

¹Fröhlich M, ²Schmidtbleicher D

Trainingshäufigkeit im Krafttraining – ein metaanalytischer Zugang

Training frequency in strenght training – a meta-analytical approach

¹Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes

²Institut für Sportwissenschaften, Universität Frankfurt/Main

ZUSAMMENFASSUNG

Die Frage nach der optimalen Trainingshäufigkeit im Krafttraining besitzt sowohl im Freizeit-, Breiten- und Leistungssport als auch im Sinne der Evidence Based Medicine eine hohe praktische Bedeutung. Im Rahmen einer Metaanalyse konnten an insgesamt 2198 Probanden 118 Effektstärken durch Trainingsinterventionen bzgl. der Veränderung der Maximalkraft berechnet werden. Betrachtet man die Effektstärken als quantitatives Maß zur Beurteilung von Trainingsinterventionen über verschiedene Trainingshäufigkeiten (1 bis 6 Trainingseinheiten pro Woche) so lässt sich generell feststellen, dass zwei ($1,18 \pm 0,68$ ES), drei ($1,42 \pm 0,76$ ES) und vier ($1,85 \pm 1,94$ ES) Trainingseinheiten (TE) zu größeren Steigerungen der Maximalkraft führen, als eine ($0,43 \pm 0,30$ ES), fünf ($0,41 \pm 0,29$ ES) oder sechs ($0,36 \pm 0,04$ ES) Trainingseinheiten ($F=3,96$; $df=5$; $p < 0,05$). Des Weiteren sind Variablen wie Geschlecht, Trainingszustand, Trainingsmethode und progressive Belastungssteigerung bei der Planung der Trainingshäufigkeiten zu berücksichtigen. Für bereits Trainierte und Fortgeschrittene scheinen zwei Trainingseinheiten ausreichend, während für Beginner drei Trainingseinheiten zu empfehlen wären. Die zusätzliche Anwendung von Periodisierungsstrategien im Krafttraining scheint positive Effekte zu besitzen. Unter Effizienzgesichtspunkten, d.h. von Aufwand und Nutzen scheinen drei Trainingseinheiten im Krafttraining die Methode der Wahl.

Schlüsselwörter: Trainingshäufigkeit, Effektstärke, Krafttraining, Effektivität, 1-RM

EINLEITUNG

Krafttraining besitzt einerseits eine hohe positive Wirk- und Vitalfunktion auf den Organismus, die Psyche und das Selbstwertgefühl und ist andererseits unabdingbare Voraussetzung eines zielorientierten Trainings in nahezu allen Sportarten und Disziplinen (3,20,38). Die verschiedenen Trainingsmethoden werden im Allgemeinen durch die Belastungsnormativa, die Art der Übung, die Übungsausführung sowie die Bewegungsgeschwindigkeit beschrieben und verfügen über eine vielfältige Variationsbreite und Komplexität (20,27,38). Neben der Belastungsintensität, der intra- und interseriellen Pausengestaltung und der Anzahl an Serien spielt die Trainingshäufigkeit in den Feldern Gesundheit und Prävention sowie im Breiten- und Leistungssport eine entscheidende Rolle, da jeweils unterschiedlichste Aspekte wie Gesundheitserhalt, Fitness und maximale Leistungsausprägung angestrebt werden. Eine Differenzierung erscheint weiterhin wichtig, da unterschiedliche Aspekte wie Regenerationsverhalten,

SUMMARY

Resistance training frequency is one of the main training factors in competitive and non-competitive sports as well as in evidence-based medicine. A meta-analysis was performed to determine the effect sizes of training interventions. 2198 subjects were examined with a total of 118 effect sizes at 1-RM. The results of the meta-analysis show that two ($1,18 \pm 0,68$ ES), three ($1,42 \pm 0,76$ ES), and four ($1,85 \pm 1,94$ ES) weekly training sessions are better to increase 1-RM than one ($0,43 \pm 0,30$ ES), five ($0,41 \pm 0,29$ ES) or six ($0,36 \pm 0,04$ ES) training sessions ($F=3,96$; $df=5$; $p < 0,05$). Furthermore, the effect size of training frequency is influenced by variables such as sex, training experience, training method and periodization of training. For advanced and trained subjects, two training sessions per week are sufficient, whereas for beginners and untrained subjects three training sessions are suggested. Training interventions with periodized intensity as well as volume have additional effects for increasing 1-RM. The relationships of cost/benefit and effort/benefit show that for most athletes, three training sessions per week is the best choice to increase the 1-RM.

Keywords: training frequency, effects size, strength training, efficiency, 1-RM

physiologisches Ausgangsniveau, Belastungstoleranz, Wechselwirkung mit anderen koordinativen und/oder konditionellen Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie dem Adaptationsverhalten etc. berücksichtigt werden müssen.

Unter dem Begriff der Trainingshäufigkeit versteht man die Anzahl der Trainingseinheiten innerhalb eines Trainingszyklus, z.B. einer Woche oder eines Monats. Hoffman et al. (1990) stellen heraus, dass die Informationen zur Trainingshäufigkeit noch relativ unspezifisch und entsprechende Empfehlungen eher theoretisch begründet, denn empirisch verifiziert sind (33). Des Weiteren liegt eine hohe Variationsbreite innerhalb der Empfehlungen zur Trainingshäufigkeit in der Literatur vor (3,5,19,25,29,33,36,68,74). Ähnlich argumentiert Tesch (1992) indem er herausstellt, dass die Frage nach dem optimalen Erholungsschema, nach der individuellen Variationsbreite der Trainingsanpassung sowie nach dem Zusammenhang zwischen Trainingsintensität, Erholungszeit und adaptativen Reaktionen noch weitgehend offen bleiben muss (71).

Trainingsbeginner und Anfänger sollen demnach zwei bis drei Trainingseinheiten pro Woche in Form eines Ganzkörpertrainings durchführen (3,5,25,75), leicht Fortgeschrittenen werden zwei bis vier Trainingseinheiten empfohlen (5,25,68,74) und Könner sowie Spitzenathleten sollen bis zu 18 Trainingseinheiten in Form eines Splitt-Trainings pro Woche absolvieren (38,71,74). Das American College of Sports Medicine (2002) empfiehlt in seinen Trainingsanleitungen für Anfänger und leicht Fortgeschrittene im Krafttraining zwei bis drei Einheiten und für Fortgeschrittene bzw. Könner vier bis fünf (3). Rhea et al. (59) sowie Peterson et al. (52) kommen zu dem Schluss, dass Anfänger drei und Trainierte zwei Trainingseinheiten pro Woche durchführen sollten, entsprechend jedoch zwei bis drei Einheiten insgesamt ausreichend sind. In der Regel beziehen sich die empirischen Studien zur Trainingshäufigkeit auf ein-, zwei- und dreimal pro Woche durchgeführte Trainingsinterventionen (13,16,18,46,66,73). Trainingsinterventionen mit einer höheren Trainingsfrequenz sind deutlich seltener dokumentiert (2,33,36,42,49,61). Generell lässt sich festhalten, dass die Empfehlungen zur optimalen Trainingshäufigkeit recht willkürlich festgelegt sind und eher durch Plausibilitätsüberlegungen sowie durch mögliche Regenerationszeiten verschiedener Subsysteme begründet werden (73). So berichtet Platonov (1999) von 12 bis 48 Stunden innerhalb der die Wiederherstellung der Resynthese der Glykogenreserven in Muskulatur und Leber abgeschlossen ist. Innerhalb von 12 bis 72 Stunden ist die Synthese von Fermenten und strukturellen Eiweißen auf dem Ausgangsniveau (54). Neurophysiologische Auslenkungen, kardiovaskuläre Reaktionen sowie metabolische Prozesse haben nach wenigen Stunden zu großen Teilen das ursprüngliche Ausgangsniveau wieder erreicht (9,21,37,56). Andererseits werden von McLester et al. (2003) sowie von Wernbom et al. (2007) wesentlich längere Regenerationszeiten von 72-96 Stunden nach Krafttrainingsbelastungen vorgeschlagen (47,72).

Inwieweit eine Überlegenheit von zwei versus einer und drei versus zwei Trainingseinheiten pro Woche vorliegt, wird immer noch recht kontrovers diskutiert (14,33,66, im Überblick 73). Wirth (2004) fasst die empirische Forschungslage dahingehend zusammen, dass aktuell eine optimale Trainingshäufigkeit bei zwei- bis dreimal Krafttraining pro Woche liegt. Andererseits wird jedoch auch Vorsicht bei der Interpretation der allgemeinen Befundlage angemahnt (73). Ein weiteres Forschungsdesiderat liegt darin, dass entsprechende Empfehlungen zur möglichst effizienten Planung der Trainingshäufigkeit in Abhängigkeit von Trainingsstatus, der beteiligten Muskelmasse, Geschlecht, der Belastungshöhe, der Verwendung von Periodisierungsstrategien, zeitlicher Rahmenbedingungen und der eigentlichen Zielstellung etc. nur sehr unzureichend vorliegen (3,23). Zur Effizienzsteigerung sowie im Sinne der Evidence Based Medicine wären jedoch entsprechende Handlungsempfehlungen für den Gesundheits-, Breiten- und Leistungssport wünschenswert um dadurch entsprechende Überforderungen (Schädigungen und Verletzungen) vorzubeugen und möglichst effizient Adaptationsmechanismen zu initiieren. Letztendlich wäre auch zu prüfen, inwieweit ökonomische Aspekte wie Effektivitäts- und Effizienzkriterien bei der Trainingsplanung zu berücksichtigen sind (23,24). Daraus leitet sich die Frage ab: Unterscheidet sich die Effizienz eines Krafttrainings in Abhängigkeit von der Trainingshäufigkeit pro Woche und inwieweit lässt sich ein optimaler Häufigkeitsbereich identifizieren?

MATERIAL UND METHODIK

Datenaggregation, Codierung und Bewertung der Primärstudien

Die Primärstudien suchte über online Recherche in Medline, SpoLit, PubMed, Medpilot sowie über die Zentralbibliothek der Sporthochschule Köln. Darüber hinaus wurden Literaturhinweise bereits vorliegender Beiträge in Zeitschriften, Herausgeberwerken und Monographien gesichtet (11,62). Die verwendeten Deskriptoren bzw. Schlagwörter waren „resistance training“, „frequency“, „volume“, „Häufigkeit“ mit und ohne „Training“ bzw. „training“. Die Studienselektion beinhaltete folgende Kriterien: (a) mehr als sechs Versuchspersonen; (b) Pre- und Posttest-Design; (c) nennen und beschreiben der verwendeten Trainingsmethoden; (d) das Trainingsexperiment musste länger als vier Wochen durchgeführt werden; (e) es wurden nur physisch und psychisch gesunde Probanden aufgenommen, d.h. keine Studien mit Patienten, was bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen ist; (f) die Effizienz des Krafttrainings musste über die konzentrische Maximalkraft (1-RM) bzw. über MVC-Messungen operationalisiert werden; (g) nur Mehrsatz-Trainingsmethoden; (h) die Primärstudien durften nicht älter als 30 Jahre sein (>1980) und (i) die Publikationen mussten in englischer oder deutscher Sprache verfasst sein (52,59).

Die einzelnen Primärstudien wurden anhand der folgenden Studienmerkmale mittels a priori festgelegtem Codierplan charakterisiert (52,59): (a) Beschreibung der Studie (Autor[en], Jahr, Publikationsform, Review-Verfahren, Impactfaktor, Studiendesign, Sprache); (b) Probandenbeschreibung (Alter, Geschlecht, Fitness- oder Trainingszustand); (c) Testmethodik (Testverfahren, Übungen, Übungsanzahl); (d) Interventionsbeschreibung (Studiendauer, Trainingshäufigkeit pro Woche, Dauer der Intervention, Trainingsmethode z.B. Muskelaufbau-, Kraftausdauer-, Maximalkrafttraining etc.), Serienzahl, Serienpause, Verwendung von Periodisierungsstrategien); (e) methodologische Studiencharakterisierung (interne, externe Validität, Konstrukt- und Statistische Validität) (23,11,62). Generell wurden sowohl Studien mit (RCT-Studien) und ohne Kontrollgruppe aufgenommen (7,62), da sich einerseits die Effektstärke bei beiden Treatmentbedingungen exakt bestimmen lässt und andererseits die Fallzahlen entsprechend verringert hätten (7). Weiterhin wird von Bortz und Döring (2006) sowie von Rustenbach (2003) die eher liberale Auffassung vertreten, dass Studien, die gewisse Qualitätskriterien erfüllen (siehe Rhea et al. (2003) für Krafttrainingsinterventionen (59)), zur Erhöhung der externen Validität in die Studienselektion aufgenommen werden sollten (Problem des „Garbage in und Garbage out“-Arguments). Rustenbach (2003) schreibt hierzu: „Eine Exklusion quasiexperimenteller Primärstudien führt zudem potenziell zu einer deutlicheren Verzerrung der Integrationsbefunde als deren Inklusion, da eine Beschränkung auf randomisierte und kontrollierte Studien oftmals zu einer drastisch und artifiziell eingeschränkten Repräsentativität führt und die Teststärke der Integrationsstudien mit sinkender Anzahl integrierter Primärstudien abnimmt.“ Bortz und Döring (2006) konstatieren: „Vor die Alternative gestellt, bestimmte Untersuchungen wegen mangelnder methodischer Qualität von einer Metaanalyse auszuschließen oder alle Untersuchungen, die zumindest einem minimalen methodischen Standard genügen, ist dem zweiten Vorgehen der Vorrang zu geben.“

In Tabelle 1 sind exemplarisch vier zufällig ausgewählte Primärstudien anhand einiger Studienmerkmale dargestellt.

Statistische Verfahren

Die Effektstärke im Pre-Post-Design wurde über folgende Formel berechnet: [(Mittelwert des Posttest – Mittelwert des Pretest)/Standardabweichung des Pretest oder

$$\text{Standardabweichung}_{\text{gepoolt}} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

(41,52,59,60,)]. Die Deskription erfolgte über Mittelwerte, SD und Häufigkeiten sowie über Prozentangaben. Die inferenzstatistische Prüfung wurde mittels ein- und zweifaktorieller Varianzanalyse durchgeführt. Post-hoc Einzelvergleiche wurde über Scheffé Tests abgesichert. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ festgelegt. Die Berechnung erfolgte mit SPSS for Windows (13.0).

Primärstudien

Insgesamt konnten 46 Primärstudien zur Frage der optimalen Trainingshäufigkeit gesichtet, anhand derer im Weiteren 118

Tabelle 1: Studienbeschreibung der Primärstudien¹ (exemplarische Zufallsauswahl, $N_{\text{gesamt}} = 46$ Primärstudien).

Autoren	Probandencharakteristik	Trainingsintervention	Statistische Analyse	Variablen Erhebung	Hauptergebnisse	Fazit
Braith et al. 1989 ²	beide Geschlechter beteiligt, $N_{\text{gesamt}} = 117$, durchschnittliches Alter = 25,5, untrainierte Probanden, 2 Treatmentgruppen (2 TE/W: N = 50 bzw. 3 TE/W: N = 41), 1 Kontrollgruppe (N = 26)	1 Satz bilaterale Kniestreckungen, 7-10-RM (Hypertrophietrainingsbereich zugeordnet), Training 2 bzw. 3-mal pro Woche, über 10 bzw. 18 Wochen	randomisierte Studie mit Kontrollgruppe, ANOVA mit Messwiederholung und post-hoc Tests	MVC bei 8 Winkelbereichen (Nautilus knee extension tensiometer), dynamische Kraft, %-Veränderung	Im Vergleich zur Kontrollgruppe stieg bei den Treatmentgruppen die Muskelkraft an ($p < 0,01$). 3 TE steigern MVC um 21,2% (10 W) bzw. 28,4% (18 W); 2 TE steigern MVC um 13,5% (10 W) bzw. 20,9% (18 W). Treatmentgruppen unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$)	3 TE führen zu größeren Effekten, 2 TE haben ca. 80% der Effekte wie 2 TE
Carroll et al. 1998 ³	beide Geschlechter beteiligt, $N_{\text{gesamt}} = 17$, durchschnittliches Alter = 18,6, untrainierte Probanden, 2 Treatmentgruppen (2 TE/W: N = 5 bzw. 3 TE/W: N = 6), 1 Kontrollgruppe (N = 6)	3 Sätze mit 4-10-RM (Hypertrophietrainingsbereich zugeordnet) für 7 Übungen (half squat, leg extension, leg curl, bench press, lateral pull-down, lateral raise, abdominal crunches), 3 TE Gruppe 6 Wochen, 2 TE 9 Wochen, insgesamt beide Gruppen jeweils 18 TE	randomisierte Studie mit Kontrollgruppe, ANOVA, T-Test, Bonferroni-Korrektur, Pearson Produkt-Moment-Korrelation, Kruskal Wallis Test	1-RM, Peak Torque, MVC bei halber Kniebeuge, unilateraler Bein Streckung, Muskelbiopsie (MHC-Analyses vom vastus lateralis)	Veränderung 1-RM bei 2 TE bzw. 3 TE annähernd gleich (n.s., 3 TE > 2 TE), jedoch signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe, Peak Torque und MVC bei 2 TE signifikant größer als bei 3 TE	MVC und Peak Torque unterscheiden sich in Abhängigkeit der Trainingshäufigkeit, 1-RM kein signifikanter Unterschied, MHC n.s. korreliert mit Trainingsparametern
Hoffmann et al. 1990 ⁴	Männer, $N_{\text{gesamt}} = 61$, durchschnittliches Alter = 19,9, trainierte Fußballspieler, 4 Treatmentgruppen (3 TE/W: N = 12, 4 TE/W: N = 15, 5 TE/W: N = 23 bzw. 6 TE/W: N = 11)	Freie Wahl der Trainingshäufigkeit (3, 4, 5 oder 6-mal pro Woche), Übungen für chest, shoulders, triceps, neck, legs, back, biceps and forearms (1-4 Woche: 3 x 10, 5-8 Woche: 5 x 6, 9-10 Woche: abnehmende Pyramide), insgesamt 10 Wochen Training	Quasiexperimentelles Design, ANOVA, T-Test und post hoc Tests	1-RM (Bankdrücken und Kniebeugen), Sprint über 40-yard, 2-Mile-Lauf, Vertikalsprung, Körpergewicht, Hautfaldicke, Muskelumfang,	1-RM steigt sowohl beim Bankdrücken als auch bei der Kniebeuge bei 3, 4, 5 oder 6-maligen Training pro Woche an. Beim Bankdrücken resultieren die größten Effekte bei 4 und 6 TE/W bei der Übung Kniebeugen bei 4 und 5 TE/W	Bezogen auf alle Variablen scheint bei selbst gewählter Trainingshäufigkeit 4 oder 5-mal pro Woche optimal zu sein um Kraft, Ausdauer und Muskelmasse zu verbessern
McLester et al. 2000 ⁵	beide Geschlechter beteiligt, $N_{\text{gesamt}} = 25$, durchschnittliches Alter 24,9, trainierte Probanden, 2 Treatmentgruppen (1 TE/W: N = 9 bzw. 3 TE/W: N = 9), N = 7 wurde aufgrund mangelnder Compliance ausgeschlossen	Trainingsgruppe 1 TE/W trainierte 3 Sätze mit 8-10-RM, 2 Min. Serienpause; Trainingsgruppe 3 TE/W trainierte 1 Satz mit 10-RM; insgesamt 9 Übungen für den ganzen Körper (z.B. bench press, biceps curl, leg curl etc.; Anzahl der Sätze und verrichtete Arbeit sollte bei beiden Gruppen gleich sein, insgesamt 12 Wochen Training	randomisierte Studie ohne Kontrollgruppe, MANCOVA mit Messwiederholung und post hoc Tests	1-RM (bench press, lat pull, triceps press, biceps curl, lateral raise, leg press, leg extension, leg curl, calf raise), Körperfett, fettfreie Körpermasse, Muskelumfang	Signifikanter Anstieg des 1-RM sowohl bei 1 TE/W als auch bei 3 TE/W. Die prozentualen Steigerungen waren bei 3 TE/W größer als bei 1 TE/W	Größere Veränderung der fettfreien Körpermasse bei höherer Trainingshäufigkeit pro Woche. Langfristig führen 3 TE/W zu größeren Effekten

¹Die Primärstudienbeschreibung erfolgte anhand eines Codierschemas wie es von Rhea et al. (2003) und Peterson et al. (2004) für Krafttrainingsforschung vorgelegt wurde. Insgesamt wurden 47 Variablen bzgl. deskriptiver Informationen, Hinweise zur Testung und zum Training, zur Methodik und zur Bewertung der Primärstudien etc. erhoben und codiert (siehe Fröhlich, 2006). Das Codierschema sowie die einzelnen Studienbeschreibungen sind bei den Autoren einzusehen. Die SPSS Datenmatrix umfasst 47 Variablen und 118 Fälle.

²Zeitschriftenartikel, International Journal of Sports Medicine, begutachtet, IF = 1,40, englisch; ³Zeitschriftenartikel, European Journal of Applied Physiology, begutachtet, IF = 1,50, englisch;

⁴Zeitschriftenartikel, Journal of Applied Sport Science Research, Begutachtung unbekannt, IF = unbekannt, englisch;

⁵Zeitschriftenartikel, Journal of Strength and Conditioning Research, begutachtet, IF = 0,80, englisch.

Effektstärken (1-RM Veränderung im Trainingsexperiment) berechnet werden konnten. Der Publikationszeitraum umfasste die letzten 25 Jahre, wobei der Hauptschwerpunkt auf den letzten 10 Jahren lag. Die primäre Publikationsquelle lag mit 87,0% bei Zeitschriftenartikeln (N=40), danach folgten Beiträge in Herausgeberwerken (N=4) sowie Abstracts in Zeitschriften (N=1) und Monographien (N=1). Die Publikationen wurden überwiegend in englischer Sprache verfasst (97,8%; N=45). Die Primärstudien konzentrierten sich bei den Zeitschriftenartikeln auf die folgenden Journals: Journal of Strength and Conditioning Research (50,0%), Medicine and Science in Sports and Exercise (15,0%), Journal of Applied Sport Science Research (10,0%), European Journal of Applied Physiology (7,5%), Research Quarterly for Exercise and Sport (7,5%), International Journal of Sports Medicine (5,0%), Journal of Applied Physiology (2,5%) und NSCA Journal (2,5%). Das den Primärstudien zugrunde liegende Studiendesign bzw. die verwendeten Versuchspläne waren in der Rangfolge: (a) Randomisierte Studien mit Kontrollgruppe (50,0%; N=23), (b) Randomisierte Studien ohne Kontrollgruppe (37,0%; N=17), (c) Quasiexperimentelles Design (10,9%; N=5) und (d) Crossover-Design (2,2%; N=1). Es wurden generell nur Primärstudien mit einer Experimental- bzw. Treatmentphase zugelassen. Die Primärstudien wurden in 87,0% der Fälle begutachtet, wobei ein mittlerer Impactfactor von $1,3 \pm 0,75$ (N=36) registriert wurde. Der Impactfaktor wurde a posteriori durch die Übersicht von Hopkins (2005) zugewiesen (34). In 13,0% konnten keine Angaben zum Begutachtungsverfahren gemacht werden.

ERGEBNISSE

Deskription der Primärliteratur – Stichprobenbeschreibung

Insgesamt gingen 2198 Probanden in die Metaanalyse ein. Die durchschnittliche Größe der Probandenstichprobe pro Primärstudie lag bei $18,6 \pm 11,7$ Personen (Median = 14,0; Min = 6; Max = 59). Das durchschnittliche Alter aller Probanden betrug $29,3 \pm 15,4$ Jahre (Median = 23,6; Min = 13,3; Max = 71,5). Die Teilnehmer an den Primärstudien waren insgesamt zu 42,4% männlich (N=50 Studien), zu 37,3% weiblich (N=44 Studien) und in 20,3% (N=24) der Studien waren beide Geschlechter beteiligt.

38,1% der Primärstudien hatten trainierte Probanden (N=45), 50,8% der Primärstudien rekrutierten untrainierte Probanden (N=60) und in 11% (N=13) konnten keine Informationen zum Trainingsstatus aus der Primärliteratur entnommen werden. Hier muss angemerkt werden, dass die Unterscheidung zwischen „trainiert“ und „untrainiert“ in den Primärstudien i.d.R. einen graduellen Prozess darstellte, und nicht immer analytisch exakt differenziert wurde.

Die Anzahl der verwendeten Testübungen lag im Mittel bei $3,1 \pm 2,3$ Übungen. Das eigentliche Training wurde im Durchschnitt an $6,6 \pm 3,5$ Geräten bzw. Übungen durchgeführt (Min = 1; Max = 24). Die maximal 24 unterschiedlichen Übungen resultierten durch ein so genanntes Split-Training an mehreren Tagen pro Woche. Die zumeist verwendeten Test- als auch Trainingsübungen waren für die oberen Extremitäten das Bankdrücken und für die unteren Extremitäten die Kniebeuge und das Beinpressen. Die Übungen wurden entweder frei oder an speziellen Geräten durchgeführt (23).

Bezüglich der Belastungsnormativa des Trainings lässt sich konstatieren: In 94,9% der Primärstudien wurden Angaben zur Belastungsintensität (N=112), in allen Studien zur Trainings-

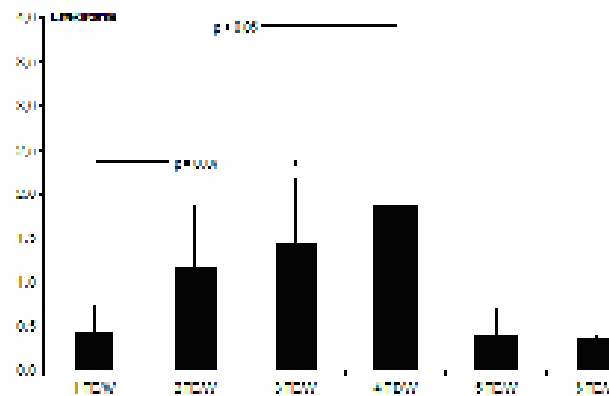


Abbildung 1: Effektstärken innerhalb verschiedener Trainingshäufigkeiten pro Woche.

häufigkeit bzw. zum Trainingsvolumen und in 39,8% zur Serienpause (N=47) gemacht. 44,9% der Primärstudien verwendeten zur progressiven Belastungssteigerung Periodisierungsstrategien (N=53). 55,1% der Studien machten hiervon keinen Gebrauch. Die mittlere Studiendauer betrug $11,9 \pm 5,2$ Wochen (Median = 12; Min = 4; Max = 25).

Zur weiteren Charakterisierung der Trainingsintervention wurden verschiedene trainingsmethodische Kategorien gebildet: 54,2% der Primärstudien konnten so dem Bereich Muskelaufbautraining bzw. Hypertrophietraining (8-12-RM oder 65-85% 1-RM) (N=64), 9,3% dem Intramuskulären Koordinationstraining bzw. Maximalkrafttraining (3-6-RM oder $\geq 85\%$ 1-RM) (N=11) und 3,4% dem Kraftausdauertraining (≥ 15 -RM oder $\leq 60\%$ 1-RM) (N=4) zugeordnet werden. 39 Studien ließen sich keinem exakten Trainingsbereich (-methode) zuordnen (33,1%).

Die durchschnittliche Trainingshäufigkeit lag bei $2,6 \pm 0,9$ Trainingseinheiten pro Woche (Median = 3; Min = 1; Max = 6). Die prozentualen Häufigkeiten der bewältigten Trainingseinheiten pro Woche (TE/W) verteilten sich wie folgt: 1 TE/W = 7,6% (N=9); 2 TE/W = 37,3% (N=44); 3 TE/W = 44,1% (N=52); 4 TE/W = 7,6% (N=9); 5 TE/W = 1,7% (N=2); 6 TE/W = 1,7% (N=2). Die durchschnittliche Gesamttrainingshäufigkeit pro Primärstudie betrug $32,2 \pm 18,9$ Trainingseinheiten. In allen Primärstudien wurden Angaben zur dynamischen Maximalkraftbestimmung (i.d.R. 1-RM-Bestimmung) sowie in 78,8% der Fälle zu weiteren anthropometrischen Variablen wie Größe, Gewicht, BMI, Körperfett etc. der Probanden gemacht.

Inferenzstatistische Auswertung unterschiedlicher Trainingshäufigkeiten pro Woche

Insgesamt konnten 118 Effektstärken anhand der Primärstudien berechnet werden (zum Teil mehrere Treatmentbedingungen pro Primärstudie). Die Effektstärke als quantitatives Maß von Gruppenzugehörigkeit und Interventionsergebnis zeigte einen signifikanten Unterschied in der Trainingshäufigkeit pro Woche ($F = 3,96$; $df = 5$; $p < 0,05$). Die mittels Scheffé-Test abgesicherten Post-hoc-Vergleiche zeigten signifikante Unterschiede zwischen einer und vier Trainingseinheiten ($p < 0,05$) und tendenzielle (nicht signifikante) Unterschiede zwischen einer und drei Trainingseinheiten pro Woche ($p = 0,07$). Die weiteren Kombinationen waren nicht signifikant (Abbildung 1).

Zur weiteren inhaltlichen sowohl methodischen als auch methodologischen Klärung wurden die Effektstärken an der Studiendauer relativiert, das bedeutet, die Zeitdauer der

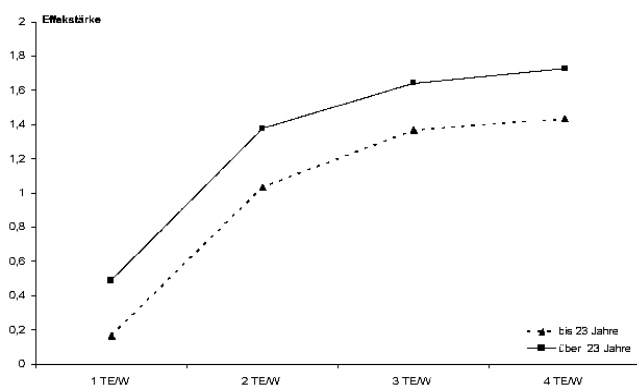


Abbildung 2: Interaktionsdiagramm Altersdifferenzierung und Trainingshäufigkeit.

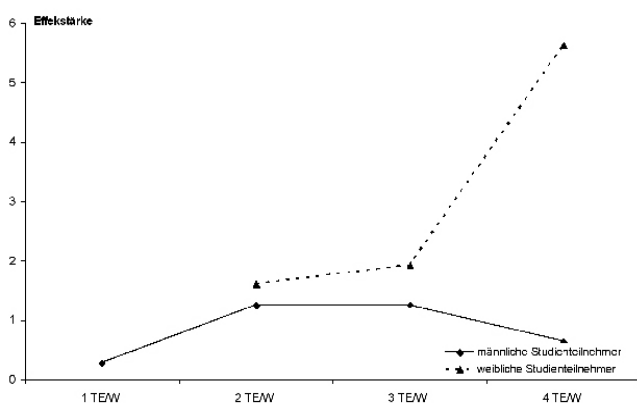


Abbildung 3: Interaktionsdiagramm Geschlechtsdifferenzierung und Trainingshäufigkeit.

Trainingsintervention sollte keinen weiteren Einfluss mehr besitzen. Darüber hinaus wurden Primärstudien, die länger als 20 Wochen andauerten (2 Studien) sowie die vier Studien mit einer Trainingshäufigkeit von fünf bzw. sechs TE von der weiteren Berechnung ausgeschlossen (Ausreißer bzw. geringe Fallzahl). Im Weiteren werden die unabhängigen Variablen: Alter und Geschlecht der Versuchspersonen, der Trainingszustand, die Trainingsmethode sowie die zusätzliche Verwendung von Periodisierungsstrategien in der Trainingsintervention untersucht.

In Abhängigkeit vom Alter der Probanden in den Primärstudien (Differenziert in bis 23 Jahre und über 23 Jahre) konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der Anzahl der Trainingshäufigkeiten ($F = 3,0$; $df = 3$; $p < 0,05$) festgestellt werden. Die Alterskohorten unterschieden sich nicht signifikant ($F = 0,7$; $df = 1$; $p = 0,40$). Die Interaktion war ebenfalls nicht signifikant ($F = 0,0$; $df = 3$; $p = 1,00$). Auffallend erscheint, dass alle Effektstärken über die einzelnen Trainingseinheiten pro Woche bei der Alterskohorte „älter als 23 Jahre“ über denen der Kohorte „jünger als 23 Jahre“ liegen. Da die Interaktionsgraphen gleichsinnig verlaufen, können die Haupteffekte global interpretiert werden (Abbildung 2).

Betrachtet man die Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden in den Primärstudien so lässt sich konstatieren: a) es besteht ein signifikanter Unterschied innerhalb der Anzahl von Trainingseinheiten ($F = 4,0$; $df = 3$; $p < 0,05$), b) weiterhin besteht ein signifikanter Geschlechtsunterschied ($F = 26,9$; $df = 1$; $p < 0,05$) und schließlich zeigt sich c) eine signifikante Interaktion ($F = 8,6$; $df = 2$; $p < 0,05$). Alle Effektstär-

ken der Trainingsintervention, an denen Frauen teilgenommen haben, liegen über denen von Männern (Abbildung 3).

Der Trainingszustand in den normativen Kategorien „Trainierte“ und „Untrainierte“ Primärstudienteilnehmer wirkte sich wie folgt aus: a) Trainingshäufigkeit pro Woche ($F = 2,5$; $df = 3$; $p = 0,07$), b) Trainingszustand ($F = 0,0$; $df = 1$; $p = 0,93$) und c) Interaktion Trainingshäufigkeit mal Trainingszustand ($F = 1,9$; $df = 2$; $p = 0,16$) (Abbildung 4). Die verwendeten Trainingsmethoden in den Kategorien „Trainingsmethoden im Kraftausdauerbereich“, „Hypertrophietrainingsbereich“ und „Bereich des Intramuskulären Koordinationstrainings“ zeigten folgende Effekte über die verschiedenen Trainingshäufigkeiten. Die Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche unterschied sich signifikant ($F = 5,3$; $df = 3$; $p < 0,05$). Die einzelnen Trainingsmethoden zeigten keinen statistischen Einfluss ($F = 0,3$; $df = 2$; $p = 0,72$), ebenso wie die Interaktion Trainingshäufigkeit mal Trainingsmethode ($F = 0,2$; $df = 2$; $p = 0,81$).

Betrachtet man die zusätzliche Verwendung von Periodisierungsmaßnahmen zur progressiven Belastungssteigerung innerhalb der Trainingsintervention, so lässt sich ein signifikanter Unterschied innerhalb des Haupteffektes Trainingshäufigkeiten nachweisen ($F = 4,4$; $df = 3$; $p < 0,05$). Der Haupteffekt Trainingsperiodisierung („ja“ oder „nein“) ist nicht signifikant ($F = 1,9$; $df = 1$; $p = 0,17$). Die Interaktion weist einen signifikanten Effekt aus ($F = 10,7$; $df = 2$; $p < 0,05$) (Abbildung 5).

DISKUSSION

Betrachtet man die Effektstärken als quantitatives Maß der Trainingsinterventionen so kann allgemein festgestellt werden, dass verschiedene Trainingsfrequenzen zu unterschiedlichen Anpassungseffekten der Veränderung der Maximalkraft durch Krafttraining führen. Aus dieser Aussage lässt sich schließen, dass eine, fünf und sechs Trainingseinheiten weniger effizient sind als zwei, drei und vier Trainingseinheiten pro Woche. Legt man die Effektstärkenklassifizierung bei Krafttrainingsinterventionen von Rhea (2004) zugrunde, so kann man bei einer, fünf und sechs TE von geringer bzw. gewöhnlicher, bei zwei, drei und vier TE von moderater bis starker Veränderung sprechen (60). Somit würden unter Effizienzaspekten eine – zu geringe Auslenkung der Homöostase, – bzw. fünf und sechs Trainingseinheiten – mangelnde Erholungsfähigkeit physiologischer Parameter – als optimale Trainingsfrequenz pro Woche ausscheiden (5, 46, 73). Während bei nur einer Trainingseinheit pro Woche die Einflüsse auf die neurophysiologischen (gesteigerte Rekrutierung und Frequenzierung sowie optimierte Synchronisation von motorischen Einheiten) sowie die morphologischen Systeme (gesteigerter Protein-Turnover) nur im Sinne des Leistungserhalts wirken, scheinen bei fünf und sechs Trainingseinheiten die beanspruchten Systeme ihr Ausgangsniveau noch nicht erreicht zu haben, um erneute Trainingsreize verarbeiten zu können (47, 72). Eine Trainingseinheit könnte somit im Rahmen der Primärprävention Gültigkeit besitzen, während aufgrund der höheren Belastungstoleranz und des allgemein verbesserten Regenerationsverhaltens fünf und sechs Trainingseinheiten im Hochleistungssport durchaus ihre Berechtigung haben (3, 5, 74). Da beide Bereiche Prävention und Hochleistungssport im Rahmen der Primärstudienforschung jedoch stark unterrepräsentiert waren, sind abschließende Aussagen nur bedingt möglich.

Des Weiteren zeigte sich, dass in Abhängigkeit von verschiedenen intervenierenden Variablen wie Alter, Geschlecht, Trainingszustand, Trainingsmethode etc. ein signifikanter Unterschied in der Trainingsfrequenz pro Woche besteht (3,5). Somit lässt sich der Haupteffekt Trainingshäufigkeit global interpretieren, indem davon auszugehen ist, dass zwei bis vier Trainingseinheiten pro Woche zu optimalen Anpassungseffekten der Maximalkraftentwicklung führen (3, 13, 16, 26, 36, 52, 59, 66, 73). Inwieweit zwei, drei oder vier Trainingseinheiten pro Woche zu überlegenen Anpassungseffekten führen, lässt sich anhand der Primärliteratur nicht endgültig entscheiden (3). Frauen scheinen etwas mehr von Krafttrainingsinterventionen zu profitieren als Männer, da davon auszugehen ist, dass Frauen ein geringeres Ausgangsniveau haben und bei kurzzeitigen Interventionen somit die Trainingsanpassung schneller vorstatten geht. Das Alter der Primärstudienteilnehmer, deren Trainingszustand sowie die verschiedenen Trainingsmethoden lassen sich nur schwer pauschal in Abhängigkeit von der Trainingshäufigkeit interpretieren. Durch Extremgruppenvergleiche beispielsweise Kinder vs. Senioren und Untrainierte vs. hochspezifisch Trainierte sowie durch ein Crossover-Design könnten mögliche Erklärungsvariablen identifiziert werden.

So stellte Hunter (1985) bei untrainierten Frauen und Männern bei der Zielübung Bankdrücken eine Überlegenheit von vier gegenüber drei Trainingseinheiten fest (36). Betrachtet man zwei und drei Trainingseinheiten pro Woche, so ist die Forschungslage sehr indifferent (3). Während Brazell-Roberts und Thomas (1989), Carroll et al. (1998) und Stadler et al. (1997) keine signifikanten Unterschiede zwischen zwei und drei Trainingseinheiten fanden (14, 16, 66), berichteten Braith et al. (1989) und Graves et al. (1988) von einer Überlegenheit von drei gegenüber zwei Trainingseinheiten pro Woche (13, 26).

Die Forschergruppe um Graves und Pollock führte eine interessante Studie zur Trainingsfrequenz durch, indem sie die Effekte von zwei bzw. drei Trainingseinheiten pro Woche über 10 bzw. 18 Wochen untersuchten und dann die Trainingshäufigkeiten um jeweils n-1 reduzierten, also bei 3 mal Training pro Woche auf 2 mal etc. Dabei kam es jeweils zu negativen Trainingseffekten im Sinne von Verschlechterungen nach der Reduktion der Trainingshäufigkeit (26). Wirth (2004) untersuchte nicht nur die Veränderung der Maximalkraft, sondern explizit noch die Veränderung des Muskelquerschnitts nach einem achtwöchigen Hypertrophietraining bei Fortgeschrittenen und Anfängern, welche einmal, zwei- und dreimal pro Woche trainierten. Zwar konnten innerhalb der Gruppen keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden, doch zeigte sich für die Anfängergruppe als auch für die Fortgeschrittenen, dass eine Trainingseinheit pro Woche zu den schlechtesten Ergebnissen führte. Zwei und drei Trainingseinheiten pro Woche steigerten die dynamische Maximalkraft signifikant besser, ohne sich jedoch signifikant untereinander zu unterscheiden (73). Marx et al. (1998) stellten die höchsten Effektstärken bei einem periodisierten Krafttraining bei untrainierten Frauen mit vier Trainingseinheiten pro Woche fest (42). Dabei ist zu bedenken, dass bei untrainierten bzw. Krafttrainingsanfängern die höchsten Anpassungseffekte zu erwarten sind und dass die Überlegenheit eines periodisierten Trainings gegenüber einem nicht periodisierten Training als bewiesen angesehen wird. Peterson et al. (2004) fanden Effektstärken von $0,70 \pm 0,76$ ($n = 158$) bei zwei Trainingseinheiten und von $0,69 \pm 1,13$ ($n = 173$) bei drei Trainingseinheiten pro Woche (52). Ähnliche Effektstärken werden von Carroll et al. (1998) bzgl. 1-RM

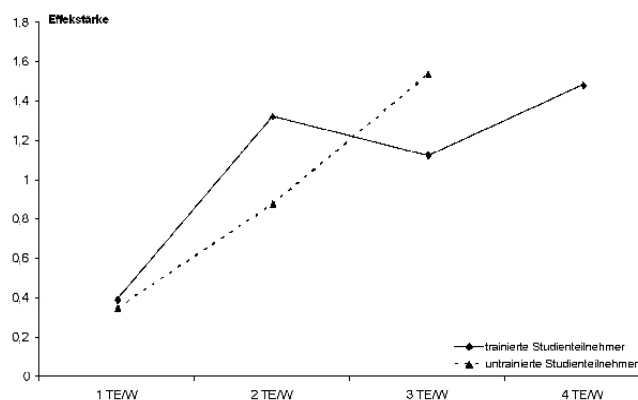


Abbildung 4: Interaktionsdiagramm Trainingszustand und Trainingshäufigkeit.

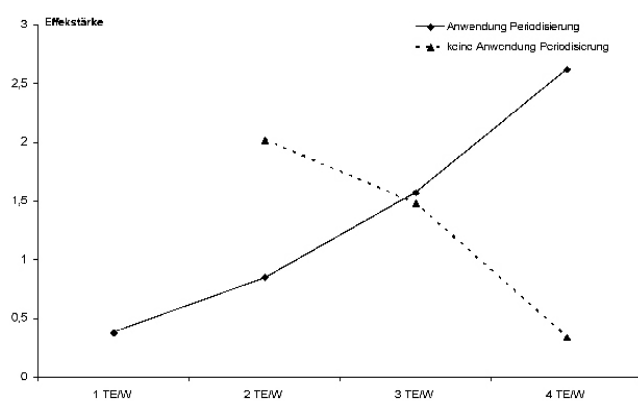


Abbildung 5: Interaktionsdiagramm Periodisierungsmaßnahmen und Trainingshäufigkeit.

Veränderung berichtet (16): 3 TE/W (6 Wochen): ES = 1,00; 2 TE/W (9 Wochen): ES = 0,71.

Rhea et al. (2003) konnten einen Einfluss des Trainingszustandes innerhalb der Trainingsfrequenz feststellen. Während für untrainierte Personen eine Trainingshäufigkeit von dreimal pro Woche zu den größten Anpassungseffekten führt, profitieren bereits Trainierte optimal von zwei Trainingseinheiten (59). Begründet wird dieses Ergebnis mit der höheren Trainingsbelastung und der somit verlängerten Erholungszeit von Trainingsinterventionen bei bereits Fortgeschrittenen (5). Somit decken sich die Untersuchungen von Rhea et al. (2003) mit den hier gefundenen Ergebnissen. Generell kann man aber davon ausgehen, dass nach intensivem Krafttraining mit hohen Belastungen die neurophysiologischen und metabolischen Systemenach 48 Stunden wieder das Ausgangsniveau erreicht haben (55,56), was ein dreimaliges Training pro Woche zulassen würde. Im Gegensatz dazu stehen die Aussagen von McLester et al. (2003) sowie Wernbom et al. (2007) welche 72-96 Stunden präferieren (47, 72). Dabei ist zu bedenken, dass Trainingshäufigkeiten sowie die individuellen Regenerationsverläufe zusätzlich von den verschiedenen Belastungsnormativa der Trainingsmethoden abhängen (Serienpausen, Intensitäten, Wiederholungen innerhalb der Serien, Serienzahl etc.).

Wirth (2004) fand bei Krafttrainingsanfängern und fortgeschrittenen vergleichbare Veränderungen nach achtwöchigem Training des 1-RM bei einer und drei Trainingseinheiten pro Woche (73).

Dass die Verwendung von Periodisierungsstrategien im Krafttraining als zusätzlicher Stimulus speziell bei Fortgeschrittenen zu größeren Anpassungseffekten führt, konnte in zahlreichen Untersuchungen nachgewiesen werden (20,22,59,68,69) und deckt sich mit den gefundenen Ergebnissen der vorliegenden Studie (12,31), innerhalb derer die Effektstärken bei Primärstudien mit Periodisierung über die Trainingseinheiten ansteigen, während sie bei Krafttrainingsinterventionen ohne Periodisierung von zwei über vier Trainingseinheiten kontinuierlich abnehmen (Abbildung 5).

Betrachtet man sich die Effektstärken bei unterschiedlichen Trainingsmethoden, respektive verschiedenen Trainingsbereichen, so ist festzustellen, dass die Effektstärken bei allen Trainingsmethoden (Kraftausdauer, Hypertrophie und IK-Training) bei drei Trainingseinheiten höher sind als bei zwei Trainingseinheiten: Kraftausdauerbereich 285,0 %, Hypertrophiebereich 129,3% und IK-Training 178,9%. Für die Trainingspraxis wäre dies ein weiterer Beleg für drei Trainingseinheiten pro Woche, was auch durch die gängige Literatur bestätigt wird (20,29,38,68). Da die verschiedenen Trainingsmethoden differenzierte Adaptationsprozesse evozieren und unterschiedliche neurophysiologische, energetische und physiologische Systeme unterschiedlich gewichtet angesprochen werden, wäre einer weiteren Vertiefung des Forschungsgegenstandes zuzuraten.

Methodenkritik

Bezüglich der Interpretation der Ergebnisse sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen: Einerseits beziehen sich die Primärstudien nur auf den deutsch- und englischsprachigen Raum und stellen nur einen selektiven Teil der Primärstudienlage dar, was bei metaanalytischen Verfahren aufgrund der Selektionskriterien zu berücksichtigen ist. Dies schränkt in Teilen die allgemeine Repräsentativität ein. Hinzu kommt die mangelnde Anzahl deutscher Studien. Darüber hinaus liegt der Schwerpunkt bei Studien mit Trainingsintervention i.d.R. bei zwei bis drei Trainingseinheiten pro Woche, wobei Studien mit höherer Trainingsfrequenz eher selten zu finden sind (33) und direkte Vergleiche von Trainingshäufigkeiten (zwei, drei oder vier TE) keine abschließende Empfehlung zulassen. Explizite Forschungen im Sinne von randomisierten, kontrollierten Trainingsstudien und entsprechender Fallzahl wären hierzu wünschenswert.

Des Weiteren liegt ein Mangel bei empirischen Primärstudien darin begründet, dass statistische Angaben fehlen sowie die genaue Beschreibung der Untersuchungsmethodik nur unzureichend angegeben wird und somit bei Metaanalysen die Validität einschränken (mangelnde interne Validität sowie Konstruktvalidität). Weiterhin muss angemerkt werden, dass sich die bisherigen Ergebnisse nur auf die Effektstärken der Veränderung der konzentrischen Maximalkraft als einer Variablen zur Operationalisierung von Trainingsanpassungen beziehen. Darüber hinausgehende Aussagen und Generalisierungen auf z.B. Veränderung des Muskelquerschnitts, neuronale Anpassung, muskelenenergetische Adaptationen etc. sind somit nicht statthaft (eingeschränkte Aussagekraft).

Danksagung und verwendete Primärstudien:

Die Autoren möchten sich bei den anonymen Gutachtern für konstruktive Hinweise und Diskussionsbeiträge bedanken. Die verwendeten Primärstudien waren: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16,

17, 18, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 39 (Studie ging 2-mal ein, da mehrere Experimente beschrieben sind), 40, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 53, 55, 57, 58, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 73.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Keine.

LITERATUR

1. ABE T, DEHOYOS DV, POLLOCK ML, GARZARELLA L: Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *Eur J Appl Physiol* 81 (2000) 174-180.
2. AHTIAINEN JP, PAKARINEN A, ALEN M, KRAEMER WJ, HÄKKINEN K: Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: influences on muscle strength, size, and hormonal adaptations in trained men. *J Strength Cond Res* 19 (2005) 572-582.
3. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE: Position stand on progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 34 (2002) 364-380.
4. ANDERSON T, KEARNEY JT: Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Res Q Exerc Sport* 53 (1982) 1-7.
5. BAECHLE T, EARLE R, WATHAN D: Resistance training, in: Baechle TR, Earle RW (Eds.): *Essentials of strength training and conditioning*. Human Kinetics, Champaign, Ill., 2000, 395-425.
6. BAKER D, WILSON G, CARLYON R: Periodization: The effect on strength of manipulating volume and intensity. *J Strength Cond Res* 8 (1994) 235-242.
7. BEELMANN A, BLIESENER T: Aktuelle Probleme und Strategien der Metaanalyse. *Psychol Rundschau* 45 (1994) 211-233.
8. BEN-SIRA D, AYALON A, TAVI M: The effect of different types of strength training on concentric strength in women. *J Strength Cond Res* 9 (1995) 143-148.
9. BIGLAND-RITCHIE B, WOODS JJ: Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle & Nerve* 7 (1984) 691-699.
10. BORTSE, DE HOYOS DV, GARZARELLA L, VINCENT K, POLLOCK BH, LOWENTHAL DT, POLLOCK ML: Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) 648-653.
11. BORTZ J, DÖRING N: *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer, Berlin, Heidelberg u.a., 2006.
12. BOYER BT: A comparison of the effects of three strength training programs on women. *J Appl Sport Sci Res*. 4 (1990) 88-94.
13. BRAITH RW, GRAVES JE, POLLOCK ML, LEGGETT SL, CARPENTER DM, COLVIN AB: Comparison of 2 vs 3 day/week of variable resistance training during 10- and 18-week programs. *Int J Sport Med* 10 (1989) 450-454.
14. BRAZELL-ROBERTS JV, THOMAS LE: Effects of weight training frequency on the self-concept of college females. *J Appl Sport Sci Res* 3 (1989) 40-43.
15. BROWN RD, HARRISON JM: The effects of a strength training program on the strength and self concept of two female age groups. *Res Q Exerc Sport* 57 (1986) 315-320.
16. CARROLL TJ, ABERNETHY PJ, LOGAN PA, BARBER M, MCENIERY MT: Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *Eur J Appl Physiol* 78 (1998) 270-275.
17. CHILIBECK PD, CALDER AW, SALE DG, WEBBER CE: A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *Eur J Appl Physiol* 77 (1998) 170-175.
18. DERENNE C, HETZLER RK, BUXTON BP, HO KW: Effects of training frequency on strength maintenance in pubescent baseball players. *J Strength Cond Res* 10 (1996) 8-14.
19. FEIGENBAUM MS, POLLOCK ML: Prescription of resistance training for

- health and disease. *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999) 38-45.
20. **FLECK SJ, KRAEMER WJ:** Designing resistance training programs. Human Kinetics, Champaign, Ill., 1997.
 21. **FLECK SJ:** Cardiovascular response to strength training, in: Komi PV (Eds.): *Strength and Power in Sport*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1992, 305-315.
 22. **FLECK SJ:** Periodized strength training: a critical review. *J Strength Cond Res* 13 (1999) 82-89.
 23. **FRÖHLICH M:** Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung. *Sportwissenschaft* 36 (2006) 269-291.
 24. **FRÖHLICH M, EMRICH E, BÜCH M-P:** Grenzerträge auch im Sport! Erste Überlegungen zur ökonomischen Betrachtung trainingswissenschaftlicher Probleme. Ein Beitrag zu einer Ökonomie der Trainingswissenschaft. *Sportwissenschaft* 37 (2007) 296-311.
 25. **GOTTLÖBA:** Differenziertes Krafttraining mit Schwerpunkt Wirbelsäule. Urban & Fischer, München, 2001.
 26. **GRAVES JE, POLLOCK ML, LEGGETT SH, BRAITH RW, CARPENTER DM, BISHOP LE:** Effect of reduced training frequency on muscular strength. *Int J Sport Med* 9 (1988) 316-319.
 27. **GÜLLICHA, SCHMIDTBLEICHER D:** Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deut Z Sportmed* 50 (1999) 223-234.
 28. **HARRIS C, DEBELISO MA, SPITZER-GIBSON TA, ADAMS KJ:** The effects of resistance-training intensity on strengthgain response in the older adult. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 833-838.
 29. **HARTMANN J, TÜNNEMANN H:** Modernes Krafttraining. Ullstein, Frankfurt/M., 1993.
 30. **HASS CJ, GARZARELLA L, DE HOYOS D, POLLOCK ML:** Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) 235-242.
 31. **HERRICKAB, STONE WJ:** The effects of periodization versus progressive resistance exercise on upper and lower body strength in women. *J Strength Cond Res* 10 (1996) 72-76.
 32. **HICKSON RC, HIDAKA K, FORSTER C:** Skeletal muscle fibre type, resistance training, and strength-related performance. *Med Sci Sports Exerc* 26 (1994) 593-598.
 33. **HOFFMAN JR, KRAEMER WJ, FRY AC:** The effects of self-selection for frequency of training in a winter conditioning program for football. *J Appl Sport Sci Res* 4 (1990) 76-82.
 34. **HOPKINS WG:** Impact factors of journals in sport and exercise science, 2004. *Sports Science* 9 (2005) 14-16.
 35. **HUNTER GR, WETZSTEIN CJ, McLAFFERTY CL, ZUCKERMAN PA, LANDERS KA, BAMMAN MM:** High-resistance versus variable-resistance training in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2002) 1759-1764.
 36. **HUNTER GR:** Changes in body composition, body build and performance associated with different weight training frequencies in males and females. *Nat Strength Cond Ass J* 7 (1985) 26-28.
 37. **KARLSSON J, SJÖDIN B, JACOBS I, KAISER P:** Relevance of muscle fibre type to fatigue in short intense and prolonged exercise in man, in: Porter R, Whelan J (Eds.): *Human muscle fatigue: physiological mechanisms*. Pitman Medical, London, 1981, 59-74.
 38. **KRAEMER WJ, HÄKKINEN K (Ed.):** Handbook of sports medicine and science. *Strength training for sport*. Blackwell Science Ltd, Oxford, 2002.
 39. **KRAEMER WJ:** A series of studies - the physiological basis for strength training in American football: fact over philosophy. *J Strength Cond Res* 11 (1997) 131-142.
 40. **KRAMER JB, STONE MH, O'BRYANT HS, CONLEY MS, JOHNSON RL, NIEMAN DC, HONEYCUTT DR, HOKE TP:** Effects of single vs. multiple sets of weight training: impact of volume, intensity, and variation. *J Strength Cond Res* 11 (1997) 143-147.
 41. **MAIER-RIEHLE B, ZWINGMANN C:** Effektstärkevariation beim Eingruppen-Prä-Post-Design: Eine kritische Betrachtung. *Rehabilitation* 39 (2000) 189-199.
 42. **MARX JO, NINDL BC, GOTSHALK LA, VOLEK JS, HARMAN FS, DOHI K, BUSH JA, FLECK SJ, HÄKKINEN K, KRAEMER WJ:** The effects of a low-volume progressive resistance exercise program versus a high-volume periodized resistance exercise program on muscular performance in women, in: Häkkinen K (Eds.): *International conference on weightlifting and strength training*. Gummerus Printing, Lathi, Finland, 1998, 167-168.
 43. **MASSEY D:** An analysis of full range of motion vs. partial range of motion training in the development of strength, in: Gießing J, Fröhlich M, Preuss P (Eds.): *Current results of strength training research*. Cuvillier Verlag, Göttingen, 2005, 206-216.
 44. **MCCALL GE, BYRNES WC, DICKINSON A, PATTANY PM, FLECK SJ:** Muscular fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *J Appl Physiol* 81 (1996) 2004-2012.
 45. **MCGEED, JESSEEC, STONEMH, BLESSING D:** Leg and hip endurance adaptations to three weight-training programs. *J Appl Sport Sci Res* 6 (1992) 92-95.
 46. **MCLESTER JR, BISHOP JP, GUILLIAMS ME:** Comparison of 1 day and 3 days per week of equal-volume resistance training in experienced subjects. *J Strength Cond Res* 14 (2000) 273-281.
 47. **MCLESTER JR, BISHOP PA, SMITH J, WYERS L, DALE B, KOZUSKO J, RICHARDSON M, NEVETT ME, LOMAX R:** A series of studies - a practical protocol for testing muscular endurance recovery. *J Strength Cond Res* 17 (2003) 259-273.
 48. **MESSIER SP, DILL ME:** Alterations in strength and maximal oxygen uptake consequent to nautilus circuit weight training. *Res Q Exerc Sport* 56 (1985) 345-351.
 49. **NÓBREGA ACL, PAULA KC, CARVALHO CG:** Interaction between resistance training and flexibility training in healthy young adults. *J Strength Cond Res* 19 (2005) 842-846.
 50. **OSTROWSKI KJ, WILSON GJ, WEATHERBY R, MURPHY PW, LITTLE AD:** The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *J Strength Cond Res* 11 (1997) 148-154.
 51. **PAULSEN G, MYKLESTAD D, RAASTAD T:** The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *J Strength Cond Res* 17 (2003) 115-120.
 52. **PETERSON MD, RHEAMR, ALVARBA:** Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 377-382.
 53. **PIERCE K, ROZENEK R, STONE HM:** Effects of high volume weight training on lactate, heart rate, and perceived exertion. *J Strength Cond Res* 7 (1993) 211-215.
 54. **PLATONOV VN:** Belastung - Ermüdung - Leistung. Philippka, Münster, 1999.
 55. **RAASTAD T, GLOMSHELLER T, BJORO T, HALLÉN J:** Recovery of skeletal muscle contractility and hormonal responses to strength exercise after two weeks of high-volume strength training. *Scand J Med Sci Sports* 13 (2003) 159-168.
 56. **RAASTAD T, HALLÉN L:** Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. *Eur J Appl Physiol* 82 (2000) 206-214.
 57. **REMMERT H, SCHISCHEK A, ZAMHÖFER T, FERRAUTI A:** Influence of recovery duration on increase of strength and muscular growth within a high-intensity training (HIT), in: Gießing J, Fröhlich M, Preuss P (Eds.): *Current results of strength training research*. Cuvillier Verlag, Göttingen, 2005, 89-102.
 58. **RHEA MR, ALVAR BA, BALL SD, BURKETT LN:** Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *J Strength Cond Res* 16 (2002) 525-529.
 59. **RHEA MR, ALVAR BA, BURKETT LN, BALL SD:** A Meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 35 (2003) 456-464.
 60. **RHEAMR:** Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res* 18 (2004) 918-920.
 61. **ROBINSON JM, STONE M, H., JOHNSON RL, PENLAND C, M., WARREN BJ, LEWIS RD:** Effects of different weight training exercise/rest intervals on strength, power, and high intensity exercise endurance. *J Strength Cond Res* 9 (1995) 216-221.
 62. **RUSTENBACH SJ:** Metaanalyse. Eine anwendungsorientierte Einführung. Verlag Hans Huber, Bern u.a., 2003.
 63. **SANBORN K, BOROS R, HRUBY J, SCHILLING B, O'BRYANT HS, JOHNSON RL, HOKE TP, STONE ME, STONE MH:** Short-term performance effects of weight training with multiple sets not to failure vs. a single set to

- failure in women. *J Strength Cond Res* 14 (2000) 328-331.
64. **SCHLUMBERGER A, SCHMIDTBLEICHER D:** Development of dynamic strength and movement speed after high-intensity resistance training, in: Häkkinen K (Eds.): International conference on weightlifting and strength training. Gummerus Printing, Lathi, Finland, 1998, 163-164.
 65. **SCHLUMBERGER A, STEC J, SCHMIDTBLEICHER D:** Single- vs. multiple-set strength training in women. *J Strength Cond Res* 15 (2001) 284-289.
 66. **STADLER LV, STUBBS NB, VUKOVICH MD:** A comparison of a 2-day and 3-day per week resistance training program on strength gains in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 29 (1997) suppl. 254.
 67. **STARKEY DB, POLLOCK ML, ISHIDA Y, WELSCH MA, BRECHUE WF, GRAVES JE, FEIGENBAUM MS:** Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Med Sci Sports Exerc* 28 (1996) 1311-1320.
 68. **STONE M, O'BRYANT H:** Weigth Training: A scientific approach. Bellwether Press, Minneapolis, 1987.
 69. **STONE MH, POTTEIGER JA, PIERCE KC, PROULX CM, O'BRYANT HS, JOHNSON RL, STONE ME:** Comparison of the effects of three different weight-training programs on the one repetition maximum squat. *J Strength Cond Res* 14 (2000) 332-337.
 70. **STONE WJ, COULTER SP:** Strength/endurance effects from three resistance training protocols with women. *J Strength Cond Res* 8 (1994) 231-234.
 71. **TESCH PA:** Training for bodybuilding, in: Komi PV (Eds.): Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1992, 370-380.
 72. **WERNBOM M, AUGUSTSSON J, THOMEÉ R:** The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Med* 37 (2007) 225-264.
 73. **WIRTH K:** Trainingshäufigkeit beim Hypertrophietraining. Unveröffentlichte Doktorarbeit, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main, 2004.
 74. **ZATSIORSKY VM:** Science and practice of strength training. Human Kinetics, Champaign, Ill., 1995.
 75. **ZIMMERMANN K:** Gesundheitsorientiertes Muskelkrafttraining. Hofmann, Schorndorf, 2000.

Korrespondenzadresse:
Dr. phil. Michael Fröhlich
Universität des Saarlandes
Sportwissenschaftliches Institut
Universität Campus B8 1
66123 Saarbrücken
E-Mail: m.froehlich@mx.uni-saarland.de