

**INHALT****ORIGINALBEITRÄGE**

<i>Michael Meding</i>	Zum Zusammenhang zwischen Kohäsion und Erfolg bei Sportmannschaften .....	247
<i>Henning Eichberg</i>	Von Tristram Shandy zu „Marschall Vorwärts“. Zur sozialen Zeit der Körper in Sport, Krieg und Fort-Schritt	272

**FORSCHUNGSBERICHTE**

<i>Alfred Rütten</i>	Strukturmodelle und Meßmethoden in der Kristallisationstheorie .....	297
<i>Martin Bührle</i>	Maximalkraft — Schnellkraft — Reaktivkraft .....	311

**BESPRECHUNGEN/BERICHTE**

<i>A. Guttmann</i>	Neue amerikanische Beiträge zur Sportgeschichte — eine Sammelbesprechung .....	326
<i>K. Rühl</i>	Karl-Heinz Frenzen: Olympische Spiele: Geschichte, Regeln, Einrichtungen .....	330
<i>R. Albrecht</i>	Josef Hackforth (Hrsg.): Sportmedien und Mediensport .	331
<i>E. Hildenbrandt/ J. Schwier</i>	Ethik im Sportspiel .....	334
<i>U. Fietze</i>	Belastung und Erholung beim Dauerlauf .....	337

<b>SPORTWISSENSCHAFT AKTUELL .....</b>	<b>339</b>
--	------------

<b>HABILITATIONEN UND DISSERTATIONEN .....</b>	<b>341</b>
--	------------

## Maximalkraft — Schnellkraft — Reaktivkraft

### *Kraftkomponenten und ihre dimensionale Struktur*

Die Analyse des Kraftverhaltens und seine dimensionale Strukturierung sind seit fünfzehn Jahren ein Schwerpunkt in der Forschungsarbeit des Institutes für Sport und Sportwissenschaft der Universität Freiburg. In der Zeitschrift „Sportwissenschaft“ legten BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER (1981) eine erste Zusammenschau der Untersuchungsergebnisse vor und versuchten eine Neustrukturierung der Maximal- und Schnellkraftfähigkeiten.

Folgende Einsichten veranlaßten eine Revision des tradierten Konzepts:

- Die Kraftfähigkeiten sind entschieden durch Anpassungen im Innervations-Verhalten mitbestimmt.
- Die Maximalkraft ist die wichtigste Basiskomponente der Schnellkraftfähigkeit. Eine strukturelle Darstellung der Fähigkeiten in einer Ebene (Maximalkraft — Schnellkraft — Kraftausdauer) ist daher nicht sachgerecht.
- Die Fähigkeit, schnell große Kräfte entwickeln zu können, ist eine Eigenschaft, die sich in gleicher Weise bei isometrischen und bei dynamischen Kontraktionen zeigt. Die Schnellkraftfähigkeit darf daher nicht in Einschränkung auf schnelle Bewegungen definiert werden.

Der 1981 vorgelegte Ansatz hat nicht — wie GRUPE einleitend annahm — allzu viel „auf den Kopf gestellt“. Die schwergewichtig an der Sportpraxis orientierten Kollegen denken immer noch in der liebgewonnenen Trilogie „Maximalkraft — Schnellkraft — Kraftausdauer“. Im Gegensatz zu 1981 kann aber heute festgestellt werden, daß an vielen Stellen über die Grundlagen des Krafttrainings nachgedacht und geforscht wird.

Diese Intensivierung der Forschungs-Anstrengungen ist zu einem großen Teil durch die Verbesserung der Untersuchungsmethodik bestimmt. Der Zugriff kann immer komplexer geplant und durchgeführt werden.

Bei den letzten beiden Längsschnitt-Untersuchungen in Freiburg war es möglich, die trainingsbedingte Zunahme des Muskelquerschnitts mit Hilfe der Computer-Tomographie zu bestimmen. Veränderungen im Bereich der Muskelfasern konnten durch Entnahme von Muskelbiopsien kontrolliert werden (BÜHRLE 1986; 1988). Vor allem lassen sich die Innervationsmuster durch computer-gestützte „on-line“-Registrierungen des Elektromyogramms viel schneller und genauer analysieren.

Das im folgenden vorzustellende weiterentwickelte Strukturkonzept des Maximal- und Schnellkraftverhaltens resultiert aus den Ergebnissen einer Vielzahl von Längs- und Querschnitts-Untersuchungen. In den letzten Jahren war es Grundlage für die Trainingsstrategie einiger Hochleistungsgruppen und hat seine Tragfähigkeit für die Trainingssteuerung erwiesen.

### Der dimensionsanalytische Ansatz

Sportliche Leistungen und ihre Verbesserung sind immer auch mit einer Reihe von Adaptationen des Organismus verbunden. Die Bedingungs- oder Strukturanalyse sportlicher Lei-

stungen setzt am sportmotorischen Fähigkeitskonzept an und versucht den einzelnen Fähigkeiten spezifische Adaptationen zuzuordnen. Es lassen sich sehr komplexe und sehr einfach strukturierte sportmotorische Fähigkeiten definieren und abgrenzen. Damit ergibt sich zwangsweise eine hierarchische Struktur. Die willkürliche Aktivierungsfähigkeit bedingt die Maximalkraftfähigkeit; diese ist wiederum als Basisfähigkeit der Schnellkraft zu interpretieren, und letztere kann der Sprungkraft vorgeordnet werden. Das wissenschaftliche Interesse ist hauptsächlich auf die elementaren Fähigkeiten gerichtet, die in unterschiedlicher Gewichtung die komplex strukturierten Verhaltenspotenzen bedingen. Sie werden als Dimensionen eines Verhaltensbereichs — beispielsweise der Kraft — bezeichnet. Sie sollen möglichst einfach strukturiert und ihre Zahl soll möglichst gering sein; außerdem müssen Dimensionen konzeptionell unabhängig voneinander sein (Elementar-, Minimums- und Unabhängigkeitsprinzip). Unter Dimensionen sportmotorischen Verhaltens sind demnach abgrenzbare motorische Fähigkeiten zu verstehen, die unabhängig voneinander durch spezifische Trainingsmethoden entwickelt werden können. Im konditionellen Bereich lassen sich den Dimensionen eindeutig spezifische morphologisch-physiologische Adaptationen zuordnen. Das Konzept der Dimensionen läßt sich am anschaulichsten im Ausdauerbereich darstellen. Den vier Stoffwechselprozessen entsprechend, die — je nach der Zeitdauer der Beanspruchung — die Energie bereitstellen, lassen sich vier Dimensionen unterscheiden: die anaerob alaktazide, die anaerob glykolytische, die aerob glykolytische und die aerob lipolytische Kapazität. HOLLMANN/HETTINGER (1980) unterscheiden sowohl im anaeroben als auch im aeroben Bereich eine Kurzzeit-, Mittelzeit- und Langzeit-Ausdauerkomponente. Die anaerobe Kurz- und Mittelzeitkomponente wie auch die aerobe Mittel- und Langzeitkomponente sind eindimensional, die beiden anderen abgegrenzten Ausdauerfähigkeiten hingegen zweidimensional bestimmt.

Anaerober Ausdauerbereich			Aerober Ausdauerbereich			
Spaltung der Phosphate	anaerober Abbau der Kohlenhydrate	anaerobe Glykolyse	aerober Abbau der Kohlenhydrate	aerobe Glykolyse	aerober Abbau der Fettsäuren	Lipolyse
Kurzzeit-	Anaerobe Mittelzeit-	Langzeit-	Kurzzeit-	Aerobe Mittelzeit-	Langzeit-	
	Ausdauer			Ausdauer		
bis 30 s	30—60 s	1—2 min	2—8 min	8—30 min	über 30 min	
100 m	400 m	800 m	1500 m	5000 m	Marathon	
200 m			3000 m	10000 m		

Abb. 1: Die Stoffwechselprozesse der Ausdauerdimensionen

Das dimensionsanalytische Konzept ist von den Sportwissenschaftlern im Kraftbereich nur teilweise angenommen. Eine an der Trainingspraxis orientierte Theorie beschränkt sich häufig auf Fähigkeiten, die für den Trainer anschaulich sind und ohne Laboraufwand mit sportpraktischen Testformen erfaßt werden können. So definiert LETZELTER (1978) im Bereich der Schnellkraft Fähigkeiten wie Sprint-, Sprung-, Wurf- und Stoßkraft. Besonders deutlich wird dieser Trend bei THIESS/SCHNABEL (1986, 108), der im Maximalkraftbereich eine isometrische und eine dynamische Maximalkraftfähigkeit unterscheidet und sie durch ihre Testverfahren definiert. Diese Ansätze lassen außer acht, daß solche Testverfahren den Ausprägungsgrad

von zugeordneten Fähigkeiten bestenfalls abschätzen, nie aber genau messen können. Die Testleistungen sind immer von einer ganzen Reihe von Einflußgrößen abhängig. Bei allen zur Zeit verwendeten Schnellkrafttests kann nicht sicher entschieden werden, ob die Leistung — physikalisch ausgedrückt: der realisierte Kraftstoß — schwergewichtig durch eine hohe Maximalkraft bedingt ist oder aber aus einer besonders schnellen Kontraktionsfähigkeit bei relativ geringem Maximalkraftniveau resultiert.

Es müßte eigentlich offensichtlich sein, daß *nur* eine Orientierung an den dimensional en Einflußgrößen zu einem differenzierten Grundlagenverständnis führen kann und auch eine optimale Trainingssteuerung ermöglicht, ohne die künftig Weltklasseleistungen kaum noch zu erreichen sein werden.

### Die dimensionale Struktur der Maximalkraft

Die dimensionale Struktur der Maximalkraft wird in Abb. 2 veranschaulicht:

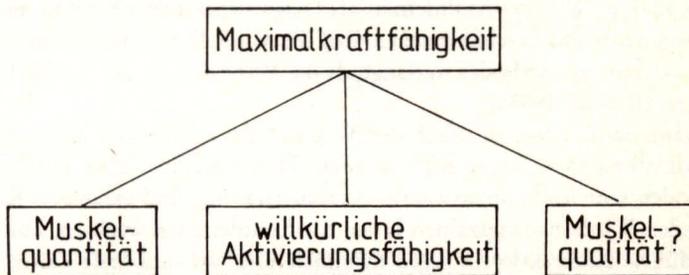


Abb. 2: Die dimensionale Struktur der Maximalkraft

Die „Quantität des Muskelgewebes“, also die angelegte Muskelmasse, braucht in ihrer Bedeutung für das Maximalkraftniveau nicht weiter begründet zu werden. Sie wird mit dem Muskelquerschnitt abgeschätzt, der heute mit der Computer-Tomographie sehr genau bestimmt werden kann.

Die „willkürliche Aktivierungsfähigkeit“\* ist das Vermögen, den Muskel hochfrequent innervieren zu können. IKAI/STEINHAUS haben schon 1961 darauf hingewiesen, daß Normalpersonen nur etwa 70% ihres in der Muskelmasse angelegten Kraftpotentials willkürlich einsetzen können. Sie sind also nicht in der Lage, das gesamte Kraftpotential willkürlich zu aktivieren. Dieses dem willkürlichen Zugriff nicht verfügbare Kraftpotential bezeichnet man als „autonome Reserve“.

Bei einzelnen Muskeln kann durch Elektrostimulation das gesamte in der Muskelmasse angelegte Kraftpotential in den Kontraktionsvorgang eingebracht werden. Die Differenz zwischen Krafthöchstwert bei elektrischer Stimulation und Maximalkraftwert bei willkürlicher

\* Anmerkung der Redaktion: Nach Auffassung der Redakteure muß es grammatisch richtig „Fähigkeit der willkürlichen Aktivierung“, „Fähigkeit der schnellen Kontraktion“ etc. (s. u.) heißen. Auf Wunsch des Autors bleiben wir in diesem Beitrag jedoch durchgehend bei seiner Schreibweise.

Innervation bezeichnet man als „Kraftdefizit“ (MASSALGIN/USCHAKOV 1979). Die Differenz wird in Prozentwerten ausgedrückt. Der isometrisch gemessene Maximalkraftwert ist dabei mit 100% angesetzt.

Dieser Kraftdefizitwert ist bei den einzelnen Probanden sehr unterschiedlich. Wie bereits erwähnt stellten IKAI/STEINHAUS heraus, daß Normalpersonen in Stresssituationen 30% mehr Kraft aufwenden können als bei stressfreien Willkürkontraktionen. Bei trainierten Kraftathleten lag diese Differenz hingegen nur bei etwa 10%.

Daraus kann gefolgert werden, daß das Kraftdefizit ein wichtiger und aussagekräftiger Diagnoseparameter für die Trainingssteuerung ist. Die Höhe des Kraftdefizits zeigt an, ob ein Kraftzuwachs noch über eine Verbesserung der neuromuskulären Funktionen zu erreichen ist. Bei niederem Kraftdefizitwert kann eine weitere Steigerung der Maximalkraftfähigkeit nur noch über eine Zunahme der Muskelmasse erreicht werden. Jede Vergrößerung der Muskelmasse bringt aber eine Erhöhung des Körpergewichts mit sich. Vor allem in den Sportarten, in denen die Athleten in Gewichtsklassen eingeteilt sind (z. B. Gewichtheben, Boxen) oder bei denen die relative Kraft entscheidend ist (z. B. Hochsprung, Sprint, Kunstturnen), kommt es auf eine möglichst optimale Ausschöpfung des in der Muskelmasse angelegten Kraftpotentials an. Der Wert des Kraftdefizits als Diagnoseparameter wird in seinem vollen Umfang klar, wenn wir uns bewußt machen, daß die Muskelhypertrophie andere — ja fast gegensätzliche — Trainingsmethoden verlangt als die Verbesserung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit (BÜHRLE 1985a).

Diagnostisch kann das Kraftdefizit durch den Vergleich des exzentrisch und isometrisch gemessenen Maximalkraftwerts abgeschätzt werden. Dieser Kennwert ist durch spezifische Trainingsmethoden sehr leicht anzusteuern. Ausdauertraining und extensives Krafttraining mit erschöpfenden Wiederholungszahlen lassen das Kraftdefizit anwachsen; kurzzeitige, explosiv durchgeführte Kontraktionen gegen maximale und fast maximale Lasten reduzieren das Kraftdefizit relativ schnell.

Es wird weiter zu prüfen sein, ob die „Qualität des Muskelgewebes“ eine weitere Dimension des Maximalkraftverhaltens darstellt. Dafür sprechen extreme Kraftleistungen relativ leichter Athleten. Die Olympiasieger im Gewichtheben von 1988 erreichten im Reißen Leistungen in den niederen Gewichtsklassen, die deutlich über dem doppelten Körpergewicht lagen. Und selbst die weltbeste Speerwerferin, Petra FELKE, erbringt bei einer fürs Gewichtheben ungünstigen Körpergröße von 178 cm und einem Gewicht von 64 kg im Reißen eine Leistung von über 100 kg.

Diese angenommenen qualitativen Unterschiede des Muskelgewebes sind nicht in der Faserzusammensetzung des Muskels begründet. Dies haben Autoren immer wieder vermutet, konnte aber bei Untersuchungsansätzen mit Biopsie-Entnahmen nicht bestätigt werden (BÜHRLE 1988).

PENMAN (1970) hat festgestellt, daß die Myosinfilamente bei hochtrainierten Kraftathleten dichter beisammen liegen und ihr Abstand zu den Aktinfilamenten geringer ist. In gleicher Sicht stellen LARSSON/TESCH (1986) bei extrem trainierten Bodybuildern eine „abnorm hohe Dichte der Muskelfasern“ fest. Leider fehlen zu dieser Frage weitere Untersuchungen und Aussagen. Der Freiburger Arbeitsgruppe ist das Instrumentarium nicht zugänglich, um zu dieser Fragestellung eigene Untersuchungen durchführen zu können.

### Die dimensionale Struktur der Schnellkraft

Die meisten Autoren interpretieren die Schnellkraft als die Fähigkeit, möglichst schnell hohe Kraftwerte entwickeln zu können. Die Entwicklungsgeschwindigkeit der Kraft wird mit dem Quotienten „Kraft pro Zeiteinheit“ abgeschätzt. Die folgende Abb. zeigt entsprechende Kennwerte:

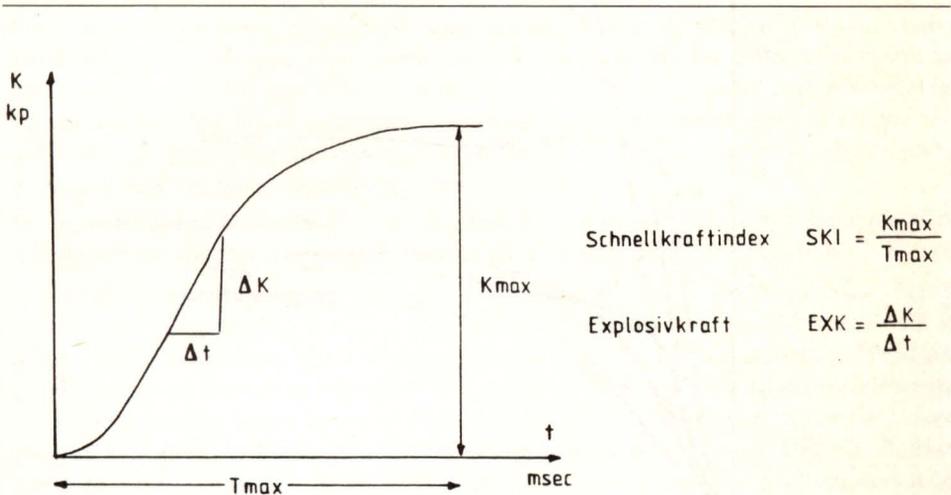


Abb. 3: Kennwerte zur Abschätzung der Schnellkraftfähigkeit

Diese Parameter sind sehr stark abhängig vom Maximalkraftniveau des Athleten. Dies veranschaulicht die auf der nächsten Seite folgende Abbildung.

Bei allen in Freiburg erfaßten Probandengruppen lagen die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Maximalkraftwert und dem Explosivkraftwert, zwischen  $r = .40$  und  $r = .65$ . Den Trainer darf aber nicht nur der Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve bei maximal schneller Kraftentwicklung interessieren. Für die Trainingssteuerung ist es wichtig, daß er auch erkennen kann, in welchem Ausmaß die einzelnen Einflußgrößen das Schnellkraftniveau bestimmen. Nur bei gleichem Maximalkraftniveau zweier Athleten kann demjenigen mit dem höheren Explosivkraftwert auch die Fähigkeit zuerkannt werden, sein verfügbares Kraftpotential schneller entwickeln zu können. Wir definieren in diesem Sinne eine weitere Einflußgröße: die schnelle Kontraktionsfähigkeit.

Unter „schneller Kontraktionsfähigkeit“ wird das Vermögen verstanden, seine Kraft unabhängig vom Maximalkraftniveau möglichst schnell entwickeln zu können.

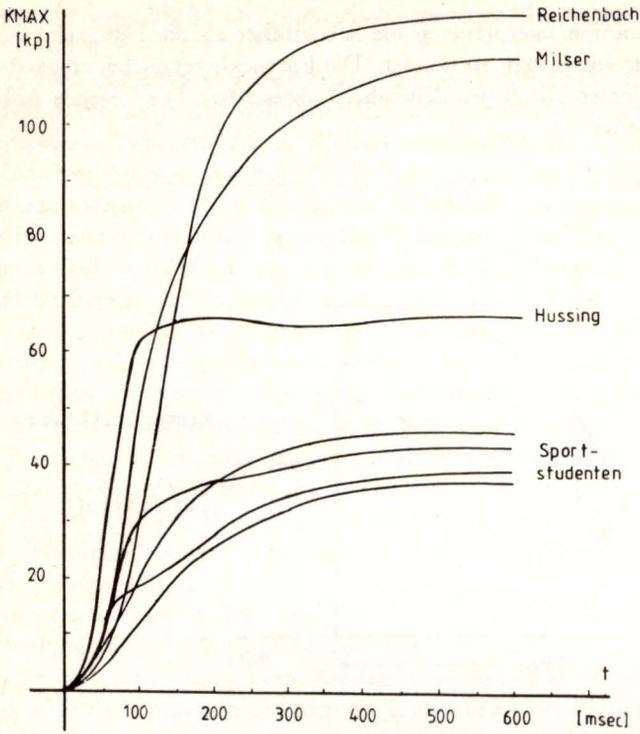


Abb. 4: Isometrische Kraftanstiegskurven von Spitzensportlern und Sportstudenten

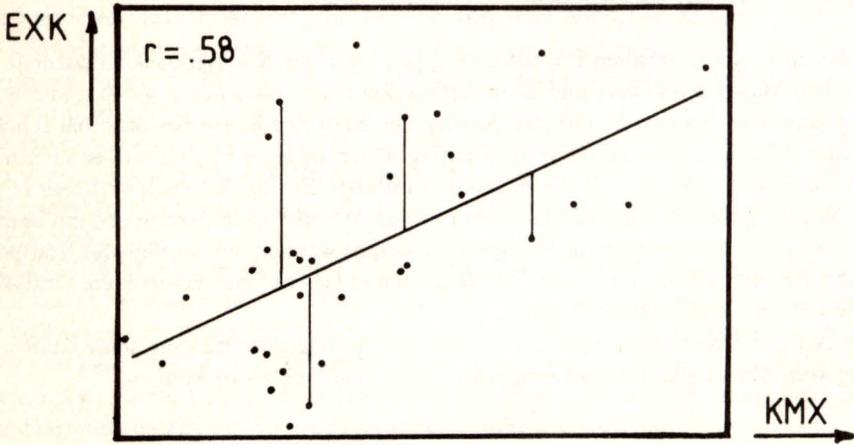


Abb. 5: Der Zusammenhang zwischen Explosivkraft (EXK) und Maximalkraft (KMX) bei Kugelstoßern (Residuen)

In Abb. 5 sind die Maximal- und Explosivkraftwerte der besten deutschen Kugelstoßer im Scattergramm dargestellt. Die eingezeichnete Regressionsgerade zeigt den mittleren Zusammenhang zwischen dem Maximal- und dem Explosivkraftniveau an. Athleten, die im Scattergramm über dieser Geraden liegen, haben bei relativ niedrigem Maximalkraftniveau einen relativ hohen Explosivkraftwert. Ihre schnelle Kontraktionsfähigkeit ist gut ausgebildet. Der Ausprägungsgrad der schnellen Kontraktionsfähigkeit kann für den einzelnen Athleten mit dem Abstand von der Regressionsgeraden — dem Residuum — abgeschätzt werden.

Eine weitere Möglichkeit, die schnelle Kontraktionsfähigkeit abzuschätzen, ist der relative Explosivkraftwert. Der gemessene Explosivkraftwert wird durch Quotientenbildung auf die Maximalkraft hin relativiert ( $EXK_{rel} = EXK : KMX$ ). Die beiden definierten Kennwerte für die schnelle Kontraktionsfähigkeit korrelieren sehr hoch miteinander ( $r > .95$ ). Sie haben den gleichen Informationswert. Die Residualwerte sind anschaulicher, die relativen Explosivkraftwerte lassen sich leichter ermitteln.

Die schnelle Kontraktionsfähigkeit ist vor allem durch die Faserzusammensetzung des Muskels und durch die Rekrutierungsabfolge der motorischen Einheiten bestimmt.

Die Abhängigkeit der schnellen Kontraktionsfähigkeit von der Faserzusammensetzung ist offensichtlich. Je größer der Anteil an schnell kontrahierenden Fasern im Muskel ist, um so größer muß bei gleichem Maximalkraftniveau der Explosivkraftwert ausfallen. Wenn der gleiche Maximalkraftwert in kürzerer Zeit entwickelt wird, muß der Kraftanstieg zwangsweise steiler werden. Dieser Zusammenhang konnte allerdings bisher empirisch nicht überzeugend nachgewiesen werden. Die Untersuchungsansätze, welche die mit Hilfe der Biopsiemethode ermittelten Kennwerte der Muskelfaser-Zusammensetzung mit den Kennwerten des Schnellkraftverhaltens korrelierten, brachten keine einheitlichen Ergebnisse. Dies kann teilweise auch an der Ungenauigkeit der Biopsiemethode liegen. Wegen der inhomogenen Faserverteilung im Muskel ist das jeweils entnommene Gewebematerial für die Faserzusammensetzung des Muskels nicht zwingend repräsentativ (BÜHRLE 1986; 1988).

Die schnelle Kontraktionsfähigkeit ist weiter von der Rekrutierungsabfolge der motorischen Einheiten im Kontraktionsvorgang bestimmt. Die motorischen Einheiten werden nicht gleichzeitig rekrutiert, sondern ihrer Größe entsprechend nacheinander aktiviert. Dies bedeutet, daß zuerst die tonischen, ermüdungsresistenten und erst später die phasischen, schnell ermüdenden Fasern in den Kontraktionsvorgang einbezogen werden. Der Fasercharakteristik entsprechend werden die motorischen Einheiten kontinuierlich zugeschaltet (HENNEMANSches Rekrutierungsprinzip oder „size principle“; HENNEMAN u. a. 1965). Diese Rekrutierungsabfolge wird auch bei maximal schnellen Kontraktionsabläufen eingehalten, nur wird der Rekrutierungszeitraum stark zusammengeschoben (FREUND/BÜDINGEN 1978). Aus den neuen Ergebnissen der mit stark verbesserten Methoden durchgeführten Untersuchungen wird recht einhellig gefolgert, daß die lange diskutierte Annahme einer selektiven Rekrutierung zurückgewiesen werden muß (DESMEDT 1981; DESMEDT 1977).

Die schnelle Kontraktionsfähigkeit ist durch spezifische Trainingsmethoden relativ leicht anzusteuern. Bei einem entsprechend ausgerichteten Training über zwölf Wochen konnte der die schnelle Kontraktionsfähigkeit abschätzende Parameter, der relative Explosivkraftwert, um 17,6% verbessert werden (siehe Abb. 7). Da es bisher noch nicht gelungen ist, eine Vermehrung des phasischen Faseranteils im Muskel durch Training nachzuweisen, muß angenommen werden, daß die Verbesserung der schnellen Kontraktionsfähigkeit durch Veränderungen vor allem im Rekrutierungsverhalten bedingt ist.

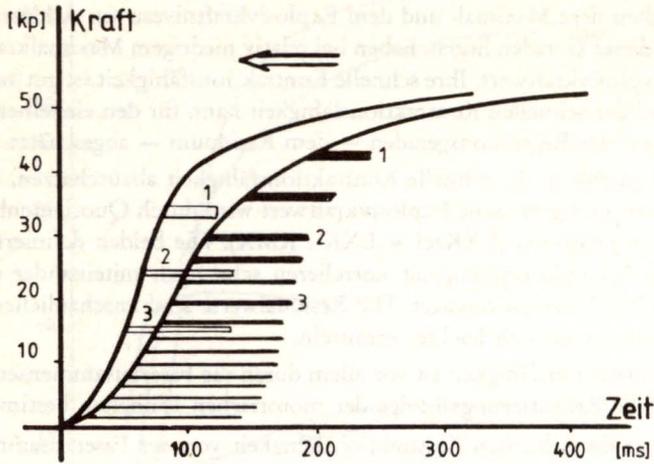


Abb. 6: Schematische Darstellung möglicher Veränderungen in der Rekrutierungsabfolge der motorischen Einheiten

Spezifische trainingsbedingte Veränderungen im Rekrutierungsverhalten lassen sich mit den zur Zeit verfügbaren Methoden empirisch nicht direkt nachweisen. Verbesserungen können dadurch bedingt sein, daß ein spezifisches Training die Rekrutierungs-Zeitpunkte noch enger zusammenschiebt, etwa so, wie dies in Abb. 6 skizziert ist.

Die Steuerung der Rekrutierung kann nur über die Innervation erfolgen. Es darf deshalb angenommen werden, daß sich eine verbesserte willkürliche Aktivierungsfähigkeit auch auf die Fähigkeit der schnellen Rekrutierung und der schnellen Kontraktion auswirkt. In der bereits oben genannten Längsschnittuntersuchung (zwölf Wochen) wurden die Auswirkungen von drei Trainingsmethoden überprüft (MAX: kurzzeitige maximale Krafteinsätze; SK: klassische Schnellkraftmethode; MW: erschöpfende Kontraktionsserien mit mittleren Belastungen; KON: Kontrollgruppe ohne Krafttraining; siehe hierzu auch BÜHRLE 1985a/b, 96, 106). Während sich die Maximalkraft bei allen drei Experimentalgruppen etwa um 20% verbesserte, waren die Auswirkungen auf den relativen Explosivkraftwert auffällig unterschiedlich und gegensätzlich. Nur bei den explosiv durchgeführten maximalen Krafteinsätzen, die sich auch als die wirkungsvollste Methode für die Verbesserung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit erwiesen hatten, kam es zu einer signifikanten Verbesserung des relativen Explosivkraftwertes. Die Schnellkraftmethode hatte keinen Einfluß auf den Kennwert der schnellen Kontraktionsfähigkeit, während erschöpfende Krafteinsätze zu einer signifikanten Verschlechterung (7,4%) führten.

Methode Gruppe	Kennwerte	A	E	D	%
MAX	KMXiso	44,95	53,25	8,30	19,6
	EXKrel	9,87	11,03	1,15	17,6
SK	KMXiso	45,15	52,87	7,72	17,1
	EXKrel	9,95	9,49	-0,46	0,9
MW	KMXiso	43,04	51,90	8,86	21,0
	EXKrel	10,23	9,06	-1,16	-7,4
KON	KMXiso	42,82	39,73	-3,09	-6,7
	EXKrel	11,59	10,10	-1,49	-11,7

Projekt Krafttrainingsmethoden

Trainingszeit: 12 Wochen

Abb. 7: Die Veränderung der relativen Explosivkraft durch unterschiedliche Trainingsmethoden (A: Werte vor dem Training; B: Werte nach dem Training; D: Differenz dieser Werte; Zahl der Probanden pro Gruppe: N = 15)

Die Schnellkraftfähigkeit und ihre Bestimmungsfaktoren lassen sich mit dem nachfolgenden Blockdiagramm veranschaulichen:

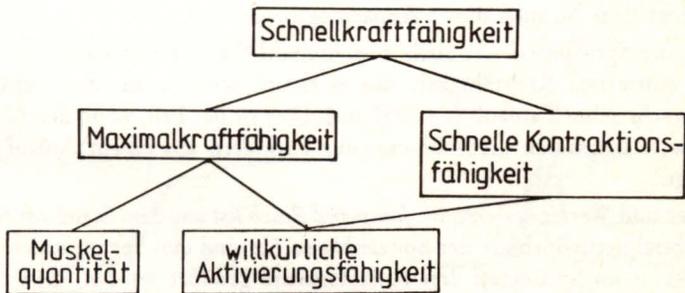


Abb. 8: Die dimensionale Struktur der Schnellkraftfähigkeit

### Die dimensionale Struktur der Reaktivkraft

Unter „Reaktivkraft“ wird das Vermögen verstanden, bei einem schnell ablaufenden Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus einer Muskelschlinge einen hohen Kraftstoß realisieren zu können. Typische reaktive Leistungsformen mit schnell ablaufendem Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus sind z. B. in der Leichtathletik der Sprint und die Sprungübungen.

Der charakteristische Ablauf einer reaktiven Bewegungsform lässt sich am besten beim Tief-Hoch-Sprung oder *Drop-Jump* darstellen. Bei dieser Sprungform „fällt“ der Übende von

einem Kasten auf die Absprunghöhe nieder und versucht anschließend, möglichst hoch zu springen. Beim Aufprall sind die Beinstrecker bereits innerviert und angespannt: Sie wirken wie Gummibänder. In der nachgebenden Beugebewegung werden sie gedehnt und bremsen den Körper ab (exzentrische Dehnungsphase). Die kinetische Energie des fallenden Körpers wird in Verformungsenergie des tendomuskulären Systems umgewandelt und kurzfristig gespeichert. In der anschließenden konzentrischen Phase erfolgt bei der Entdehnung wieder die Umwandlung in kinetische Energie. Damit ergibt sich ein zusätzlicher Kraftstoß für den jetzt in Gegenrichtung zu beschleunigenden Körper.

Die Reaktivkraft ist wie die azyklische Schnellkraftfähigkeit ein von mehreren Einflußfaktoren bestimmtes motorisches Vermögen. Wie die azyklischen Schnellkraftleistungen sind auch die reaktiven Kraftleistungen vor allem vom Maximalkraftniveau bestimmt (GOLLHOFER 1987). SCHMIDTBLEICHER u. a. (1987) interpretieren die reaktiven Bewegungsformen als einen relativ eigenständigen Kontraktionstyp. Diese Aussage führt zunächst nicht weiter und ist geeignet, die Annahme zu provozieren, die Reaktivkraft sei unabhängig von der Maximalkraft zu entwickeln. Für die Trainingssteuerung wird auch hier nur wieder ein dimensionsanalytischer Ansatz fruchtbar. Neben der Maximalkraft und der schnellen Kontraktionsfähigkeit muß eine weitere abgrenzbare dimensionale Fähigkeit als zusätzliche Einflußgröße der Reaktivkraft angenommen werden. Im Sinne exakter wissenschaftlicher Begriffsfestlegung ist diese Basisfähigkeit streng von der von mehreren dimensional Fähigkeiten bestimmten reaktiven Leistung zu unterscheiden.

In der Literatur wird einheitlich angenommen, daß es beim Training der reaktiven Bewegungsformen auch zu Adaptationen komme, die die mechanisch energetischen Umwandlungsprozesse im tendomuskulären System optimieren, also die Muskelelastizität erhöhen (BOSCO 1982; GOLLHOFER 1987; HÄKKINEN/KOMI 1985; NÖTH 1985; SCHMIDTBLEICHER/GOLLHOFER 1985). Die herauszufilternde spezifische Einflußgröße der Reaktivkraft (oder: ihr Niveau) entspricht dem Ausmaß dieser Anpassungsprozesse.

Erfahrungen der Sportpraxis wie auch wissenschaftliche Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die zu erörternde Kraftfähigkeit nur wirksam wird, wenn der Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus sehr schnell abläuft ( $t < 250$  ms). Dies ist der Fall, wenn der Absprung nicht aus einer relativ langsamen „Ausholbewegung“, sondern aus einem Anlauf oder Serien-sprung erfolgt.

Gewichtheber und Werfer erzielen im *Jump-and-Reach-Test* aus dem Stand oft bessere Ergebnisse als hochtrainierte Springer der Spitzenklasse. Sie sind den Sprungathleten aber sofort unterlegen, wenn im Sprungtest drei Anlaufschritte gewährt werden. Gewichtheber und Werfer sind in der Start- und Beschleunigungsphase bis etwa 30 Meter häufig schneller als Klasesprinter. Erst nach dieser Distanz können die Sprinter die Kraftathleten überlaufen! Der naive Laie nimmt das Gegenteil an und erwartet, daß die grazilen Sprinter vor allem in der Startphase ihre größere Beweglichkeit gegenüber den schwergewichtigen Kraftathleten ausspielen könnten.

Mit zunehmender Geschwindigkeit beim Sprint und Sprung nimmt die Kontaktzeit ab, und der Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus muß immer schneller ablaufen. Dem Kraftathleten fehlt jetzt die Zeit, um in der konzentrischen Abdruckphase seine hohe Maximalkraft entwickeln zu können.

In der nachfolgenden Auflistung sind die Stützzeiten einiger Sport- und Bewegungsformen beim Abdruck oder -sprung angegeben:

Countermovement-Jump (CMJ)	ca. 640 ms
Drop-Jump (DJ)	ca. 220 ms
Sprint (8. Schritt)	ca. 110 ms
Weitsprung	ca. 120 ms
Flop	ca. 170 ms.

Diese Daten zeigen, daß die Kontaktzeiten des Absprungs beim *Countermovement-Jump* einerseits und den restlichen Bewegungsformen andererseits in unterschiedlichen Größenordnungen liegen.

Bei Ausholbewegungen wird der nicht voraktivierte Muskel durch den Antagonisten gedehnt und erst in der anschließenden konzentrischen Phase maximal innerviert. Der Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus läuft relativ langsam ab, und es kommt zu keiner Reflexauslösung.

Formen reaktiver Kontraktion sind gegeben, wenn der Muskel bereits in der exzentrischen Phase voll aktiviert ist und die kinetische Energie des eigenen Körpers oder eines Geräts durch eine schnelle Dehnung des voraktivierten Muskels abgefangen und in Verformungsenergie umgewandelt wird. Der Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus läuft sehr schnell ab und löst eine intensive Reflexreaktion aus.

Ausholkontraktionen sind vor allem die Wurfformen; der Sprint, die Sprünge und der *Drop-Jump* sind reaktive Bewegungsformen! Der *Countermovement-Jump* ist eine Mischform, aufgrund seiner langsamen Ablaufzeit und der fehlenden Reflexauslösung jedoch den Ausholbewegungen zuzuordnen.

Diese Aussagen sind durch Untersuchungsergebnisse bestätigt. Bei allen bislang erfaßten Athleten und Sportstudenten ( $N > 100$ ) waren beim *Countermovement-Jump* im gemittelten EMG der Wadenmuskeln keine Reflexaktivitäten nachweisbar, während beim Sprint (ANTONI u. a. 1979) und beim *Drop-Jump* Reflexzacken durchgängig und auffällig hervortraten.

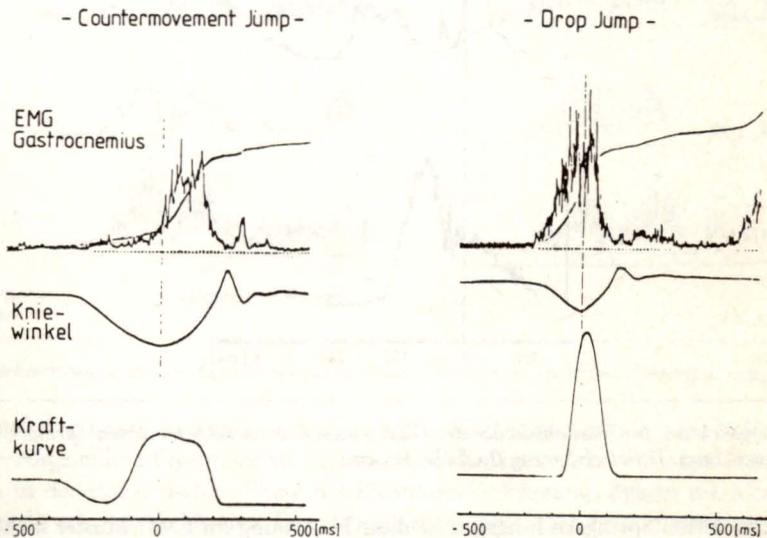


Abb 9: Vergleich der gemittelten Elektromyogramme des Gastrocnemius bei einem Tief-Hoch-Sprung und einem Sprung mit Ausholbewegung bei einem geübten Springer

Das völlig andere Innervationsmuster beim Tief-Hoch-Sprung (DJ) und beim Sprung mit Ausholbewegung (CMJ) ist an den Kennlinien in Abb. 9 zu erkennen. Die senkrechte gestrichelte Linie markiert den Zeitpunkt des kleinsten Kniewinkels. Die gemittelten Elektromyogramme zeigen, daß der Hauptanteil der Innervation beim *Drop-Jump* in der exzentrischen Phase, beim Sprung mit Ausholbewegung aber in der konzentrischen Phase liegt. Die deutliche Amplitudenerhöhung beim *Drop-Jump* resultiert aus dem Reflexbeitrag.

Von besonderem Interesse sind die Veränderungen des Innervationsmusters, die sich bei einem intensiven Sprungkrafttraining einstellen. Der Querschnittsvergleich der Elektromyogramme eines sprungetrainierten Athleten und einer Normalperson kann hier ersten Aufschluß geben (siehe Abb. 10).

Der Aufprall beim *Drop-Jump* wird vorbereitet, indem die Streckmuskeln der Beinkette schon vor dem Bodenkontakt stark vorinnerviert und damit angespannt werden. Bei nicht sprungetrainierten Versuchspersonen tritt in der EMG-Amplitude zum Zeitpunkt des Bodenkontaktes eine deutliche Reduzierung auf. Diese Innervationshemmung wird als Schutzmechanismus interpretiert, der verhindert, daß die Dehnung ruckartig in die maximale Muskelspannung hinein erfolgt. Durch diese kurzzeitige Hemmung wird der Spannungszustand des tendomuskulären Systems reduziert und die Rückstellkraft, mit der die Muskelschlinge der Dehnung entgegenwirkt, herabgesetzt. Der Organismus „schont“ die Muskulatur und läßt die Belastungsspitze in den Band- und Gelenkapparat durchschlagen. Die Elastizität des Systems ist damit stark herabgesetzt. Ein Teil der kinetischen Energie „verpufft“ und kann in der anschließenden konzentrischen Phase nicht mehr zur Wiederbeschleunigung eingesetzt werden.

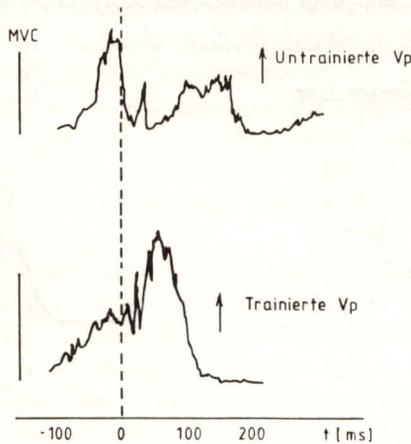


Abb. 10: Vergleich der Innervationsmuster des Gastrocnemius eines hochtrainierten Springers und eines Sportstudenten beim Tief-Hoch-Sprung (Fallhöhe 110 cm)

Bei hochtrainierten Springern hingegen ist diese Hemmung im EMG-Muster nicht erkennbar oder tritt erst bei großen Fallhöhen und nur in reduzierter Form auf. Das bedeutet, daß die Springer „gelernt“ haben, den Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus hochaktiviert und damit ohne Reduzierung der Rückstellkräfte im tendomuskulären System durchzustehen. Das Ver-

mögen, die Muskelspannung während eines Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus auch bei hohen Belastungsspitzen durchhalten zu können, ist durch eine Adaptation im Innervationsverhalten bestimmt und erkennbar. Während die Reflexkomponente beim Untrainierten gerade noch in der Hemmphase erkennbar bleibt, ist sie im EMG des Sprunggeübten in den willkürlichen Aktivierungsanstieg integriert. Diese Unterschiedlichkeit zeigt sich deutlich beim Vergleich der Versuchspersonen, die eindeutig einer der beiden Probandengruppen zugeordnet werden konnten.

Naheliegender stellt sich die Frage, ob die entsprechenden Adaptationen im Innervationsverhalten auch in einer Längsschnittuntersuchung nachgewiesen werden können. Im Rahmen einer Zulassungsarbeit (TEGMEIER 1987) trainierten neun in Sprungformen ungeübte Probanden vier Wochen lang in DJ-Serien ihre Beinstrecken (drei Trainingseinheiten pro Woche). Nach dieser Trainingsperiode waren die zu Beginn auffällig hervortretenden Hemmphasen im gemittelten Elektromyogramm bei allen untersuchten Fallhöhen (32, 40, 48 und 56 cm) stark reduziert oder verschwunden. In Abb. 11 sind die EMG-Aufzeichnungen eines Probanden vor und nach dem Training exemplarisch dargestellt (s. hierzu auch SCHMIDTBLEICHER u. a. 1987).

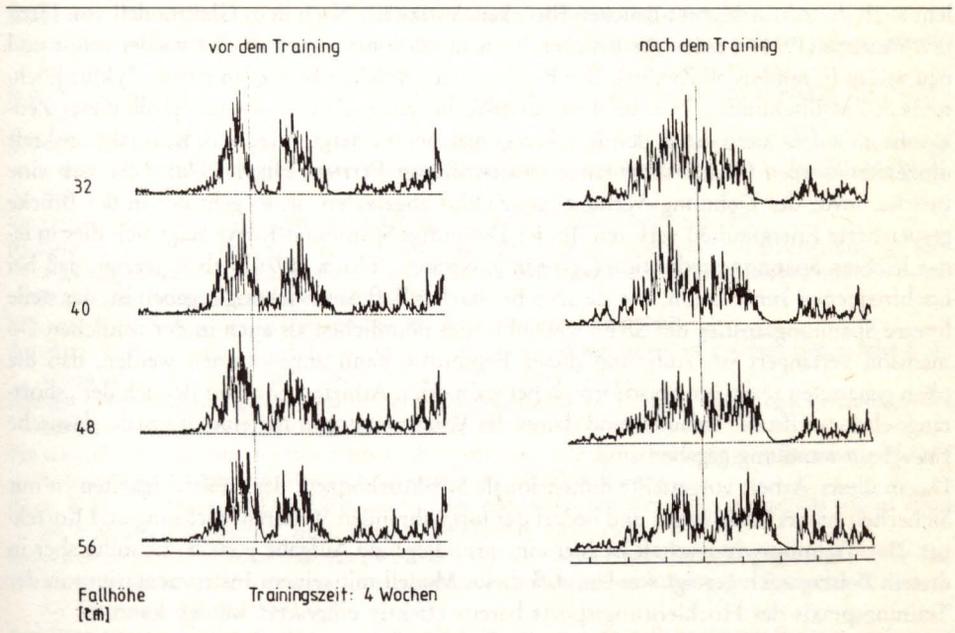


Abb. 11: Elektromyogramm des Gastrocnemius vor und nach einem reaktiven Sprungtraining

Die das reaktive Leistungsniveau zusätzlich mitbestimmende Kraftfähigkeit läßt sich aufgrund der vorgestellten Ergebnisse als Vermögen beschreiben, auch bei hohen Dehnungsbelastungen in der exzentrischen Phase des Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus die Muskelspannung aufrecht erhalten zu können. Diese abgrenzbare dimensionale Kraftfähigkeit kann daher als reaktive Spannungsfähigkeit bezeichnet werden.

Die dimensionale Struktur der Reaktivkraft läßt sich in nachfolgendem Schema veranschaulichen.

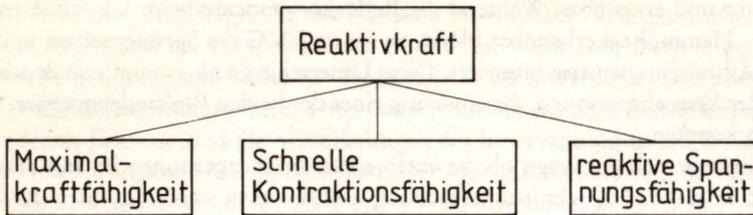


Abb. 12: Die dimensionale Struktur der Reaktivkraft

Über die das Konstrukt „reaktive Spannungsfähigkeit“ stützende Grundlagentheorie hat NOTH (1985) referiert. Sie kann im Rahmen dieser Arbeit nur kurz skizziert werden. Elastisch verformbare Strukturen des tendo-muskulären Systems sind neben der Sehne vor allem auch die Aktin-Myosin-Brücken (Brückenelastizität). Nach dem Gleitmodell von HUXLEY/SIMMONS (1971) werden die Brücken im Kontraktionsvorgang immer wieder gelöst und neu gefügt (Greif-Loslaß-Zyklus). Die Bindezeit der Brücken beträgt in einem Zyklus höchstens 200 Millisekunden. Nur bei Dehnungs-Verkürzungs-Zyklen, die innerhalb dieser Zeitspanne ablaufen, kann die in den Brücken gespeicherte Energie wieder in Kontraktionskraft umgesetzt werden (SRES: short-range-elastic-stiffness; FLITNEY/HIRST 1978). Löst sich eine Brücke, bevor der Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus abgelaufen ist, so geht der in der Brücke gespeicherte Energieanteil verloren. In der Dehnungs-Spannungs-Kurve zeigt sich dies in einer leichten Spannungsreduktion („give in“). NICHOLS/HOUK (1976) haben gezeigt, daß bei hochfrequenter Innervation, wie sie auch bei starker Reflexeinwirkung gegeben ist, der steile lineare Spannungsanstieg der SRES sowohl in der räumlichen als auch in der zeitlichen Dimension verlängert ist. Aufgrund dieser Ergebnisse kann angenommen werden, daß die oben genannten reaktiven Sportformen bei trainierten Athleten noch im Bereich der „short-range-elastic-stiffness“ ablaufen und damit die Voraussetzungen für eine optimale elastische Energieumwandlung gegeben sind.

Das in dieser Arbeit vorgestellte dimensionale Strukturkonzept der Kraftfähigkeiten ist mit Sicherheit nichts Endgültiges und bedarf der fortwährenden Weiterentwicklung und Korrektur. Der Trainingswissenschaft ist hier eine grundlegende Aufgabe gestellt. Es sollte aber in diesem Beitrag auch gezeigt werden, daß dieses Modell mit seinem Instrumentarium in der Trainingspraxis des Hochleistungssports bereits effektiv eingesetzt werden kann.

#### Literatur

- ANTONI, M./SCHMIDTBLEICHER, D./DIETZ, V.: Möglichkeiten der schnellen Innervationskorrektur beim Laufen durch den spinalen Dehnungsreflex. In: *Leistungssport* 9 (1979), 428—432.
- BOSCO, C.: Stretch-shortening cycle in skeletal muscle function. Jyväskylä 1982.
- BÜHRLE, M.: Muskeladaptation. Forschungsbericht an das Bundesinstitut für Sportwissenschaft. Freiburg 1988.
- BÜHRLE, M.: Computertomographie und Muskelbiopsie. In: LETZELTER, H./STEINMANN, W./FREITAG, W. (Hrsg.): *Angewandte Sportwissenschaft*. 7. Sportwissenschaftlicher Hochschultag — Kongreßbericht. Clausthal-Zellerfeld 1986, 75—89.

- BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schorndorf 1985a.
- BÜHRLE, M.: Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schorndorf 1985b, 82—111.
- BÜHRLE, M./SCHMIDTBLEICHER, D.: Komponenten der Maximal- und Schnellkraft — Versuch einer Neustrukturierung auf der Basis empirischer Ergebnisse. In: Sportwissenschaft 11 (1981), 11—27.
- DESMEDT, J. E.: The size principle of motoneuron recruitment in ballistic or ramp voluntary contractions in man. In: J. Neurophysiol. 9 (1981), 97—136.
- DESMEDT, J. E.: Fast motor units are not preferentially activated in rapid voluntary contractions in man. In: Nature 267 (1977), 717—719.
- FLITNEY, F./HIRST, D. G.: Cross-bridge detachment and sarcomere 'give' during stretch of active frog's muscle. In: J. Physiol. 276 (1978), 449—465.
- FREUND, H. J./BÜDINGEN, H. J.: The relationship between speed and amplitude of the fastest voluntary contractions of human arm muscles. In: Exp. Brain Res. (1978), 1—12.
- GOLLHOFER, A.: Komponenten der Schnellkraftleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Erlensee 1987.
- HÄKKINEN, K./KOMI, P.: Effect of explosive strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercises. In: Scand. J. Sports Sci. 7 (1985), 65—78.
- HENNEMAN, E./SOMJEN, G./CARPENTER, D. O.: Functional significance of cell size in spinal motoneurons. In: Journal of Neurophysiology 28 (1965), 560—580.
- HOLLMANN, W./HETTINGER, T.: Sportmedizin. Arbeits- und Trainingsmethoden. 1980.
- HUXLEY, A./SIMMONS, R. M.: Mechanical power properties of the cross-bridges of frog striated muscle. In: Physiol. Lond. 218 (1971), 59—60.
- IKAI, M./STEINHAUS, A. H.: Some factors modifying the expression of human strength. In: Journal appl. Physiology 16 (1961), 157—163.
- LARSSON, L./TESCH, P. A.: Motor unit fibre density in extremely hypertrophied skeletal muscles in man — Electrophysiological signs of muscle fibres hyperplasia. In: Eur. J. Appl. Physiol. 55 (1986), 130—136.
- LETZELTER, M.: Trainingsgrundlagen. Training—Technik—Taktik. Hamburg 1978.
- MASSALGIN, N. A./USCHAKOW, J. W.: Anwendbarkeit der Elektromyographie zur Beurteilung des Entwicklungsniveaus zentralnervaler Faktoren, die die Effektivität der Schnellkraftbewegungen beeinflussen. In: Medizin und Sport 19 (1979), 364.
- MÜLLER, K. J.: Statische und dynamische Muskelkraft. Frankfurt 1987.
- NICHOLS, T. R./HOUK, J. C.: Improvement in linearity and regulation of stiffness that results from action of stretch reflex. In: J. Neurophysiol. 39 (1976), 119—142.
- NOTH, J.: Neurophysiologische Aspekte der Muskelelastizität. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schorndorf 1985, 238—253.
- PENMAN, K. A.: Human striated muscle ultra-structural changes accompanying increased strength without hypertrophy. In: Research Quarterly 41 (1970), 418—424.
- RACK, P. M. H./WESTBURY, D. R.: The short range stiffness of active mammalian muscle and its effect on mechanical properties. In: J. Physiol. 240 (1974), 331—350.
- SCHMIDTBLEICHER, D./GOLLHOFER, A./FRICK, U.: Auswirkungen eines Tiefsprungtrainings auf die Leistungsfähigkeit und das Innervationsverhalten der Beinstreckmuskulatur. In: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 38 (1987), 389.
- SCHMIDTBLEICHER, D./GOLLHOFER, A.: Einflußgrößen des reaktiven Bewegungsverhaltens und deren Bedeutung für die Trainingspraxis. In: BÜHRLE, M. (Hrsg.): Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings. Schorndorf 1985, 271—281.
- SCHMIDTBLEICHER, D.: Maximalkraft und Bewegungsschnelligkeit. Bad Homburg 1980.
- TEGMEIER, J.: Reaktives Bewegungsverhalten vor und nach einem vierwöchigen Sprungkrafttraining. (Unveröffentlichte Wissenschaftliche Hausarbeit Freiburg 1987).
- THIESS, G./SCHNABEL, G.: Grundbegriffe des Trainings. Berlin 1986.