

## **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

### **Komponenten der Schnellkraftleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus**

**Gollhofer, Albert**

**Erlensee, 1987**

1.0 Motorische Grundeigenschaft "Kraft"

## 1.0 Motorische Grundeigenschaft "Kraft"

### 1.1 Komponenten der "Kraft"

Die Zahl der Untersuchungen, die sich mit der Wechselbeziehung zwischen neuronalen Prozessen und muskulärer Arbeitsweise beschäftigen, ist in den letzten Jahren sprunghaft angestiegen. Zentrales Anliegen aller Forschungsansätze stellt das Bestreben dar, die motorische Grundeigenschaft "Kraft" und ihre Erscheinungsformen besser verstehen und beschreiben zu können.

Die tradierte Auffassung in der Literatur der Sportwissenschaft orientiert sich an der Aufteilung der motorischen Grundeigenschaft "Kraft" in die Dimensionen oder gleichrangigen Komponenten Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer (Abb. 1/1). Als Komponenten des Kraftverhaltens sollen Fähigkeiten beschrieben werden, die sich spezifischen Anpassungsformen morphologischer und funktioneller Art zuordnen lassen und unabhängig voneinander durch bestimmte Trainingsmethoden entwickelt werden können (BÜHRLE 1985).



Abb. 1/1: Einteilung der motorischen Grundeigenschaft "Kraft" (nach WEINECK 1980)

In zahlreichen Lehrbüchern wird die Maximalkraft weiter in die dynamische und die isometrische Maximalkraft unterteilt, wohingegen der Begriff der Schnellkraft lediglich bei der Beschreibung von dynamischer Arbeitsweise benützt wird. Da nach dieser Aufgliederung alle drei Komponenten relativ unabhängig voneinander sind, ergab sich als trainingspraktische Konsequenz, daß jede Komponente auch separat mit ihr eigenen Trainingsmethoden trainiert werden muß.

Seit den Untersuchungsergebnissen von SCHMIDTBLEICHER (1980), BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER (1981) und BÜHRLE et al. (1983) scheint die Anordnung von Maximal- und Schnellkraft auf der gleichen hierarchischen Ebene problematisch zu sein. Die Autoren wiesen durch zahlreiche Untersuchungen unter anderem faktorenanalytisch nach, daß die Maximalkraft als die wichtigste Basiskomponente der Schnellkraft zu betrachten ist.

Von einem anderen Ansatz ausgehend unterscheiden LETZELTER (1978) und LETZELTER (1983) die Schnellkraft nach: Stoßkraft, Wurfkraft, Sprintkraft, Sprungkraft etc. Diese Einteilung erscheint zunächst unter sportartspezifischen Gesichtspunkten sinnvoll zu sein, da damit die Kraft nach ihren in den einzelnen Disziplinen auftretenden Erscheinungsformen unterteilt wird. Allerdings ist eine solche Einteilung insofern problematisch, da unter diesen Beurteilungskriterien nicht nach konditionellen und koordinativen Einflußgrößen differenziert wird. Gerade die unzureichende Betrachtung koordinativer Aspekte und deren Kontrolle kann zu Fehlinterpretationen hinsichtlich der biologischen Grundlagen des Kraftverhaltens führen.

Folgt man dem Ansatz von BÜHRLE und SCHMIDTBLEICHER, so muß die Dimensionierung der motorischen Grundeigenschaft "Kraft" unter Beachtung

von physikalischen und physiologischen Grundvoraussetzungen vorgenommen werden. "Dieses Vorgehen hat den Vorteil, an der Stelle anzusetzen, an der physikalische und physiologische Anforderungen auf dem kleinsten gemeinsamen Nenner diskutiert werden können." (SCHMIDTBLEICHER 1984b, S.1785).

HOLLMANN/HETTINGER (1980) definieren die Schnellkraft als das Vermögen, eine möglichst große Kraftentwicklung pro Zeiteinheit zu erreichen und orientieren sich damit an physikalischen Begriffsdefinitionen. Da es sich bei der Beurteilung von "Kraftleistungen" im Sport stets um eine Interaktion zwischen dem Sportler und einem äußeren Widerstand (eigener Körper, Sportgerät etc.) handelt, resultiert jede meßbare physikalische Kraft aus dem individuellen Vermögen der motorischen Leistungsfähigkeit und unterliegt damit den morphologisch-physiologischen und neurophysiologischen Einflußgrößen des biologischen Systems.

Als Bewegungsformen zur Erfassung des Schnellkraftvermögens müssen folgende Kontraktionsformen betrachtet werden:

- konzentrisch (dynamisch-überwindend)
- isometrisch (statisch)
- exzentrisch (dynamisch-nachgebend)
- Kombination exzentrisch/konzentrisch.

Der Terminus "Kontraktionsform" bezeichnet allgemein eine Arbeitsweise des Muskels, in der neuromuskuläre und metabolische Prozesse in makroskopisch meßbare physikalische Kenngrößen umgesetzt werden.

- Die konzentrische Kontraktion ist durch das aktive Überwinden eines äußeren Widerstandes gekennzeichnet, wobei sich Ansatz und Ursprung des Muskels während der Kontraktion annähern. Die Last des äußeren

Widerstandes bestimmt dabei die Geschwindigkeit, mit der diese Verkürzung erfolgt. Der Zusammenhang zwischen der zu überwindenden Last (P) und der maximalen Verkürzungsgeschwindigkeit (v) kann durch die hyperbolische Funktion der HILL'schen Gleichung beschrieben werden: Je höher die zu überwindende Last ist, desto geringer ist die maximale Verkürzungsgeschwindigkeit des Muskels.

Ein Grenzfall wird erreicht, wenn die zu überwindende Last, d.h. der äußere Widerstand so groß wird, daß keine dynamisch überwindende Arbeit verrichtet werden kann.

- Diese isometrische Situation ist durch ihren statischen Charakter gekennzeichnet, d. h. bei isometrischer Kontraktion bleibt die Länge zwischen Ansatz und Ursprung des Muskels während der Kontraktion konstant. Im Gegensatz zu physikalischen Systemen, in denen unter isometrischen Bedingungen keine Arbeit verrichtet wird, wird im physiologischen System zur Spannungserhaltung Energie verbraucht.

- Die exzentrische Arbeitsweise ist durch "die Dehnung eines kontrahierten Muskels durch eine an ihm angreifende Kraft" (MELLEROWICZ/MELLER 1972) charakterisiert, wobei sich Ansatz und Ursprung des Muskels während der Kontraktion voneinander entfernen. Nach KOMI (1975), HOLLMANN/HETTINGER (1980) und BÜHRLE/SCHMIDTBLEICHER (1981) wird die maximale exzentrische Kraft dann erzeugt, wenn ein maximal isometrisch kontrahierter Muskel entgegen seiner Arbeitsrichtung gedehnt wird. Die hierbei erreichten Kraftwerte liegen je nach untersuchter Muskulatur bzw. Muskelgruppe um 5 - 50 % höher als bei isometrischen Bedingungen (DOSS/KARPOVICH 1965; HABERKORN-BUTENDEICH/KLAUCK 1974). Wie durch maximale Elektrostimulation gezeigt wurde (SCHMIDTBLEICHER et al. 1978), schätzt die exzentrische Maximal-

kraft das absolute Kraftpotential der momentan vorhandenen Muskelmasse ab. Die Differenz zwischen dem isometrischen und dem exzentrischen Maximalkraftwert bezeichnen BÖHRLE/SCHMIDTBLEICHER (1981) nach MASSALGIN/USHAKOW (1979) als Kraftdefizit. Dieser Parameter scheint eine Abhängigkeit vom Trainingszustand aufzuweisen. Trainierte Athleten besitzen Defizitwerte an der Armstreckmuskulatur von 5 - 10%, untrainierte Vpn dagegen von 20 - 40%. Die Autoren interpretieren diese Differenzen mit der Fähigkeit von trainierten Athleten, ihr vorhandenes Kraftpotential tiefer ausschöpfen zu können.

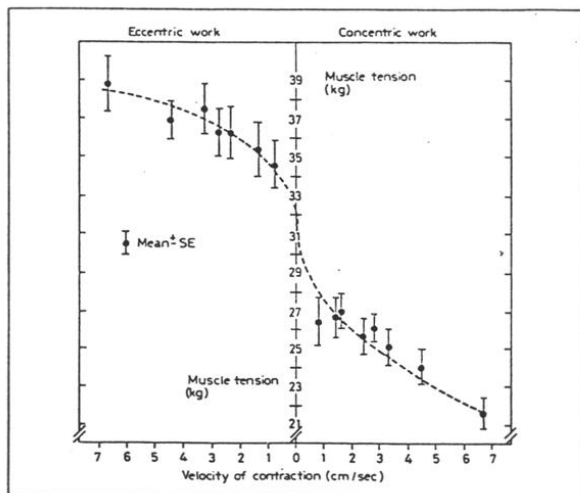


Abb. 1/2: Mittelwerte (und Standardfehler) von 16 Vpn bei maximaler exzentrischer, isometrischer und konzentrischer Kontraktion gegen einen Dynamometer bei verschiedenen konstanten Arbeitsgeschwindigkeiten. Die Verkürzungsgeschwindigkeiten sind auf die Längenänderungen am *M. biceps br.* bezogen. (näheres siehe: KOMI 1973)

In Abb. 1/2 sind die bisher vorgestellten Kontraktionsformen und ihre Zuordnung auf die jeweils auftretenden Belastungsbereiche zusammenge-

faßt. Bei natürlichen Bewegungen - Gehen, Laufen, Springen - treten diese Kontraktionsformen meist nicht in isolierter Form auf, sondern konzentrische und exzentrische Kontraktionen wechseln sich vorwiegend in rhythmischer Reihenfolge ab. "Gerade die Kombination von exzentrischer und konzentrischer Kontraktion stellt die natürliche muskuläre Arbeitsweise dar und wird als Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus definiert" (KOMI 1985, S. 255).

### 1.2. Das Kontraktionsverhalten im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus

Beim Absprung zum Hoch- und Weitsprung, bei Sprüngen im Bereich des Kunstturnens, ebenso bei allen Lauf- und Sprintbewegungen, sowie bei einer Vielzahl weiterer sportmotorischer Bewegungsfertigkeiten spielt die reaktive Bewegungsfähigkeit eine entscheidende Rolle.

Unter reaktivem Bewegungsverhalten wird die Fähigkeit des Organismus verstanden, aus einer abbremsenden (exzentrischen) Bewegung heraus in kürzester Zeit einen möglichst hohen konzentrischen Kraftstoß realisieren zu können (SCHMIDTBLEICHER/GOLLHOFER 1985).

Unter Zugrundelegung dieser Definition kann das Kontraktionsverhalten im DVZ als generelle Grundform aller reaktiven Bewegungsleistungen angesehen werden.

Nach Ansicht einer Reihe von Autoren (CAVAGNA et al. 1964, 1971; BOSCO et al. 1981, 1982a,b; KOMI 1983, 1984; SCHMIDTBLEICHER/GOLLHOFER 1982, 1985) liegt das Besondere der reaktiven Bewegungsleistung in der Bedeutung der leistungspotenzierenden Effekte, die durch den DVZ hervorgerufen werden können. Die Hauptursache dieser Leistungspotenzierung sieht ein Teil der Autoren im elastischen Verhalten des

Sehnen-Muskel-Apparates. Dabei wird angenommen, daß während der exzentrischen Phase Bewegungsenergie in den elastischen Strukturen des tendomuskulären Systems gespeichert und in der anschließenden konzentrischen Phase wieder freigesetzt werden kann.

Die Interpretation dieses Phänomens kann durch ein physikalisch-mechanistisch orientiertes Modell nicht ausreichend vorgenommen werden.

Die Erforschung der physiologischen Grundlagen über die Leistungspotenzierung im DVZ wird von zwei Betrachtungsebenen aus betrieben:

Einerseits wird die Entwicklung eines allgemeinen Konzeptes über die Leistungssteigerung im DVZ bei maximalen Kräfteinsätzen vorangetrieben, andererseits wird an der Klärung der Frage nach den Ursachen des - bei gleicher mechanischer Leistung - ökonomischeren Energieverbrauchs bei Kontraktionen im DVZ gearbeitet.

Ausgangspunkt vieler Arbeiten liefern die Beobachtungen von CAVAGNA et al. (1964), die beim Laufen auf dem Laufband mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten feststellten, daß ein Ungleichgewicht in der erwarteten mechanischen Effizienz zwischen der totalen Arbeit einerseits und dem Gesamtenergieverbrauch (O<sub>2</sub>-Verbrauch) andererseits besteht.

(Im folgenden wird immer wieder auf die Angabe von Effizienzwerten eingegangen. Die in der Literatur vorgestellten Effizienzkoeffizienten beziehen sich auf die Angabe von Prozentwerten, in denen die mechanisch aufgebrachte Leistung während eines bestimmten Zeitraumes (entspricht mechanischer Arbeit) in Bezug zur metabolischen Arbeit (meist zum benötigten O<sub>2</sub> - Verbrauch) gesetzt wird (WINTER 1984)).

In weiteren Untersuchungsserien fanden sie zunächst anhand von Dehnungs-Entdehnungs-Experimenten am isolierten Froschmuskel (CAVAGNA et al. 1965), später auch an den Oberarmflexoren des Menschen (CAVAGNA et al. 1968), daß ein Teil der vom Muskel geleisteten Arbeit, die als



elastische Energie gespeichert wurde, während der Verkürzungsphase (Entdehnung) wieder freigesetzt wird und daß das Energiepotential des Muskels besonders in den kontraktilen Komponenten nach der Dehnung vergrößert erscheint.

Auf diese Beobachtungen gestützt, versuchte CAVAGNA (1970), dem Organismus beim einbeinigen und beidbeinigen Hüpfen auf der Stelle physikalische Viskositäts- und Elastizitätskennwerte zuzuordnen. Seine Ergebnisse waren jedoch weder in physiologischer noch in physikalischer Hinsicht wegen des komplizierten, zu diesem Zeitpunkt unzureichend bekannten, Dehnungs-Entdehnungs-Verhaltens tendomuskulärer Systeme überzeugend.

THYS et al. (1972, 1975) griffen dieses experimentelle Design auf und berechneten unter zusätzlicher Verwendung ergometrischer Untersuchungsmethoden die Effizienzwerte bei Sprüngen mit und ohne integrierter Ausholbewegung. Sie stellten eine durchschnittliche Steigerung der Effizienz von 37 % bei Sprüngen mit Ausholbewegung gegenüber Sprüngen ohne integrierter Ausholbewegung fest und diskutierten ihre Ergebnisse unter dem Aspekt eines möglichen elastischen Speicherpotentials in der Arbeitsmuskulatur.

Diese Untersuchungsergebnisse bildeten die Basis einer Reihe von Untersuchungen der Arbeitsgruppe um KOMI. Sie beobachteten an den Beinextensoren bei isolierter exzentrischer Kontraktion mechanische Effizienzwerte bei identischer mechanischer Leistung, die deutlich über denjenigen bei konzentrischer Kontraktion lagen (Abb.1/3). Durch Integrationsverfahren des von den Beinextensoren abgeleiteten Oberflächenmyogramms konnte dieser Zusammenhang bei Sprungformen mit unterschiedlicher Bewegungsamplitude im Knie- und Fußgelenk be-

stätigt werden.

Auf der Basis dieser Untersuchungsergebnisse leitete KOMI (1984) ab, daß im Hinblick auf den mechanischen Wirkungsgrad die exzentrische Kontraktion der konzentrischen überlegen ist. Unter energetischen Gesichtspunkten könnte aber auch die Schlußfolgerung gezogen werden, daß dieselbe mechanische Leistung in der exzentrischen Phase mit sehr viel weniger neuronaler Aktivierung realisiert wird als in der konzentrischen Kontraktion. Allerdings muß bei dieser Interpretation beachtet werden, daß das integrierte Oberflächen-EMG keine Rückschlüsse auf die Qualität des neuronalen Einstromes zuläßt und somit die in Abbildung 1/3 dargestellten Diagramme nur als INPUT-OUTPUT-Relationen zu verstehen sind. Als Input wird hier der gesamte neuronale Einstrom an die Arbeitsmuskulatur bezeichnet, während der Output das damit realisierte Kraftvolumen definiert.

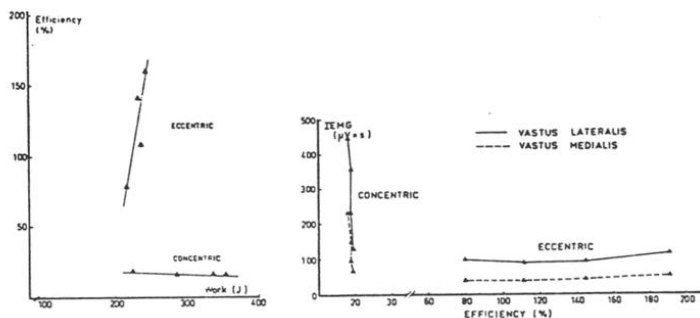


Abb. 1/3: Mechanischer Wirkungsgrad (Effizienz) reiner exzentrischer bzw. konzentrischer Arbeitsweise bei verschiedenen mechanischen Arbeitsstufen bei der Bein Streckung (links). Verhältnis aus integrierter EMG-Aktivität der Beinextensoren und mechanischer Wirkungsgrad bei konzentrischer und exzentrischer Arbeitsweise (Bein Streckung) (rechts). Die Daten im linken und rechten Teil der Abbildung stammen von derselben Versuchsperson (Aus: KOMI 1985)

Im DVZ sind die Phasen exzentrischer und konzentrischer Arbeitsweise nicht separat interpretierbar. Diese Kontraktionsformen müssen hierbei als eine Einheit betrachtet werden, da die "exzentrische Kontraktion Einfluß auf die folgende konzentrische Phase hat, indem sie entweder die Arbeit und die Leistung bei maximaler Anstrengung erhöht (CAVAGNA et al. 1968; KOMI/BOSCO 1978) oder indem die Aktivierung im EMG abfällt, während hohe Spannung unter submaximalen Bedingungen gehalten wird (BOSCO 1982)" (KOMI 1985, S.263).

Die Messung der Leistungsfähigkeit im DVZ führten die Autoren in Anlehnung an die von ASMUSSEN/BONDE-PETERSON (1974) vorgestellte Sprungserie durch. Die Elemente dieser Sprungserie sind:

1. Der Squat Jump: Der Squat Jump (SJ) kann als "Kauersprung" bezeichnet werden. Die Versuchsperson führt hierbei ohne einleitende Ausholbewegung aus einer Kniewinkelposition von  $90^\circ$  einen maximalen Streck-sprung aus.

2. Der Countermovement Jump: Beim Countermovement Jump (CMJ), oder Sprung mit einleitender Gegenbewegung (countermovement), wird aus der aufrechten Standposition (Kniewinkel  $180^\circ$ ) mit einer vorbereitenden schnellen Ausholphase (Kniewinkel  $90^\circ$ ) ein maximaler Vertikalsprung realisiert. Diese Sprungform kommt dem in der Sportpraxis bekannten Jump & Reach sehr nahe.

3. Der Drop Jump: Beim Drop Jump (DJ) wird aus erhöhter Position (Absprunghöhe) ohne Verzögerung beim Bodenkontakt ein maximaler Vertikalsprung durchgeführt; er wird in der deutschsprachigen Literatur als "Tiefsprung" bezeichnet. Die Absprunghöhe, bzw. Niedersprunghöhe, stellt die Belastungsgröße dar, die zur Amortisation kinetischer Energie für die Beinextensoren während der exzentrischen Bewegung benötigt

wird. Dabei soll der Tiefsprung so ausgeführt werden, daß ein reaktives Bewegungsverhalten realisiert wird. Das bedeutet, daß während des Bodenkontaktes der Zeitraum zwischen der exzentrischen und der konzentrischen Phase minimal sein sollte.

In allen drei Versuchsbedingungen dient die erreichte Sprunghöhe nach erfolgtem Bodenkontakt als Parameter zur Beschreibung des absoluten Leistungspotentials im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. BOSCO (1982) schlug vor, daß die Leistungspotenzierung im DVZ durch den Differenzwert zwischen Sprüngen mit Muskelvordehnung (CMJ) und Sprüngen ohne Vordehnung (SJ) abgeschätzt werden kann. Dieser, im folgenden der Arbeit als 'absolute Sprungdifferenz' bezeichnete Parameter, soll die absolute Leistungssteigerung durch die Kontraktionen im DVZ erfassen. Übereinstimmende Ergebnisse aus der Literatur deuten darauf hin, daß die erzielte Sprunghöhe bei den Versuchsbedingungen, in denen im DVZ gearbeitet werden mußte, signifikant größer ist als bei den Bedingungen, in denen die Muskelvordehnung durch die vorausgehende exzentrische Kontraktion eliminiert war.

Dabei stützen sich diese Erklärungsmodelle in der Literatur einerseits auf die elastischen Eigenschaften des kontraktiven Apparates bei Dehnungs-Entdehnungs-Vorgängen (FLITNEY/HIRST 1978 a,b), schließen jedoch auf der anderen Seite eine Leistungspotenzierung durch zusätzliche neuronale Einflüsse nicht aus.