

Michael Fröhlich, Dietmar Schmidtbleicher & Eike Emrich

Vergleich zwischen zwei und drei Krafttrainingseinheiten pro Woche – ein metaanalytischer Zugang

A COMPARISON BETWEEN TWO AND THREE DAYS OF STRENGTH TRAINING PER WEEK– A META-ANALYTICAL APPROACH

Zusammenfassung

Die Frage nach der optimalen Trainingshäufigkeit im Krafttraining besitzt sowohl im Freizeit-, Breiten- und Leistungssport als auch im Sinne des Evidence Based Trainings hohe praktische Bedeutung. Im Rahmen einer Metaanalyse konnten an insgesamt 1850 Probanden 96 Effektstärken durch Trainingsinterventionen bezüglich der Veränderung der Maximalkraft bei zwei- und dreimaligem Training pro Woche berechnet werden. Betrachtet man die Effektstärken als quantitatives Maß zur Beurteilung von Trainingsinterventionen, so kann kein signifikanter Unterschied zwischen zwei (ES 1.28 ± 1.09) und drei Trainingseinheiten pro Woche (ES 1.36 ± 0.93) festgestellt werden ($F = 0.18$; $df = 1$; $p = 0.67$; $\eta^2 = 0.002$). Des Weiteren haben Geschlecht und Alter der Primärstudienteilnehmer sowie Trainingszustand und Trainingsmethode keinen signifikanten statistischen Einfluss auf die Trainingshäufigkeit (2 vs. 3 Trainingseinheiten). Letztendlich muss ökonomisch rational und somit individuell sowie intraindividuell entschieden werden, inwiefern eher zwei oder eher drei Trainingseinheiten pro Woche realisiert werden sollen.

Abstract

Training frequency in strength training is one of the most important training parameters concerning competitive and non-competitive sports as well as Evidence Based Training. A meta-analysis was carried out to determine the effect size of training interventions in relation to maximal strength. 1850 subjects were examined with a total of 96 effect sizes at 1-RM. The results of the meta-analysis show that there is no significant difference between two (ES 1.28 ± 1.09) and three (ES 1.36 ± 0.93) training sessions per week ($F = 0.18$; $df = 1$; $p = 0.67$; $\eta^2 = 0.002$). Furthermore, the effect size of the training frequency (two vs. three sessions) is not statistically influenced by the factors sex, age, fitness level, or training method. In order to determine the optimal training frequency economic considerations are necessary. As a consequence, individual and intraindividual aspects need to be taken into account when deciding for two or three training sessions per week.

1 Einleitung und Problemstellung¹

Krafttraining besitzt einerseits eine hohe positive Wirk- und Vitalfunktion auf den Organismus, die Psyche und das Selbstwertgefühl und ist andererseits unabdingba-

¹ Die Autoren möchten sich bei Dr. Klaus Wirth für konstruktive Hinweise sowie dezidierte Anregungen herzlich bedanken.

re Voraussetzung eines zielorientierten Trainings in nahezu allen Sportarten und Disziplinen (American College of Sports Medicine, 1998; 2002; Fleck & Kraemer, 1997). Die verschiedenen Krafttrainingsmethoden können durch die Widerstandslast, die Serienzahl, die Anzahl der Wiederholungen in einer Serie, die Trainingshäufigkeit, die Art der Übung, die Übungsausführung, die Bewegungsgeschwindigkeit, den Bewegungsumfang (ROM) usw. beschrieben werden und verfügen über eine vielfältige Variationsbreite und hohe Komplexität. Nach Toigo (2006) spielt neben der Belastungsintensität, der intra- und interseriellen Pausengestaltung und der Anzahl an Serien die Trainingshäufigkeit in den Feldern Gesundheit, Prävention und Rehabilitation sowie im Breiten- und Leistungssport eine entscheidende Rolle.

Unter dem Begriff der *Trainingshäufigkeit* versteht man die Anzahl der Trainingseinheiten innerhalb eines Trainingszyklus, in der Regel einer Woche oder eines Monats (so genannter Mikrozyklus). Hoffman, Kraemer und Fry (1990) betonen, dass die Informationen zur Trainingshäufigkeit noch relativ unspezifisch und entsprechende Empfehlungen eher theoretisch begründet, denn empirisch verifiziert sind. Des Weiteren konnte eine hohe Variationsbreite innerhalb der Empfehlungen zur Trainingshäufigkeit in der Literatur festgestellt werden (im Überblick American College of Sports Medicine, 2002; Baechle, Earle & Wathan, 2000). Ähnlich argumentiert Tesch (1992), indem er herausstellt, dass die Fragen nach dem optimalen Erholungsschema, nach der individuellen Variationsbreite der Trainingsanpassung sowie nach dem Zusammenhang zwischen Trainingsintensität, Erholungszeit und adaptativen Reaktionen noch weitgehend offen bleiben müssen (vgl. Toigo, 2006).

So sollen beispielsweise Trainingsbeginner und Anfänger zwei bis drei Krafttrainingseinheiten pro Woche in Form eines Ganzkörpertrainings durchführen, leicht Fortgeschrittenen werden zwei bis vier Trainingseinheiten empfohlen und Könner und Spitzenathleten sollen bis zu 18 Trainingseinheiten in Form eines Splitt-Trainings pro Woche absolvieren (vgl. Baechle et al., 2000; Zatsiorsky, 1995). 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. Könner² vier bis fünf. Rhea, Alvar, Burkett und Ball (2003) sowie Peterson, Rhea und Alvar (2004) kommen zu dem Schluss, dass Anfänger drei und Trainierte zwei Trainingseinheiten pro Woche durchführen sollten, entsprechend jedoch zwei bis drei Einheiten insgesamt ausreichend sind. Eine differenzierte Unterscheidung der kategorialen Zustandsbeschreibung „trainiert“ bzw. „untrainiert“ sowie eine genaue Operationalisierung der Konstrukte ist jedoch in den Untersuchungen nicht zu erkennen.

Braith, Graves, Pollock, Leggett, Carpenter und Colvin (1989) fanden nach einem zehn- bzw. 18-wöchigen Training der Kniestreckmuskulatur eine Überlegenheit von drei Trainingseinheiten gegenüber zweien, wobei zweimaliges Training pro Woche ca. 80 % der Effekte des dreimaligen Trainings erwarten lässt. Stadler, Stubbs und Vukovich (1997) berichten von annähernd gleichen Steigerungen des 1-RM bei vier

² Anzumerken ist, dass eine Operationalisierung und/oder Kategorisierung von Anfänger und leicht Fortgeschrittenem sowie von Fortgeschrittenem und Könner weder vorgenommen worden ist noch trennscharf zu begründen wäre.

verschiedenen Übungen für den Oberkörper (Latissimusziehen, Schulterdrücken, Armbeugen und Bankdrücken) und bei drei Übungen für die unteren Extremitäten (Beinstrecken, Beinbeugen und Beinpressen) bei zwei- bzw. dreimaligem Training pro Woche (vgl. Candow & Burke, 2007). Dabei wurde das Training über acht Wochen mit älteren Frauen durchgeführt. In der Zusammenfassung heißt es bei Stadler et al. (1997, S. 254): „It is concluded that significant gains in muscular strength can be made in the older adult population using either a 2-day or 3-day per week protocol.“ Carroll, Abernethy, Logan, Barber und McEnery (1998) untersuchten nicht nur die Veränderung des 1-RM über sechs Wochen Training (jeweils 18 Trainingseinheiten) bei zwei- bzw. dreimaliger Trainingsfrequenz, sondern auch noch die Veränderung von myosin heavy chain (MHC) Isoformen (I, IIa und IIx). Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden (Carroll et al., 1998, S. 273): (1) „Training produced significant increments in 1-RM squat strength for both the 2/wk and 3/wk conditions when compared with changes in the control group [...]. The differences between the 2/wk and 3/wk groups were neither statistically significant nor large (3/wk: 6 week and 18 sessions $ES = 1.0$; 2/wk: 6 week $ES \approx 0.7$, and 18 session $ES \approx 0.7$).“ (2) „The 2/wk condition resulted in a significant increase in the proportion of MHC IIa after 18 training sessions [...]. However, there were moderate to large ES reductions in the percentage of the MHC isoform IIx and increases in the percentage of the MHC isoform IIa in both the 2/wk and 3/wk conditions ($ES = 0.5 - 1.2$). After 18 sessions there was also a moderate reduction in relative type I isoform content in the 2/wk, but not in the 3/wk group.“ Candow und Burke (2007) fanden bei untrainierten Männern und Frauen innerhalb eines sechswöchigen Ganzkörpertrainings und gleich bleibendem Belastungsumfang (zwei bzw. drei Sätze à 10 Wiederholungen) bei zwei- bzw. dreimaligem Training pro Woche weder einen signifikanten Unterschied in der freien Körpermasse noch bei der konzentrischen Maximalkraft bei den Übungen Kniebeuge und Bankdrücken. Wobei die Zuwächse der Probanden bei dreimaligem Training jeweils über denen des zweimaligen Trainings lagen.

Fröhlich, Schmidtbleicher und Emrich (2007) konnten im Rahmen einer Metaanalyse zur optimalen Trainingshäufigkeit dezidiert feststellen, dass zwei, drei und vier Trainingseinheiten zu signifikant besseren Trainingseffekten – operationalisiert über die Veränderung der konzentrischen Maximalkraft (1-RM) – führen als eine, fünf und sechs Einheiten im Krafttraining. Inwieweit jedoch zwei, drei oder vier Krafttrainingseinheiten zu wählen sind, könnte in dieser Studie nur ökonomisch rational im Sinne einer Grenzertragsüberlegung und angesichts einer klaren Zielfunktion entschieden werden.

Generell lässt sich festhalten, dass die Empfehlungen zur optimalen Trainingshäufigkeit recht willkürlich festgelegt sind und eher durch Plausibilitätsüberlegungen bzw. implizite ökonomische Aspekte wie Aufwand-Nutzen-Relationen einschließlich möglicher Regenerationszeiten verschiedener Subsysteme beispielsweise auf molekularer und zellulärer Ebene begründet werden.

Zur Effizienzsteigerung sowie im Sinne des Evidence Based Trainings wären jedoch exaktere Handlungsempfehlungen im Sinne von Wenn-Dann-Aussagen für den Gesundheits-, Breiten- und Leistungssport wünschenswert, um dadurch einerseits entsprechenden Überforderungen (Schädigungen und Verletzungen auf arthro-

muskulärer sowie muskulo-skeletaler Ebene) vorzubeugen und andererseits möglichst effizient Adaptationsmechanismen im Sinne eines Kraftzuwachses zu initiieren (vgl. Toigo, 2006). Der vorliegende Beitrag untersucht daher die Veränderungseffekte eines zwei- bzw. dreimal pro Woche durchgeführten Krafttrainings im Hinblick auf das Außenkriterium Steigerung der Maximalkraft, und dies unter Berücksichtigung verschiedener intervenierender Variablen (vgl. Fröhlich, 2006).

2 Material und Methodik

Die Extraktion der thematischen Studien erfolgte über online Recherche in Datenbanken wie Medline, SpoLit, PubMed, Medpilot sowie über die Zentralbibliothek der Deutschen Sporthochschule Köln unter Verwendung der Deskriptoren: „*resistance training*“, „*frequency*“, „*volume*“, „*Häufigkeit*“ mit und ohne „*Training*“ bzw. „*training*“, des Weiteren über das Literaturverzeichnis bereits vorliegender Studien zur Thematik. Die einschlägigen Kriterien zur Studienselektion – „Garbage in“ und „Garbage-out“ – sowie zu den einzelnen Studienmerkmalen sind bei Fröhlich (2006), Peterson et al. (2004) und Rhea et al. (2003) im Speziellen – auf die Krafttrainingsforschung bezogen – sowie bei Beelmann und Bliesener (1994) als auch Rustenbach (2003) im Allgemeinen beschrieben und sollen hier nicht weiter ausgearbeitet werden. Um die Effekte von Trainingsinterventionen in Primärstudien vergleichen zu können, wird die Berechnung der Effektstärke (effect size = ES) herangezogen (Peterson et al., 2004; Rhea et al., 2003; Rhea, 2004; Rustenbach, 2003). Anhand der folgenden Formel wurde die ES berechnet: [(Mittelwert des Posttest – Mittelwert des Pretest)/Standardabweichung des Pretest oder Standardabweichung_{gepoolt}

$$= \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}.$$

Die Deskription der Ergebnisse erfolgte über Mittelwerte, Standardabweichungen und Häufigkeiten sowie über Prozentangaben. Die inferenzstatistische Prüfung wurde mittels ein- und zweifaktorieller Varianzanalyse(n) (ANOVA) durchgeführt. Die Voraussetzungsprüfungen wurden mit den entsprechenden Verfahren (KS-Test für Normalverteilung und Levene-Test für Varianzhomogenität) geprüft. Der Anteil der Gesamtvariabilität, der einem Faktor zugeschrieben wird, wurde mittels Partielles η^2 bestimmt (kurz η^2). Als Signifikanzniveau wurde $p < 0.05$ festgelegt. Die Berechnung erfolgte mit SPSS for Windows (14.0).

3 Ergebnisse der Metaanalyse

Die Primärstudienselektion lieferte insgesamt 38 Studien mit einer Gesamtteilnehmerzahl von 1850 Personen.

3.1 Deskription der Primärstudien

Das durchschnittliche Alter der Probanden betrug 28.0 ± 13.1 Jahre (Min 18.6; Max 71.4; Median 22.0). In 16 Trainingsinterventionen waren nur männliche Probanden (42.1 %) und in elf waren nur weibliche Probanden (28.9 %) beteiligt. In weiteren elf Trainingsexperimenten wurden beide Geschlechter aufgenommen (28.9 %). In 64.9 %

der Fälle ($N = 24$) waren die untersuchten Probanden „untrainiert“. 13 Studien hatten „trainierte“ Probanden als Versuchsteilnehmer (35.1 %). Die durchschnittliche Probandenzahl pro Primärstudie betrug 22.3 ± 15.4 Personen (Min 8; Max 59; Median 16.5). Die mittlere Trainingsintervention (Zeitpunkt zwischen Pretest und Posttest) hatte eine Länge von 12.0 ± 5.2 Wochen (Min 4; Max 25; Median 12.0). Im Mittel wurden in dieser Zeit 32.0 ± 16.3 Trainingseinheiten durchgeführt (Min 8; Max 75; Median 30.0). Die Studien wurden im Zeitraum von 1982 bis 2005 veröffentlicht, wobei in der Regel Zeitschriftenartikel (86.8 %) in englischsprachigen Zeitschriften als Grundlage dienten (siehe Methodenkritik). Herausgeberwerke (7.9 %), Monographien (2.6 %) und Abstracts (2.6 %) wurden weit weniger selektiert. Der Impact-Faktor der begutachteten Beiträge (86.8 %; $N = 33$) betrug 1.4 ± 0.8 . Das den Primärstudien zugrunde liegende Studiendesign verteilte sich wie folgt: (a) randomisierte Studien ohne Kontrollgruppe wurden 14-mal (36.8 %) berücksichtigt, (b) randomisierte Studien mit Kontrollgruppe konnten 21-mal (55.3 %) aufgenommen werden und schließlich drei (7.9 %) der Primärstudien benutzten (c) quasiexperimentelle Untersuchungsdesigns.

Angaben zu anthropometrischen Kenngrößen wie Körperhöhe, -gewicht und -fettanteil, Blutdruck, BMI etc. waren 78.9 % der Primärstudien ($N = 30$) zu entnehmen. Trainingsmethodische Beschreibungsgrößen wie Belastungsintensität (89.5 %), Trainingshäufigkeit (100 %), Serienpause (50.0 %) und Verwendung von progressiven Periodisierungsmaßnahmen (ja 34.2 % und nein 65.8 %) wurden nur in Teilen in den Primärstudien beschrieben. Lediglich eine Primärstudie (2.6 %) war dem Bereich des Kraftausdauertrainings trainingsmethodisch zuzuordnen (≥ 15 -RM oder ≤ 60 % 1-RM). Insgesamt 23 Treatments (60.5 %) konnten dem Bereich des Muskelaufbau- bzw. Hypertrophietrainings (8-12 RM oder 65-85 % 1-RM) zugerechnet werden und schließlich weitere 13.2 % ($N = 5$) der Treatmentbedingungen ließen sich dem so genannten Intramuskulären Koordinationstraining (IK-Training) unterordnen (3-6-RM oder ≥ 85 % 1-RM) (vgl. Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Weitere 23.7 % ($N = 9$) der Primärstudien konnten keinem exakten Trainingsbereich bzw. keiner bestimmten Krafttrainingsmethode (Schnellkraft, Kraftausdauer etc.) untergeordnet werden. Die mittlere Testanzahl betrug 2.6 ± 2.0 Übungen. Das eigentliche Training, d.h. die Treatmentphase, wurde mit durchschnittlich 5.8 ± 3.1 Übungen (Min 1; Max 11; Median 7) absolviert. Die Testmethodik wurde über dynamische Maximalkraftmessungen (z. B. 1-RM, PMF = point of momentary muscular failure) operationalisiert (vgl. Gießing, Preuss, Greiwing, Goebel, Müller, Schischek & Stephan, 2005). Um zeitliche Interaktionseffekte – das bedeutet den Einfluss der Studiendauer – auszuschließen, wurden die berechneten Effektstärken im Weiteren an der Studiendauer relativiert (ES / Studiendauer).

3.2 Inferenzstatistische Auswertung der Trainingshäufigkeiten pro Woche

Die Effektstärke als quantitatives Maß zur Beurteilung von Gruppenzugehörigkeit und Interventionsergebnis konnte insgesamt 96-mal berechnet werden. Bei zwei Trainingseinheiten ($N = 44$ Primärstudien) resultierte eine *ES* von 1.28 ± 1.09 (Min 0.28; Max 5.22), bei einer Trainingsfrequenz von drei Einheiten pro Woche ($N = 52$ Primärstudien) eine solche von 1.36 ± 0.93 *ES* (Min 0.09; Max 3.94). Der Unter-

schied zwischen zwei- und dreimaligem Krafttraining pro Woche ist nicht signifikant ($F = 0.18$; $df = 1$; $p = 0.67$; $\eta^2 = 0.002$).

Differenziert man weiterhin noch zwischen den Geschlechtern, so erhält man folgende Ergebnisse: So konnte weder ein signifikanter Unterschied in der Trainingshäufigkeit ($F = 0.16$; $df = 1$; $p = 0.69$; $\eta^2 = 0.002$) noch in der Unterscheidung zwischen Frauen und Männern ($F = 3.40$; $df = 1$; $p = 0.07$; $\eta^2 = 0.046$) festgestellt werden. Die Interaktion von Trainingshäufigkeit und Probandengeschlecht war ebenfalls nicht signifikant ($F = 0.14$; $df = 1$; $p = 0.71$; $\eta^2 = 0.002$). Da die Interaktionsgraphen einen ordinalen Linienzug aufweisen, können die Haupteffekte (Trainingsfrequenz und Geschlecht) global interpretiert werden (vgl. Abb. 1).

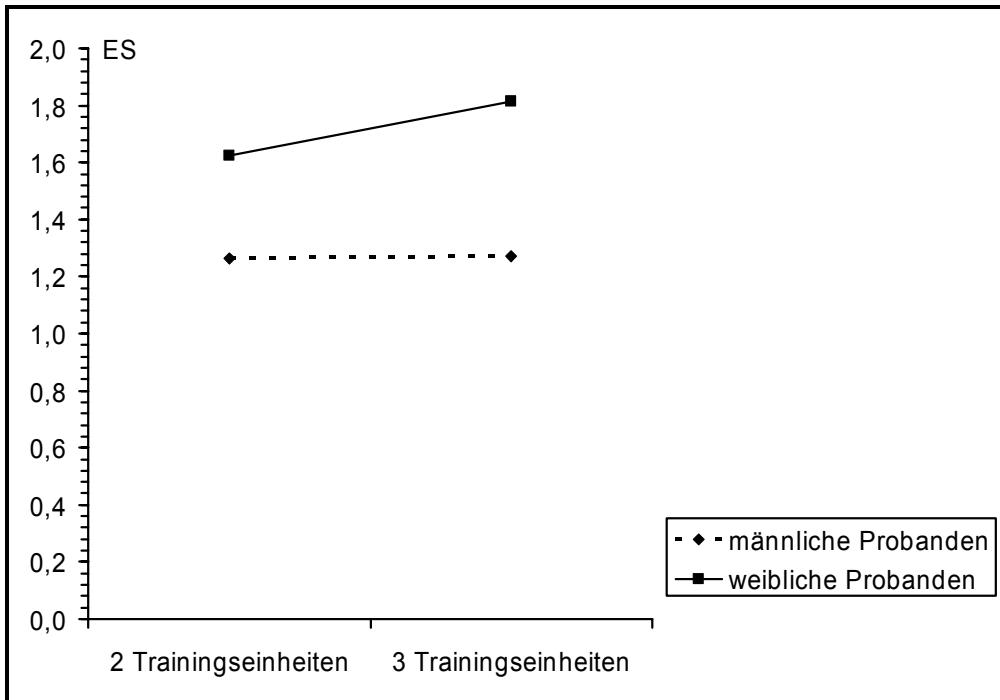


Abb. 1: Interaktionsdiagramm von Trainingshäufigkeit und Probandengeschlecht in den Primärstudien

Die Effektstärke innerhalb von zwei Trainingseinheiten pro Woche betrug bei den Frauen 1.62 ± 0.99 und bei den Männern 1.26 ± 1.43 (Differenz: $0.36 ES$). Bei drei Trainingseinheiten resultierte bei den Frauen eine Effektstärke von 1.81 ± 1.02 und bei den Männern von 1.27 ± 0.75 (Differenz: 0.54).

Die ANOVA-Prüfung auf Kohorteneffekte (differenziert in jünger als 22 Jahre und älter als 22 Jahre; siehe Median der Altersverteilung) konnte weder zwischen den

Trainingshäufigkeiten ($F = 0.13$; $df = 1$; $p = 0.72$; $\eta^2 = 0.001$) noch zwischen den Altersbereichen einen signifikanten Unterschied feststellen ($F = 1.78$; $df = 1$; $p = 0.19$; $\eta^2 = 0.019$), noch lagen signifikante Interaktionseffekte vor.

Betrachtet man den Unterschied zwischen den kategorialen Zustandsbeschreibungen „trainiert“ und „untrainiert“ in den Primärstudien, so erhält man folgende Resultate: (a) Trainingsfrequenz ($F = 0.24$; $df = 1$; $p = 0.63$; $\eta^2 = 0.003$); (b) Trainingszustand ($F = 0.57$; $df = 1$; $p = 0.45$; $\eta^2 = 0.007$) und (c) Interaktion ($F = 2.22$; $df = 1$; $p = 0.14$; $\eta^2 = 0.027$). Anzumerken ist, dass die Prüfung auf Varianzhomogenität (Levene-Test) einen signifikanten Varianzunterschied ($p < 0.05$) zeigte. Nach Bortz (1993) reagiert die ANOVA jedoch recht robust gegenüber Verletzungen der Voraussetzungsprüfung und entscheidet sodann konservativ. In Abb. 2 sind die Primärstudieneffektstärken differenziert nach Trainingszustand und Trainingshäufigkeit dargestellt.

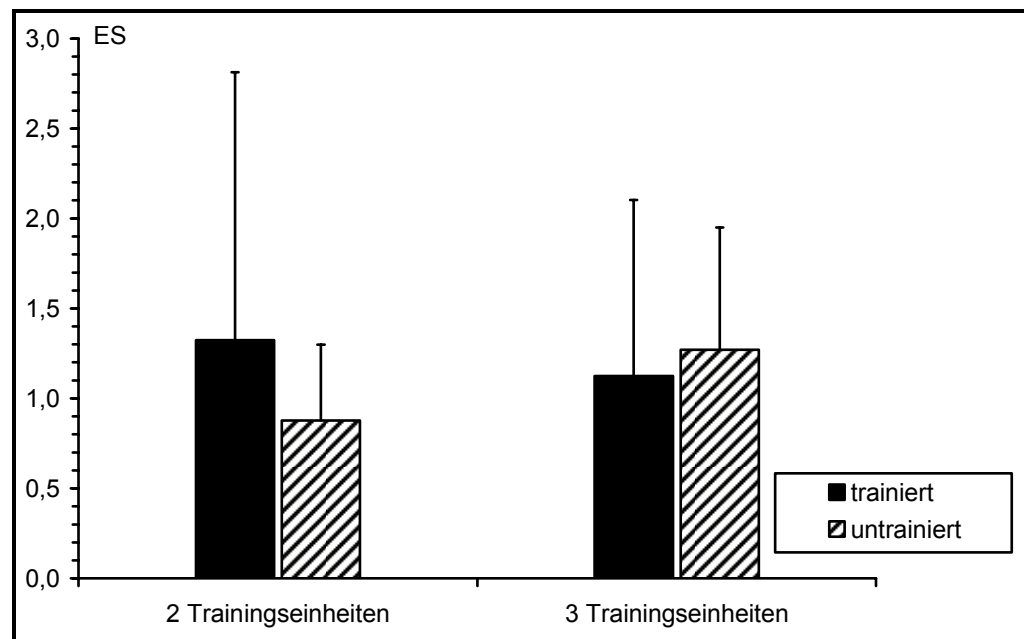


Abb. 2: Effektstärken in Abhängigkeit vom Trainingsstatus und der Trainingshäufigkeit (M ± S)

Inwieweit ein Einfluss der Trainingsmethodik in den Kategorien „Kraftausdauer“, „Hypertrophietraining“ und „IK-Training“ bei zwei vs. drei Trainingseinheiten zu konstatieren ist, wurde nachfolgend geprüft. Die Ergebnisse der ANOVA zeigen keinen signifikanten Unterschied (a) in der Trainingsfrequenz ($F = 1.85$; $df = 1$; $p = 0.18$; $\eta^2 = 0.030$), (b) zwischen den Kategorien ($F = 0.21$; $df = 2$; $p = 0.81$; $\eta^2 =$

0.007) und (c) in der Interaktion Trainingsfrequenz mal Kategorie ($F = 0.55$; $df = 2$; $p = 0.58$; $\eta^2 = 0.018$). Die Abb. 3 verweist auf die Effektstärken von Trainingsfrequenz und Trainingskategorie.

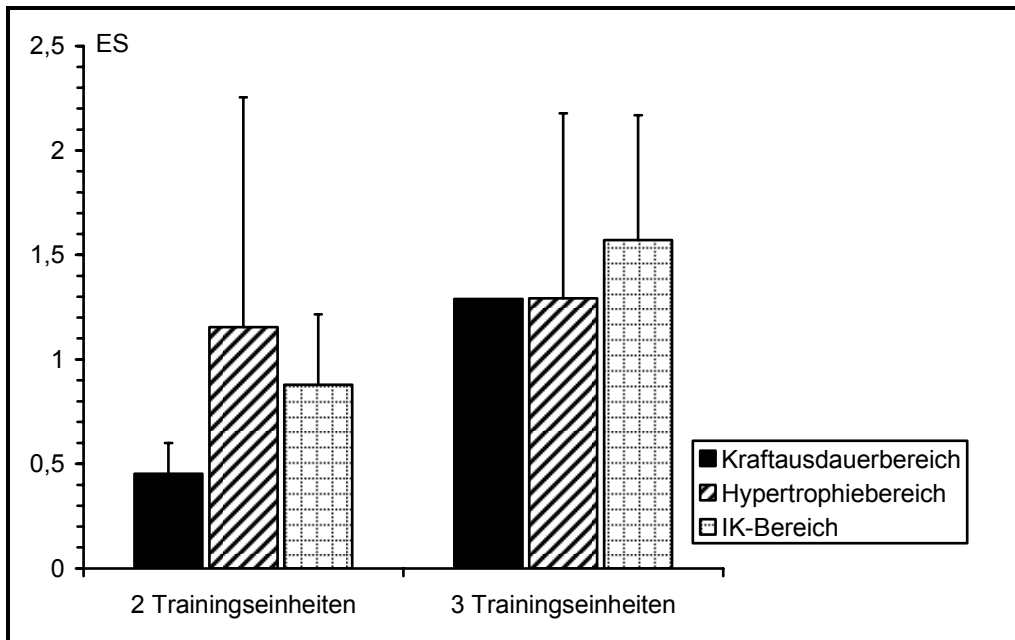


Abb. 3: Effektstärken in Abhängigkeit von der Trainingsmethodik und der Trainingshäufigkeit ($M \pm S$)

4 Diskussion

Bezieht man sich auf die Effektstärkenklassifizierung von Rhea (2004), um Trainingsinterventionen zu beurteilen, so kann von moderatem bzw. starkem Veränderungseffekt sowohl bei zwei als auch bei drei Trainingseinheiten über die Studiendauer gesprochen werden. Ein sowohl statistisch signifikanter als auch trainingsbedeutender Unterschied zwischen zwei- und dreimaligem Training pro Woche ist nicht zu konstatieren. Bezieht man weitere Variablen wie Geschlecht und Alter der Studienteilnehmer, deren Trainingszustand sowie verschiedene Trainingsbereiche in die Auswertung mit ein, so lässt sich über alle Kategorien ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen zwei und drei Trainingseinheiten feststellen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Metaanalyse von Peterson et al. (2004), welche bei zwei Trainingseinheiten eine ES von 0.70 ± 0.76 und bei drei Trainingseinheiten von 0.69 ± 1.13 ES fanden.

Betrachtet man zwei und drei Trainingseinheiten pro Woche, so ist die publizierte Forschungslage auf der Ebene der Primärstudien sehr indifferent (vgl. im Überblick Feigenbaum und Pollock (1999) sowie Wirth (2004)). Während beispielsweise Brazzell-Roberts und Thomas (1989), Candow und Burke (2007), Carroll et al. (1998), DeMichele, Pollock, Graves, Foster, Carpenter, Garzarella, Brechue und Fulton (1997), Stadler et al. (1997) und Wirth (2004) keine signifikanten Unterschiede zwischen zwei und drei Trainingseinheiten fanden, berichteten Braith et al. (1989) und Graves, Pollock, Leggett, Braith, Carpenter und Bishop (1988) von einer Überlegenheit von drei gegenüber zwei Trainingseinheiten pro Woche. Die Forschergruppe um Graves et al. (1988) führte in diesem Zusammenhang eine interessante Studie zur Trainingsfrequenz durch, indem sie die Effekte von zwei bzw. drei Trainingseinheiten pro Woche über zehn bzw. 18 Wochen untersuchte und dann die Trainingshäufigkeiten um jeweils $n-1$ reduzierte, 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.

Wirth (2004) untersuchte in einer forschungsmethodologisch anspruchsvollen Studie nicht nur die Veränderung der Maximalkraft, sondern explizit auch 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 sowohl 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 voneinander zu unterscheiden.

Marx, Nindl, Gotshalk, Volek, Harman, Dohi, Bush, Fleck, Häkkinen und Kraemer (1998) stellten die höchsten Effektstärken bei einem periodisierten Krafttraining bei untrainierten Frauen mit vier Trainingseinheiten pro Woche fest. 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 (vgl. Candow & Burke 2007). Carroll et al. (1998) berichten von Effektstärken von 1.00 bei drei Trainingseinheiten pro Woche über sechs Wochen bei der Übung Kniebeugen. Die Effektstärken bei zwei Trainingseinheiten betrugen bei sechs Trainingswochen 0.68 bzw. 0.71 bei neun Wochen Training (respektive insgesamt 18 Trainingseinheiten als gleiche Basis). In der Diskussion der Ergebnisse schreiben die Autoren: „The increments in 1-RM squat strength presented by 3/wk and 2/wk conditions were similar and of a moderate to large magnitude.“ (Carroll et al. 1998, S. 273). Rhea et al. (2003, S. 458) konnten im Rahmen einer Metaanalyse einen Einfluss des Trainingszustandes innerhalb der Trainingsfrequenz feststellen. Während für untrainierte Personen eine Trainingshäufigkeit von dreimal pro Woche zu den größten Anpassungseffekten ($ES = 1.9$) führt, profitieren bereits Trainierte optimal von zwei Trainingseinheiten ($ES = 1.4$). Begründet wird dieses Ergebnis bei Rhea et al. (2003) mit der höheren Trainingsbelastung und der somit verlängerten Erholungszeit von Trainingsinterventionen bei bereits Fortgeschrittenen. Ähnliche Tendenzen sind in der

vorliegenden Studie zu erkennen, innerhalb derer untrainierte Studienteilnehmer bei höherer Trainingsfrequenz größere Kraftzuwächse erzielen als bereits trainierte Probanden (vgl. Abb. 2). Generell kann man aber davon ausgehen, dass nach intensivem Krafttraining mit hohen Belastungen die neurophysiologischen und die metabolischen Systeme nach 48 Stunden wieder das Ausgangsniveau erreicht haben (vgl. Candow & Burke 2007; Raastad & Hallén, 2000), was ein dreimaliges Training pro Woche zulassen würde (Feigenbaum & Pollock, 1999, S. 41). McLester, Bishop, Smith, Wyers, Dale, Kozusko et al. (2003) sowie Wernbom, Augustsson und Thomeé (2007) halten hingegen längere Regenerationszeiten von 72-96 Stunden nach Krafttraining für angemessen. Eine letztendliche Entscheidung über den momentanen Grad der Regeneration muss in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren wie Trainiertheit, verwendeter Trainingsmethode, Ausgangsniveau sowie beanspruchtem Bereich (eher muskulär oder eher zentralnervös) etc. erfolgen.

Wirth (2004, S. 138) kommt zu dem Schluss, dass zwei Trainingseinheiten pro Woche zu einem optimalen Kraftzuwachs innerhalb einer Trainingsperiode führen, jedoch was Kraft als auch Muskelmasse angeht, mit drei Trainingseinheiten pro Woche die größten Fortschritte zu erzielen sind. Feigenbaum und Pollock (1999, S. 42) konstatieren hierzu: "Participants who have time and want to achieve more benefits may choose to weight train 3 $d \cdot wk^{-1}$. In addition, when prescribing traditional resistance exercise programs [...], the minimum of 2 $d \cdot wk^{-1}$ training frequency guideline allows more time for recuperation, is less time consuming and thus may enhance adherence. Two $d \cdot wk^{-1}$ programs also appear to produce 80-90 % of the strength benefits to more frequent programs in the untrained person." Candow und Burke (2007, S. 206) schließen sich dieser Argumentation an, indem sie herausstellen, dass bei untrainierten Männern und Frauen bei gleich bleibendem Belastungsumfang im Trainingsprozess ein zwei- bzw. dreimaliges Training pro Woche zu annähernd gleichen Steigerungen des 1-RM führt und somit weniger die Trainingshäufigkeit, denn der Belastungsumfang (Sätze mal Wiederholungen) entscheidend wird. „This suggests that training volume may be more important than training frequency for increasing muscle mass and strength during the initial stages of resistance training in untrained men and women.“

In Abhängigkeit von der Größe der eingesetzten Muskelgruppe wird von Feigenbaum und Pollock (1999) die Auffassung vertreten, dass Brust, Arme und Beine mit drei Trainingseinheiten pro Woche zu trainieren sind, während kleinere Muskeln mit zwei oder weniger Trainingseinheiten ausreichend belastet werden (vgl. Zatsiorsky, 1995).

Tendenziell ($p = 0.07$) konnten zwischen den Geschlechtern Unterschiede ausgemacht werden. Konkret lagen die Effektstärken sowohl bei zwei als auch bei drei Trainingseinheiten bei Frauen höher als bei Männern. Inhaltlich könnte das geringere Ausgangsniveau bzw. der geringere Trainingszustand bei den Frauen und somit die höhere Anpassungsfähigkeit und/oder Adaptationsreserve innerhalb einer Trainingsintervention als Begründung dienen. Inwieweit verschiedene Trainingsmethoden bei zwei- oder dreimaliger Anwendung pro Woche zu den höchsten Anpassungen führen, kann anhand dieser Studie derzeit nicht abschließend geklärt werden, da die

Fallzahlen in Teilen zu gering waren. Wie aus Abb. 3 ersichtlich, könnte man vorsichtig interpretieren, dass im Bereich des Kraftausdauertrainings und des IK-Trainings eher drei Trainingseinheiten (entweder geringere Belastungsintensität beim Kraftausdauertraining oder geringere Belastungsdauer beim IK-Training und somit geringerer Protein-Turnover) zu präferieren sind, während im Muskelaufbautraining zwei Trainingseinheiten (hohe Belastungsintensität und hohe Reizdauer (TUT) und somit hoher Protein-Turnover [Fröhlich, Gießing, Schmidtbleicher & Emrich, 2007; Güllich & Schmidtbleicher, 1999]) ausreichend wären.

Fröhlich, Schmidtbleicher und Emrich (2007) fanden im Rahmen einer Metaanalyse zur Trainingshäufigkeit und verschiedener intervenierender Variablen wie Trainingszustand, Geschlecht, Studiendauer, progressive Belastungssteigerung etc. anhand von 46 Primärstudien und insgesamt 2198 Studienteilnehmern heraus, dass zwei ($1.18 \pm 0.68 ES$), drei ($1.42 \pm 0.76 ES$) und vier ($1.85 \pm 1.94 ES$) Trainingseinheiten 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 ($F = 3.96$; $df = 5$; $p < 0.05$). Zur trainingsmethodischen Lösung der Problematik wird von den Autoren ein ökonomisch rationales Modell zur so genannten Grenzertragsüberlegung vorgeschlagen. Dabei lässt die Modellannahme den Schluss zu, dass zwischen zwei und vier Trainingseinheiten pro Woche die maximalen Anpassungseffekte der Veränderung der Maximalkraft realisiert werden. Überträgt man diese Erkenntnisse auf verschiedene Anwendungsfelder des Krafttrainings und spiegelt die Ergebnisse an der vorliegenden Studie, so hätte man einen empirischen Beleg für zwei Trainingseinheiten im Bereich des Präventions- und Gesundheitssports und von drei Trainingseinheiten für den ambitionierten Breitensport sowie den Leistungs- und Spitzensport (vgl. McLester, Bishop & Guilliams, 2000).

5 Methodenkritik

Bezüglich der Interpretation der Ergebnisse sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen: Einerseits beziehen sich die Primärstudien nur auf den deutsch- und den englischsprachigen Raum und stellen damit einen selektiven Teil der Primärstudienlage dar. Hinzu kommt die mangelnde Repräsentativität deutscher Studien sowie von Monographien und Buchbeiträgen. Des Weiteren liegt ein allgemeiner Mangel bei empirischen Studien darin, dass statistische Angaben sowie die genauen Beschreibungen der Untersuchungsmethodik oftmals nur unzureichend angegeben werden und somit bei Metaanalysen ausscheiden bzw. die Repräsentativität reduzieren (vgl. Beelmann & Bliesener, 1994; Rustenbach, 2003). Die Einteilung in „trainierte“ vs. „untrainierte“ Studienteilnehmer ist normativ anhand der Aussagen in den Primärstudien getroffen worden und lässt keine exakte Operationalisierung erkennen. 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, muskelenergetische Adaptationen etc. sind somit nicht statthaft. Da langfristige Steigerungen der Maximalkraft nur durch Zunahme des Muskelquerschnittes erzielt werden können, die durchschnittliche Stu-

diendauer jedoch zu gering war, um entsprechende Hypertrophieeffekte zu initiieren (wurde in der Mehrzahl der Studien auch nicht kontrolliert bzw. erhoben), sind für überdauernde Aussagen weitere Studien notwendig. Eine Begründung für die Durchführung verschiedener Trainingshäufigkeiten wird in der Mehrzahl der Primärstudien nicht gegeben, wobei zu vermuten ist, dass eher praktikable sowie tradierte Aspekte ausschlaggebend sind und weniger empirische Merkmale von Regenerationsprozessen berücksichtigt werden.

6 Schlussfolgerung

Eine exakte Trainingshäufigkeit für alle Muskelgruppen, Trainingsbereiche und Adressatengruppen gibt es nicht. Vielmehr müssen – im Sinne hoher Variabilität – die Zielstellung, die individuelle Aufwand-Nutzen-Relation, die unterschiedlichen Muskelgruppen (kleine vs. große Muskelgruppen; ein- vs. mehrgelenkige Übungen), das vorhandene Leistungspotenzial sowie die Adressatenadäquatheit betrachtet werden. Ökonomisch rational könnte man zwei Trainingseinheiten für Beginner, Anfänger und Personen im Gesundheits- und Freizeitsport empfehlen. Leistungsorientierte Personen und Spitzensportler in nicht ausschließlich kraftdeterminierten Sportarten und -disziplinen sollten dreimal pro Woche Kraftaspekte trainieren. Letztendlich muss ökonomisch rational und somit immer individuell und intraindividuell entschieden werden, inwiefern eher zwei oder eher drei Trainingseinheiten pro Woche realisiert werden.

7 Verwendete Primärstudien

Verwendete Primärstudien zur Berechnung der Effektstärken (N = 38):

Abe, De Hoyos, Pollock & Garzarella (2000); Anderson & Kearney (1982); Baker, Wilson & Carlyon (1994); Ben-Sira, Ayalon, & Tavi (1995); Borst, De Hoyos, Garzarella, Vincent, Pollock, Lowenthal & Pollock (2001); Boyer (1990); Braith, Graves, Pollock, Leggett, Carpenter & Colvin (1989); Brazell-Roberts & Thomas (1989); Brown & Harrison (1986); Carroll, Abernethy, Logan, Barber & McEniery (1998); Chilibeck, Calder, Sale & Webber (1998); Graves, Pollock, Leggett, Braith, Carpenter & Bishop (1988); Harris, DeBeliso, Spitzer-Gibson & Adams (2004); Hass, Garzarella, De Hoyos & Pollock (2000); Herrick & Stone (1996); Hickson, Hidaka & Forster (1994); Hoffman, Kraemer & Fry (1990); Hunter (1985); Hunter, Wetzstein, McLafferty, Zuckerman, Landers & Bamman (2002); Kraemer (1997) (zweimal); Kramer, Stone, O´Bryant, Conley, Johnson, Nieman, Honeycutt & Hoke (1997); Marx, Nindl, Gotshalk, Volek, Harman, Dohi, Bush, Fleck, Häkkinen & Kraemer (1998); McCall, Byrnes, Dickinson, Pattany & Fleck (1996); McGee, Jessee, Stone & Blessing (1992); Messier & Dill (1985); Nóbrega, Paula & Carvalho (2005); Paulsen, Myklestad & Raastad (2003); Pierce, Rozenek & Stone (1993); Raastad, Glomsheller, Bjoro & Hallén (2003); Rhea, Alvar, Ball & Burkett (2002); Sanborn, Boros, Hruby, Schilling, O´Bryant, Johnson, Hoke, Stone & Stone (2000); Schlumberger, Stec & Schmidtbleicher (2001); Stadler, Stubbs & Vukovich (1997); Starkey, Pollock, Ishida, Welsch, Brechue, Graves & Feigenbaum (1996); Stone, Pottleiger, Pierce, Proulx, O´Bryant, Johnson & Stone (2000); Stone & Coulter (1994); Wirth (2004).

Literatur

- Abe, T., De Hoyos, D. V., Pollock, M. L., & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 81 (3), 174-180.
- American College of Sports Medicine [Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S., Fleck, S. J., Franklin, B., Fry, A. C., Hoffman, J. R., Newton, R. U., Potteiger, J., Stone, M. H., Ratamess, N. A., & Triplett-McBride, T.] (2002). Position stand on progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (2), 364-380.
- American College of Sports Medicine [Mazzeo, R. S., Cavanagh, P., Evans, W., Fiatarone, M., Hagberg, J., McAuley, E., & Startzell, J.] (1998). Position stand on exercise and physical activity for older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (6), 992-1008.
- Anderson, T., & Kearney, J. T. (1982). Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53 (1), 1-7.
- Baechle, T., Earle, R., & Wathan, D. (2000). Resistance training. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *Essentials of strength training and conditioning* (pp. 395-425). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Baker, D., Wilson, G., & Carlyon, R. (1994). Periodization: The effect on strength of manipulating volume and intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8 (4), 235-242.
- Beelmann, A. & Bliesener, T. (1994). Aktuelle Probleme und Strategien der Metaanalyse. *Psychologische Rundschau*, 45, 211-233.
- Ben-Sira, D., Ayalon, A., & Tavi, M. (1995). The effect of different types of strength training on concentric strength in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9 (3), 143-148.
- Borst, S. E., De Hoyos, D. V., Garzarella, L., Vincent, K., Pollock, B. H., Lowenthal, D. T., & Pollock, M. L. (2001). Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (4), 648-653.
- Bortz, J. (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). Berlin, Heidelberg u.a.: Springer.
- Boyer, B. T. (1990). A comparison of the effects of three strength training programs on women. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4 (3), 88-94.
- Braith, R. W., Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. L., Carpenter, D. M., & Colvin, A. B. (1989). Comparison of 2 vs 3 day/week of variable resistance training during 10- and 18-week programs. *International Journal of Sports Medicine*, 10 (6), 450-454.
- Brazell-Roberts, J. V., & Thomas, L. E. (1989). Effects of weight training frequency on the self-concept of college females. *Journal of Applied Sport Science Research*, 3 (2), 40-43.
- Brown, R. D., & Harrison, J. M. (1986). The effects of a strength training program on the strength and self concept of two female age groups. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 57 (4), 315-320.
- Candow, D. G., & Burke, D. G. (2007). Effect of short-term equal-volume resistance training with different workout frequency on muscle mass and strength in untrained men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (1), 204-207.
- Carroll, T. J., Abernethy, P. J., Logan, P. A., Barber, M., & McEniery, M. T. (1998). Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78 (3), 270-275.

- Chilibeck, P. D., Calder, A. W., Sale, D. G., & Webber, C. E. (1998). A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *European Journal of Applied Physiology*, 77 (1-2), 170-175.
- DeMichele, P. L., Pollock, M. L., Graves, J. E., Foster, D. N., Carpenter, D., Garzarella, L., Brechue, W., & Fulton, M. (1997). Isometric torso rotation strength: effect of training frequency on its development. *Archives Physical Medicine and Rehabilitation*, 78, 64-69.
- Feigenbaum, M. S., & Pollock, M. L. (1999). Prescription of resistance training for health and disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (1), 38-45.
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (1997). *Designing resistance training programs* (2nd ed.). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Fröhlich, M., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2007). Trainingsempfehlungen ökonomisch betrachtet – exemplarisch dargestellt anhand der Trainingshäufigkeit im Krafttraining. In J. Backhaus, F. Borkenhagen & J. Funke-Wieneke (Hrsg.), *SportStadtKultur* (S. 93). Hamburg: Czwaliina.
- Fröhlich, M. (2006). Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung. *Sportwissenschaft*, 36 (3), 269-291.
- Fröhlich, M., Gießing, J., Schmidtbleicher, D. & Emrich, E. (2007). Intensitätstechnik Vor- und Nachermüdung im Muskelaufbautraining – ein explorativer Ansatz. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58 (1), 25-30.
- Gießing, J., Preuss, P., Greiwing, A., Goebel, S., Müller, A., Schischek, A., & Stephan, A. (2005). Fundamental definitions of decisive training parameters of single-set training and multiple-set training for muscle hypertrophy. In J. Gießing, M. Fröhlich, & P. Preuss (Eds.), *Current results of strength training research* (pp. 9-23). Göttingen: Cuvillier Verlag.
- Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. H., Braith, R. W., Carpenter, D. M., & Bishop, L. E. (1988). Effect of reduced training frequency on muscular strength. *International Journal of Sports Medicine*, 9 (5), 316-319.
- Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (7/8), 223-234.
- Harris, C., DeBeliso, M. A., Spitzer-Gibson, T. A., & Adams, K. J. (2004). The effects of resistance-training intensity on strength-gain response in the older adult. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (4), 833-838.
- Hass, C. J., Garzarella, L., De Hoyos, D., & Pollock, M. L. (2000). Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (1), 235-242.
- Herrick, A. B., & Stone, W. J. (1996). The effects of periodization versus progressive resistance exercise on upper and lower body strength in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10 (2), 72-76.
- Hickson, R. C., Hidaka, K., & Forster, C. (1994). Skeletal muscle fibre type, resistance training, and strength-related performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26 (5), 593-598.
- Hoffman, J. R., Kraemer, W. J., & Fry, A. C. (1990). The effects of self-selection for frequency of training in a winter conditioning program for football. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4 (3), 76-82.
- Hunter, G. R. (1985). Changes in body composition, body build and performance associated with different weight training frequencies in males and females. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 7 (7), 26-28.

- Hunter, G. R., Wetzstein, C. J., McLafferty, C. L., Zuckerman, P. A., Landers, K. A., & Baman, M. M. (2002). High-resistance versus variable-resistance training in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (10), 1759-1764.
- Kraemer, W. J. (1997). A series of studies – the physiological basis for strength training in American football: fact over philosophy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (3), 131-142.
- Kramer, J. B., Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Conley, M. S., Johnson, R. L., Nieman, D. C., Honeycutt, D. R., & Hoke, T. P. (1997). Effects of single vs. multiple sets of weight training: impact of volume, intensity, and variation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (3), 143-147.
- Marx, J. O., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Harman, F. S., Dohi, K., Bush, J. A., Fleck, S. J., Häkkinen, K., & Kraemer, W. J. (1998). The effects of a low-volume progressive resistance exercise program versus a high-volume periodized resistance exercise program on muscular performance in women. In K. Häkkinen (Ed.), *International conference on weightlifting and strength training* (pp. 167-168). Lathi, Finland: Gummerus Printing.
- McCall, G. E., Byrnes, W. C., Dickinson, A., Pattany, P. M., & Fleck, S. J. (1996). Muscular fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 81 (5), 2004-2012.
- McGee, D., Jessee, C., Stone, M. H., & Blessing, D. (1992). Leg and hip endurance adaptations to three weight-training programs. *Journal of Applied Sport Science Research*, 6 (2), 92-95.
- McLester, J. R., Bishop, J. P., & Guilliams, M. E. (2000). Comparison of 1 day and 3 days per week of equal-volume resistance training in experienced subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14 (3), 273-281.
- McLester, J. R., Bishop, P. A., Smith, J., Wyers, L., Dale, B., Kozusko, J., Richardson, M., Nevett, M. E., & Lomax, R. (2003). A series of studies – a practical protocol for testing muscular endurance recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (2), 259-273.
- Messier, S. P., & Dill, M. E. (1985). Alterations in strength and maximal oxygen uptake consequent to nautilus circuit weight training. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56 (4), 345-351.
- Nóbrega, A. C. L., Paula, K. C., & Carvalho, C. G. (2005). Interaction between resistance training and flexibility training in healthy young adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19 (4), 842-846.
- Paulsen, G., Myklestad, D., & Raastad, T. (2003). The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (1), 115-120.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (2), 377-382.
- Pierce, K., Rozenek, R., & Stone, H. M. (1993). Effects of high volume weight training on lactate, heart rate, and perceived exertion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7 (4), 211-215.
- Raastad, T., & Hallén, L. (2000). Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 82 (3), 206-214.

- Raastad, T., Glomsheller, T., Bjoro, T., & Hallén, J. (2003). Recovery of skeletal muscle contractility and hormonal responses to strength exercise after two weeks of high-volume strength training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13 (3), 159-168.
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (4), 918-920.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Ball, S. D., & Burkett, L. N. (2002). Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16 (4), 525-529.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., & Ball, S. D. (2003). A Meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (3), 456-464.
- Rustenbach, S. J. (2003). *Metaanalyse. Eine anwendungsorientierte Einführung* (Methoden der Psychologie, Bd. 16). Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber.
- Sanborn, K., Boros, R., Hruby, J., Schilling, B., O'Bryant, H. S., Johnson, R. L., Hoke, T. P., Stone, M. E., & Stone, M. H. (2000). 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 (3), 328-331.
- Schlumberger, A., Stec, J., & Schmidtbleicher, D. (2001). Single- vs. multiple-set strength training in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15 (3), 284-289.
- Stadler, L. V., Stubbs, N. B., & Vukovich, M. D. (1997). A comparison of a 2-day and 3-day per week resistance training program on strength gains in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (5), suppl. 254.
- Starkey, D. B., Pollock, M. L., Ishida, Y., Welsch, M. A., Brechue, W. F., Graves, J. E., & Feigenbaum, M. S. (1996). Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28 (10), 1311-1320.
- Stone, M. H., Potteiger, J. A., Pierce, K. C., Proulx, C. M., O'Bryant, H. S., Johnson, R. L., & Stone, M. E. (2000). Comparison of the effects of three different weight-training programs on the one repetition maximum squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14 (3), 332-337.
- Stone, W. J., & Coulter, S. P. (1994). Strength/endurance effects from three resistance training protocols with women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8 (4), 231-234.
- Tesch, P. A. (1992). Short- and long term histochemical and biochemical adaptations in muscle. In P. V. Komi, *Strength and Power in Sport* (pp. 239-248). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Toigo, M. (2006). Trainingsrelevante Determinanten der molekularen und zellulären Skelettmuskeladaptationen. Teil 2: Adaptation von Querschnitt und Fasertypusmodulen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 54 (4), 121-132.
- Wernbom, M., Augustsson, J., & Thomeé, R. (2007). The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Medicine*, 37 (3), 225-264.
- Wirth, K. (2004). *Trainingshäufigkeit beim Hypertrophietraining*. Dissertation, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt/Main.
- Zatsiorsky, V. M. (1995). *Science and practice of strength training*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Books.