

Wirth K¹, Atzor KR², Schmidtbleicher D¹

Veränderungen der Muskelmasse in Abhängigkeit von Trainingshäufigkeit und Leistungsniveau

Changes in muscle mass depending on training frequency and level of experience

¹ Institut für Sportwissenschaften, Johann Wolfgang Goethe Universität-Frankfurt/Main

² Gemeinschaftspraxis für Radiologie und Neuroradiologie, Friedberg (Hessen)

Zusammenfassung

Ziel der Untersuchung war es, eine optimale Trainingshäufigkeit zur Erzeugung von Hypertrophieeffekten der Skelettmuskulatur zu ermitteln. 60 Probanden, davon 30 Anfänger (A: mindestens ein halbes Jahr Trainingserfahrung) und 30 Fortgeschrittene (F: mindestens zwei Jahre Trainingserfahrung), nahmen an der Studie teil. Vor Beginn und zwei Wochen nach Beendigung des achtwöchigen Hypertrophietrainings für die Armebeuger wurde mittels Kernspintomographie (MRI) der Zuwachs an Muskelmasse analysiert. Hierfür wurden pro Person 96 Querschnitte mit einer Schichtdicke von jeweils 1,67 mm zur Auswertung herangezogen und somit der Oberarm auf einer Länge von 16,03 cm untersucht. Zur statistischen Auswertung der Daten wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung und dem Scheffé-Test als post-hoc Test ($p < 0,05$) durchgeführt. Bis auf die Gruppe mit erfahrenen Athleten und einer Trainingseinheit pro Woche kam es in allen Gruppen zu einem signifikanten Anstieg der Muskelmasse innerhalb des Untersuchungszeitraums mit der Tendenz zu einer höheren Effektivität der Trainingsprogramme, die eine Trainingshäufigkeit von zwei oder drei Einheiten pro Woche aufwiesen. Zwischen den Gruppen mit gleicher Trainingshäufigkeit konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Krafttrainingsanfänger und erfahrene Athleten in ähnlicher Weise auf die jeweils verabreichten Trainingsfrequenzen reagieren. Unabhängig vom Leistungsniveau kann eine Trainingshäufigkeit von zwei oder drei Trainingseinheiten pro Woche für eine bestimmte Muskelgruppe als besonders effektiv angesehen werden

Schlüsselwörter: Krafttraining, Muskelhypertrophie, Trainingshäufigkeit

Einleitung

Ein stabiles Muskelkorsett ist die Basis für das Bewältigen alltäglicher Belastungen, für eine Vielzahl von Freizeitsportarten und nicht zuletzt, hier sogar in besonderem Maße, für viele Bereiche des Hochleistungssports. Aus präventiver Sicht dient die Entwicklung einer gut ausgeprägten Muskulatur der Entlastung des passiven Bewegungsapparates, hier vor allem der Gelenke und der Wirbelsäule. Zimmermann (31) betont, dass eine gut ausgeprägte Muskulatur die Voraussetzung für jegliche körperliche Aktivität darstellt und demnach auch die

Summary

The major goal of this study was to find a training frequency that promises optimum success in the proliferation of muscle mass by measuring muscle size before and 2 weeks after an 8-week training cycle. 30 men with at least half a year (beginner = A) and 30 with at least 2 years (advanced = F) of strength training experience participated in this study. The subjects were divided into six groups of 10 individuals each, who had to go through a hypertrophy training program for arm bends with a frequency of one (A1 / F1), two (A2 / F2) and three (A3 / F3) training sessions per week up to 8 weeks altogether. The size of the elbow flexors was determined by magnetic resonance imaging (MRI). 96 transversal images with a thickness of 1.67 mm were collected per subject. Thus a region 16.03 cm of the upper arm was examined. The statistical handling of the data consisted of an analysis of variance (with a repetition of the measurements) and the Scheffé-test ($p < 0.05$) as a post-hoc test. Except for the group of advanced athletes and a training frequency of once a week, all groups showed significant gains in muscle mass with a tendency of better training results when doing two or three training sessions a week. No difference could be found between the groups (beginners/advanced) with the same training frequency.

Key words: strength training, muscle hypertrophy, training frequency

Grundlage für das von Medizinern immer wieder geforderte Ausdauertraining zur Herz-Kreislaufprophylaxe ist. Aus dem heutigen Leistungs- und Hochleistungssport ist ein Krafttraining, vor allem wenn zum Erreichen von Spitzenleistungen Maximal-, Explosiv- und/oder Schnelkraft eine entscheidende Rolle spielen, nicht mehr wegzudenken. Neben einer Verbesserung der Ansteuerung der Muskulatur über das Nervensystem ist vor allem langfristig der Aufbau von Muskelmasse als der entscheidende Faktor für das Erreichen eines hohen Maximalkraftniveaus anzusehen (11, 12). Da die Maximalkraft als eine bestimmende Größe für den Ausprägungsgrad von Explosiv- und Schnelkraft anzusehen ist (3), hat sie einen

großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit in zahlreichen Sportarten.

Problem- und Zielstellung

Bis heute wurde eine Vielzahl von Studien durchgeführt, die sich innerhalb der Krafttrainingsforschung mit dem Ziel einer möglichst effektiven Gestaltung der Belastungsnormativa zur Steigerung des Kraftmaximums befassten. Betrachtet man hingegen die Literaturlage zum Thema Hypertrophietraining, so ist zu konstatieren, dass Studien, die eine Optimierung der Reizsetzung für diese Art der muskulären Adaptation zum Ziel haben, Mangelware sind. So ist zum Beispiel bis heute unklar, mit welcher Frequenz (Trainingshäufigkeit pro Woche) ein Muskel für das Erreichen eines bestmöglichen Wachstums belastet werden sollte (13, 24, 28) oder inwiefern das Leistungsniveau eines Athleten Einfluss auf die zu verabreichende Reizkonfiguration hat. In den letzten Jahrzehnten haben vor allem Erfahrungswerte, die aus den Sportarten Gewichtheben, Bodybuilding und Kraftdreikampf stammen, Einzug in das Training anderer Sportarten und die Trainingswissenschaft gehalten. So liegen bis heute weder empirische Befunde noch einheitliche trainingspraktische Empfehlungen vor, die zu einem einheitlichen Bild bzgl. der Festlegung der Belastungsnormativa führen könnten. Man kann festhalten, dass die Trainingsmethoden des Bodybuildings von der Trainingswissenschaft übernommen wurden, ohne jedoch darauf hinzuweisen, dass nicht wissenschaftliche Arbeit zu diesen effektiven Trainingsmethoden geführt hat und dass bis heute viele der übernommenen Belastungsnormativa keiner wissenschaftlichen Überprüfung unterzogen wurden, um eventuell zu einer Optimierung dieser Methoden zu gelangen. Ziel der vorliegenden Studie war es, Hinweise für eine optimale Trainingsgestaltung bzgl. der Trainingshäufigkeit zu erhalten.

Material und Methode

An der Untersuchung nahmen 60 Männer teil (sechs Gruppen von 10 Probanden). Die Probanden rekrutierten sich aus Studenten des Instituts für Sportwissenschaften der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main bzw. aus Freizeit- und Leistungssportlern unterschiedlicher Sportarten. Die Teilnehmer an der Studie setzten sich zur Hälfte aus Krafttrainingsanfängern und zur Hälfte aus krafttrainingserfahrenen Athleten zusammen. Um an einer der drei Anfängergruppen (A1, A2, A3; die Zahl kennzeichnet hierbei die Trainingshäufigkeit pro Woche) partizipieren zu können, wurde eine mindestens halbjährige Krafttrainingserfahrung vorausgesetzt. Fleck (8) spricht in diesem Zusammenhang von Anfängern im Bodybuilding bei einer Trainingserfahrung von sechs bis neun Monaten. Dieses Kriterium wurde gewählt, um neuronale Adaptationseffekte, zu denen es durch ein Erlernen des Bewegungsablaufs (intermuskuläre

Koordination) oder durch eine bessere Ausnutzung des vorhandenen Muskelpotentials (intramuskuläre Koordination) kommen könnte, im Verlauf der Studie möglichst gering zu halten. Als Voraussetzung für die Einstufung als Fortgeschrittener (F1, F2, F3) wurde ein über mindestens zwei Jahre kontinuierlich durchgeführtes Krafttraining gefordert. Da es sich bei einem Großteil der Probanden um Berufstätige mit begrenzten zeitlichen Kapazitäten für die Durchführung ihres Krafttrainings handelte, war es nicht möglich, die Gruppen anhand ihrer Eingangswerte in der Untersu-

Tabelle 1: Alter, Gewicht und Größe zu Beginn der Studie der sechs Trainingsgruppen

Gruppe	Alter	Gewicht	Größe
A1	25,1 ± 6,2	79,0 ± 17,9	180,2 ± 4,3
A2	27,1 ± 7,8	79,4 ± 9,9	180,0 ± 1,9
A3	24,4 ± 8,2	75,7 ± 12,1	179,3 ± 5,5
F1	29,7 ± 4,7	87,1 ± 3,1	180,9 ± 4,0
F2	29,8 ± 4,6	85,7 ± 5,4	181,6 ± 5,4
F3	27,0 ± 5,6	88,1 ± 5,5	178,8 ± 3,0

chung zu parallelisieren. Dies bedeutet, dass sie je nach eigenen zeitlichen Möglichkeiten den Gruppen zugeordnet werden mussten.

Die kernspintomographischen Untersuchungen zur Ermittlung des Muskelvolumens wurden am Magnetom Impact Expert der Firma Siemens durchgeführt. Es wurden zwei einander überlappende Sequenzen mit einer Dauer von jeweils 9 Minuten und 42 Sekunden gefahren. In jeder Sequenz wurden 120 Schnitte erstellt. Hiervon kamen 96 Schnitte in die Auswertung. Die Schichtdicke betrug 1,67 mm. Daraus ergab sich ein Auswertungsbereich von 16,03 cm. Hierbei wurde ein Field of View (FoV) von 245 x 280 mm gewählt. Die benutzte Matrix betrug 186 x 256 Bildpunkte bei einer Feldstärke von einem Tesla. Die selektierten Schnitte wurden mit der Siemenssoftware Magnetom Impact Expert (Version H SP CR VB 33 A) analysiert. Es erfolgte eine manuelle Auswertung der einzelnen Querschnitte, wobei die relevante Muskulatur mit dem Mauszeiger umfahren wurde, woraufhin die Software den Flächeninhalt des markierten Bereichs berechnete. Anhand der Querschnittsdaten und der Schichtdicke wurde das Muskelvolumen im Auswertungsbereich ermittelt („manuelle computerassistierte Segmentation“). Als Referenzpunkt, um beide sich überlappenden Sequenzen zum Auswertungsbereich zusammenzufügen, diente der Ansatz des M. deltoideus an der Tuberositas deltoidea. Es wurden 36 Querschnittsflächen oberhalb und 60 unterhalb des Schnittpunktes ausgewertet. Dies hatte sich innerhalb von Vorstudien als beste Lösung herauskristallisiert, um einen möglichst großen Bereich der Armbeuger erfassen zu können. Mehrfachauswertungen erhobener Daten ergaben eine Test-Retest-Reliabilität von $r = 0,99$. Dieses Ergebnis wird von einer Reihe weiterer Autoren durch ihre Studien gestützt (4, 22). Das dynamische Kraftmaximum wurde anhand der Übung Scottcurl im Sitzen ermittelt. Diese Übung wurde gewählt, da durch die sitzende Position und die auf einem gepolsterten Brett aufliegenden Arme die Möglichkeit, Ausweichbewegungen durchzu-

führen, um so höhere Lasten bewältigen zu können, auf ein Minimum reduziert werden kann. Dies gewährleistete, dass die Maximalkraft der Armbeuger relativ isoliert erhoben werden konnte. Es wurden in der Regel drei bis fünf Versuche benötigt, um das dynamische Maximum zu ermitteln. Hierbei konnte die Maximalkraft bis auf 2,5 kg genau be-



Abbildung 2a) und 2b): Scottcurl (2a) - Startposition und Endposition; 2b) - Position mit annähernd maximaler Beugung der Arme)

stimmt werden. Zwischen den einzelnen Versuchen lagen 3-5 min Pause. Die Test-Retest-Reliabilität für die Bestimmung der dynamischen Maximalkraft lag bei Testung an unterschiedlichen Tagen bei $r = 0,97$.

Das Trainingsprogramm dauerte acht Wochen und zog eine zweiwöchige Detrainingsphase nach sich. Vor Trainingsbeginn (T1) und 13 Tage nach dem letzten Training (T2) wurde das Muskelvolumen und die dynamische Maximalkraft erfasst. Die Trainingseinheiten wurden, soweit möglich, immer im gleichen zeitlichen Abstand voneinander durchgeführt. Den Probanden wurde zur Auflage gemacht, ihr Rückentraining am selben Tag durchzuführen und die Armbeuger an allen anderen Trainingstagen soweit wie möglich zu entlasten.



Abbildung 1: Querschnitt durch den Oberarm inkl. Umrandung des ausgewerteten Bereichs

Das restliche Training wurde unverändert beibehalten, da es nicht möglich war, die Sportler aus ihrem Trainingsprozess herauszunehmen. Das Training bestand aus fünf Sätzen bei drei Minuten interserieller Pause. Jeder Satz wurde bis zum Muskelversagen ausgeführt. Der letzten eigenständig ausgeführten Wiederholung folgten zwei

weitere mit Hilfestellung. Die Wiederholungszahl pro Satz sollte im Bereich von acht bis zwölf liegen. Aufgrund der unvollständigen Regeneration innerhalb der Belastungspause

musste von Satz zu Satz das Gewicht reduziert werden, um im angestrebten Wiederholungsbereich zu bleiben. War es dem Probanden möglich, mit einer Last zwölf Wiederholungen durchzuführen, wurde das Gewicht für den nächsten Satz beibehalten und im nächsten Training um 2,5 kg erhöht. Es wurden abwechselnd zwei Trainingseinheiten durchgeführt, die sich aus unterschiedlichen Übungen zusammensetzten. In der ersten Trainingseinheit wurden zunächst drei Sätze Langhantelcurls im Stehen durchgeführt, gefolgt von zwei Sätzen eingedrehter Kurzhantelcurls auf der Schrägbank (ausgedreht = aus pronierter Handstellung zu Beginn der Bewegung in eine supinierte Handstellung wechseln). Trainingseinheit 2 bestand aus drei Sätzen Kurzhantelcurls im Sitzen und zwei Sätzen Scotcurls. Dieses Design wurde gewählt, um die Armbeuger variablen Belastungsreizen auszusetzen und das Training abwechslungsreicher zu gestalten.

Die Überprüfung der Daten auf Normalverteilung erfolgte mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test. Da keine Parallelisierung der Gruppen vorgenommen werden konnte, wurden die Gruppen mittels des Scheffé-Tests auf signifikante Gruppenunterschiede auf jeden der untersuchten Parameter hin getestet. Die Überprüfung der Varianzhomogenität wurde mittels des Levene-Tests vorgenommen. Zur Analyse der Gruppen- und Testterminvergleiche wurde die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Beurteilung der Haupteffekte und der Interaktion herangezogen. Für den Fall, dass keine Varianzhomogenität gegeben war, erfolgte eine Korrektur der Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser. Zur Analyse der Einzelvergleiche wurde bei signifikantem F-Wert post-hoc der Scheffé-Test herangezogen. Das Signifikanzniveau wurde für alle statistischen Verfahren auf $p < 0,05$ festgelegt. Zunächst wurden die drei Anfänger- bzw. Fortgeschrittenengruppen getrennt voneinander analysiert und danach die Gruppen mit gleicher Trainingshäufigkeit direkt miteinander verglichen.

Ergebnisse

Jede der drei Anfänger- bzw. Fortgeschrittenengruppen bestand aus jeweils zehn Probanden. Für die drei Anfängerguppen ergab die statistische Auswertung der Muskelvolumenveränderungen ein signifikantes Ergebnis für den Faktor Messtermin ($F = 87,632$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,764$). Für die Interaktion Messtermin x Gruppe konnte jedoch kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden ($F = 3,327$; $p = 0,051$; $\eta^2 = 0,198$). Demnach muss davon ausgegangen werden, dass der Anpassungsverlauf der einzelnen Gruppen gleich war. In allen drei Gruppen kam es zu signifikanten Veränderungen des Muskelvolumens, wobei die Anpassungen in der Gruppe mit einer Trainingseinheit pro Woche mit $3,9 \pm 5,2\%$ die geringsten waren. Zwei und drei Trainingseinheiten pro Woche führten zu tendenziell höheren Zuwachsraten, wobei die Gruppe mit drei Trainingseinheiten pro Woche den höchsten Zuwachs verzeichnen konnte ($7,4 \pm 4,7\%$). Bei den drei Gruppen mit krafttrainings-erfahrenen Sportlern ergab sich ein ähnliches Bild. Für den

Faktor Messtermin konnte ein signifikantes Ergebnis ($F = 23,010$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,460$) ermittelt werden, jedoch verfehlte die Analyse auf Gruppenunterschiede auch bei den Fortgeschrittenen das erforderliche Signifikanzniveau ($F = 1,047$; $p = 0,365$; $\eta^2 = 0,072$). Wie auch bei den drei Anfängergruppen erreichte die Fortgeschrittenengruppe mit drei Trainingseinheiten pro Woche (F3) den stärksten Zuwachs von $5,3 \pm 3,9 \%$. Die krafttrainierten Probanden, die zweimal pro Woche die Armbeuger trainierten, erreichten einen signifikanten Zuwachs von $4,6 \pm 6,8 \%$. Eine Trainingseinheit pro Woche erbrachte zwar einen mittleren Muskelmassegewinn von $2,5 \pm 3,4 \%$, dieser war jedoch nicht signifikant.

Um zu analysieren, ob es innerhalb der beiden Gruppen mit jeweils gleicher Trainingshäufigkeit (A1/F1; A2/F2; A3/F3) signifikante Unterschiede bezogen auf die in zehn Wochen entwickelte Muskelmasse gab, wurden die Gruppen paarweise varianzanalytisch miteinander verglichen. Bei keiner der drei Analysen kam es zu einem signifikanten F-Wert: A1 und F1 ($F = 0,006$; $p = 0,937$; $\eta^2 = 0,000$); A2 und F2 ($F = 0,031$; $p = 0,863$; $\eta^2 = 0,002$); A3 und F3 ($F = 0,102$; $p = 0,753$; $\eta^2 = 0,006$), woraus sich schließen lässt, dass die Anpassungsverläufe bei den Anfänger- und Fortgeschritten-

gangsmessung einen signifikant differierenden Kraftwert vorweisen. Die Gruppen F2 und F3 verzeichneten hingegen einen signifikanten Anstieg des dynamischen Maximums von $7,3 \pm 9,2 \%$ bzw. $12,8 \pm 7,2 \%$. Die Einzelvergleiche der Kraftentwicklung über den Untersuchungszeitraum zwischen den drei Fortgeschrittenengruppen ergaben nur einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen F1 und F3.

Der paarweise Vergleich der Anfänger- und Fortgeschrittenengruppen mit jeweils gleicher Trainingshäufigkeit erbrachte nur für die Gruppen A2 und F2 einen signifi-

Tabelle 3: Dynamisches Maximum an den beiden Messterminen (1RM_T1, 1RM_T2) und die prozentuale Veränderung des 1RM (1RM_%) der sechs Trainingsgruppen; * = signifikant ($p < 0,05$)

Gruppe	1RM_T1	1RM_T2	Vol_%
A1	41,6 ± 6,1	44,3 ± 7,7	6,4 ± 7,7*
A2	39,3 ± 7,0	45,6 ± 6,7	16,7 ± 8,7*
A3	36,6 ± 5,9	44,6 ± 6,0	22,9 ± 10,4*
F1	59,7 ± 8,1	61,1 ± 8,2	2,7 ± 9,9
F2	57,2 ± 6,3	61,3 ± 6,4	7,3 ± 2,9*
F3	54,8 ± 6,4	61,6 ± 6,1	12,8 ± 7,2*

kanten Unterschied ($F = 5,715$; $p = 0,027$; $\eta^2 = 0,222$) mit allerdings nur sehr geringer Effektstärke.

Tabelle 2: Muskelvolumen an den beiden Messterminen (Vol_T1, Vol_T2) und die prozentuale Veränderung des Volumens (Vol_%) der sechs Trainingsgruppen; * = signifikant ($p < 0,05$)

Gruppe	Vol_T1	Vol_T2	Vol_%
A1	357,47 ± 70,30	370,32 ± 68,21	3,9 ± 5,2*
A2	386,38 ± 47,80	411,75 ± 52,07	6,6 ± 1,9*
A3	359,80 ± 65,68	384,74 ± 64,69	7,4 ± 4,7*
F1	497,82 ± 55,83	510,11 ± 59,84	2,5 ± 3,4
F2	507,07 ± 48,08	530,55 ± 62,48	4,6 ± 6,8*
F3	524,61 ± 52,14	551,79 ± 49,48	5,3 ± 3,9*

nengruppen in Abhängigkeit von der Trainingshäufigkeit gleich sind.

Die Analyse der Entwicklung des dynamischen Maximums (1RM-"one repetition maximum") der drei Anfängergruppen erbrachte sowohl für den Faktor Messtermin ($F = 50,162$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,769$) wie auch für die Interaktion Gruppe x Messtermin ($F = 4,507$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,336$) signifikante F-Werte. Nach acht Trainingswochen konnte bei der Gruppe A1 ein signifikanter Kraftzuwachs von $6,4 \pm 7,7 \%$, Gruppe A2 ein signifikanter Zuwachs von $14,4 \pm 11,2 \%$ und bei der Gruppe A3 ein signifikanter Anstieg der Maximalkraft von $16,7 \pm 8,7 \%$ festgestellt werden. Der direkte Vergleich der Kraftentwicklung zwischen den drei Anfängergruppen erbrachte signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen A1 und A2 bzw. A1 und A3. Erneut ergab sich bei den krafttrainingserfahrenen Sportlern ein ähnliches Bild. Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung erbrachte sowohl für den Faktor Messtermin ($F = 18,766$; $p = 0,000$; $\eta^2 = 0,561$) wie auch für die Interaktion Gruppe x Messtermin ($F = 3,487$; $p = 0,004$; $\eta^2 = 0,273$) signifikante F-Werte. Die Gruppe erfahrener Kraftsportler, die einmal pro Woche das auferlegte Trainingsprogramm absolvierte, konnte im Vergleich zur Ein-

Diskussion

Für alle drei Anfängergruppen reichten acht Wochen Training aus, um signifikante Zuwachsraten bezogen auf das Muskelvolumen zu erzielen. Selbst eine Trainingseinheit pro Woche lieferte einen ausreichenden Reiz, um diesen Adaptationsvorgang in die Wege zu leiten. Anhand der Varianzanalyse konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen festgestellt werden, wobei der p-Wert von 0,051 deutlich macht, wie knapp das 5%-Signifikanzniveau verpasst wurde. Demnach ist es gerechtfertigt, im Folgenden von deutlichen Tendenzen im Adaptationsverlauf in Abhängigkeit von der Belastungshäufigkeit zu sprechen (2). Der geringste Zuwachs wurde in der Anfängergruppe mit einer Trainingseinheit pro Woche ermittelt (A1: $3,9 \pm 5,2 \%$). Deutlich darüber lagen die beiden anderen Gruppen mit einer Trainingsfrequenz von zwei und drei Einheiten pro Woche (A2: $6,6 \pm 1,9 \%$; A3: $7,4 \pm 4,7 \%$). Dass es zu keinen signifikanten Gruppenunterschieden kam, lässt sich statistisch durch die hohe Streuung der Ergebnisse innerhalb der einzelnen Gruppen erklären. Betrachtet man die Gruppe A1, so ist im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen zu erkennen, dass in ihr die einzigen sechs Probanden zu finden sind, bei denen praktisch keine Veränderung des Muskelvolumens festgestellt werden konnte. Betrachtet man die beiden anderen Gruppen, so fällt an dieser Stelle auf, dass alle Probanden einen Leistungszuwachs verzeichneten. Die geringsten Zuwachsraten lagen in beiden Gruppen bei gut 3 %, wobei die größten Steigerungen der Muskelmasse in der Gruppe A3 zu finden waren (bis zu 19 %). Die Gruppe A2 zeigt ein recht einheitliches Bild bzgl. des Trainingserfolgs ($6,6 \pm 1,9 \%$). Zieht man nun die Entwicklung der dynamischen

schen Maximalkraft hinzu, so festigt sich der Eindruck, dass eine Trainingshäufigkeit, die über einer Trainingseinheit pro Woche für eine Muskelgruppe hinausgeht zu empfehlen ist. Zudem weisen die Daten darauf hin, dass der zusätzliche Gewinn einer dritten gegenüber einer zweiten Trainingseinheit, vor allem auf Grund der Hypertrophiedaten, eher als gering anzusehen ist. Fraglich bleibt, ob eine eventuell längere Untersuchungsdauer eindeutigere Resultate zu Tage gefördert hätte. Es ist durchaus denkbar, dass die Ergebnisse innerhalb der acht Trainingswochen auch anders ausfallen hätten können. So konnte bei den Probanden nur darauf hingewiesen werden, dass Aktivitäten, die die Regeneration – negativ hätten beeinflussen können, auf ein Minimum reduziert werden sollten (Ernährung, Alkoholkonsum, Schlafmangel, sonstige sportliche Aktivitäten etc.).

Li und Mitarbeiter (18) ermittelten über Muskelquerschnittsmessungen eine signifikante Überlegenheit von drei gegenüber einer Trainingseinheit pro Woche, was die nur als Tendenz zu wertenden Resultate dieser Studie stützt, so dass eine Trainingshäufigkeit größer als einmal pro Woche auch schon für Krafttrainingsanfänger zu empfehlen ist, wenn es um den Aufbau von Muskelmasse geht. Die Analyse der drei Gruppen mit kräftigeren Athleten erbrachte ein ähnliches Bild. Der Gruppe mit einer Trainingseinheit pro Woche gelang es nicht, innerhalb von acht Wochen Training zu einer signifikanten Veränderung der Muskelmasse ihrer Armbeuger zu kommen (F1: $2,5 \pm 3,4\%$). Im Gegensatz dazu konnten die beiden anderen Gruppen innerhalb des Untersuchungszeitraums die Muskelmasse ihrer Armbeuger signifikant (F2: $4,6 \pm 6,8\%$; F3: $5,3 \pm 3,9\%$) verbessern. Erneut waren keine signifikanten Gruppenunterschiede festzustellen, jedoch bestätigte sich das Bild der Anfängergruppen, das in Richtung einer größeren Trainingshäufigkeit als einmal pro Woche weist. Wie zu erwarten war, fielen die Zuwachsraten geringer aus als bei den Anfängergruppen. Keine der drei Fortgeschrittenengruppen unterschied sich jedoch im Muskelzuwachs signifikant von ihrem Gegenstück innerhalb der Anfängergruppen. Dies muss als überraschend angesehen werden, da zu erwarten war, dass mit zunehmendem Leistungsniveau der Trainingsaufwand steigt, um weitere Fortschritte zu erzielen.

Eine Kombination aus Belastungsintensität und Belastungsvolumen, die bei Hochtrainierten innerhalb eines relativ kurzen Trainingszyklus zu messbaren Erfolgen führt, sollte geeignet sein, auch bei Trainingsanfängern zu wirken. Die einzige Gefahr wäre dabei in einer Überlastung der Anfänger zu sehen. Da jedoch hierfür innerhalb des Untersuchungszeitraums jeglicher Hinweis fehlte, ist es erstaunlich, dass die Trainingserfolge der Anfängergruppen sich sowohl bei den Hypertrophieeffekten wie auch bei der Entwicklung der dynamischen Maximalkraft nicht eindeutig von denen der Fortgeschrittenen unterschieden. Dies könnte die Vermutung stützen, dass bei den eher krafttrainingsunerfahrenen Probanden im Umfeld der Untersuchung die zuvor beschriebenen Störgrößen zum Teil und in unterschiedlichem Ausmaß zum Tragen kamen, was eventuell vorhandene Unterschiede verschleiert haben könnte. Hervorzuheben

sind diesbezüglich vor allem Ernährungsgewohnheiten bzw. die Ernährungsdisziplin. Auch bei den drei Gruppen mit erfahrenen Athleten erreichte die Gruppe mit dem tendenziell höchsten Ausgangsniveau den stärksten Zuwachs, was die Effektivität der Trainingsintervention unterstreicht und zeigt, dass die fehlende Möglichkeit zur Parallelisierung der Gruppen keinen nachhaltigen Einfluss auf die Ergebnisse hatte, da eher zu erwarten gewesen wäre, dass die Gruppe mit dem geringsten Ausgangsniveau den stärksten Zuwachs verzeichnen würde. Betrachtet man auch hier die Einzelergebnisse der Probanden, so fällt auf, dass mit zunehmender Belastungshäufigkeit immer mehr Teilnehmer innerhalb einer Gruppe einen positiven Trainingserfolg aufweisen konnten, während in der Gruppe F1 sechs Teilnehmer finden waren, die zu keinem nennenswerten Trainingserfolg gelangen konnten, gab es in der Gruppe F2 zwar immer noch fünf Athleten mit sehr geringen Zuwachsraten, jedoch waren die Trainingserfolge bei den übrigen Teilnehmern höher als bei denen der Gruppe F1. In der Gruppe F3 fanden sich nur noch drei Sportler, bei denen ein nennenswerter Trainingserfolg ausblieb.

Bis auf eine Studie von Li und Mitarbeitern (18), der eine und drei Trainingseinheiten miteinander verglich und in diesem Zusammenhang die Veränderungen des Muskelquerschnitts analysierte, belegen andere Studien lediglich die Effektivität eines dreimaligen Trainings pro Woche für die Entwicklung von Muskelmasse (6, 7, 20, 30). Mehrere Autoren weisen darauf hin, dass je nach trainierter Muskelgruppe das benötigte Trainingsvolumen bzw. die Belastungshäufigkeit variieren kann (5, 6, 19). So stellten verschiedene Autoren mit ein- und demselben Trainingsprogramm Veränderungen des Muskelquerschnitts an der oberen Extremität, jedoch nicht an der unteren fest (5, 6, 19). Inwieweit genetische Voraussetzungen Einfluss auf das Ausmaß der Adaptation nehmen, muss weiter offen bleiben. Van Etten und Mitarbeiter (29) stellten bei von Natur aus stämmigeren Personen einen besseren Muskelzuwachs fest, als dies bei eher schwächtigen bzw. dünnen Probanden der Fall war. Diskutiert werden könnte auch die Frage, ob ein hoher körpereigener Androgenspiegel von Vorteil bei der Entwicklung eines ausgeprägten Muskelkorsetts sein könnte.

Obwohl gerade bei den Anfängern eine Trainingseinheit pro Woche ausreichte, um zu einem signifikanten Massenzuwachs bzw. Kraftgewinn zu gelangen, sollten zwei Gesichtspunkte nicht außer Acht gelassen werden, wenn es darum geht, trainingspraktische Folgerungen aus den Ergebnissen zu ziehen. Sowohl bei Anfängern als auch bei krafttrainings erfahrenen Athleten zeigte sich eine klare Tendenz zu einer größeren Trainingshäufigkeit als einmal pro Woche, und es konnte bei den Fortgeschrittenen keine signifikante Massezunahme bei einer Trainingseinheit pro Woche festgestellt werden. Eine Empfehlung von zwei Trainingseinheiten pro Woche kann somit als durchaus gerechtfertigt angesehen werden. Dies wird besonders durch die Kraftdaten untermauert. Drei Trainingseinheiten pro Woche erbrachten zwar im Mittel den größten Zuwachs, lagen aber jeweils nur

geringfügig über den Effekten, die zwei Trainingseinheiten pro Woche hervorriefen. Diese Empfehlung gilt besonders für Kraftsportler, während man das Training bei Krafttrainingsanfängern durchaus mit einer Trainingseinheit pro Woche starten könnte. Fraglich bleibt, ob diese Ergebnisse auf größere Muskelgruppen als die isolierten Armbeuger übertragen werden können. Vor allem unter Berücksichtigung der Empfehlung, große Muskelgruppen mit einem höheren Belastungsvolumen zu konfrontieren (1, 25, 32), bedarf es weiterer Studien, um Belastungsvolumen und Belastungshäufigkeit für große wie kleine Muskelgruppen optimal aufeinander abzustimmen. Unabhängig von den hier ausgesprochenen Empfehlungen soll noch einmal abschließend betont werden, dass es im langfristigen Trainingsprozess als äußerst hilfreich anzusehen ist, wenn in einem gewissen Rahmen eine Variation innerhalb der Belastungsnormative bzw. eine Periodisierung des Krafttrainings erfolgt, was sowohl der Ansicht vieler Trainingswissenschaftler als auch den Erfahrungen aus der Krafttrainingspraxis und einer Vielzahl von Studien entspricht (9, 10, 14, 16).

Literatur

- Baker D, Wilson G, Carlyon R: Periodization: The effect on strength of manipulating volume and intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research* 8 (1994) 235-242.
- Bös K, Hänsel F, Schott N: Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft. Czwalina Verlag, Hamburg, 2000.
- Bührle M, Müller K-J, Schmidbleicher D: Schlagkraft und Bewegungsschnelligkeit des Boxers. *Leistungssport* 12 (1982) 246-248.
- Chestnut JL, Docherty D: The effects of 4 and 10 repetition maximum weight-training protocols on neuromuscular adaptations in untrained men. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 13 (1999) 353-359.
- Chillbeck PD, Calder AW, Sale G, Webber CE: A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *European Journal of Applied Physiology* 77 (1998) 170-175.
- Cureton KJ, Collins MA, Hill DW, McElhannon JR: Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20 (1988) 338-344.
- Davies J, Parker DF, Rutherford OM, Jones DA: Changes in strength and cross sectional area of the elbow flexors as a result of isometric strength training. *European Journal of Applied Physiology* 57 (1988) 667-670.
- Fleck SJ: Cardiovascular responses to strength training, in: Komi PV (Hrsg.): *Strength and Power in Sport*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1992, 305-315.
- Fleck SJ: Periodization of training, in: Kraemer WJ, Häkkinen K (Hrsg.): *Strength Training for Sport*, Blackwell Science, Oxford, 2002, 55-68.
- FrY AC, Häkkinen K, Kraemer WJ: Special considerations in strength training, in: Kraemer WJ, Häkkinen K (Hrsg.): *Strength Training for Sport*, Blackwell Science, Oxford, 2002, 135-216.
- Fukunaga T, Miyatani M, Tachi M, Kouzaki M, Kawakami Y, Kanehisa H: Muscle volume is a major determinate of joint torque in humans, *Acta Physiologica Scandinavica* 172 (2001) 249-255.
- Goldspink G, Harridge S: Cellular and molecular aspects of adaptations in skeletal muscle, in: Komi PV (Hrsg.): *Strength and Power in Sport*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 2003, 231-251.
- Goneya WJ, Sale D: Physiology of Weight-Lifting Exercise. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 63 (1982) 235-237.
- Graham J: Periodization research and an example application. *Strength and Conditioning Journal* 24 (2002) 62-70.
- Häkkinen K: Factors influencing trainability of muscular strength during short term and prolonged training. *National Strength and Conditioning Association Journal* 7 (1985) 32-37.
- Hasegawa H, Dziados J, Newton RU, Fry AC, Kraemer WJ, Häkkinen K: Periodized training programmes for athletes, in: Kraemer WJ, Häkkinen K (Hrsg.): *Strength Training for Sport*, Blackwell Science, Oxford, 2002, 69-134.
- Kraemer WJ, Deschenes MR, Fleck SJ: Physiological adaptations to resistance exercise - Implications for athletic conditioning. *Sports Medicine* 6 (1988) 246-256.
- Li Y, Ploutz-Snyder L, Graves J, Mayer J: Neuromuscular adaptations to lumbar extension strength gain. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 30 (1998) 207.
- Mayhew JL, Gross PM: Body composition changes in young women with high resistance training. *The Research Quarterly* 45 (1974) 433-440.
- McCall GE, Byrnes WC, Dickinson WC, Pattany PM, Fleck SJ: Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of Applied Physiology* 81 (1996) 2004-2012.
- Mitsopoulos N, Baumgartner N, Heymesfield SB, Lyons W, Gallagher D, ROSS R: Cadaver validation of skeletal muscle measurement by magnetic resonance imaging and computerized tomography. *Journal of Applied Physiology* 85 (1998) 115-122.
- Oberbeck H: Krafttraining im Aufbautraining. *Leichtathletiktraining* 1 (1991) 3-10.
- Schmidbleicher D: Motorische Eigenschaft Kraft: Struktur, Komponenten, Anpassungserscheinungen, Trainingsmethoden und Periodisierung, in: FRITSCH W (Hrsg.): *Rudern - erfahren, erkunden, erforschen*, Wirth-Verlag (Sport Media), Gießen, 2003, 15-40.
- Stone MH, Chandler TJ, Conley MS, Kramer JB, STONE ME: Training to muscular failure: Is it necessary?. *National Strength and Conditioning Association Journal* 18 (1996) 44-48.
- Stone MH, Collins D, Plisk S, Haff G, Stone ME: Training principles: Evaluation of modes and methods of resistance training. *Strength and Conditioning Journal* 22 (2000) 65-75.
- Stone MH, O'Bryant HS, Garhammer J, McMillan J, Rozenek R: A theoretical model of strength training. *NSCA Journal* 4 (1982) 36-39.
- Stone MH, Plisk SS, Stone ME, Schilling BK, O'Bryant HS, Pierce KC: Athletic performance development: volume load - 1 set vs. multiple sets, training velocity and training variation. *Journal of Strength and Conditioning* 12 (1998) 22-31.
- Tesch PA: Training for bodybuilding, in: Komi PV (Hrsg.): *Strength and Power in Sport*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1992, 239-248.
- van Etten LM, Verstappen FT, Westertep KR: Effect of body build on weight-training-induced adaptations in body composition and muscular strength. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 26 (1993) 515-521.
- Young A, Stokes M, Round JM, Edwards RHT: The effect of high-resistance training on the strength and cross-sectional area of the human quadriceps. *European Journal of Clinical Investigation* 13 (1983) 411-417.
- Zimmermann K: *Gesundheitsorientiertes Muskelkrafttraining - Theorie, Empirie, Praxisorientierung, Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport - Band 127*, Verlag Hofmann Schorndorf, Schorndorf, 2000.
- Zittlau D: *Bodytraining - Das erfolgreiche Workout für Muskelaufbau und Ausdauer*, Econ Ullstein List Verlag GmbH & Co.KG, München, 2001.

Korrespondenzadresse:

Dr. Klaus Wirth

Institut für Sportwissenschaften

Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaften

Johann Wolfgang Goethe-Universität

Ginnheimer Landstraße 39

60487 Frankfurt/Main

e-Mail: k.wirth@sport.uni-frankfurt.de