 56:345-351, 1985.

96. Miller, J. P., R. E. Pratley, A. P. Goldberg, P. Gordon, M. Rubin, M. S. Treuth, A. S. Ryan, and B. F. Hurley. Strength training increases insulin action in healthy 50- to 65-yr-old men. *Journal of Applied Physiology*. 77:1122-1127, 1994.
97. Moritani, T. and H. A. DeVries. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine*. 58:115-130, 1979.
98. Mulligan, S. E., S. J. Fleck, S. E. Gordon, L. P. Koziris, N. T. Triplett-McBride, and W. J. Kraemer. Influence of resistance exercise volume on serum growth hormone and cortisol concentrations in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 10:256-262, 1996.
99. Nakazawa, K., Y. Kawakami, T. Fukunaga, H. Yano, and M. Miyashita. Differences in activation patterns in elbow flexor muscles during isometric, concentric and eccentric contractions. *Eur J Appl Physiol*. 66:214-220, 1993.
100. Narici, M. V., G. S. Roi, L. Landoni, A. E. Minetti, and P. Cerretelli. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology*. 59:310-319, 1989.
101. Nicklas, B. J., A. J. Ryan, M. M. Treuth, S. M. Harman, M. R. Blackman, B. F. Hurley, and M. A. Rogers. Testosterone, growth hormone and IGF-I responses to acute and chronic resistive exercise in men aged 55-70 years. *International Journal of Sports Medicine*. 16:445-450, 1995.
102. Nissen, S. L. and R. L. Sharp. Effect of dietary supplements on lean body mass and strength gains with resistance exercise: a meta-analysis. *Journal of Applied Physiology*. 94:651-659, 2003.
103. O'Bryant, H. S., R. Byrd, and M. E. Stone. Cycle ergometer performance and maximum leg and hip strength adaptations to two different methods of weight-training. *Journal of Applied Sport Science Research*. 2:27-30, 1988.
104. O'Hagan, F. T., D. G. Sale, J. D. MacDougall, and S. H. Garner. Response to resistance training in young women and men. *International Journal of Sports Medicine*. 16:314-321, 1995.

105. Ostrowski, K. J., G. D. Wilson, R. Weatherby, P. W. Murphy, and A. D. Lyttle. The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 11:148-154, 1997.
106. Paulsen, G., D. Myklestad, and T. Raastad. The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 17:115-120, 2003.
107. Philipp, M. Ein Satz genügt! - Erfahrungen mit Mehrsatz- und Einsatz-Methoden im Krafttraining. *Leistungssport*. 29:26-28, 1999.
108. Philipp, M. Einsatz-Training versus Mehrsatz-Training. *Leistungssport*. 29:27-35, 1999.
109. Phillips, S. M., K. D. Tipton, A. A. Ferrando, and R. R. Wolfe. Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover. *American Journal of Physiology*. 276:E118-E124, 1999.
110. Pollock, M. L., T. Abe, D. V. De Hoyos, L. Garzarella, C. J. Hass, and G. Werber. Muscular hypertrophy responses to 6 months of high- and low-volume resistance training [abstract]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 30:S116, 1998.
111. Pollock, M. L., J. E. Graves, M. M. Bamman, S. H. Leggett, D. M. Carpenter, C. Carr, J. Cirulli, J. Matkozych, and M. Fulton. Frequency and volume of resistance training: effect on cervical extension strength. *Arch Phys Med Rehabil*. 74:1080-1086, 1993.
112. Reid, C. M., R. A. Yeater, and I. H. Ullrich. Weight training and strength, cardiorespiratory functioning and body composition of men. *British Journal of Sports Medicine*. 21:40-44, 1987.
113. Remmert, S. *Grundlagen des Einsatz-Trainings - Handbuch für Trainer und Fitness-Instruktoren [Diplomarbeit]*. Köln, o.J.
114. Rhea, M. R., B. A. Alvar, S. D. Ball, and L. N. Burkett. Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 16:525-529, 2002.
115. Roman, W. J., J. Fleckenstein, J. Stray-Gundersen, S. E. Alway, R. Peshock, and W. J. Gonyea. Adaptations in the elbow flexors of elderly

- males after heavy-resistance training. *Journal of Applied Physiology*. 74:750-754, 1993.
116. Rubin, M., J. P. Miller, A. S. Ryan, M. S. Treuth, K. Y. Patterson, R. E. Pratley, B. F. Hurley, C. Veillon, P. B. Moser-Veillon, and R. A. Anderson. Acute and chronic resistive exercise increase urinary chromium excretion in men as measured with enriched chromium stable isotope. *The Journal of Nutrition*. 128:73-78, 1998.
117. Rutherford, O. M. and D. A. Jones. The role of learning and coordination in strength training. *European Journal of Applied Physiology*. 55:100-105, 1986.
118. Ryan, A. S., R. E. Pratley, D. Elahi, and A. P. Goldberg. Resistive training increases fat-free mass and maintains RMR despite weight loss in postmenopausal women. *Journal of Applied Physiology*. 79:818-823, 1995.
119. Ryan, A. S., M. S. Treuth, M. Rubin, J. P. Miller, B. J. Nicklas, D. M. Landis, R. E. Pratley, C. R. Libanati, C. M. Gundberg, and B. F. Hurley. Effects of strength training on bone mineral density: hormonal and bone turnover relationships. *Journal of Applied Physiology*. 77:1678-1684, 1994.
120. Sale, D. G., J. D. MacDougall, S. E. Alway, and J. R. Sutton. Voluntary strength and muscle characteristics in untrained men and women and male bodybuilders. *Journal of Applied Physiology*. 62:1786-1793, 1987.
121. Sanborn, K., R. Boros, J. Hruby, B. K. Schilling, H. S. O'Bryant, R. L. Johnson, T. Hoke, M. E. Stone, and M. H. Stone. Short-term performance effects of weight training with multiple sets not to failure vs. a single set to failure in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 14:328-331, 2000.
122. Sato, H. and J. Ohashi. Sex differences in static muscular endurance. *Journal of Human Ergology*. 18:53-60, 1989.
123. Schlumberger, A. and D. Schmidtbleicher. Einsatz-Training als trainingsmethodische Alternative - Möglichkeiten und Grenzen. *Leistungssport*. 29:9-11, 1999.

124. Schlumberger, A., J. Stec, and D. Schmidtbleicher. Single- vs. multiple-set strength training in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 15:284-289, 2001.
125. Schmidtbleicher, D. Motorische Beanspruchungsform Kraft. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 38:356-376, 1987.
126. Silvester, L. J., C. Stiggins, C. McGown, and G. R. Bryce. The effect of variable resistance and free-weight training programs on strength and vertical jump. *NSCA Journal*. 5:30-33, 1982.
127. Starkey, D. B., M. L. Pollock, Y. Ishida, M. A. Welsch, W. F. Brechue, J. E. Graves, and M. S. Feigenbaum. Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 28:1311-1320, 1996.
128. Stone, M. H. and R. A. Borden. Modes and methods of resistance training. *Strength and Conditioning*. 19:18-24, 1997.
129. Stone, M. H., T. J. Chandler, M. S. Conley, J. B. Kramer, and M. E. Stone. Training to muscular failure: Is it necessary? *Strength and Conditioning*. 18:44-48, 1996.
130. Stone, M. H., S. J. Fleck, N. T. Triplett, and W. J. Kraemer. Health- and performance-related potential of resistance training. *Sports Medicine*. 11:210-231, 1991.
131. Stone, M. H. and A. C. Fry. Increased training volume in strength/power athletes. In: *Overtraining in Sport*. R. B. Kreider, A. C. Fry, and M. L. O'Toole (Eds.) Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, Inc., 1998, pp. 87-105.
132. Stone, M. H., R. E. Keith, J. T. Kearney, S. J. Fleck, G. D. Wilson, and N. T. Triplett. Overtraining: A review of the signs, symptoms and possible causes. *Journal of Applied Sport Science Research*. 5:35-50, 1991.
133. Stone, M. H., S. Plisk, M. E. Stone, B. K. Schilling, H. S. O'Bryant, and K. C. Pierce. Athletic performance development: Volume load - 1 set vs. multiple sets, training velocity and training variation. *Strength and Conditioning*. 20:22-31, 1998.

134. Stowers, T., J. McMillan, D. Scala, V. Davis, D. Wilson, and M. H. Stone. The short-term effects of three different strength-power training methods. *NSCA Journal*. 6:24-27, 1983.
135. Terbizan, D. and R. L. Bartels. The effect of set-repetition combinations on strength gain in females age 18-35 [abstract]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 17:267, 1985.
136. Tesch, P. A., E. B. Colliander, and P. Kaiser. Muscle metabolism during heavy resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 55:362-366, 1986.
137. Thomis, M. A., G. P. Beunen, H. H. Maes, C. J. Blimkie, M. Van Leemputte, A. L. Claessens, G. Marchal, E. Willems, and R. F. Vlietinck. Strength training: importance of genetic factors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 30:724-731, 1998.
138. Thorstensson, A., G. Grimby, and J. Karlsson. Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*. 40:12-16, 1976.
139. Treuth, M. S., A. S. Ryan, R. E. Pratley, M. Rubin, J. P. Miller, B. J. Nicklas, J. Sorkin, S. M. Harman, A. L. Goldberg, and B. F. Hurley. Effects of strength training on total and regional body composition in older men. *Journal of Applied Physiology*. 77:614-620, 1994.
140. Van der Ploeg, R. J., H. J. Oosterhuis, and J. Reuve-Kamp. Measuring muscle strength. *Journal of Neurology*. 231:200-203, 1984.
141. Viru, A. Plasma hormones and physical exercise. *International Journal of Sports Medicine*. 13:201-209, 1992.
142. Volek, J. S., W. J. Kraemer, J. A. Bush, T. Incleton, and M. Boetes. Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*. 82:49-54, 1997.
143. Wakim, K. G., J. W. Gersten, E. C. Elkins, and G. M. Martin. Objective recording of muscle strength. *Archive of Physical Medicine*. 31:90-100, 1950.
144. Ware, J. S., C. T. Clemens, J. L. Mayhew, and T. J. Johnston. Muscular endurance repetitions to predict bench press and squat strength in college football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 9:99-103, 1995.

145. Weiss, L. W. and F. C. Clark. The use of b-mode ultrasound for measuring subcutaneous fat thickness on the upper arm. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 56:77-81, 1985.
146. Westcott, W. L. Four key factors in building a strength program. *Scholastic Coach*. 55:104-105 und 123, 1986.
147. Williams, A. G., A. N. Ismail, A. Sharma, and D. A. Jones. Effects of resistance exercise volume and nutritional supplementation on anabolic and catabolic hormones. *European Journal of Applied Physiology*. 86:315-321, 2002.
148. Willoughby, D. S. The effects of mesocycle-length weight training programs involving periodization and partially equated volumes on upper and lower body strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 7:2-8, 1993.
149. Withers, R. T. Effect of varied weight-training loads on the strength of university freshmen. *The Research Quarterly*. 41:110-114, 1970.

15. Anhang

15.1 Material und Methoden

Isometrische Tests

Probanden und Messapparatur

Die Probanden saßen an einem handelsüblichen Bizeps-Curlpult. Sitz- und Oberarmablageposition waren standardisiert verstellbar, um bei jeder Messung eine Ellenbogenflexion von 70° zu gewährleisten (volle Ellbogen-Extension= 0°). Die Testpersonen hatten an einem Handgriff isometrisch zu ziehen, welcher an eine handelsübliche Federwaage angeschlossen und dahinter am unteren Bodengestell des Curlpults befestigt war.

Die Ableitpunkte der Messelektroden (Einmalektroden, Ag/AgCl; Blue Sensor Mini, Fa. Medicotest, Andernach, Deutschland) am linken M. biceps brachii (Interelektrodenabstand 2 cm (Center to center distance²), Platzierung parallel zur Faserrichtung) wurden gemäß der SENIAM-Konvention³ ermittelt

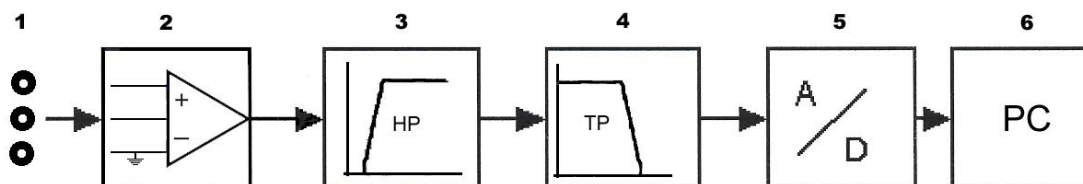


Abbildung A1: Messkette der EMG-Signalaufnahme

1= Oberflächenelektroden; 2= Differentialverstärker; 3= Hochpassfilter; 4= Tiefpassfilter;
5= Analog-Digital-Wandler; 6= PersonalComputer

und durch Rasur, Alkoholreinigung und Abschmiegeln der obersten Hautschichten vorbereitet. Die Referenzelektrode wurde auf der linken Patella befestigt. Zusätzlich wurde zur Winkelreproduktion für die spätere Auswertung des Zeitpunktes des höchsten Kraftwertes ein elektronisches Goniometer (Fa. Biovision, Wehrheim, Deutschland) am linken Ellenbogen angebracht. Elektrodenkabel, Vorverstärker (1000fach, Hochpassfilter 3 Hz

und Anti-Aliasingfilter Tiefpass 500 Hz) und A/D-Wandler (siehe Abbildung A1) wurden ebenfalls von der Fa. Biovision, Wehrheim, Deutschland hergestellt. Der Vorverstärker lief mit Batteriebetrieb, um Stromspannungsrauschen der Messapparatur⁷ im Vorfeld zu verhindern. Die Elektrodenkabel wurden elektrodennah zugentlastet mit Klebeband fixiert. Die Daten wurden über den A/D-Wandler in einen PC übertragen und dort mittels der Software SIMI Motion (Fa. SIMI Reality Motion Systems GmbH, Deutschland) digitalisiert und für die weitere offline-Auswertung gespeichert. Vor jeder einzelnen Messung erfolgte eine Neukalibration der Messinstrumente.



Abbildung A2: Ableitelektroden, Goniometer und Positionierung der Probanden während der isometrischen Kontraktionen an der Federwaage

Durchgeführt wurde eine bipolare EMG-Messung des linken M. biceps brachii. Nach abgeschlossener Präparation fanden zunächst zwei Vortests (lockeres Durchbewegen des Ellbogen-Gelenks, Klopfen auf die Elektrode und benachbarte Hautstellen, Wackeln an den Kabeln, passives Schütteln der Extremität) statt, um mechanische und elektrische oder digitale Artefakte auszuschliessen⁴. Bei dieser Provokation wurde als Kriterium eine Schwelle für erlaubte Störsignale von unter 0,02 mV⁶ festgelegt. Die Probanden saßen stabil auf dem Curlpult, beide Oberarme ruhten in gleicher

Positionierung auf der Ablage. Nun hatten die Freiwilligen nach standardisierter Aufklärung über die Messungsdurchführung die Aufgabe, auf Kommando einen graduellen Kraftaufbau von 0 bis zur Maximalkraft innerhalb von 3 Sekunden durchzuführen. Es wurde keine initiale Gegenbewegung zugelassen, die Probanden hatte vielmehr die Aufgabe, die Zugkraft rampenmäßig zu entwickeln. Die dann erreichte maximal starke Ellenbogenflexion links gegen den an der Federwaage befestigten Griff musste dann 55 Sekunden durchgehalten werden, bis der Versuchsleiter das Signal zum Abbruch gab. Die tatsächliche Auswertung der Kontraktion mit der parallelen EMG-Ableitung betrug nur 25 Sekunden. Um jedoch ein evtl. vorzeitiges willkürliches Abschwächen bzw. Nachlassen der Kontraktion und damit eine niedrigere Registrierung der EMG-Werte als tatsächlich möglich zu vermeiden, wurde die Länge von 55 Sekunden praktiziert.

Datenauswertung

Die auf der Federwaage angezeigten Kg-Werte wurden zum Zeitpunkt der höchsten Kraftentwicklung (von nun an „1.Sekunde“ genannt) und 25 sec. danach (von jetzt an „25.Sekunde“) protokolliert. Während des Testdurchlaufes erfolgte keinerlei verbale oder visuelle Ermutigung. Alle Tests wurden vom selben Untersucher durchgeführt. In die Auswertung der Isometrie-Werte flossen zum einen die Kraft- und EMG-Werte der Sekunde⁵ ab dem Zeitpunkt der höchsten Kraftentfaltung ein, welche durch den höchsten Punkt der Goniometerkurve bestimmt wurde. Denn da während der Kraftentwicklung einer Ellbogenflexion unter den gegebenen Umständen der betreffende Gelenkwinkel leicht kleiner wird, kann davon ausgegangen werden, dass der Zeitpunkt des kleinsten Winkels den Moment der größten Kraftentfaltung darstellt. Zum anderen wurden die Kraft- und EMG-Werte der 25. Sekunde nach ebendiesem Punkt ausgewertet. Die Rohwerte der EMG-Daten wurden im Softwarepaket Simi-Motion gleichgerichtet (full-wave-rectify), gefiltert (Moving Average 2) und integriert (IEMG, $\mu\text{V/s}$). Die IEMG-Werte [mV] selbst wurden zusätzlich auf die Stärke der jeweiligen Unterhautfettschicht relativiert ($\text{IEMG [mV]} \times \text{Fett [mm]}$)¹ und anschließend statistisch ausgewertet. Ausserdem fand mittels Statistica 5.0 eine Frequenzanalyse (Fast-Fourier-Transformation, Hamming-Gewichte) der Rohwerte der gleichen Zeitausschnitte (Zeitfenster: jeweils 1 sec.) statt.

Hieraus wurden in Microsoft Excel 2000 die Median Frequenz (MF, Hz) und die Mittlere Frequenz (MPF, Hz) ermittelt. Der Quotient MVC25/MVC1 (=Kraft während der 25. Sekunde / Kraft während der 1. Sekunde) wurde gebildet, um eine Aussage darüber treffen zu können, wie stark die Ermüdung während der gehaltenen Kontraktion war.

15.2 Ergebnisse

Gruppenanalyse

Tabelle A1: Darstellung der Entwicklung der maximalen willkürlichen Kraft während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii - Gruppenanalyse; *p<0,05 gegenüber Pre-T1; § p<0,05 gegenüber KG; Gruppe 1 (n=10); Gruppe 3 (n=11); Gruppe KG (n=6)

MVC - 1.Sekunde							
		Pre-T1	ZT1	Post-T1	Pre-T2	ZT2	Post-T2
Gruppe 1	Mittelwert	20,8	24,3	25,7*	23,7	24,7	24,5
	Stdabw.	5,3	6,6	6,7	8,8	8,5	8,6
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 24,1 ± 14,0%§ ----->			<----- 3,9 ± 5,8% ----->		
Gruppe 3	Mittelwert	21,2	23,5	24,9	24,4	25,2	25,9
	Stdabw.	10,9	11,2	12,1	12,8	12,4	12,1
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 20,8 ± 18,6% ----->			<----- 8,6 ± 7,7% ----->		
Gruppe KG	Mittelwert	23,8	22,6	22,6	23,8	22,6	22,6
	Stdabw.	12,8	14,7	12,6	12,8	14,7	12,6
	Δ%Pre-Post-Test	<----- -3,3 ± 17,2% ----->			<----- -3,3 ± 17,2% ----->		
MVC - 25.Sekunde							
		Pre-T1	ZT1	Post-T1	Pre-T2	ZT2	Post-T2
Gruppe 1	Mittelwert	12,7	16,1	16,9*	16,6	17,6	18,2
	Stdabw.	3,3	3,8	5,6	5,7	5,5	6,2
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 33,2 ± 41,4% ----->			<----- 10,2 ± 9,0% ----->		
Gruppe 3	Mittelwert	11,2	12,6	14,2	15,1	15,2	16,6
	Stdabw.	5,8	5,3	6,6	7,7	7,5	8,5
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 32,2 ± 34,5% ----->			<----- 9,6 ± 18,3% ----->		
Gruppe KG	Mittelwert	14,8	15,0	15,8	14,8	15,0	15,8
	Stdabw.	9,1	9,4	10,0	9,1	9,4	10,0
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 5,8 ± 13,1% ----->			<----- 5,8 ± 13,1% ----->		

Tabelle A2: Darstellung der Entwicklung des Ermüdungsquotienten MVC25/MVC1 während der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii - Gruppenanalyse; Gruppe 1 (n=10); Gruppe 3 (n=11); Gruppe KG (n=6)

MVC25/MVC1		Pre-T1	ZT1	Post-T1	Pre-T2	ZT2	Post-T2
Gruppe 1	Mittelwert	0,62	0,65	0,64	0,66	0,69	0,70
	Stdabw.	0,14	0,08	0,16	0,08	0,10	0,07
	$\Delta\%$ Pre-Post-Test	<----- 7,1 $\pm$ 36,5% ----->			<----- 6,5 $\pm$ 6,7% ----->		
Gruppe 3	Mittelwert	0,58	0,60	0,63	0,69	0,66	0,68
	Stdabw.	0,10	0,08	0,07	0,09	0,09	0,09
	$\Delta\%$ Pre-Post-Test	<----- 10,0 $\pm$ 21,6% ----->			<----- -0,4 $\pm$ 15,9% ----->		
Gruppe KG	Mittelwert	0,64	0,68	0,69	0,64	0,68	0,69
	Stdabw.	0,14	0,06	0,08	0,14	0,06	0,08
	$\Delta\%$ Pre-Post-Test	<----- 13,6 $\pm$ 33,75% ----->			<----- 13,6 $\pm$ 33,75% ----->		

Tabelle A3: Darstellung der subkutanen Fettdicke (in cm) gemessen mit B-Mode Ultraschall oberhalb des m. biceps brachii - Gruppenanalyse; Gruppe 1 (n=10); Gruppe 3 (n=11); Gruppe KG (n=6)

Fettdicke		Pre-T1	ZT1	Post-T1	Pre-T2	ZT2	Post-T2
Gruppe 1	Mittelwert	0,28	0,31	0,27	0,27	0,24	0,25
	Stdabw.	0,17	0,20	0,15	0,15	0,14	0,12
	$\Delta\%$ Pre-Post-Test	<----- -0,9 $\pm$ 18,7% ----->			<----- -9,0 $\pm$ 8,0% ----->		
Gruppe 3	Mittelwert	0,33	0,32	0,27	0,27	0,27	0,28
	Stdabw.	0,14	0,13	0,11	0,12	0,12	0,11
	$\Delta\%$ Pre-Post-Test	<----- -14,9 $\pm$ 20,6% ----->			<----- 10,3 $\pm$ 25,3% ----->		
Gruppe KG	Mittelwert	0,23	0,26	0,26	0,23	0,26	0,26
	Stdabw.	0,09	0,08	0,09	0,09	0,08	0,09
	$\Delta\%$ Pre-Post-Test	<----- 15,0 $\pm$ 31,5% ----->			<----- 15,0 $\pm$ 31,5% ----->		

Tabelle A4: Darstellung der Entwicklung des IEMG während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii - Gruppenanalyse; Gruppe 1 (n=10); Gruppe 3 (n=11); Gruppe KG (n=6)

IEMG 1. Sekunde							
		Pre-T1	ZT1	Pst-T1	Pre-T2	ZT2	Post-T2
Gruppe 1	Mittelwert	0,370	0,432	0,510	0,413	0,501	0,424
	Stdabw.	0,231	0,315	0,396	0,277	0,316	0,257
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 57,3 ± 118,3% ----->			<----- 12,2 ± 38,8% ----->		
Gruppe 3	Mittelwert	0,524	0,633	0,575	0,502	0,539	0,556
	Stdabw.	0,258	0,462	0,357	0,310	0,370	0,276
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 18,1 ± 55,0% ----->			<----- 24,0 ± 32,9% ----->		
Gruppe KG	Mittelwert	0,457	0,399	0,506	0,457	0,399	0,506
	Stdabw.	0,204	0,243	0,208	0,204	0,243	0,208
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 25,6 ± 53,0% ----->			<----- 25,6 ± 53,0% ----->		
IEMG 25. Sekunde							
		Pre-T1	ZT1	Pst-T1	Pre-T2	ZT2	Post-T2
Gruppe 1	Mittelwert	0,358	0,447	0,488	0,379	0,505	0,466
	Stdabw.	0,189	0,392	0,377	0,250	0,349	0,351
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 47,4 ± 74,4% ----->			<----- 31,9 ± 41,1% ----->		
Gruppe 3	Mittelwert	0,417	0,522	0,528	0,503	0,501	0,528
	Stdabw.	0,245	0,420	0,424	0,336	0,320	0,267
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 32,2 ± 88,4% ----->			<----- 22,0 ± 47,1% ----->		
Gruppe KG	Mittelwert	0,427	0,416	0,459	0,427	0,416	0,459
	Stdabw.	0,127	0,227	0,159	0,127	0,227	0,159
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 11,1 ± 40,0% ----->			<----- 11,1 ± 40,0% ----->		

Tabelle A5: Darstellung des Parameters IEMG x Fett (in mV x cm) während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii - Gruppenanalyse; Gruppe 1 (n=10); Gruppe 3 (n=11); Gruppe KG (n=6)

IEMG x Fett - 1.Sekunde							
		Pre-T1	ZT1	Post-T1	Pre-T2	ZT2	Post-T2
Gruppe 1	Mittelwert	0,095	0,111	0,122	0,087	0,099	0,083
	Stdabw.	0,074	0,081	0,108	0,047	0,049	0,034
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 51,3 ± 101,5% ----->			<----- 1,7 ± 34,7% ----->		
Gruppe 3	Mittelwert	0,147	0,170	0,126	0,105	0,116	0,133
	Stdabw.	0,062	0,107	0,055	0,040	0,046	0,039
	Δ%Pre-Post-Test	<----- -4,8 ± 42,4% ----->			<----- 34,9 ± 37,0% ----->		
Gruppe KG	Mittelwert	0,092	0,089	0,120	0,092	0,089	0,120
	Stdabw.	0,026	0,043	0,043	0,026	0,043	0,043
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 38,0 ± 50,7% ----->			<----- 38,0 ± 50,7% ----->		
IEMG x Fett - 25.Sekunde							
		Pre-T1	ZT1	Post-T1	Pre-T2	ZT2	Post-T2
Gruppe 1	Mittelwert	0,080	0,106	0,117	0,077	0,097	0,085
	Stdabw.	0,042	0,080	0,115	0,036	0,060	0,033
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 45,8 ± 78,2% ----->			<----- 19,1 ± 34,4% ----->		
Gruppe 3	Mittelwert	0,117	0,145	0,121	0,111	0,122	0,129
	Stdabw.	0,058	0,116	0,103	0,067	0,087	0,048
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 2,4 ± 57,3% ----->			<----- 32,7 ± 50,5% ----->		
Gruppe KG	Mittelwert	0,093	0,096	0,110	0,093	0,096	0,110
	Stdabw.	0,035	0,054	0,037	0,035	0,054	0,037
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 29,7 ± 60,6% ----->			<----- 29,7 ± 60,6% ----->		

Tabelle A6: Darstellung der mittleren Frequenz (mean power frequency = MPF) des EMG-Spektrums während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii - Gruppenanalyse; Gruppe 1 (n=10); Gruppe 3 (n=11); Gruppe KG (n=6)

MPF 1.Sekunde							
		Pre-T1	ZT1	Post-T1	Pre-T2	ZT2	Post-T2
Gruppe 1	Mittelwert	75,1	83,3	87,5	78,8	76,3	77,7
	Stdabw.	10,7	10,6	19,6	14,3	10,5	12,5
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 16,3 ± 16,6% ----->			<----- -0,4 ± 11,2% ----->		
Gruppe 3	Mittelwert	73,3	77,6	77,1	79,7	77,5	74,8
	Stdabw.	9,6	12,5	10,9	12,5	9,5	11,3
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 5,7 ± 11,9% ----->			<----- -5,7 ± 7,7% ----->		
Gruppe KG	Mittelwert	83,0	78,3	75,8	83,0	78,3	75,8
	Stdabw.	10,4	7,8	10,0	10,4	7,8	10,0
	Δ%Pre-Post-Test	<----- -8,1 ± 11,9% ----->			<----- -8,1 ± 11,9% ----->		
MPF 25.Sekunde							
		Pre-T1	ZT1	Post-T1	Pre-T2	ZT2	Post-T2
Gruppe 1	Mittelwert	53,9	57,3	54,7	52,7	54,7	54,5
	Stdabw.	5,3	7,5	7,5	6,9	4,9	8,2
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 1,6 ± 11,5% ----->			<----- 4,0 ± 13,0% ----->		
Gruppe 3	Mittelwert	56,0	59,0	55,6	56,9	56,7	53,3
	Stdabw.	7,6	9,9	9,4	10,6	10,9	10,2
	Δ%Pre-Post-Test	<----- -0,1 ± 16,0% ----->			<----- -5,2 ± 15,6% ----->		
Gruppe KG	Mittelwert	62,5	54,7	55,8	62,5	54,7	55,8
	Stdabw.	15,2	9,8	11,2	15,2	9,8	11,2
	Δ%Pre-Post-Test	<----- -6,5 ± 24,1% ----->			<----- -6,5 ± 24,1% ----->		

Tabelle A7: Darstellung der Median Frequenz (MF) des EMG-Spektrums während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii - Gruppenanalyse; Gruppe 1 (n=10); Gruppe 3 (n=11); Gruppe KG (n=6)

MF 1.Sekunde							
		Pre-T1	ZT1	Post-T1	Pre-T2	ZT2	Post-T2
Gruppe 1	Mittelwert	65,3	68,8	73,4	66,2	64,3	65,4
	Stdabw.	11,0	8,1	20,6	11,6	8,4	11,8
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 11,7 ± 18,0%§ ----->			<----- -1,0 ± 7,7% ----->		
Gruppe 3	Mittelwert	64,8	67,2	69,9	70,0	68,6	66,8
	Stdabw.	8,2	8,0	8,8	10,3	9,9	9,9
	Δ%Pre-Post-Test	<----- 8,5 ± 12,0% ----->			<----- -4,1 ± 9,9% ----->		
Gruppe KG	Mittelwert	73,0	66,7	65,8	73,0	66,7	65,8
	Stdabw.	10,7	9,6	7,7	10,7	9,6	7,7
	Δ%Pre-Post-Test	<----- -9,1 ± 9,8% ----->			<----- -9,1 ± 9,8% ----->		
MF 25.Sekunde							
		Pre-T1	ZT1	Post-T1	Pre-T2	ZT2	Post-T2
Gruppe 1	Mittelwert	47,0	50,1	45,7	45,8	45,9	47,8
	Stdabw.	5,1	6,7	5,8	6,3	5,3	7,0
	Δ%Pre-Post-Test	<----- -2,2 ± 12,3% ----->			<----- 5,2 ± 13,8% ----->		
Gruppe 3	Mittelwert	51,5	51,4	48,8	52,0	51,4	47,5
	Stdabw.	7,3	8,1	6,4	9,0	9,0	6,7
	Δ%Pre-Post-Test	<----- -3,8 ± 17,3% ----->			<----- -7,0 ± 16,6% ----->		
Gruppe KG	Mittelwert	55,0	48,5	49,8	55,0	48,5	49,8
	Stdabw.	12,9	9,4	9,7	12,9	9,4	9,7
	Δ%Pre-Post-Test	<----- -5,8 ± 22,6% ----->			<----- -5,8 ± 22,6% ----->		

15.3 Satzanalyse

Tabelle A8: Darstellung der Entwicklung der maximalen willkürlichen Kraft während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii und des Ermüdungsquotienten MVC25/MVC1 - Satzanalyse; *p<0,05 gegenüber Pre-T; n=21

		MVC - 1.Sekunde			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Δ% Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	22,7	24,8 *	25,8 *	16,0
	Stdabw.	9,9	9,8	9,7	13,4
Mehrsatztraining	Mittelwert	22,4	24,0	24,7 *	12,8
	Stdabw.	9,8	9,8	10,3	16,2
		MVC - 25.Sekunde			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Δ% Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	13,9	15,6	16,7 *	20,8
	Stdabw.	6,0	5,9	7,1	32,8
Mehrsatztraining	Mittelwert	13,7	14,9	16,1 *	21,8
	Stdabw.	6,2	5,8	6,6	27,5
		MVC 25./1.			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Δ% Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	0,66	0,66	0,66	3,1
	Stdabw.	0,12	0,09	0,13	27,1
Mehrsatztraining	Mittelwert	0,62	0,65	0,66	8,4
	Stdabw.	0,10	0,10	0,08	16,0

Tabelle A9: Darstellung der Entwicklung des IEMG (in mV) und des Parameters IEMG x Fett (in mV x cm) während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii – Satzanalyse; +p<0,05 gegenüber Einsatztraining; n=21

		IEMG - 1.Sekunde			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Δ% Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	0,439	0,488	0,534	39,9
	Stdabw.	0,277	0,341	0,330	84,4
Mehrsatztraining	Mittelwert	0,472	0,570 +	0,503	15,3
	Stdabw.	0,267	0,395	0,315	46,9
		IEMG - 25.Sekunde			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Δ% Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	0,434	0,475	0,509	34,1
	Stdabw.	0,279	0,348	0,317	61,4
Mehrsatztraining	Mittelwert	0,399	0,514	0,499	32,1
	Stdabw.	0,242	0,378	0,383	68,4
		IEMG x Fett - 1.Sekunde			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Δ% Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	0,100	0,113	0,128	39,9
	Stdabw.	0,058	0,064	0,078	84,4
Mehrsatztraining	Mittelwert	0,119	0,136	0,105	15,3
	Stdabw.	0,062	0,090	0,050	46,9
		IEMG x Fett - 25.Sekunde			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Δ% Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	0,096	0,114	0,123	38,9
	Stdabw.	0,057	0,082	0,085	63,8
Mehrsatztraining	Mittelwert	0,098	0,122	0,104	10,3
	Stdabw.	0,052	0,094	0,078	47,4

Tabelle A10: Darstellung der Median Frequenz (MF) und der mittleren Frequenz (MPF) des EMG-Spektrums während der 1. und 25. Sekunde der gehaltenen Kontraktion des m. biceps brachii und der subkutanen Fettdicke (in cm) gemessen mit B-Mode Ultraschall oberhalb des Biceps brachii – Satzanalyse; *p<0,05 gegenüber Pre-T; +p<0,05 gegenüber Einsatztraining; n=21

		MF - 1.Sekunde			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Δ% Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	67,8	68,7	70,0	3,4
	Stdabw.	10,6	8,9	15,9	16,1
Mehrsatztraining	Mittelwert	65,5	65,8	67,8	4,0
	Stdabw.	9,7	8,1	10,4	11,0
		MF - 25.Sekunde			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Δ% Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	49,6	50,8	46,6	-4,7
	Stdabw.	7,7	7,8	6,2	14,6
Mehrsatztraining	Mittelwert	48,8	48,8	48,3	0,5
	Stdabw.	7,3	7,3	6,5	16,0
		MPF - 1.Sekunde			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Δ% Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	77,5	80,3	80,9	4,8
	Stdabw.	11,6	10,2	16,7	16,8
Mehrsatztraining	Mittelwert	75,9	77,0	77,4	2,8
	Stdabw.	12,1	11,3	11,4	11,7
		MPF - 25.Sekunde			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Δ% Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	55,5	57,0	54,0	-2,0
	Stdabw.	8,5	9,2	8,8	13,9
Mehrsatztraining	Mittelwert	54,5	57,0	55,1	1,8
	Stdabw.	7,3	8,1	8,6	14,4
		Fettdicke			
		Pre-Test	Zwischentest	Post-Test	Δ% Pre-Post-Test
Einsatztraining	Mittelwert	0,27	0,29	0,28	5,0
	Stdabw.	0,14	0,16	0,13	22,6
Mehrsatztraining	Mittelwert	0,30	0,29	0,26 *	-12,1 +
	Stdabw.	0,14	0,14	0,11	15,8

Literatur

1. Baars, H., H. Humburg, R. Reer, and K. M. Braumann. Der Einfluss von subkutanem Fettgewebe auf das Oberflächen-EMG [abstract]. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin. 54:S56, 2003.
2. Day, S. Important Factors in surface EMG measurement. Available at: www.bortec.ca Accessed, 2003.
3. Freriks, B. and H. J. Hermens. European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy. In: SENIAM - Surface-Electro-MyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles. B. a. H. R. P. EU (Ed.), 1999.
4. Gollhofer, A. and D. Schmidtbleicher. Protokoll der Expertendiskussion: Methodische Probleme der Elektromyographie.:74-79, 1989.
5. Vint, P. F. and R. N. Hinrichs. Longer integration intervals reduce variability and improve reliability of EMG derived from maximal isometric exertions. Journal of applied biomechanics. 15:210-220, 1999.
6. Wiemann, K. Intermuskuläres Training, ideometrische Phänomene und neuromuskuläre Koordination.:206, 1975.
7. Winter, D. A. Biomechanics and motor control of human movement. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1990