

A. Güllich\*, D. Schmidtbleicher\*\*

## Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden

### Structure of motor strength and the training methods

\*Deutscher Sportbund, Bereich Leistungssport

\*\*Institut für Sportwissenschaften, Arbeitsbereich Sport und Bewegung  
(Leiter: Prof. Dr. D. Schmidtbleicher), Universität Frankfurt/M.

#### Zusammenfassung

Der erste Teil des Artikels befaßt sich mit der Struktur und den Einflußgrößen der motorischen Beanspruchungsform Kraft. Die Schnellkraft setzt sich aus den Komponenten Start-, Explosiv- und Maximalkraft zusammen. Die Schnellkraft, die bei Kontraktionen in einem Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus der Muskulatur entfaltet wird, stellt eine relativ eigenständige Komponente dar. Als wesentliche Einflußgrößen für die Kraftentfaltung können die Rekrutierung und die Innervationsfrequenz der motorischen Einheiten sowie die vorhandene Muskelmasse und die Muskelfaserzusammensetzung bezeichnet werden.

Was die Adaptationen betrifft, so erhält man bei Anwendung von Trainingsmethoden mit explosiven maximalen Kontraktionen primär eine neuronale Anpassung. Der Einsatz von Methoden mit submaximalen Belastungen führt dagegen primär zu einer Hypertrophie der Muskulatur. Ausgehend von der spezifischen Wirkungsweise der verschiedenen Trainingsmethoden wird eine Klassifizierung der gängigen Krafttrainingsmethoden vorgenommen.

**Schlüsselwörter:** Struktur, Einflußgrößen, Adaptationen, Trainingsmethoden.

#### Summary

Maximal strength, speed strength and strength endurance are not distinct entities and bear a hierarchical relationship to one another. All three types of muscle actions can be explained in terms of innervation behaviour (recruitment and frequency phenomena), muscle cross-section, and muscle fiber type. The components of speed strength are starting strength, explosive strength, and isometric maximal strength. The reactive movements, i. e. speed strength, belonging to a stretch-shortening cycle of the muscle, is a relatively independent motor quality. The qualitative expression of reactive speed strength is essentially dependent on the structure of the innervation patterns and the training state of musculo-tendinous structures in terms of their contractile and elastic qualities.

On the basis of specific adaptations caused by practical methods one can distinct maximal contractions of the explosive type which primarily modify the innervation behaviour, and submaximal contractions which lead to a hypertrophy of the muscle. A classification of the commonly used strength training methods is described.

**Key words:** Structural analysis, physiological factors, adaptation, training methods.

#### Einleitung

Im Laufe der letzten drei Jahrzehnte ist dem Training der Kraftfähigkeiten eine fast stetig zunehmende Bedeutung beigemessen worden. Bis vor wenigen Jahren stand vorrangig die Weiterentwicklung von Trainingsmethoden für den Leistungssport in den typischen Kraft- bzw. Schnellkraft- und Kraftausdauersportarten im Mittelpunkt. Ein maßgeblicher Schritt war in diesem Zusammenhang die Neustrukturierung der Kraftfähigkeiten und ihrer Komponenten durch die „Freiburger Gruppe“ in den 70er und 80er Jahren. Nun ist eine verstärkte Erweiterung des Interesses (a) innerhalb des Leistungssports auf die Gesichtspunkte der vielseitig-athletischen Ausbildung - insbesondere im Nachwuchsbereich - und der Sicherung der mechanischen Belastbarkeit durch die Schulung von Kraftfähigkeiten sowie (b) im Fitneß-, Gesundheits- und Rehabilitationstraining vor allem auf die Aspekte der Schulung der funktionalen Haltung, der Gelenkstabilität und der muskulösen Gleichgewichte durch Krafttraining zu beobachten.

Im vorliegenden Beitrag sollen auf der Grundlage des aktuellen Forschungsstandes die Trainingsmethoden dargestellt werden, die sich als besonders wirkungsvoll zur Entwicklung der einzelnen Kraftfähigkeiten herauskristallisiert haben. Da die effektivsten Trainingsmethoden sich dadurch auszeichnen, daß sie - der dimensional Struktur der Kraftfähigkeiten entsprechend - jeweils gezielt bestimmte Komponenten des Kraftverhaltens bzw. einzelne Einflußgrößen ansteuern, soll im vorliegenden Beitrag für einen besseren Zugang zur Methodik des Krafttrainings zunächst das Strukturierungsmodell der Kraftfähigkeiten dargestellt werden.

Der Beitrag gliedert sich in drei Teile:

- Definition und Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Komponenten
- Morphologische und physiologische Einflußgrößen des Kraftverhaltens
- Effektive Methoden und deren Wirkungsweisen zur Entwicklung der einzelnen Kraftfähigkeiten

## Definition und Struktur der Kraftfähigkeiten

Eine effektive Gestaltung des Krafttrainings ist nur unter Berücksichtigung der Struktur der Kraftfähigkeiten möglich: Welche Kraftfähigkeiten sind miteinander verwandt? Welche sind voneinander relativ unabhängig und erfordern jeweils eigene Trainingsmittel und -methoden? In welche Komponenten unterteilen sich die einzelnen Kraftfähigkeiten? Und schließlich: Durch welche Einflußgrößen werden die einzelnen Kraftfähigkeiten und ihre Komponenten bestimmt? Welche Faktoren sind im Training folglich gezielt anzu-steuern?

In der Lehre wie in der Trainingspraxis sind Kraftfähigkeiten häufig aufgrund des äußerlichen Erscheinungsbildes des Kraftverhaltens unterschieden worden: Beispiele sind u.a. die Unterteilung in statische und dynamische Kraft oder die Klassifizierung nach Bewegungsfertigkeiten, bei denen der Krafteinsatz zum Tragen kommt, wie z.B. Zug-, Stoß-, Wurf-, Sprung-, Schuß- und Sprintkraft. Solche Unterteilungen haben den Nachteil, daß sie zum einen die Differenzierung zwischen vorrangig konditionellen und koordinativen Einflüssen erschweren. Zum anderen trennen sie nicht zwischen Dimensionen mit unterschiedlichen physiologischen Einflußgrößen. Im folgenden wird die Strukturierung der Kraftfähigkeiten aufgrund ihrer dimensional Struktur hinsichtlich der morphologischen und physiologischen Einflußgrößen dargestellt.

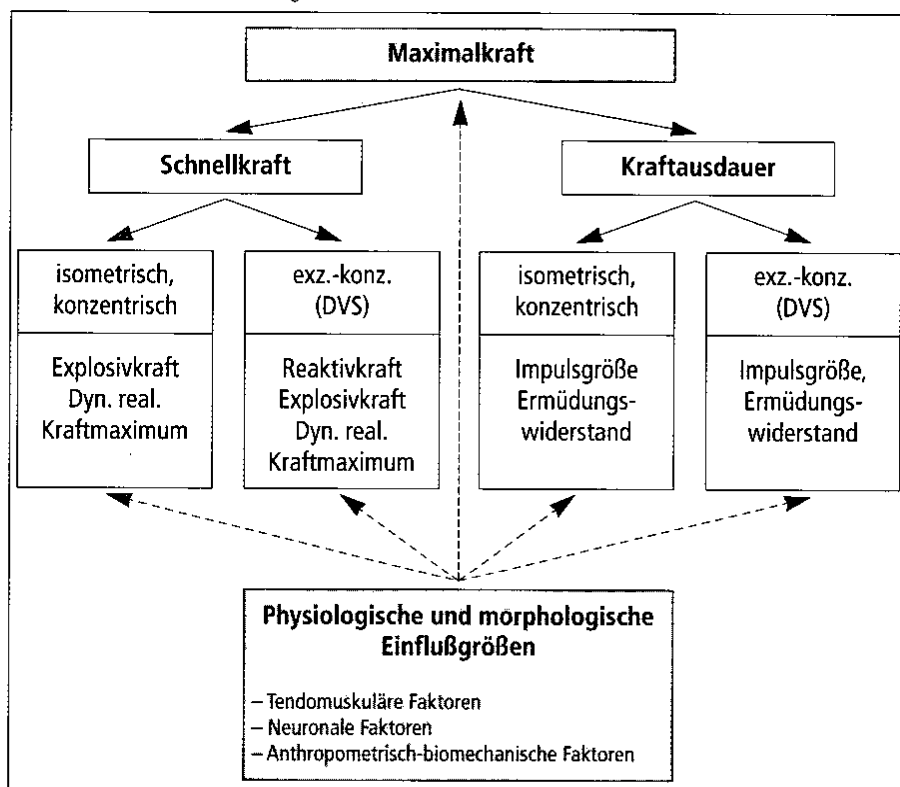
Die ursprünglich aus der Trainingspraxis hervorgegangene Unterteilung in Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer (63) hat sich bewährt und hat nach wie vor Gültigkeit. Allerdings sind die drei „Subkategorien“ nicht gleichrangig auf einer Ebene einzuordnen, sondern die Maximalkraft bildet die Basisfähigkeit für Schnellkraft und Kraftausdauer (Abb. 1). Das heißt, das jeweilige Ausprägungsniveau der Schnellkraft oder der Kraftausdauer ist u.a. von dem der Maximalkraft abhängig. Das bedeutet für das Training, daß eine Verbesserung der Maximalkraft in der Regel mit höheren Schnellkraft- und Kraftausdauerleistungen einher geht.

Innerhalb des Schnellkraft- und des Kraftausdauerhaltens schälen sich

wiederum jeweils als relativ eigenständige Dimensionen die Leistungen bei isometrischer (= statischer) oder konzentrischer (= überwindender) Arbeitsweise gegenüber denen bei exzentrisch-konzentrischer Arbeitsweise (= innerhalb einer Kontraktion erst nachgebend, dann überwindend - Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus, DVZ) heraus (vgl. u.a. 16, 23, 30, 75).

finierten Arbeitsbedingungen einmal gehoben werden kann (1er Maximum). Die isometrische Maximalkraft wird bei unüberwindlichem äußerem Widerstand dynamometrisch gemessen. Eine leistungsbezogene Unterteilung zwischen konzentrischer und isometrischer Maximalkraft erscheint allerdings aus folgendem Grund kaum gerechtfertigt: Wenn ein Sportler ein Gewicht hebt, beinhaltet die Kontrak-

Abb. 1: Struktur der motorischen Eigenschaft Kraft



### Maximalkraft

Unter Maximalkraft wird die höchste Kraft verstanden, die das neuromuskuläre System bei einer maximalen willkürlichen Kontraktion entfalten kann.

Bei einer maximalen willkürlichen Kontraktion kann stets nur ein Teil aller Fasern eines jeweiligen Muskels aktiviert werden. Der Aktivierungsgrad liegt beim Untrainierten üblicherweise um 70%. Er kann durch gezieltes Training auf rund 95% gesteigert werden (8, 9, 77). Die Kraft, die bei vollständiger Aktivierung (z.B. durch Elektrostimulation) entfaltet werden kann, wird als Absolutkraft bezeichnet.

In der Literatur wird zwischen isometrischer bzw. statischer und konzentrisch-dynamischer Maximalkraft unterschieden. Die konzentrische Maximalkraft wird ermittelt als die höchste Last, die unter de-

tion immer einen isometrischen und einen konzentrischen Anteil. Die Kontraktion bleibt so lange isometrisch, bis die muskulär entfaltete Kraft der zu bewältigenden Last entspricht. Erst wenn die Kraft darüber hinaus geht, bewegt sich das Gewicht. Der beschleunigungswirksame Anteil der Kraftentfaltung wird um so geringer, je näher die Last an der Maximalkraft liegt. Ließe sich die Masse der Last stufenlos variieren, würde theoretisch der zum Überwinden der Last erforderliche, zusätzliche, beschleunigungswirksame Anteil der Kraftentfaltung gegen Null gehen - folglich ebenso die Differenz zwischen konzentrisch und isometrisch ermittelter Maximalkraft. Entsprechend liegt der Zusammenhang zwischen der konzentrischen und der isometrischen Maximalkraft in allen bisher untersuchten Gruppen bei  $r > 0,85$ , bei trainierten Lei-

stungssportlern bei  $r > 0,90$ . Insofern wäre eine dimensionale Trennung von konzentrischer und isometrischer Maximalkraft weder sinnvoll noch zulässig.

Eine besondere Bedingung des Kraftverhaltens bilden exzentrische Maximalkontraktionen. Hierbei ist der äußerliche Widerstand so hoch, daß die arbeitende Muskulatur selbst bei maximaler willkürlicher Anspannung durch die äußere Kraft gedehnt wird. Bei exzentrischer Arbeitsweise addieren sich zum willkürlich erreichbaren Kraftwert passive Elastizitätskräfte und eine durch die Dehnung des jeweiligen Muskels ausgelöste, zusätzliche reflektorische Aktivierung von Muskelfasern (Dehnungsreflex). Dadurch können bei exzentrischer Muskelaktion Kraftwerte erreicht werden, die bei Sportlern ohne spezielles Krafttraining im Bereich der Armstrecker um 25 bis 40%, für die Beinstrecker um 10 bis 25% über den isometrisch ermittelten Höchstwerten liegen. Der Zusammenhang zwischen den exzentrischen und den isometrischen Leistungen lag allerdings bei allen Versuchsgruppen bei  $r > 0,85$ , so daß es auch für die exzentrische Maximalkraft nicht gerechtfertigt wäre, von einer eigenständigen Fähigkeit zu sprechen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß Kraftwerte, die bei maximalen willkürlichen Kontraktionen unter konzentrischen, isometrischen oder exzentrischen Bedingungen ermittelt werden, jeweils ein und derselben Dimension, der Maximalkraft, zuzuordnen sind.

## Schnellkraft

In der Literatur hat es in den vergangenen Jahrzehnten verschiedene, z.T. heterogene Ansätze zur Definition der Schnellkraft gegeben. Dabei wurden Schnellkraftfähigkeiten vielfach in Orientierung an der Außensicht" definiert und strukturiert: z.B. anhand der betreffenden Bewegungsfertigkeiten (s.o.) oder aufgrund der erzeugten Bewegungsgeschwindigkeit bzw. Beschleunigung (vgl. u.a. 33, 51, 88). Im vorliegenden Beitrag wird von dem Grundgedanken ausgegangen, daß die Beschleunigung und die resultierende Geschwindigkeit eines Körpers (eines Sportgerätes, des Körpers des Sportlers oder seiner Teilsegmente) Ausdruck des zugrundeliegenden Impulses (Kraftstoßes) sind. Entsprechend gilt:

**Schnellkraft ist die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, einen möglichst großen Impuls (Kraftstoß) innerhalb einer verfügbaren Zeit zu entfalten.**

Ein Impuls ist charakterisiert durch die Steilheit des Kraftanstieges, das realisierte Kraftmaximum und die Impulsdauer. Eine Impulsvergrößerung durch die Verlängerung der Kraftereinwirkungsdauer kann nur in einzelnen sportlichen Bewegungsfertigkeiten erfolgen, und zwar durch die Erweiterung des Beschleunigungsweges (z.B. Drive beim Golf, Wurf und Stoß in der Leichtathletik). In den meisten Fällen ist die Impulsdauer aber aufgrund der erzeugten Bewegungsgeschwindigkeiten und des verfügbaren Beschleunigungsweges begrenzt. Deshalb konzentriert sich die Diskussion zur Struktur der Schnellkraft auf den Kraftanstieg und das Kraftmaximum.

Je kürzer die Zeit ist, die für einen Schnellkrafteinsatz zur Verfügung steht, desto höher ist die Bedeutung der Steilheit des Kraftanstieges. Die Fähigkeit, einen möglichst steilen Kraftanstieg zu erzeugen, wird als **Explosivkraft** bezeichnet. Zeitlich längere Kraftstöße werden zunehmend durch das Kraftmaximum bestimmt. Das dynamisch realisierte Kraftmaximum bezeichnet die Fähigkeit, in Abhängigkeit von der äußeren Last bei deren Überwindung (Beschleunigung) einen möglichst hohen Kraftwert zu erzeugen. Das dynamisch realisierte Kraftmaximum ist um so geringer, je kleiner die zu beschleunigende Last ist. Schnellkraftleistungen, die innerhalb von rund 200 msec Kontraktionszeit realisiert werden, sind vorrangig durch die Explosivkraft determiniert. Schnellkraftleistungen mit einer Impulsdauer von über ca. 200 msec hängen vorwiegend vom dynamisch realisierten Kraftmaximum ab. Letzteres wird wiederum maßgeblich durch das Niveau der Maximalkraft bestimmt. Bei trainierten Schnellkraftathleten ermittelten wir zwischen dem dynamischen Kraftmaximum bei einer Ausstoßbewegung der Arme mit durchschnittlich 17% des 1er Maximums (Ausstoßdauer rund 300 msec) und dem Maximalkraftwert im Bankdruck einen Zusammenhang von  $r = 0,84$  (32, 36, 73).

Innerhalb des Schnellkraftverhaltens bilden die Leistungen im Dehnungs-Ver-

kürzungs-Zyklus (DVZ), also bei exzentrisch-konzentrischer Muskelaktion, gegenüber der rein konzentrischen und isometrischen Kontraktionsform eine relativ eigenständige Dimension (16, 30, 49, 75). Dabei arbeitet die betreffende Muskulatur innerhalb einer Kontraktion zunächst nachgebend (exzentrisch, sich dehnend) und dann überwindend (konzentrisch, sich zusammenziehend). Die Schnellkraft im DVZ wird auch als Reaktivkraft bezeichnet. Beispiele für Dehnungs-Verkürzungs-Zyklen sind sämtliche Lauf- und Sprungformen, bei denen innerhalb der Stützphase die Gelenke der unteren Extremität erst gebeugt und dann gestreckt, die Extensoren entsprechend erst gedehnt und dann verkürzt werden. Gleiches gilt für die meisten Wurf- und Stoßbewegungen: Nicht, weil der Wurfarm schnell zurück- und wieder vorgeführt wird, sondern die Aktion im DVZ erfolgt z.B. für die Brust- und vorderen Schultermuskeln, indem bei bereits in Ausholposition befindlichem Wurfarm in der Abwurfphase zunächst die Wurf Schulter vorgeschleudert wird - Brust- und vordere Schultermuskeln werden gedehnt - und dann erst der Arm folgt - betreffende Muskeln verkürzen sich. Es wird angenommen, daß rund 90% aller sportlichen Bewegungen einen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus beinhalten.

Bei Schnellkraftleistungen im DVZ werden neben der willkürlichen neuronalen Aktivierung in Abhängigkeit von der Dehnungsgeschwindigkeit in der exzentrischen Phase auch Elastizitätskräfte der Sehnen und Muskeln sowie eine - aufgrund des Dehnungsreflexes - zusätzlich aufgeschaltete neuronale Aktivierung der Muskulatur wirksam. Diese Merkmale haben bei zeitlich kürzeren Dehnungs-Verkürzungs-Zyklen eine weitaus höhere Bedeutung als bei längeren. Deshalb wird zwischen Schnellkraftleistungen im kurzen DVZ (< ca. 200 msec) und im langen DVZ (> ca. 200 msec) unterschieden. Beispiele für kurze DVZ sind die Stützphasen im Sprint und bei allen Absprüngen aus hoher Horizontalgeschwindigkeit in der Leichtathletik, den Sportspielen oder dem Turnen sowie - bezogen auf die obere Extremität - beispielsweise alle leichtathletischen Würfe und Stöße. Lange DVZ liegen z.B. in Absprungbewegungen bei mittlerer, geringer oder keiner Horizontalge-

schwindigkeit und starker Kniebeugung wie typischerweise im Volley- und Basketball vor. Die Leistungen im langen DVZ werden überwiegend durch das dynamisch realisierte Kraftmaximum und somit durch die Maximalkraft bestimmt.

## Kraftausdauer

Als Kraftausdauer bezeichnet man die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, eine möglichst hohe Impulssumme (Kraftstoßsumme) in einer gegebenen Zeit gegen höhere Lasten zu produzieren.

Zur Abgrenzung des Kraftverhaltens vom Ausdauerverhalten wird von „größeren Lasten“ bei mindestens 30% der individuellen Maximalkraft gesprochen, wobei sich in der Trainingspraxis allerdings zeigt, daß für die angestrebten, vorwiegend anaeroben Anpassungen äußere Widerstände von über 50% erforderlich sind. Entsprechend muß die „gegebene Zeit“ innerhalb von rund zwei Minuten liegen, damit die Energiebereitstellung überwiegend anaerob erfolgt. Es wurde darauf hingewiesen, daß die Maximalkraft als Basisfähigkeit der Kraftausdauer anzusehen ist (s.o.). Wird die Kraftausdauer nun aber als Leistungsreduktion während der kontinuierlichen Arbeit erfaßt, z.B. als Quotient der Leistungen am Beginn und am Ende einer Kraftstoßserie, dann lassen sich indifferente oder auch negative Zusammenhänge mit der Maximalkraft feststellen. Dieser Ansatz würde entsprechend im Kraftausdauertraining eine starke Betonung der Ausdauerkomponente nahelegen. In der Praxis sind Kraftausdauerleistungen aber nicht allein als Ermüdungswiderstandsfähigkeit von Bedeutung, sondern als die absolute realisierte Summe der Kraftstöße. Dies trifft zu für die Ermittlung von Kraftausdauerleistungen im Wettkampfsport in „typischen“ Kraftausdauersportarten wie Rudern, Kanu oder Ringen. Es ist aber ebenso im gesundheits- und fitneorientierten Training der Fall, wenn es beispielsweise um die Zielstellung geht, die funktionale Haltung und die Stabilität von Gelenken muskulär auch bei dauerhaften oder wiederholten mechanischen Belastungen zu gewährleisten. Für Kraftausdauerleistungen im DVZ hat Frick (23) gezeigt, daß die absoluten Ergebnisse stärker durch die reaktive Schnellkraft als durch die Ermüdungsresistenz bestimmt werden.

Die Kraftausdauer setzt sich folglich aus zwei Komponenten zusammen: Aus der Größe der Einzelkraftstöße und aus der Fähigkeit, die Reduktion der Kraftstöße möglichst gering zu halten. Erstere Komponente wird maßgeblich von der Maximalkraft bzw. der Explosivkraft bestimmt (23, 50, 68). Der Einfluß der Maximalkraft ist um so höher, je näher die zu bewältigenden Lasten bzw. die realisierten Kraftmaxima am Maximalkraftniveau liegen. Nach Zaciorskij *et al.* (93) sind bei äußeren Widerständen von über 80% der Maximalkraft Steigerungen der Kraftausdauerleistungen überhaupt nicht ohne Maximalkraftsteigerungen zu erreichen. Die Komponente der Ermüdungsresistenz wird bei Belastungszeiträumen bis rund 10 Sekunden vorrangig durch die Fähigkeiten zur Aufrechterhaltung eines hohen zentralen (supraspinalen) neuronalen Antriebes sowie zur effektiven Übertragung und Fortleitung der neuronalen Impulse an der neuromuskulären Endplatte bestimmt (2, 3, 41, 42, 48, 57).

Bei länger dauernden Belastungen wird das Leistungsvermögen zunehmend durch die Reduzierung der Flußrate und die Entspeicherung der energiereichen Phosphate in der Muskelzelle (ATP und vor allem KrP), H<sup>+</sup>-Ionen- und Laktatkonzentration bzw. durch die entsprechende Tolerierungs- und Pufferungskapazität bestimmt (40, 71, 85, 92).

## Morphologische und physiologische Einflußgrößen des Kraftverhaltens

In der Trainingspraxis ist Krafttraining häufig einseitig mit enzymatischen Veränderungen und Muskelzuwachs in Zusammenhang gebracht worden, was beim einen oder anderen auch zur generellen Ablehnung von Krafttraining aus den verschiedensten Gründen geführt hat. Im folgenden werden die Einflußgrößen des Kraftverhaltens dargestellt. Es wird gezeigt, daß die Kraftfähigkeiten - neben anthropometrisch-biomechanischen Bedingungen - zum einen von Faktoren des Muskel- und Sehnensystems, zum anderen aber auch maßgeblich von neuronalen Faktoren bestimmt werden.

Die genaue Kenntnis der Einflußgrößen und ihrer Bedeutung für die einzelnen Kraftfähigkeiten und ihre Komponenten ermöglicht es dem Trainer und Übungsleiter, die Leistungsfaktoren im Training möglichst gezielt, mit geeigneten Trainingsmitteln und -methoden anzusteuern. Für die Trainingsplanung und -steuerung besteht die Problematik, daß die verschiedenen Trainingsmethoden für die Entwicklung der einzelnen Einflußgrößen sich in ihrer Wirksamkeit bei gleichzeitiger Anwendung beeinträchtigen können, was für die zeitliche Staffelung ihres Einsatzes von Bedeutung ist.

## Einflußgrößen des Muskel-Sehnen-Systems

Die muskuläre Krafterzeugung erfolgt durch die Bindung der Actomyosin-Querbrücken in den Sarkomeren. Es ist evident, daß eine größere Muskelmasse mit mehr Sarkomeren eine höhere absolute Anzahl an aktiven Querbrücken gestattet und somit eine höhere Maximalkraft entfalten kann (38, 29). Die höhere Maximalkraft begünstigt gleichzeitig auch Schnellkraft- und Kraftausdauerleistungen.

Die Muskulatur ist aus verschiedenen Typen von Muskelfasern zusammengesetzt. Anhand ihres Kontraktionsverhaltens bei einer künstlich evozierten Einzelzuckung (Twitch) werden sie unterteilt in Slow Twitch- (ST-) und Fast Twitch- (FT-) Fasern. Aufgrund ihres unterschiedlichen Gehaltes am Muskelfarbstoff Myoglobin wird auch von roten oder dunklen und weißen oder hellen Fasern gesprochen. Die roten ST-Fasern sind kleiner, werden durch kleinere motorische Nervenzellen (alpha-Motoneurone) innerviert, haben eine geringere Kontraktionsgeschwindigkeit und können weniger maximale Kraft entfalten. Sie sind aber weitaus weniger ermüdbar als die FT-Fasern. Die hellen FT-Fasern sind größer, haben größere alpha-Motoneurone, kontrahieren schneller und entfalten mehr Kraft. Sie sind aber schneller ermüdbar (12, 38). Aufgrund der Charakteristika des Energiestoffwechsels in den Muskelfasern wird weiter zwischen SO- (slow-oxidative-), FOG- (fast-oxidative-glycolytic-) und FG- (fast-glycolytic-) Fasern unterschieden. Die FOG-Fasern bilden hinsichtlich des Kontraktions- und Ermüdungsverhaltens einen Intermediärtyp.

Ein hoher Anteil an FT-Fasern wirkt sich aufgrund der höheren Kontraktionskraft positiv auf die Maximalkraft, aufgrund der hohen Kontraktionsgeschwindigkeit speziell auch auf die Schnellkraft aus (6, 90). Das numerische Verhältnis zwischen FT- und ST-Fasern ist genetisch determiniert. Zwar kann man durch bestimmte Trainingsmaßnahmen (insbesondere viel dauerhafte Aktivität unter anaerob-laktaziden Bedingungen) den FT-Fasern auf Kosten ihrer hohen Kontraktionskraft und -geschwindigkeit eine höhere Ermüdungsresistenz verleihen. Der umgekehrte Weg aber, „langsamen“ ST-Fasern die Kontraktionscharakteristika der FT-Fasern zu vermitteln, konnte bislang nur im Tierexperiment durch operative Eingriffe (klassisches Kreuzinnervationsexperiment), nachgewiesen werden.

Der Anteil der Fasertypen an der Muskelquerschnittsfläche läßt sich allerdings durch spezifische Trainingsmethoden durchaus verändern. Bei gleicher Reizung reagieren FT-Fasern mit einer höheren Wachstumsanpassung wie ST-Fasern (29, 56).

**Die elastischen Eigenschaften des Muskel-Sehnen-Systems** sind für die Explosivkraft und vor allem für die reaktive Kraftentfaltung im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus bedeutsam - im kurzen DVZ wiederum stärker als im langen DVZ. Elastizität ist dabei nicht nur als Dehnbarkeit aufzufassen, wie in der Praxis hier und da festzustellen, sondern sie bildet vor allem das Bestreben gedehnter tendomuskulärer Strukturen, sich wieder auf ihre ursprüngliche (Ruhe-) Länge zusammenzuziehen. Zu den elastischen Kräften tragen die Sehnen und weitere Bindegewebe am und im Muskel (u.a. Aponeurose, Muskel-, Bündel- und Faserfaszien) sowie die strukturellen (u.a. Titin, Nebulin) und funktionellen Proteinfilamente der Muskelzelle bei (Actomyosin).

Die kontraktile Eiweißfäden Aktin und Myosin können im aktivierten, gebundenen Zustand innerhalb geringer Bewegungsspielräume elastische Kräfte beitragen. Der Effekt kann besonders am Beginn einer schnellen Dehnung wirksam werden. Dieses Vermögen wird als „Short Range Elastic Stiffness“ (SRES) bezeichnet (30). Es ist u.a. vom Grad der Voraktivierung vor der Dehnungsbelastung abhängig (17). Die SRES ist am wirksamsten bei

möglichst vollständiger Überlappung der Aktin- und Myosinfilamente, also innerhalb rund 4% Dehnung gegenüber der Ruhelage des Muskels.

Die Elastizität der Sehnen und der muskulären Bindegewebe kann durch Training erheblich gesteigert werden, und zwar sind die Bindegewebsadaptationen in FT-Fasern höher als in ST-Fasern (26, 84, 89). Als Folge können aufgrund der erhöhten Stiffness der Zugdämpfer und der damit verbundenen unmittelbaren Kraftübertragung steilere Kraftanstiege am Kontraktionsbeginn sowie beim kurzen DVZ höhere Kraftspitzen im exzentrisch-konzentrischen Übergang produziert werden.

Der Kapillarisation und der enzymatischen Kapazität ist vorrangig Bedeutung für die dauerhafte Energiebereitstellung unter anaeroben Bedingungen, also für das Training des Muskelquerschnitts (Hypertrophie) und der Kraftausdauer zuzuordnen. Weiterhin kommt diesen Faktoren eine Rolle in der Wiederherstellung zwischen den Trainingsreizen zu. *Tesch* (86) hat gezeigt, daß selbst bei extremer Massenzunahme der Muskulatur (u.a. bei Spitzen-Bodybuildern) mit einer Minderversorgung des Gewebes offenbar nicht gerechnet zu werden braucht.

### Neuronale Einflußgrößen des Kraftverhaltens

Die Muskelfasern werden durch motorische Nervenzellen innerviert, die alpha-Motoneurone. Ihre Zellkörper liegen im Rückenmark, und ihre Axone reichen bis zum Muskel, wo die neuronalen Impulse über die neuromuskuläre Endplatte auf die Muskelfasern übertragen werden können. Jedes alpha-Motoneuron innerviert mehrere Muskelfasern, und zwar zwischen rund 10 in der Finger- und rund 2000 Fasern in der Oberschenkelmuskulatur. Ein alpha-Motoneuron mit den von ihm versorgten Muskelfasern wird als motorische Einheit bezeichnet.

Der Mensch kann bei einer willkürlichen Kontraktion gewöhnlich nicht alle motorischen Einheiten eines Muskels gleichzeitig aktivieren, sondern es verbleibt stets eine autonom geschützte Aktivierungsreserve. Diese liegt beim Untrainierten bei rund 30%, sie kann durch geeignetes Training aber auf rund 5% reduziert werden. Das Vermögen, gleich-

zeitig einen möglichst großen Anteil der motorischen Einheiten zu aktivieren, nennt man willkürliche neuromuskuläre Aktivierungsfähigkeit. Sie wird generell bestimmt durch die Fähigkeiten der Rekrutierung, der Frequenzierung und der Synchronisation. Bei willkürlichen Kontraktionen erfolgt die Aktivierung der motorischen Einheiten eines gegebenen Muskels stets nach dem Größenprinzip (Size Principle), das 1965 erstmals von *Hennemann et al.* für Säugetiere nachgewiesen und seitdem vielfach bestätigt wurde, u.a. auch für den Menschen (21, 22). Am Beginn einer Kontraktion werden die kleinsten, langsamsten und schwächsten, nachfolgend - bei wachsender Kraftanforderung an das neuromuskuläre System - zunehmend größere, schneller zuckende und stärkere Einheiten rekrutiert. Bei Willkürkontraktionen mit 50% der Maximalkraft werden rund 80% der Einheiten aktiviert. Die übrigen (größeren und stärkeren) 20% der Einheiten tragen die anderen 50% der maximal realisierbaren Kraft bei. Demzufolge läßt sich jeder Einheit ein Kraftwert zuordnen, ab dem sie „eingeschaltet“ wird. Diesen Kraftwert nennt man die „statische Rekrutierungsschwelle“. Die größten und schnellsten motorischen Einheiten werden erst bei >90% der Maximalkraft aktiviert (70). Wird allerdings ein sehr steiler Kraftanstieg produziert, feuern die Einheiten auch schon unterhalb ihres jeweiligen statischen Rekrutierungskraftwertes, und zwar so lange, wie die erhöhte Anforderung des steilen Kraftanstieges andauert. Entsprechend wird auch von „dynamischer“ oder „ballistischer Rekrutierungsschwelle“ gesprochen.

Für die Maximalkraft ist vorrangig die Vollständigkeit der Rekrutierung von Bedeutung. Die Explosivkraft wird maßgeblich dadurch bestimmt, wie schnell nacheinander die motorischen Einheiten in der Reihenfolge ihrer Größe aktiviert werden. Die Zeit vom Rekrutierungsbeginn bis zur maximalen Aktivierung beträgt gewöhnlich 55 bis 65 msec. Durch gezieltes Training kann diese Zeit etwa halbiert werden. Die Kontraktionszeit vom Kontraktionsbeginn bis zur Kraftspitze (Time to Peak), liegt bei den langsamsten motorischen Einheiten zwischen 90 und 120 msec, bei den schnellsten zwischen 55 und 65 msec. Das bedeutet, daß bei trainingsbedingter „Stauchung“ der zeitlichen Rekrutierungs-

folge die größten Einheiten zwar als letzte aktiviert werden, mechanisch aber gleichzeitig mit oder noch vor den kleinsten Einheiten wirksam werden und damit den Kraftanstieg vorrangig bestimmen können.

Die Rekrutierung ist eng geknüpft an die Frequenz, mit der eine jeweilige motorische Einheit innerviert wird. ST-Einheiten werden überwiegend mit niedrigen Reizfrequenzen angesteuert (bis rund 20 Hz), FT-Einheiten mit deutlichen höheren Frequenzen (in der Regel bis rund 50 Hz, kurzzeitig auch bis >100 Hz). Letztere entladen bei Willkürkontraktionen typischerweise in „salvenartigen“ Impulsserien. Bei einer gegebenen Einheit geht die Erhöhung der Reizfrequenz bis zu einem oberen Grenzwert mit einer Steigerung der entfaltenen Kraft einher. Eine weitere Frequenzsteigerung bewirkt keine zusätzliche Krafterhöhung, wohl aber eine Steigerung der Steilheit des Kraftanstieges. Die steilsten Kraftanstiege werden bei Reizfrequenzen von bis zu über 100 Hz in den größten Einheiten am Beginn ballistischer Kontraktionen realisiert (12, 70). Zwischen dem Anstieg der EMG-Aktivität und dem Kraftanstieg wurden bei explosiven Kontraktionen Zusammenhänge von  $r=0,74$  bzw.  $r=0,76$  ermittelt (60, 77).

Neben Rekrutierung und Frequenzierung spielt offenbar auch die Synchronisation der Aktivierung verschiedener alpha-Motoneurone untereinander eine Rolle im Kraftverhalten, die eine gleichzeitige Entladung zahlreicher motorischer Einheiten ermöglicht. *Moritani* (59) berichtet darüber hinaus von einer Aktivitätssynchronisation auch zwischen verschiedenen synergistischen Muskeln.

Beim Kraftverhalten im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus trägt u.a. die Aktivierung des Dehnungsreflexes erheblich zur Leistung bei. Unter bestimmten Umständen kann die Reflexaktivität aber durch inhibitorische Einflüsse beeinträchtigt werden. Eine solche Bedingung stellen intensive anaerob-laktazide Belastungen dar. Eine weitere solche Bedingung liegt bei Überlastung durch zu hohe oder zu schnelle Dehnung vor: Die Aktivierung des Dehnungsreflexes steigt mit zunehmender Dehnungsgeschwindigkeit bis zu einem Optimalwert an. Geht die Dehnungsgeschwindigkeit darüber hinaus, wird die Reflexaktivität zunehmend gehemmt. Die

tolerierbare Belastung in der exzentrischen Phase des DVZ - und damit die Reflexaktivierung und die gesamte Reaktivkraftleistung - läßt sich durch Training aber erheblich steigern.

## Trainingsmethoden zur Entwicklung der Kraftfähigkeiten und ihrer Komponenten

Zur Einführung in die Krafttrainingsmethoden soll auf einige wichtige Prinzipien hingewiesen werden.

In der Trainingspraxis trifft man nach wie vor häufig die Annahme an, daß Krafttraining stets mit Muskelwachstum und entsprechender Massenzunahme verbunden sei. Wie im vorhergehenden Kapitel dargestellt, bilden die muskulären Einflußgrößen nur einen unter verschiedenen Faktorenkomplexen des Kraftverhaltens. Entsprechend werden im folgenden u.a. Trainingsmethoden aufgezeigt, die Steigerungen von Kraftfähigkeiten auch nahezu ohne Veränderungen der Muskelmasse ermöglichen.

Des weiteren sind in der Praxis wie auch in der Sportwissenschaft teilweise Unterteilungen von Krafttrainingsmethoden gängig, die auf der Zuordnung zu Sportarten (z.B. Gewichtheber, Bodybuildertraining) oder auf der Bewegungsgeschwindigkeit beim Heben unterschiedlicher Gewichte basieren: z.B. werden langsame Hebungen mit hoher Last den „Maximalkraft-Methoden“, schnelle Hebungen mit geringer Last den „Schnellkraft-Methoden“ zugeordnet. Im vorliegenden Beitrag werden die Trainingsmethoden aufgrund ihrer Trainingswirkungen unterteilt, was letztlich die Zuordnung zwischen Methoden und Zielen gestattet.

Die Reizkonfigurationen von Trainingsmethoden werden traditionell anhand der Reizintensität, des Reizumfangs, der Reizhäufigkeit, der Reizdauer und der Reizdichte beschrieben. Für das Krafttraining ist darüber hinaus die Bestimmung der muskulären Aktionsform (konzentrisch, isometrisch, exzentrisch, exzentrisch-konzentrisch) und der Kontraktionsgeschwindigkeit (nicht zu verwechseln mit der Bewegungsgeschwindigkeit!) erforderlich. Für die Kennzeichnung der Reizintensität wird gewöhnlich das

1er Maximum als Maßstab herangezogen, die höchste Last, die in der betreffenden Trainingsübung einmal gehoben werden kann.

Die Trainingsmethoden haben sich überwiegend aus der Praxis besonders erfolgreicher Trainingsgruppen herauskristallisiert und ihre Wirkungsweisen können jeweils anhand der Grundlagentheorie des Krafttrainings erklärt werden. Die Reizkonfigurationen sind aus Erfahrungswerten und gezielten Trainingsexperimenten zum Großteil für die untere Extremität hervorgegangen. Für die obere Extremität ist davon auszugehen, daß aufgrund des höheren FT-Anteils (31, 72) bei gleicher Reizintensität eine etwas geringere Reizdauer und/oder Reizhäufigkeit erforderlich ist.

Aus älteren Quellen der Literatur stammen Angaben, denenzufolge ein Krafttraining im Kindes- wie auch im Seniorenalter aufgrund der hormonellen Situation nur geringe oder gar keine Wirksamkeit habe (37). In jüngeren Beiträgen wird diese Auffassung nur noch mitunter vertreten (46, 67). Als weiterer Grund für eine skeptische Haltung gegenüber einem Krafttraining in diesen Altersbereichen werden gelegentlich orthopädische Bedenken angeführt.

In Längsschnittstudien war nachzuweisen, daß ein vielseitig ausgerichtetes Krafttraining auch präpuberal wirkungsvoll eingesetzt werden kann: In einer Untersuchung mit 66 anfänglich 8jährigen Kindern über zwei Jahre, in die drei Trainingsphasen von je 12 Wochen im Abstand von je einem Jahr eingebunden waren, zeigten *Diekmann/Letzeller* (15), daß (1) erhebliche Trainingsanpassungen zu verzeichnen waren, daß (2) die Trainingsgewinne stabil und (3) auch wiederholbar waren. D.h., daß die Trainingsgruppe ihren Vorsprung gegenüber der Kontrollgruppe mit jeder Trainingsphase selbst nach 9monatiger Pause - zunehmend vergrößerte. *Steinmann* (83) stellte darüber hinaus fest, daß im Rahmen des Schulsports bei 11- bis 14jährigen schon durch eine wöchentliche Trainingseinheit ein deutlicher Kraftzuwachs auszulösen ist. Für die Wirksamkeit eines Krafttrainings im höheren Alter sei auf den Längsschnitt von *Oberbeck* (66) hingewiesen: Ausgehend von anfangs durchschnittlich 40 Jahren (34 bis 46 Jahre,  $n=11$ ) wurden Schnellkraftleistungen durch ein einmali-

ges Training pro Woche über 20 Jahre konstant gehalten. In einer Personengruppe von 86 bis 96 Jahren (n=9) registrierten *Fiatarone et al.* (20) durch 24 Trainingseinheiten in 8 Wochen individuelle Zunahmen der Maximalkraft um 61 bis 374%.

Reklamationen aus orthopädischer Sicht haben ihre Berechtigung zweifellos insofern, als Fehlbelastungen durch unzureichende Schulung der korrekten Übungsausführung, durch eine unsachgemäße oder einseitige Auswahl der Trainingsinhalte oder durch übertriebene Zusatzlasten unbedingt auszuschließen sind. Mit Blick auf die Frage der Sinnhaftigkeit eines Krafttrainings im Kindes- und im Seniorenalter ist allerdings festzustellen, daß die Leistungsabnahme im Alter größtenteils inaktivitätsbedingt ist und nicht nur auf Alterungseffekte zurückgeht (79). Ebenso ist ein enger Zusammenhang anzunehmen zwischen dem heutigen kindlichen Freizeitverhalten und den bereits im Grundschulalter vorzufindenden Häufigkeiten von Haltungsschwächen (69). Die in solchen Fällen ärztlich verordneten krankengymnastischen Maßnahmen stellen nichts weiter dar, als daß die Kraft der inaktivitätsbedingt abgeschwächten Muskulatur durch gezielte Kräftigung aufgebaut

Damit eine hinlängliche „Alltagstüchtigkeit“ in dem Sinne erhalten oder aufgebaut werden kann, daß der Organismus alltägliche mechanische Belastungen verkraftet, sind neben der Kraftausdauer ins-

Zusatzlast mitunter Bodenreaktionskräfte gemessen, die dem 14fachen des Körpergewichtes entsprechen, was weit über den Werten beim Gewichtheben selbst mit maximalen Lasten liegt.

Tabelle 1: Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Erhöhung der Muskelmasse (Hypertrophietraining)

Methoden der submaximalen Kontraktion bis zur Erschöpfung	
Reizintensität (Last in % des 1er Maximums)	60 bis 85%
Wiederholung pro Serie	6 bis 20
Serien pro Trainingseinheit (pro Muskelgruppe)	5 bis 6
Serienpause	2 bis 3 min
Kontraktionsgeschwindigkeit	langsam bis zügig

besondere die Maximal- und Schnellkraft nicht zu vernachlässigen. In Situationen wie beispielsweise dem Treppabsteigen oder dem Aussteigen aus Bus oder Bahn treten Belastungen auf, die einem Mehrfachen des Körpergewichtes entsprechen (1, 7), und zwar treten die Kraftspitzen innerhalb der ersten 200 bis 300 msec nach dem Aufsetzen auf. Solche und ähnliche Belastungen lassen sich durch die Kräftigung der betreffenden Muskulatur um rund 50% reduzieren (74).

Den Ausschluß medizinischer Kontraindikation vorausgesetzt, sollte im Bereich des fitness- und gesundheitsorientierten Trainings wie auch im wettkampforientierten Nachwuchstraining eine vielseitige Kräftigung „vom Scheitel bis zur Sohle“ angeboten werden (43). Es ist allerdings besonders darauf hinzuweisen, daß ein Krafttraining der Arme und Beine durch die umfangreiche Kräftigung der Rumpfmuskulatur nicht nur ständig begleitet, sondern zunächst über mindestens drei Monate vorbereitet werden sollte (z.B. zweimal je 4,5 Be- und 1,5 Entlastungswochen). Es gibt Hinweise darauf, daß die Bauch- und Rücken-, die hintere Schultergürtel- und die Gesäßmuskulatur eine deutlich geringere Trainierbarkeit besitzen als die Muskeln der Extremitäten (45, 82). Eine fundierte Prüfung und Quantifizierung steht hierzu allerdings noch aus.

Tabelle 2: Adaptationen an die Trainingsmethoden der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung

Kraftausdauer-Methoden	Adaptationen
• Maximalkraft	+++
• Schnellkraft:	
– Dynamisches Kraftmaximum	+
– Explosivkraft	
– Reaktivkraft	
• Kraftausdauer	+
<b>Einflußgrößen</b>	
<b>Tendomuskuläre Faktoren</b>	
• Muskelmasse	+++
• FT-Massenanteil	
• Elastizität Muskel, Sehne	
• Enzymaktivität	++
• Kapillarisation	+
<b>Neuronale Faktoren</b>	
• Willkürliche Aktivierung	
• Voraktivierung, Reflexaktivierung, Inhibitionsabbau	

wird. Ein gutes Muskelkorsett bildet einen notwendigen Beitrag zur Ausbildung und Stabilisierung einer funktionalen Haltung wie auch zum Schutze von Schwachpunkten des Bewegungsapparates (87).

Trainingsmethodisch vollkommen ungeeignet ist dabei allerdings das Kriterium der Kräftigung „nur mit dem eigenen Körpergewicht“. Beispielsweise haben wir bei Drop Jumps aus 40 cm Fallhöhe ohne jede

### Trainingsmethoden zur Steigerung der Muskelmasse (Muskelaufbautraining)

Zur Auslösung von Hypertrophieanpassungen sind die „Methoden der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung“ besonders effektiv. Eine Übersicht über die Spannbreite der Belastungsnormativa dieser Methoden ist in Tabelle 1 dargestellt.

Man geht davon aus, daß das Muskelwachstum am wirksamsten stimuliert werden kann, wenn die Trainingsreize hohe muskuläre Spannungen, hohe intrazelluläre H<sup>+</sup>-Ionen-Konzentration („Übersäuerung“) und eine möglichst weitgehen-

# ÜBERSICHTEN

de Ausschöpfung der energiereichen Phosphate in der Muskelzelle verbinden (13, 44). Letzteres ist bei entsprechender Reizintensität nach rund 30 bis 45 Sekunden der Fall. In einer laufenden Studie haben wir am Ende einer Trainingseinheit mit je 5 Serien á 12 x 70% im Bankdruck

Die Anpassungen an die „Methoden der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung“ liegen fast ausschließlich im Muskelwachstum. Die anderen Einflußgrößen des Kraftverhaltens bleiben quasi unbeeinflusst (Tab. 2). Die Wirkungen betreffen entsprechend vorrangig die Maxi-

ren. Solche Reizkonfigurationen gewährleisten die „Methoden der maximalen, explosiven Kontraktionen“ (Tab. 3). Die höchste willkürlich realisierbare Rekrutierung wird nur bei Lasten erreicht, die >90% der Maximalkraft entsprechen (70). Die möglichst schnelle Aktivierung wird erreicht, indem gegen diese Lasten möglichst steile initiale Kraftanstiege produziert werden, indem also möglichst explosiv gearbeitet wird. Diese Methode kann folglich nur im ermüdungsfreien Zustand effektiv zum Einsatz gebracht werden. Bei Anzeichen ermüdungsbedingter Leistungsreduktion sollten die Einheiten der Maximalkontraktionen beendet werden.

Die willkürlich realisierbare neuromuskuläre Aktivierung ist bei unilateralen Maximalkontraktionen (einarmig, einbeinig) höher als bei bilateraler Arbeit (47). Es empfiehlt sich also, bei den Methoden der maximalen Kontraktionen - wo immer technisch möglich - die unilaterale bzw. bilaterale Ausführung der Trainingsübungen in Abhängigkeit von der Sportart zu bevorzugen.

Tabelle 3: Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Steigerung der willkürlichen neuromuskulären Aktivierungsfähigkeit

Methoden der submaximalen Kontraktion bis zur Erschöpfung	
Reizintensität (Last in % des 1er Maximums)*	90 bis 100%
Wiederholung pro Serie	1 bis 3
Serien pro Trainingseinheit (pro Muskelgruppe)	3 bis 6
Serienpause	≥ 6 min
Kontraktionsgeschwindigkeit	explosiv

\* Isometrisch: Last ≥ 1er Maximum. Exzentrisch: Last ca. 120 bis 140%.

und in der Beinpresse mit 3 Minuten Serienpause bei einzelnen Schnellkraftathleten Laktatkonzentrationen von über 20 mmol/l gemessen.

Der Anpassungsmechanismus der Hypertrophie ist noch unvollständig aufgeklärt. Folgender Vorgang wird angenommen: In strukturellen Eiweißen der Muskelzelle (alpha-Actinin, M-Protein, Myomesin, Desmin) kann die beschriebene Reizkonfiguration Mikrotraumata auslösen (25, 52, 61). Dies steht vermutlich u.a. mit einer zur Z-Scheibe schrägen Zugrichtung der Actomyosin-Filamente in Zusammenhang, die bei kontinuierlicher, intensiver Arbeit u.a. aufgrund der Flüssigkeitsanreicherung des Sarkomers entstehen kann. Am Rande der Muskelfaser - außerhalb des Sarkoplasmas, aber innerhalb der Basalmembran - befinden sich sog. Satellitenzellen, die ursprünglich Myoblasten entstammen und die bei Anzeichen für die Gefährdung einer Zelle dorthin proliferieren und die geschädigte „Mutterzelle“ ersetzen oder aber mit ihr verschmelzen können (5, 28, 55, 91). Der Protein-Turnover dauert nach *Goldspink* (29) gewöhnlich etwa 8 bis 15 Tage. Nach Ergebnissen von *Lülthi et al.* (53) und *Faulkner et al.* (19) können die Reparaturmechanismen aber auch längere Zeit in Anspruch nehmen. Die Auslösung der Mikrotraumata der Muskelfasern und damit ihrer Hypertrophie ist bei exzentrischer Arbeitsweise stärker als bei konzentrischen Kontraktionen (64).

malkraft. Für den spezifischen, maximalkraftunabhängigen Anteil der Explosivkraft können negative Anpassungen eintreten (9, 68).

Tabelle 4: Adaptationen an die Trainingsmethoden der maximalen, explosiven Kontraktionen

Krafftfähigkeiten, Komponenten	Adaptationen
• Maximalkraft	++
• Schnellkraft:	
– Dynamisches Kraftmaximum	++
– Explosivkraft	+++
– Reaktivkraft	+
• Kraftausdauer	+
<b>Einflußgrößen</b>	
<b>Tendomuskuläre Faktoren</b>	
• Muskelmasse	+
• FT-Massenanteil	+
• Elastizität Muskel, Sehne*	+
• Enzymaktivität	
• Kapillarisation	
<b>Neuronale Faktoren</b>	
• Willkürliche Aktivierung	+++
• Voraktivierung, Reflexaktivierung, Inhibitionsabbau	+

\* Bei supramaximalen exzentrischen Kontraktionen Adaptationen Elastizität: ++

## Trainingsmethoden zur Entwicklung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit

Wenn vorrangig neuronale Anpassungen angestrebt werden, sind Trainingsreize erforderlich, die eine möglichst vollständige und eine möglichst schnelle Aktivierung des alpha-Motoneuronen-Pools implizie-

Häufig wird in der Trainingspraxis eine hohe Kontraktionsgeschwindigkeit mit hoher Bewegungsgeschwindigkeit assoziiert. Da letztere nur bei geringen Lasten erzeugt werden kann, wählt man zur Entwicklung der schnellen Kontraktionsfähigkeit geringe bis mittlere Trainingsgewichte. Für die Wirksamkeit



der Trainingsreize ist allerdings nicht so sehr die äußerlich sichtbare Auswirkung der Kontraktionen - die Bewegung der Last -, sondern die Anforderung an das Nerven-Muskel-System entscheidend. Müller (60) konnte zeigen, daß die Steilheit des Kraftanstieges bei Kontraktionen gegen unterschiedliche Lasten von quasi 0 bis >100% (=isometrisch) beim einzelnen Sportler

Ab drei Minuten nach einer Maximalkontraktion alle 30 Sekunden Erfassung des Indexes Flughöhe/ Stützzeit bei Drop Jumps mit Hilfe von Kontaktmatten - untere Extremität - oder Stoßweite beim einarmigen Ausstoß eines 1 kg-Medizinballes im Sitz mit dem Rücken an einem großen Turnkasten - obere Extremität).

sten durchgeführt. In einzelnen Experimenten wurden aber supramaximale exzentrische Kontraktionen oder kurze, maximale, isometrische Kontraktionen eingesetzt. Die supramaximalen exzentrischen Versuche wurden nicht mit explosivem Kontraktionsbeginn durchgeführt, so daß eigentlich keine hohen Anpassungen der Explosivkraft zu erwarten gewesen wären. Es ist anzunehmen, daß die dennoch festgestellte Explosivkraftsteigerung auf Anpassungen in den Sehnen und vor allem im muskulären Bindegewebe zurückzuführen sind. Es ist mehrfach gezeigt worden, daß gerade bei exzentrischen Kontraktionen überwiegend FT-Einheiten aktiviert werden (62), daß in diesen Fasern auch schon bei vergleichsweise geringer Intensität Mikrotraumata ausgelöst werden (27) und daß in Bindegewebsstrukturen eine Erhöhung der Festigkeit bewirkt wird (Stiffness) (84). Entgegen bisherigen Annahmen deuten neuere Ergebnisse darauf hin, daß der Anpassungszeitraum der intramuskulären Bindegewebe etwa der bekannten Adaptationszeitspanne für Muskelgewebe entsprechen kann. Die erhöhte Festigkeit der Bindegewebsstrukturen bedeutet eine größere Stiffness der Zugdämpfung, was sich in einer direkteren Kraftübertragung und verbesserten Explosivkraftwerten auswirken müßte. Ähnliche Effekte sind für das Training mit maximalen exzentrisch-konzentrischen Kontraktionen anzunehmen, bei denen die Last aus einer

Tabelle 5: Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Steigerung der Reaktivkraft.  
CMJ-Countermovement Jump, DJ-Drop, h/tK - Höhe/Kontaktzeit

Reaktive Methoden	kurzer DVZ (Drop Jump)	lange DVZ (CMJ)
Reizintensität (Last in % des 1er Maximums)*	0%	0%
Reizintensität (%) der maximalen Sprungleistung: DJ - h/tk, CMJ - h)	100%	100%
Wiederholung pro Serie	10 bis 12	10 bis 12
Pause zwischen Wiederholungen	≥ 6 sec.	≥ 8 sec.
Serien pro Trainingseinheit (pro Muskelgruppe)	3 bis 5	3 bis 5
Serienpause	≥ 10 min	≥ 10 min
Kontraktionsgeschwindigkeit	explosiv	explosiv
Kontraktionsdauer	≤ 170 msec	≤ 400 msec

weitgehend übereinstimmt ( $r=0,75$ ) und daß die Innervation der Muskulatur in jeweils gleicher Weise erfolgt. Dementgegen war festzustellen, daß, wenn beispielsweise beim Bankdruck mit mittleren Lasten (30 und 45%) auf eine möglichst hohe Geschwindigkeit am Ende der Ausstoßbewegung orientiert wurde, diese am ehesten mit submaximal steilem Kraftanstieg erzielt wurde. Im spezifischen Krafttraining sollte dies beachtet werden.

Die in Tabelle 3 angegebene Pausendauer von > 6 Minuten zwischen den Serien bzw. einzelnen Maximalkontraktionen wäre zur Erholung der Muskulatur sicherlich nicht erforderlich. Dieser Zeitraum ist vielmehr zur Wiederherstellung des neuronalen Reizübertragungs- und -fortleitungsvermögens insbesondere auf spinal-segmentaler Ebene erforderlich. Die Belastung anderer Muskelgruppen, die über andere spinale Segmente versorgt werden, ist in den Pausen aber unproblematisch. Die optimale Pausendauer zwischen den Maximalkontraktionen kann von Sportler zu Sportler erheblich variieren, ist aber intraindividuell sehr stabil. Sie sollte individuell anhand entsprechender Tests, die Hinweise zum Verlauf der neuronalen Erregbarkeit geben, - beispielsweise zu Beginn eines jeden Mesozyklusses - ermittelt werden (Beispiel, sofern keine dynamometrischen Vorrichtungen zur Erfas-

Die „Methoden der maximalen, explosiven Kontraktionen“ lösen vorrangig Anpassungen in der willkürlichen neuromuskulären Aktivierungsfähigkeit aus, die wiederum mit Steigerungen insbesondere in der Explosivkraft einher gehen (Tab. 4). Auf zwei besondere Varianten soll an dieser Stelle hingewiesen werden; Längsschnittstudien in denen das Training jeweils aus maximalen Kontraktionen bestand. Diese wurden meistens in Form von konzentrischen Hebungen maximaler La-

Tabelle 6: Adaptationen an die reaktiven Methoden

Kraftfähigkeiten, Komponenten	Adaptationen
• Maximalkraft	
• Schnellkraft:	
- Dynamisches Kraftmaximum	
- Explosivkraft	+
- Reaktivkraft	+++
• Kraftausdauer	
<b>Einflußgrößen</b>	
<b>Tendomuskuläre Faktoren</b>	
• Muskelmasse	
• FT-Massenanteil	
• Elastizität Muskel, Sehne*	+++
• Enzymaktivität	
• Kapillarisierung	
<b>Neuronale Faktoren</b>	
• Willkürliche Aktivierung	+
• Voraktivierung, Reflexaktivierung, Inhibitionsabbau	++++

# ÜBERSICHTEN

Ausgangsposition quasi fallen gelassen, abgefangen und möglichst explosiv wieder gehoben wird (81).

## Trainingsmethoden zur Entwicklung der Reaktivkraft

Die Reaktivkraft ist zweifellos diejenige Kraftfähigkeit, die für den größten Anteil aller sportlichen Bewegungen von Bedeutung ist. In Tabelle 5 sind Reizkonfigurationen zur wirkungsvollen Entwicklung der Reaktivkraft für Schnellkraftleistungen im kurzen bzw. langen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus dargestellt.

Typische Trainingsübungen der Reaktivkraft sind beispielsweise Countermovement Jumps für den langen DVZ und Drop Jumps für den kurzen DVZ. Jeder einzelne Versuch sollte mit höchstmöglicher Intensität ausgeführt werden, um die höchstmögliche neuromuskuläre Aktivierung als Trainingsreiz zu gewährleisten. D.h. jeder Countermovement Jump sollte möglichst hoch sein, bei jedem Drop Jump sollte ein möglichst hoher „Reaktivitätsindex“ angestrebt werden, der als Flughöhe/ Stützzeit ermittelt wird. Bei Anzeichen ermüdungsbedingter Leistungsreduktion sind die Trainingseinheiten für die Reaktivkraft abzubrechen.

Tabelle 8: Adaptationen an die Kraftausdauer-Methoden

Kraftfähigkeiten, Komponenten	Adaptationen
• Maximalkraft	+
• Schnellkraft:	
– Dynamisches Kraftmaximum	
– Explosivkraft	
– Reaktivkraft	
• Kraftausdauer	+++
<b>Einflußgrößen</b>	
<b>Tendomuskuläre Faktoren</b>	
• Muskelmasse	+
• FT-Massenanteil	
• Elastizität Muskel, Sehne*	
• Enzymaktivität	++
• Kapillarisation	+
<b>Neuronale Faktoren</b>	
• Willkürliche Aktivierung	
• Voraktivierung, Reflexaktivierung, Inhibitionsabbau	

\* Bei exzentrisch-konzentrischer Arbeitsweise Adaptationen Elastizität: +

Wenn bei Drop Jumps die Fallhöhe variiert wird, ändert sich damit die Dehnungsgeschwindigkeit der Beinstreckmuskulatur - insbesondere der Wadenmuskeln (M. Triceps surae) - im exzentrischen Teil der

Stützphase. Die Ausprägung der dehnungsreflexbedingten, zusätzlichen neuronalen Aktivität erhöht sich bis zu einem Optimum an Dehnungsgeschwindigkeit. Wird die Dehnungsbelastung weiter gesteigert, ist die Reflexaktivität aufgrund zunehmender inhibitorischer Einflüsse beeinträchtigt. Darüber hinaus kann bei zu

Tabelle 7: Reizkonfiguration der Trainingsmethoden zur Entwicklung der Kraftausdauer

Kraftausdauer-Methoden	
Reizintensität (Last in % des 1er Maximums)	50 bis 60%
Wiederholung pro Serie	20 bis 40
Serien pro Trainingseinheit (pro Muskelgruppe)	6 bis 8
Serienpause	0,5 bis 1 min
Kontraktionsgeschwindigkeit	langsam bis zügig

großen Fallhöhen auch die Vorinnervation vermindert sein. Dies drückt sich in Veränderungen der Stützzeiten und der Flughöhen im Drop Jump aus. Die optimale Fallhöhe für das Training ist diejenige, bei der der höchste „Reaktivitätsindex“ (Flughöhe/ Stützzeit) erreicht wird.

Um im Verlauf der Sprungserien die höchstmögliche neuromuskuläre Leistung in jedem einzelnen Sprung zu gewährlei-

stungen. Bei höherer Reizdichte (3 und 4 Sekunden) war die Leistungsreduktion auch mit einem Anstieg der Laktatkonzentration verbunden (23).

Die Anpassungen im Training des kurzen DVZ betreffen vorrangig die neuronale Voraktivierung, die Reflexaktivierung sowie die Festigkeit der Sehnen und des muskulären Bindegewebes (Tab. 6). Die Reaktivkraftverbesserungen gehen auch einher mit einer Steigerung der Explosivkraft bei konzentrischen Schnellkraftleistungen.

## Trainingsmethoden zur Entwicklung der Kraftausdauer

Die Kraftausdauer setzt sich aus der Maximal- bzw. Schnellkraftkomponente und der energetischen Ermüdungsresistenzkomponente zusammen (23, 34, 68). Da für die energetische Komponente die anaerobe Kapazität ausschlaggebend ist, wird im Kraftausdauertraining eine möglichst weitgehende Beanspruchung der sauerstoffunabhängigen Energiebereitstellungsprozesse angestrebt. Zwischen der Ausschöpfung der anaeroben Energiebereitstellung im Training und der Verbesserung der Ermüdungsresistenzkomponente wurde ein enger Zusammenhang festgestellt ( $r=0,85, 18$ ).

In Tabelle 7 sind typische Reizkonfigurationen zur Entwicklung der Kraftausdauer dargestellt. Beim Training mit Zusatzlasten können vergleichbare Anpassungen der absoluten Kraftausdauerleistung durch (a) kurze, ballistische Kon-

traktionen mit steilerem Kraftanstieg oder durch (b) längere, zügig ausgeführte Hebungen mit flacherem Kraftanstieg (bei jeweiliger Übereinstimmung von Last, Reizumfang und Reizdichte) erzielt werden. Im ersten Fall beruht die Leistungssteigerung stärker auf der Kraftkomponente, im zweiten Fall - vermutlich aufgrund der längeren Kontraktions- und der kürzeren intraserialen Restitutionszeiten - auf der Komponente der Ermüdungsresistenz (50). Die qualitativen Anpassungen des Kraftausdauertrainings faßt im Überblick Tabelle 8 zusammen.

Besonderes Augenmerk ist dem Kraftausdauerverhalten im DVZ zu widmen, da es in der „Sportwirklichkeit“ großen Raum einnimmt. Tendenziell können bei reaktiver Arbeit mit Zusatzlasten höhere Anpassungen erzielt werden als beispielsweise bei einem Verweilen zwischen dem Senken und Heben der Last (50). Detaillierte Hinweise zur Gestaltung des reaktiven Sprungkraftausdauertrainings gingen aus den umfangreichen Arbeiten von Frick (23) hervor: Die optimale intraserielle Reizdichte liegt bei 3 bis 4 Sekunden. Das legt die Verwendung von Kastensprüngen als Drop Jumps nahe (anstatt z.B. Hürdensprüngen, Prellsprüngen auf der Stelle oder horizontalen Vielfachsprüngen). Dabei sollten (mindestens) zwei Kästen einander gegenüber gestellt werden (Fall vom einen Kasten, Prellsprung vom Boden auf den anderen Kasten, Umdrehen, Fall ...), um die Aufsteigearbeit auszuschalten, die ansonsten zur Ermüdung in erheblichem Maße, aber nicht in trainingszielgerichteter Weise beiträgt. Die höchste Ausschöpfung anaerob-laktazider Energiebereitstellung wird bei 50 bis 60 submaximalen Drop Jumps mit rund 85% der individuell maximalen Sprunghöhe bei geringer Fallhöhe (20 bis 30 cm) und 3 Sekunden Pause zwischen den Sprüngen erreicht. Zur Schulung der anaerob-alaktaziden Sprungkraftausdauer empfehlen sich Serien von 30 maximalen Drop Jumps aus der individuell optimalen Fallhöhe und mit 4 Sekunden Pause zwischen den Sprüngen.

### Mischmethoden

Aus den bisherigen Darstellungen wurde deutlich, daß die einzelnen Trainingsmethoden jeweils spezifische Einflüsse auf bestimmte Komponenten des Kraftverhal-

tens haben. Im Training zahlreicher Sportarten, aber auch im fitness- und gesundheitsorientierten Training, wird häufig die Verbesserung verschiedener Kraftfähigkeiten angestrebt. In der Praxis und teilweise auch in der Lehre sind hin und wieder Ansätze anzutreffen, mit intermediären oder „Mischmethoden“ mehrere Effekte mit einer Trainingsmethode erzielen zu wollen. Dazu zählen beispielsweise die „Pyramidenmethode“ mit ihren verschiedenen Varianten (z.B. 12 x 70%, 10 x 80%, 5 x 85%, 3 x 90%, 2 x 95%, 1 x 100%), die so bezeichnete „Schnellkraftmethode“ (z.B. 4 bis 6 Serien á 6 bis 20 x 30 bis 70%, schnelle Ausführung) oder auch Serien von Hock-Streck-Sprüngen, Liegestützbeugungen, Klimmzügen etc., die auch bei schneller Ausführung durch relativ lange Kontraktionszeiten (über 300 msec) charakterisiert sind, um so mehr, wenn sie mit Zusatzlasten wie beispielsweise einer Gewichtsweste durchgeführt werden (z.B. 15 oder mehr Countermovement Jumps in Folge). Diesen Strategien ist gemein, daß sie Trainingsreize beinhalten, die vorrangig muskuläre Anpassungen auslösen, und solche, denen vorrangig neuronale Adaptationen zuzuschreiben wären. In verschiedenen Studien hat sich gezeigt, daß wenn das neuromuskuläre System gleichzeitig mit vorrangig neuronal und muskulär ausgerichteten Trainingsreizen konfrontiert wird, die Anpassungen sich weitestgehend auf die muskulären Komponenten beschränken (9, 34, 73, 80). Insofern dürften von den o.g. Mischmethoden ebenfalls nur Effekte im muskulären Bereich - Hypertrophie, ggf. Kraftausdauer - zu erwarten sein. Die Anpassungen dürften geringer ausfallen, als wenn gezielt die für diese Dimension ausgewiesenen Methoden eingesetzt würden. Neuronale Adaptationen erfordern wiederum eigene, spezifische, zeitlich abgetrennte Trainingsreize.

Da Trainingsmethoden, die muskuläre Adaptationen auslösen (Hypertrophie, Kraftausdauer), mit Beeinträchtigungen der neuromuskulären Leistungsfähigkeit über Tage und Wochen auch nach Beendigung der betreffenden Trainingsphase verbunden sein können, die Trainingsreize für neuronale Anpassungen (z.B. Explosivkraft, Reaktivkraft, zyklische Schnelligkeit, koordinativ-technische Ziele) aber maximale Reizintensität im vollständig

ausgeruhten Zustand erfordern, empfiehlt es sich, diese Trainingsziele in zeitlich getrennten Phasen anzusteuern. In Schnellkraft- und zyklischen Schnellkeitsportarten hat es sich für Spitzensportler beispielsweise bewährt, in einer halbjährigen Periodisierung zuerst zwei Hypertrophie-Mesozyklen (Muskelaufbau) und danach zwei Mesozyklen zur Steigerung der willkürlichen und reflexbedingten Aktivierungsfähigkeit (Ausnutzung des Muskelpotentials) durchzuführen.

### Literatur

- 1 Baumann, W., Stucke, H.: Sportspezifische Belastungen aus der Sicht der Biomechanik. In: COITA, H., KRAHL, H., STEINBRÜCK, K. (Hrsg.): Die Belastungstoleranz des Bewegungsapparates. Stuttgart 1980, 55-65
- 2 Bigland-Ritchie, B.: EMG and fatigue of human voluntary and stimulated contractions. In: PORTER, R./WHELAN, J. (eds.): Human muscle fatigue. London 1981, 130-177
- 3 Bigland-Ritchie, B., Kukulka, O., Lippold, O.: The absence of neuromuscular transmission failure in sustained maximal voluntary contractions. J. Physiol 330 (1982) 265-278
- 4 Billeter, R., Hoppeler, H.: Biologische Grundlagen der Kontraktion. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): Kraft und Schnellkraft im Sport. London 1994, 51-73
- 5 Bischoff, R.: Analysis of muscle regeneration using single myofibers in culture. Med. Sci. Sports Exerc. 21 (1989) suppl. S164-172
- 6 Bosco, C., Komi, P.V.: Mechanical Characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. Eur. J. Appl. Physiol. 41 (1979) 275-284
- 7 Brüggemann, P., Nissinen, M.: Geräteoptimierung im Kunstturnen aus der Sicht der Biomechanik. In: GÖHNER, U. (Hrsg.): Verletzungsrisiken und Belastungen im Kunstturnen. Schorndorf 1982, 100-113
- 8 Bührle, M.: Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schorndorf 1985, 82-111
- 9 Bührle M., Gollhofer A., Kibele A., Müller K.-J., Schwirtz A., Schweizer L., Strass D.: Theorie und Praxis des Krafttrainings. In: Carl K., Quade K., Stehle P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Köln 1995, 177-215
- 10 Buller, A., Eccles, C., Eccles, R.: Differentiation of fast and slow muscles in the cat hindlimb. J. Physiol. 150 (1960a) 399-416
- 11 Buller, A., Eccles, C., Eccles, R.: Interaction between motoneurons and muscles in respect of the characteristic speed of their responses. J. Physiol. 150 (1960b) 417-439
- 12 Burke, R.E.: Motor units: anatomy, physiology, and functional organization. In: BROOKHART, J.M., MOUNTCASTLE, V.B. (eds.): The Handbook of Physiology, Section 1: The Nervous System, Volume II. Bethesda 1981, 345-422
- 13 Costill, D., Coyle, E., Fink, W., Lesmes, G., Witzmann, F.: Adaptations in skeletal muscle following strength training. J. Appl. Physiol. 46 (1979) 96-99
- 14 Desmedt, J.E.: The size principle of motoneuron recruitment in ballistic or ramp-voluntary contractions in man. In: DESMEDI, J.E. (ed.): Progr. Clin. Neurophysiol., Vol. 9 (1981) 250-304
- 15 Diekmann, F., Leitzler, M.: Stabilität und Wiederholbarkeit von Trainingszuwachs durch Schnellkrafttraining im Grundschulalter. Sportwiss. 17 (1987) 280-293
- 16 Dietz, V., Schmidbleicher, D., Noth, J.: Neuronal mechanisms of human locomotion. J. Neurophysiol. 42 (1979) 1212-1222
- 17 Dietz, V., Noth, J., Schmidbleicher, D.: Interaction between pre-activity and stretch reflex in human triceps brachii during landing from forward falls. J. Physiol. 311 (1981) 113-125

- 18 Fabian, K., Zerbes, H., Walther, A., Bietig, B., Ziegler, E.: Pilotstudie zum S-Harnsäureanstieg bei Ruderern nach einem Kraftausdauer-Kreistraining. In: CARL, K., QUADE, K., STEHLE, P. (Hrsg.): Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung. Köln 1995, 171-176
- 19 Faulkner, J.A., Brooks, S.V., Opitck, J.A.: Injury to skeletal muscle fibers during contractions: conditions of occurrence and prevention. *Phys. Ther.* 73 (1993) 911-921
- 20 Fialarone, M., Marks, M., Ryan, N., Meredith, C., Lipsitz L., Evans, W.: High-intensity strength training in nonagenarians. *J. Am. Medical Association* 263 (1990) 3029-3034
- 21 Freund, H.-J., Büdingen, H.J., Dietz, V.: Activity of single motor units from human forearm muscles during voluntary isometric contractions. *J. Neurophysiol.* 38 (1975) 933-956
- 22 Freund, H.J., Büdingen, H.J.: The relationship between speed and amplitude of the fastest voluntary contractions of human muscles. *Exp. Brain Res.* 31 (1978) 1-12
- 23 Frick, U.: Kraftausdauerverhalten im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Köln 1993
- 24 Frick U., Schmidtbleicher, D., Wörn, C.: Vergleich biomechanischer Meßverfahren zur Bestimmung der Sprunghöhe bei Vertikalsprüngen. *Leistungssport* 21 (1991) 48-53
- 25 Friden, J., Seger, J., Sjöström, M., Ekblom, B.: Adaptive response in human skeletal muscle subjected to prolonged eccentric training. *Int. J. Sports Med.* 4 (1983) 170-183
- 26 Friden, N. J., Lieber, R.L.: Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24 (1992) 521-530
- 27 Gibala, M.J., McDougall, J.A., Tarnopolsky, M.A., Stauber, W.T., Floriaga, A.: Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise. *J. Appl. Physiol.* 78 (1995) 702-708
- 28 Giddings, C.J., Neaves, W.B., Gonyea, W.J.: Muscle fiber necrosis and regeneration induced by prolonged weight-lifting exercise in the cat. *Anatomical Record* 211 (1985) 133-141
- 29 Goldspink, G.: Cellular and molecular aspects of adaptations in skeletal muscle. In: KOMI, P.V. (ed.): *Strength and Power in Sports*. London 1992, 211-229
- 30 Gollhofer, A.: Komponenten der Schnellkraftleistung im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Erlensee 1987
- 31 Gollnick, P.D., Sjödin, B., Karlsson, J., Jansson, E., Saltin, B.: Human soleus muscle: a comparison of fiber composition and enzyme activities with other leg muscles. *Pflügers Arch.* 348 (1974) 247-255
- 32 Häkkinen, K., Kauhane, H., Kom, P.V.: Merkmale neuromuskulärer Leistungskapazität bei Gewichthebern nationalen und regionalen Niveaus. *Leistungssport* 15 (1985) 5, 35-41
- 33 Harre, D. (Leitung Autorenkollektiv): *Trainingslehre*. 10. Auflage. Brelin 1986
- 34 Hemmling, G.: Anpassungen der neuromuskulären Systems an eine neuentwickelte Trainingsmethode. Köln 1994
- 35 Hennemann, E., Somjen, G., Carpenter, D.O.: Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J. Neurophysiol.* 28 (1965) 560-580
- 36 Heyden, G., Droste, J., Steinhöfer, D.: Zum Zusammenhang von Maximalkraft, Schnellkraft und Bewegungsschnelligkeit. *Leistungssport* 18 (1988) 2, 39-46
- 37 Hollmann, W., Hettinger, T.: *Sportmedizin - Arbeits- und Trainingsgrundlagen*. Stuttgart 1968
- 38 Howald, H.: Veränderungen der Muskelfasern durch Training. *Leistungssport* 19 (1989), 2, 18-24
- 39 Huijing, P.A.: Mechanical muscle models. In: KOMI, P.V. (ed.): *Strength and Power in Sports*. London 1992, 131-151
- 40 Hultmann, E., Sjöholm, H., Sahlin, K., Edström, L.: Glycolytic and oxidative energy metabolism and contraction characteristics of intact human muscle. In: PORTER, R., WHELAN, J. (eds.): *Human Muscle Fatigue*. London 1981
- 41 Ikai, M., Steinhaus, A.H.: Some factors modifying the expressions of human strength. *J. Appl. Physiol.* 16 (1961) 157-163
- 42 Ikai, M., Yabe, K., Ischij, K.: Muskelkraft und muskuläre Ermüdung bei willkürlicher Anspannung und elektrischer Reizung des Muskels. *Sportarzt u. Sportmedizin* (heute: *Dt. Zschr. Sportmed.*) 18 (1967) 197-204
- 43 Israel, S.: Age-related changes in strength and special groups. In: KOMI, P.V. (ed.): *Strength and power in sport*. London 1992, 319-328
- 44 Jakowlew, N.: Biochemische Adaptationsmechanismen der Skelettmuskeln an erhöhte Aktivität. *Med. u. Sport* 15 (1975) 132-139
- 45 Janda, V.: *Muskelfunktionsdiagnostik*. Berlin 1986
- 46 Jeschke, D.: Möglichkeiten und Grenzen des Sports im höheren Lebensalter. In: BAUMANN, H. (Hrsg.): *fiter werden - fit bleiben*. Erlangen 1990, 141-153
- 47 Kibele, A., Müller, K.-J., Bührle, M.: Bilaterale Defizite bei willkürlichen Maximalkontraktionen. *Dt. Zschr. Sportmedizin* 40 (1989) 120-134
- 48 Komi, P.V., Tesch, P.A.: EMG frequency spectrum, muscle structure, and fatigue during dynamic contractions in man. *Eur. J. Appl. Physiol.* 42 (1979) 41-50
- 49 Komi, P.V.: The stretch-shortening cycle. In: KOMI, P.V. (ed.): *Strength and power in sports*. London 1992, 157-172
- 50 Lehmertz, K., Martin, D., Nicolaus, J.: Grundlegende Untersuchungen zur Kraftausdauer. In: CARL, K., QUADE, K., STEHLE, P.: *Krafttraining in der sportwissenschaftlichen Forschung*. Köln 1995, 427-446
- 51 Letzelter, H., Letzelter, M.: *Krafttraining*. Reinbek 1987
- 52 Lieber, R.L., Thornell, L.-E., Frid, N.J.: Muscle cytoskeletal disruption occurs within the first 15 min of cyclic eccentric contraction. *J. Appl. Physiol.* 80 (1996) 278-284
- 53 Lüthi, J.-M., Gerber, H., Claasen, H., Hoppeler, H.: Die verletzte und die immobilisierte Muskelzelle: Ultrastrukturelle Betrachtungen. *Sportverletzung Sport-schaden* 3 (1989) 58-61 1989
- 54 Macek, M.: Alter und allgemeine Entwicklung bei Kindern und Jugendlichen. In: DIRIX, A., KNUTTGEN, H., TITTEL, K. (Hrsg.): *Olympiabuch der Sportmedizin*. Köln 1989, 257-261
- 55 Mauro, A.: Satellite cells of skeletal muscle fibers. *J. Biophysical and Biochemical Cytology* 9 (1961) 493-495
- 56 McDougall, J.D.: Hypertrophy or Hyperplasia. In: KOMI, P.V. (ed.): *Strength and Power in Sports*. London 1992, 230-239
- 57 Miller, R.G., Giannini, D., Milner-Brown, H.S., Layzer, R.B., Korelsky, A.P., Hooper, D., Weiner, M.W.: Effects of fatiguing exercise on high-energy phosphates, force and EMG: Evidence for three phases of recovery. *Muscle and Nerve* 10 (1987) 810-821
- 58 Moritani, T., De Vries, H.A.: Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am. J. Physiol. Med.* 58 (1979) 115-130
- 59 Moritani, T.: Time course of adaptations during strength and power training. In: KOMI, P.V. (ed.): *Strength and Power in Sports*. London 1992, 266-277
- 60 Müller, K.-J.: Explosivkraft - eine generelle oder spezifische Eigenschaft. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings*. Schorndorf 1985, 144-160
- 61 Müller, E., Koller, A., Artner-Dworzak, E., Haid, C., Puschendorf, B., Raas, E.: Zur Trainingssteuerung im Krafttraining - Myoglobin und Creatinkinasekonzentration nach exzentrischen und konzentrischen Trainingsbelastungen. *Österr. Zschr. f. Sportwissenschaft* 1 (1990) 72-84
- 62 Nardonne, A., Romano, C., Schieppati, M.: Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscle. *J. Physiol.* 409 (1989) 451-471
- 63 Neit, T.: *Leichtathletisches Muskeltraining*. Das Übungs- und Trainingsbuch der Leichtathletik, Bd. 4. Berlin 1964
- 64 Newman, D., Jones, D., Clarkson, P.: Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. *J. Appl. Physiol.* 63 (1983) 1381-1386
- 65 Noth, J.: The motor unit. In: KOMI, P.V. (Hrsg.): *Strength and Power in Sports*. London 1992, 30-38
- 66 Oberbeck H.: Eine Längsschnittstudie zum Schnellkrafttraining mit einem Minimalprogramm im Seniorenlager. In: BECKER, U. (Hrsg.): *Leichtathletik im Lebenslauf*. Aachen 1994, 416-418
- 67 Ruch, L., Schrey, R.: *Techniktraining im Ringen*. Leistungssport 26 (1996) 18-22
- 68 Racher, A., Güllich, A., Schmidtbleicher, D.: Der Einfluß verschiedener Kräftefähigkeiten auf Spitzenleistungen im Ringen. *Leistungssport* 28 (1998) 3, 10-15
- 69 Rieder, H., Kuchenbecker, R., Rompe, G.: Motorische Entwicklung, Haltungsschwächen und Sozialisationsbedingungen. Köln 1986
- 70 Sale, D.G.: Neural adaptations to strength training. In: KOMI, P.V. (ed.): *Strength and Power in Sports*. London 1992, 249-265
- 71 Saltin, B.: Muscle fibre recruitment and metabolism in prolonged exhaustive dynamic exercise. In: EDWARDS, S. (ed.): *Human muscle fatigue: Physiological mechanisms*. London 1981, 41-52
- 72 Saltin, B., Gollnick, P.D.: Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In: PEACHEY, L.D., ADRIAN, R.H., GEIGER, S.R. (eds.): *Handbook of Physiology*, Section 10: *Skeletal Muscle*. Bethesda 1983, 555-631
- 73 Schmidtbleicher, D.: Maximalkraft und Bewegungsschnelligkeit. Bad Homburg 1980
- 74 Schmidtbleicher, D., Gollhofer, A.: Neuromuskuläre Untersuchungen zur Bestimmung individueller Belastungsgrößen für ein Tiefsprungtraining. *Leistungssport* 12 (1982) 4, 298-307
- 75 Schmidtbleicher, D., Gollhofer, A.: Einflußgrößen des reaktiven Bewegungsverhaltens und deren Bedeutung für die Sportpraxis. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings*. Schorndorf 1985, 271-281
- 76 Schmidtbleicher, D.: Neurophysiologische Aspekte des Sprungkrafttrainings. In: CARL, K., SCHIFFER, J. (Hrsg.): *Zur Praxis des Sprungkrafttrainings*. Köln 1986, 56-72
- 77 Schmidtbleicher, D.: Motorische Beanspruchungsform Kraft. *Dt. Zschr. Sportmed.* 38 (1987) 9, 356-377
- 78 Schmidtbleicher, D.: Training for power events. In: KOMI, P.V. (ed.): *Strength and Power in Sports*. London 1992, 381-396
- 79 Schmidtbleicher, D.: Entwicklung der Kraft und der Schnelligkeit. In: BAUR, J., BÖS, K., SINGER, R. (Hrsg.): *Motorische Entwicklung*. Ein Handbuch. Schorndorf 1994, 129-150
- 80 Schmidtbleicher, D., Hemmling, G.: Neue Tendenzen der Trainingswissenschaft. In: BRACK, R., HOHMANN, A., WIEMANN, H.: *Trainingssteuerung: Konzeptionelle und trainingsmethodische Aspekte*. Stuttgart 1994, 86-102
- 81 Schlumberger, A., Schmidtbleicher, D.: Zeitlich verzögerte Effekte beim Krafttraining. *Leistungssport* 28 (1998) 3, 33-38
- 82 Sperling, O.: Sport und Wachstum. *Leistungssport* 5 (1975) 1, 71-73
- 83 Steinmann, W.: Krafttraining im Sportunterricht. *Sportunterricht* 39 (1990) 326-339
- 84 Stone, M.H.: Anpassungserscheinungen unter einem Krafttraining im Bereich von Bindegewebe und Knochen. In: KOMI, P.V. (ed.): *Kraft und Schnellkraft im Sport*. London 1994, 277-289
- 85 Tesch, P.A.: Acute and long-term metabolic changes consequent to heavy-resistance exercise. *Med. Sports Sci.* 26 (1987) 67-89
- 86 Tesch, P.A.: Training im Bodybuilding. In: KOMI, P.V. (ed.): *Kraft und Schnellkraft im Sport*. London 1994, 365-373
- 87 Thiel, A.: Belastbarkeit des Bewegungsapparates durch Krafttraining im Kindes- und Jugendalter. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings*. Schorndorf 1985, 162-168
- 88 Thiess, G., Schnabel, G. (Leitung Autorenkollektiv): *Grundbegriffe des Trainings*. Berlin 1986
- 89 Trotter, J.A.: Interfiber tension transmission in series-fibered muscles of the cat hindlimb. *J. Morphol.* 206 (1990) 351-361
- 90 Viitasalo, J.T., Komi, P.V.: EMG, reflex, and reaction time components, muscle structure, and fatigue during intermittent isometric contractions in man. *Int. J. Sports Med.* 1 (1980) 185-190
- 91 White, T.P., Esser, K.A.: Satellite cell and growth factor involvement in skeletal muscle growth. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21 (1989) suppl. S158-163
- 92 Wilkie, D.: Shortage of chemical fuel as a cause of fatigue: studies by nuclear magnetic resonance and bicycle ergometry. In: PORTER, R., WHELAN, J. (eds.): *Human muscle fatigue*. London 1981, 102-119
- 93 Zaciorskij, V.M., Kulik, N.G., Smirnow, J.I.: Die Wechselbeziehungen zwischen den körperlichen Eigenschaften. *TPKK* 19 (1970) 141-157

**Anschrift der Autoren:**  
**Institut für Sportwissenschaften der**  
**Johann Wolfgang Goethe-Universität**  
**Ginnheimer Landstraße 39**  
**D-60487 Frankfurt, M.**  
**Tel.: 069/798245-524, Fax: 79824-554**  
**E-mail:**  
**schmidtbleicher@sport.uni-frankfurt.de**