

S. Glück, M. Schwarz\*, U. Hoffmann, G. Wydra

## Bewegungsreichweite, Zugkraft und Muskelaktivität bei eigen- bzw. fremdregulierter Dehnung

*Range of motion, traction force and muscle activity in self- and external-regulated stretching*

Sportwiss. Institut der Universität des Saarlandes, Arbeitsbereich Gesundheitspädagogik/Sportpädagogik

\* zusätzlich Mitarbeiter am Institut für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes

### Zusammenfassung

Bei der Durchführung von Dehnübungen herrschten bisher einerseits terminologische Unklarheiten im Hinblick auf die Definition des aktiven und passiven Dehnens, andererseits wurden handlungstheoretische Überlegungen vernachlässigt. Deshalb soll an dieser Stelle ein Vorschlag zur Neustrukturierung gemacht werden. Weiterhin soll überprüft werden, ob Unterschiede zwischen drei Durchführungsformen (direkte und indirekte Eigendehnung und indirekte Fremddehnung) bestehen. Erfasst werden die Parameter maximale Bewegungsreichweite ( $BR_{max}$ ), Zugkraft (ZK) bei konstantem Winkel der jeweils ersten  $BR_{max}$ , maximal tolerierte Zugkraft ( $ZK_{max}$ ) und Muskelaktivität des M. biceps femoris ( $\%iEMG_{biz}$ ).

27 Sportstudenten [(m=16, w=11);  $25\pm 2$  Jahre;  $68\pm 10$  kg;  $176\pm 8$  cm] wurden zufällig in drei Gruppen eingeteilt und absolvierten drei standardisierte Testformen in randomisierter Reihenfolge. Test 1: Direkte Eigendehnung (DE) durch selbstständiges Dehnen über einen Seilzug, Test 2: Indirekte Eigendehnung (IE) durch selbstständiges Bedienen eines Motors und Test 3: Indirekte Fremddehnung (IF) durch den Testleiter.

$BR_{max}$  lag im Mittel bei direkter Eigendehnung 5% und damit hochsignifikant höher als bei indirekter Eigen- und Fremddehnung ( $p\leq 0,001$ ). Zwischen den anderen Parametern bestand kein signifikanter Unterschied. Bei direkter Eigendehnung wurden signifikant höhere  $BR_{max}$  als bei den indirekten Verfahren gemessen.

Aus Sicht der sensomotorischen Handlungsregulation erscheint die direkte Eigendehnung aufgrund der hier erhobenen Daten als vorteilhafter. Die neue Einteilung ist für die Anwendung in der Praxis klarer und praktikabler. Terminologische Unschärfen hinsichtlich der begrifflichen Abgrenzung werden hier vermieden.

**Schlüsselwörter:** Eigendehnung, Fremddehnung, Beweglichkeitstraining, Dehnmethoden

### Einleitung

In der Literatur werden zur Verbesserung der Beweglichkeit aktive und passive Dehnungsübungen beschrieben. Unter sportpraktischen Gesichtspunkten werden passiven Durchführungsformen meist eine intensivere Wirkung (5) und ein größeres Bewegungsausmaß (21) zugeschrieben. Literaturvergleiche hierzu machen deutlich, dass die Begriffe aktiv und passiv sowohl theoretisch als auch was die Durch-

### Summary

Ambiguities in terminology have existed in the execution of stretching exercises regarding the definition of active and passive stretching on the one hand, while on the other, action-theoretical considerations were neglected. Therefore, a suggestion is made for restructuring. Additionally, a check will be made whether there are differences between three stretching concepts (direct and indirect self-stretching and indirect external-stretching). The parameters utmost range of motion ( $BR_{max}$ ), traction force at constant angle (ZK), greatest tolerated traction force ( $ZK_{max}$ ) and muscle activity of the M. biceps femoris ( $\%iEMG_{biz}$ ) are recorded.

27 sport students (m=26, f=11);  $25\pm 2$  years;  $68\pm 10$  kg,  $176\pm 9$  cm) were randomly divided into three groups and completed three standardized test types each. Test 1: Direct self-stretching (DE) by independent stretching using a rope; Test 2: indirect self-stretching (IE) in which the test person controlled a motor and Test 3: indirect external-stretching (IF), in which the examiner operated the motor. On average,  $BR_{max}$  was 5% higher in DE than in IE or IF. There were no significant differences between the other parameters. In DE,  $BR_{max}$  was highly-significantly higher than in the indirect procedures.

From a sensomotor action regulation point of view, direct self-stretching appears more favorable on the basis of the data recorded. The new structure is clearer and easier in practical applications. Ambiguities in terminology are avoided.

**Key words:** Self-stretching, external-stretching, flexibility-training, stretching-methods

führung der damit assoziierten Dehnübungen angeht, unterschiedlich definiert werden (vgl. Tab. 1). Bereits Anfang der 70er Jahre wurde Kritik deutlich am Gebrauch der Begriffe aktive bzw. passive Muskeldehnung (8). Dem passiven Dehnen, etwa durch Partnerhilfe, wurde eine aktive Komponente zugesprochen, nämlich die Entspannungsfähigkeit der Antagonisten (8). Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, dass die Begriffe aktiv und passiv unterschiedlich verstanden werden. Einerseits wird die aktive Dehnung auf die Aktivität der an-

Tabelle 1: Angaben verschiedener Autoren zu aktivem und passivem Dehnen

Quelle	Aktives Dehnen	Passives Dehnen
Beigel/Gruner/Gehrke (1993)	„Beim aktiven Dehnen wird durch dosierten und kontrollierten Einsatz der eigenen Muskulatur der Muskel gestreckt.“	„Beim passiven Dehnen wird die endgültige Dehnstellung nicht nur mit Hilfe der entsprechenden Muskulatur erreicht, sondern auch durch den Einsatz von Kräften, die von außen einwirken.“
Bös/Wydra/Karisch (1992)	„Bewegungsausführung ohne Helfer“.	„Bewegungsausführung mit Helfer“.
Hartley-O'Brien (1980)	„Active stretching is an unassisted movement that requires voluntary muscle contraction to move the joint to its maximal range.“	„Passive stretching refers to assisted movement occurring in a relaxed state; the assistance can be an external force such as gravity, body momentum, or manual assistance.“
Kornblum (1994)	„Ziehen die Beinstrecker also das Bein bis zu dem Punkt, den die Beuger mit ihrer Beweglichkeit zulassen, wäre das eine Form der aktiven Dehnung, die durch die Aktivität der Antagonisten ermöglicht wird.“	„Eine passive Dehnung wäre das Anheben des Beines durch eine andere Person oder aber auch die Dehnung des entspannten Beines ..., hier wirkt das Gewicht unseres Körpers, nicht die Muskelkraft des Gegenspielers.“
Maehl (1986).	„Selbständig, ohne Ausnutzung der Schwerkraft oder der Hilfe eines Partners, allein durch die Tätigkeit seiner Muskeln erreichte Beweglichkeit.“	„Sie wird durch die Einwirkung äußerer Kräfte erreicht und ist durch die Untätigkeit der unmittelbaren Antagonisten gekennzeichnet.“
Markmann (1998)	„Der zu dehnende Muskel wird durch Kontraktion seiner Gegenspieler (Antagonisten) aktiv in eine Dehnstellung gebracht und mit eigener Kraft gehalten. B.: Auf dem Rücken liegen, das Bein zur Brust heben und in der maximal möglichen Dehnstellung halten.“	„Die Bewegungen werden unter Einfluss von äußeren Kräften durchgeführt. B.: Auf dem Rücken liegen und mit einem Seil das Bein zur Brust ziehen, die Dehnungsspannung lösen und erneut ziehen (intermittierend).“
Schnabel/Harre/Borde (1994)	„Sie ist die Amplitude, die in einem Gelenk...durch die Aktivität der für die betreffende Bewegung oder Haltung relevanten Muskeln erreichbar ist.“	„Die durch die Einwirkung äußerer Kräfte erreichte Amplitude, wobei sie auch dann erreicht werden kann, wenn die Gelenkendstellung mit Hilfe von Muskelkräften anderer Körperregionen eingenommen wird.“
Schwab (1993)		„Beim passiv-statischen, permanenten Dehnen ... werden die Dehnübungen über einen bestimmten Zeitraum (10-30 Sek.) gehalten; je nach Art der Krafteinwirkung geschieht dies als aktives statisches Dehnen: Eine Dehnung der Agonisten wird aktiv durch die kontrahierenden antagonistischen Muskeln erreicht.“
Spachtholz (1996)	„Hierbei wird zunächst weich bis zur Endposition gedehnt. Danach wird maximal zehn Sekunden hart angespannt. Daraufhin entspannt sich die Muskulatur für einige Sekunden. Nach Ablauf dieser Zeit wird weich weitergedehnt und die Endposition noch mindestens zehn Sekunden lang gehalten.“	„Hierbei wird sanft bis zur Endposition gedehnt und diese Position gehalten, ca. 30 Sekunden lang. Schmerzen, unangenehme Empfindungen dürfen dabei nicht auftreten.“
Spring/Urs/Kunz/Röthlin/Schneider/Tritschler (1986)	„Nehmen Sie die abgebildete Dehnstellung ein. Spannen sie langsam den Gegenspieler (Antagonisten) an, die Dehnung wird dadurch aktiv verstärkt. ... Halten sie die erreichte Stellung für 10 - 20 Sekunden.“	„Nehmen Sie die abgebildete Dehnstellung ein. Ändern sie langsam die Position in Richtung der Pfeile, die Dehnung wird dadurch verstärkt. ... Halten sie diese Stellung 15-30 Sekunden.“
Wydra (1996)	„Bewegungsausführung ohne Helfer.“	„Bewegungsausführung mit Helfer.“

einen Partner oder eine Maschine ist lediglich eine indirekte Möglichkeit der Korrektur von Umfang, Intensität und Dauer einer Dehnung gegeben (32). Die Eigen- bzw. Fremddehnung wird dementsprechend nach dem Grad der möglichen sensorischen Handlungsregulation in indirekte und direkte Formen untergliedert (vgl. Abb. 1). In einer weiteren Untergliederung des Modells wird die Methode der Dehnung beschrieben. Zur Durchführung der direkten Eigendehnung kommen entweder die agonistische Muskulatur, sonstige Muskeln oder das Eigengewicht zum Einsatz. Eine indirekte Eigendehnung ist nur durch den Einsatz einer Maschine möglich. Eine indirekte Fremddehnung kann entweder durch eine Maschine oder einen Partner realisiert werden. Durch diese theoriegeleitete Differenzierung soll zukünftig eine eindeutige Unterscheidung von Dehnübungen möglich werden.

agonistischen Muskulatur beschränkt (21), andererseits wird bei der passiven Dehnung die Aktivität sonstiger Muskelgruppen nicht ausgeschlossen (13,17). Weiterhin wird bei der aktiven Dehnung die gesamte Muskulatur des Körpers mit einbezogen (2) und passives Dehnen wird durch den zusätzlichen Einsatz äußerer Kräfte definiert. Dabei werden jedoch die äußeren Kräfte von den verschiedenen Autoren unterschiedlich präzisiert (2,9, 3,17).

Im Folgenden werden deshalb die Begriffe Eigen- und Fremddehnung verwendet (31; vgl. Abb. 1). Hierbei wird das Handeln des Sportlers in den Vordergrund gestellt (20). Prinzipiell wird differenziert, ob ein Sportler sich selbst dehnt (Eigendehnung), oder ob er gedehnt wird (Fremddehnung). Der Eigendehnung wird der Vorteil zugeschrieben, dass man über kinästhetische Rückmeldungen aus der gedehnten und der zur Dehnung eingesetzten Muskulatur die direkte und uneingeschränkte Möglichkeit der sensorisch-motorischen Handlungsregulation hat (32). Bei der Fremddehnung durch

In der Stretchingforschung wird einerseits unterschieden, wie lange die Dehnbehandlung durchgeführt wird, und andererseits über welche Zeiträume sich die Effekte der Dehn-

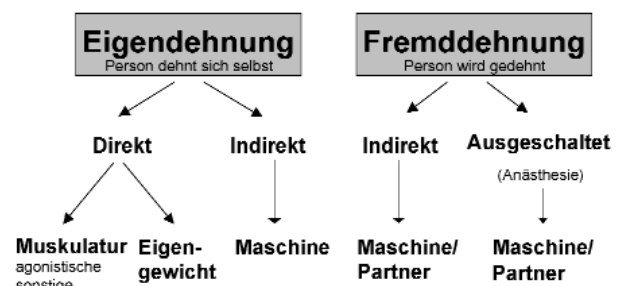


Abbildung 1: Differenzierung der verschiedenen Formen der Muskeldehnung (mod. nach Wydra/Glück/Roemer 2000)

maßnahmen erstrecken: kurz-, mittel- oder langfristig (31). Hinsichtlich des Zeitraumes einer Muskeldehnung wird differenziert, ob singuläre, kurzzeitige oder langzeitige Dehnbehandlungen durchgeführt werden (28).

Ziel dieser Studie ist es zu überprüfen, ob es nach 15 singulären Dehnungen bei kurzfristiger Betrachtung (28) Unterschiede zwischen der direkten und indirekten Eigendehnung und der indirekten Fremddehnung im Hinblick auf die mittlere Ausprägung der Bewegungsreichweite, der Zugkraft und der Muskelaktivität gibt.

## Methodik

### Probanden

An der Untersuchung nahmen 27 Sportstudenten teil (anthropometrische Daten s. Tab. 2). Ausgeschlossen waren Studenten, die Sportarten mit überdurchschnittlich hohen Beweglichkeitsanteilen, wie z. B. Turnen, Rhythmische Sportgymnastik oder Akrobatik, betrieben.

### Untersuchungsdesign

Die Probanden wurden zufällig in drei Gruppen aufgeteilt und führten zur Überprüfung der Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskeln drei standardisierte Testformen in randomisierter Reihenfolge durch. Innerhalb einer Woche wurden drei Gewöhnungstermine absolviert. Hierbei sollten sich die Probanden

Tabelle 2: Anthropometrische Daten der Versuchspersonen

	Männlich (n=16)	Weiblich (n=11)	Gesamt (n=27)
Alter [Jahre]	25,4 ± 1,7	24,1 ± 1,4	24,8 ± 1,7
Größe [cm]	178,6 ± 6,1	171,3 ± 7,9	175,6 ± 7,7
Gewicht [kg]	72,6 ± 7,1	60,4 ± 8,2	67,6 ± 9,6

mit der Apparatur (Abb. 2), den drei Durchführungsformen (direkte und indirekte Eigendehnung und indirekte Fremddehnung) und der maximalen Dehnposition an der Schmerzgrenze (18) vertraut machen. Nach einer Woche Pause begann die eigentliche dreiwöchige Testphase mit jeweils einem Test pro Woche. Der Testzeitraum betrug insgesamt fünf Wochen. Am Vortag eines jeden Testtermins sollten keine intensiven körperlichen Belastungen durchgeführt werden. Des Weiteren sollte während der gesamten Testphase kein zusätzliches Beweglichkeitstraining durchgeführt werden.

### Methoden

Im ersten Test führten die Probanden eine direkte Eigendehnung (DE) durch selbstständiges Dehnen über einen Seilzug durch. Der zweite Test bestand aus einer indirekten Eigendehnung (IE) durch selbstständiges Bedienen eines Elektromotors. Im dritten Test steuerte der Testleiter über einen Elektromotor die indirekte Fremddehnung (IF), wobei die Probanden durch Zuruf die Intensität der Dehnung steuern konnten. Während jeder Einzelmessung wurden folgende Parameter erfasst:

- maximale Bewegungsreichweite an der Schmerzgrenze ( $BR_{max}$ ) durch ein dreidimensionales Bewegungsanalysesystem (CMS 30 der Firma Zebris Medizintechnik Isny) mit einer Messgenauigkeit von 0,1°,

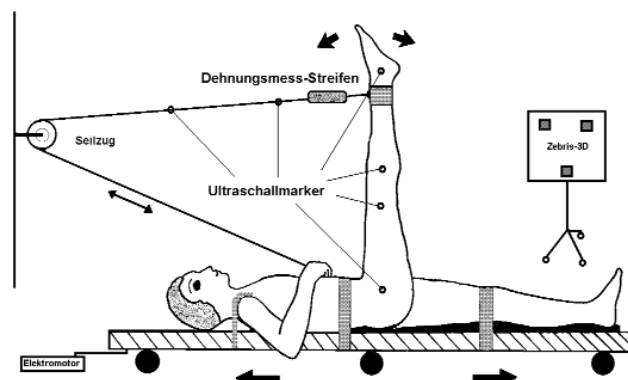


Abbildung 2: Darstellung der Mess-Apparatur (Wydra/Glück/Roemer 2000)

- Zugkraft bei konstantem Winkel (ZK) der jeweils ersten  $BR_{max}$  und maximal tolerierte Zugkraft in maximaler Dehnposition ( $ZK_{max}$ ) jeweils mit Hilfe eines Dehnungsmessstreifens (Firma Biovision Frankfurt am Main),
- Muskelaktivität des M. biceps femoris als Integral ( $\%iEMG_{biz}$ ) mittels EMG-Verstärker (Firma Biovision Frankfurt am Main).

Vor jedem Test erfolgte eine 5-min. Erwärmung auf einem Fahrradergometer ( $1,5 \text{ Watt} \cdot \text{kg}^{-1}$  Körpergewicht). Nach standardisierter Fixierung in Rückenlage auf der Apparatur (32; Abb. 2) erfolgte die Bestimmung der Beingewichtskraft bei einem Hüftflexionswinkel von 45° und gleichzeitiger Knieextension. Anschließend wurde das Testbein durch direkte oder indirekte Eigendehnung bzw. indirekte Fremddehnung 15mal nacheinander in maximale Dehnposition gebracht und sofort wieder zum Ausgangswinkel von 45° bewegt. Nach 15 maximalen Dehnungen wurde zur Relativierung des  $\%iEMG_{biz}$  während der Dehnung die maximale willkürliche Kontraktionskraft (MVC) fünf Prozent unterhalb der durchschnittlichen  $BR_{max}$  gemessen. Die Bestimmung der MVC ist immer von der Motivation der Probanden abhängig (11). Es wurde deshalb versucht, die Versuchsteilnehmer standardisiert verbal zur maximalen Leistung zu animieren.

Zur statistischen Weiterverarbeitung wurden sowohl  $BR_{max}$  als auch  $ZK_{max}$  in maximaler Dehnposition, d. h. an der subjektiven Schmerzgrenze (18), bestimmt. Dieser Dehnbereich wurde mittels subjektivem Anstrengungsgrad (Borg-Skala 18-20; 3) objektiviert. Für die Berechnung von ZK wurde jeweils der maximale Winkel bei der 1. Hüftflexion als Ausgangswert definiert und die weiteren Wiederholungen wurden bei diesem konstanten Winkel ausgewertet. Die EMG-Aktivitäten des M. biceps femoris wurden nach Hautpräparation und genauem Anbringen von Einmaloberflächenelektroden (Ag/AgCl-Elektroden, Vivo Med Wesel) bipolar mittels o. g. Verstärker mit einer Abtastrate von 1000 Hz abgeleitet. Die Rohdaten wurden mit der Software Z2 (Biovision) bearbeitet. Nach einer Vollgleichrichtung und Time-Base-Glättung (root mean square) wurde ein dreisekündiges Integral während der maximalen Dehnposition und MVC bestimmt. Ausgehend von der Zugkraft wurde ein Zeitintervall von 1,5 Sekunden vor und 1,5 Sekunden nach dem Maximum bestimmt. Dieses Zeitfenster wurde auf die Kurve der Muskelaktivität übertragen.

Die vorliegenden 15 Einzelmessungen jeder Durchführungsform wurden anschließend gemittelt (vgl. Tab. 3).

Im Anschluss an alle drei Dehnmethoden wurden die Probanden nach der für sie am angenehmsten empfundenen Durchführungsform befragt.

**Statistik**

Die Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe des Programms STATISTICA (StatSoft, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.; Version 5.0). Hinsichtlich der statistischen Verfahren wurden Häufigkeitsverteilungen sowie Mittelwerte und Standardabweichungen (MW ± SD) berechnet. Die Normalverteilung der Daten wurde mit dem Shapiro-Wilks W-Test geprüft, die Varianzhomogenität wurde mit dem Levene-Test geprüft. Bei normalverteilten, varianzhomogenen Daten wurde zur Überprüfung signifikanter Unterschiede die einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Bei einem signifikanten Ergebnis erfolgte post hoc der Scheffé-Test. Trat bei der Voraussetzungsprüfung auf Normalverteilung/Varianzhomogenität eine Verletzung auf, wurden die Ergebnisse mit Hilfe des Friedman-Tests auf signifikante Unterschiede geprüft. Signifikante Ergebnisse wurden post hoc mit dem Wilcoxon-Test für Paardifferenzen berechnet. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p \leq 0,05$  festgelegt.

**Ergebnisse**

In Tabelle 3 sind die Mittelwerte der erfassten Parameter vergleichend bei den drei Dehnmethoden dargestellt.

Tabelle 3: Mittelwerte (±SD) der 1. bis 15. Messung aller erfassten Parameter in Abhängigkeit von den Dehnungen

	Direkte Eigendehnung	Indirekte Eigendehnung	Indirekte Fremddehnung	Signifikanzprüfung	
				Prüfwert	p
BR <sub>max</sub> [°]	110,7±12,5	105,7±12,2	105,4±12,2	F=14,5	≤0,001
ZK <sub>max</sub> [N]	180,9±50,0	181,2±54,5	183,2±55,3	F=0,1	n. s.
ZK [N]	140,0±41,9	146,0±47,4	158,3±56,6	Chi <sup>2</sup> =0,0	n. s.
%iEMG [%MVC]	10,0±7,2	14,7±14,0	11,3±8,6	Chi <sup>2</sup> =5,4	n. s.

**Maximale Bewegungsreichweite**

Zwischen direkter und indirekter Eigendehnung und zwischen direkter Eigendehnung und indirekter Fremddehnung konnten jeweils hochsignifikante Gruppenunterschiede ( $p \leq 0,001$ ) nachgewiesen werden: Im Mittel lag BR<sub>max</sub> bei direkter Eigendehnung (110,7°) 5 % höher als bei indirekter Eigendehnung (105,7°) und indirekter Fremddehnung (105,4°). Zwischen den beiden indirekten Verfahren konnte kein Unterschied nachgewiesen werden. Betrachtet man die Ausgangswerte, so konnten zwischen direkter und indirekter Eigendehnung sehr signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,01$ ) und zwischen direkter Eigendehnung und indirekter Fremddehnung hochsignifikante Unterschiede ( $p \leq 0,001$ ) nachgewiesen werden. Der erste Wert bei direkter Eigendehnung (104,1°) lag bereits 3,8° (4 %) höher als bei indirekter Eigendehnung (100,3°) und 4,7° (5 %) über dem bei indirekter Fremddehnung (99,4°). Die erste BR<sub>max</sub> bei indirekter Eigendehnung lag nur 0,9° (1 %) höher als die bei indirekter Fremddehnung.

**Zugkraft bei konstantem Bezugswinkel**

Zwischen den drei Methoden konnten keine signifikanten Gruppenunterschiede festgestellt werden. Durchschnittlich war ZK bei direkter Eigendehnung (140,0 N) 4 % niedriger ausgeprägt als bei indirekter Eigendehnung (146,0 N) und 13 % tiefer als bei indirekter Fremddehnung (158,3 N). Die indirekten Methoden unterschieden sich um 8 %. Beim Vergleich der jeweils ersten Werte konnte zwischen direkter und indirekter Eigendehnung kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Bei direkter Eigendehnung war der erste Wert mit 169,3 N 2 % niedriger als bei indirekter Eigendehnung (172,2 N) und 9 % unterhalb von der indirekten Fremddehnung (184,5 N). Der Unterschied zwischen indirekter Eigen- und Fremddehnung betrug 7 %.

**Maximal tolerierte Zugkraft**

Zwischen den Gruppen gab es keine nachweisbaren Unterschiede. ZK<sub>max</sub> war bei direkter Eigendehnung mit 180,9 N im Durchschnitt 1 % niedriger als bei indirekter Fremddehnung mit 183,2 N und gleich stark ausgeprägt wie bei indirekter Eigendehnung (181,2 N). Die beiden indirekten Methoden unterschieden sich lediglich um 1 %. Der Vergleich der ersten Werte bei den drei Dehnmethoden führte ebenfalls zu keinen signifikanten Unterschieden. ZK<sub>max</sub> lag bei direkter Eigendehnung (165,0 N) 2 % tiefer als bei indirekter Eigendehnung (168,6 N) und 4 % unterhalb von der indirekten Fremddehnung (171,4 N).

**Muskelaktivität**

Hier konnten ebenfalls keine signifikanten Gruppenunterschiede festgestellt werden. Der Mittelwert des %iEMG<sub>biz</sub> lag bei direkter Eigendehnung 47 % niedriger als bei indirekter Eigendehnung und 13 % tiefer als bei indirekter Fremddehnung. Im Durchschnitt differierten indirekte Eigen- und Fremddehnung um 23 %. Der 1. Wert

der direkten Eigendehnung (10 %) war 40 % niedriger als bei indirekter Eigendehnung (14 %) und 18 % unter dem der indirekten Fremddehnung (12 %) gelegen. Bei indirekter Eigendehnung war der erste Wert 16 % höher als bei indirekter Fremddehnung. Bei der direkten Eigendehnung wurden hochsignifikant größere maximale Bewegungsreichweiten als bei den indirekten Verfahren gemessen. Gleichzeitig wurden hier, jedoch nicht signifikant, die geringsten Zugkräfte und Muskelaktivitäten beobachtet. Die zusätzliche Befragung hinsichtlich der am angenehmsten empfundenen Durchführungsform ergab bei allen Probanden eine Präferenz der direkten Eigendehnung.

**Diskussion**

Die hier vorgestellte und experimentell überprüfte theoretische Differenzierung der Dehnmethoden sollte überprüfen, ob es Unterschiede zwischen der direkten und indirekten Eigendehnung und der indirekten Fremddehnung im

Hinblick auf die mittlere Ausprägung der Bewegungsreichweite, der Zugkraft und der Muskelaktivität gibt.

Die um 5% größere durchschnittliche Hüftflexion verdeutlicht eine hochsignifikante Überlegenheit der direkten Eigendehnung. Die Ursachen hierfür können aus dem erhöhten sensomotorischen Feedback aus der zu dehnenden und der zur Dehnung eingesetzten Muskulatur resultieren (20). Andererseits kommt eine erhöhte Sehnen-Elastizität hierfür in Frage (1). Dehnen soll desweiteren die Muskeltemperatur erhöhen, wodurch der Muskel nachgiebiger und entspannter wird (10). Möglicherweise führt die vermehrte sensomotorische Rückmeldung der zur Dehnung eingesetzten Muskulatur und die damit verbundene verbesserte Möglichkeit der sensomotorischen Handlungsregulation (20), zu einer Reflex-Hemmung (1). Deutlich wird dies bei der zusätzlichen Betrachtung der Ausgangswerte. Bereits zu Beginn liegt die Bewegungsreichweite bei direkter Eigendehnung hochsignifikant über der bei indirekter Eigendehnung und signifikant oberhalb von der bei indirekter Fremddehnung. Das geringe  $\%iEMG_{biz}$  bei der direkten Eigendehnung könnte ebenfalls die Vermutung unterstützen. Für den Parameter maximale Bewegungsreichweite ist demnach von Bedeutung, unter welcher Bedingung gedehnt wird.

Die Zugkraft bei konstantem Winkel nahm im Verlauf von 15 wiederholten Dehnungen bei den drei Durchführungsformen ab, jedoch bestand im Mittel kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Methoden. Ähnlich große Reduktionen der Dehnungsspannung werden in der Literatur beschrieben (26). Ebenso wurde eine Rechtsverschiebung der Hysterese-Kurve durch wiederholtes submaximales Dehnen gefunden (22). Diese Befunde widersprechen jedoch Ergebnissen, nach denen es keinen sog. Dehnungsrückstand und somit auch keine Hysterese gäbe (29). Diese Verringerungen sind auf die Erhöhung der Sehnen-Elastizität zurückzuführen (1). Weiterhin wird vermutet, dass der Muskel eine neue Gleichgewichtslänge annimmt, also einen Dehnungsrückstand aufweist (22). Parallel- und serienelastische Strukturen könnten für diese Anpassungserscheinungen sorgen. Das Muskelprotein Titin, als eine hochelastische Feder im Muskel, erhöht die Spannung exponentiell in longitudinaler Richtung. Für die Entstehung des sog. Dehnungsrückstandes ist das Titin nicht verantwortlich, da die entscheidende Aufgabe des Proteins die Rückstellung des Sarkomers auf die initiale Länge ist (14, 29). Anpassungserscheinungen der beschriebenen Form erfolgten auch bei dieser Studie, jedoch ohne Überlegenheit einer Dehnmethode. Lediglich die Ausgangswerte differierten zwischen direkter Eigendehnung und indirekter Fremddehnung signifikant.

Für die maximal tolerierte Zugkraft bestanden im Mittel keine Unterschiede zwischen den drei Methoden. Ebenso zeigten auch die Ausgangswerte keine signifikanten Unterschiede. Dehnübungen erhöhen die Elastizität der Sehne, indem der mechanorezeptorisch vermittelte Reflex gehemmt und deren viskoelastische Spannung verändert wird (1). Bei der direkten Eigendehnung liegt eine um 5% größere Bewegungsreichweite vor als bei den anderen Dehnungsmethoden. Die Dehnungsspannung nimmt exponentiell mit der

Längenveränderung der Muskulatur zu, so dass in endgradigen Dehnpositionen geringe Längenveränderungen zu einer überproportionalen Steigerung der Dehnungsspannung führen (29). Hierbei wird den Titinfilamenten eine große Bedeutung für das Spannungsverhalten des Muskels zugeschrieben (14, 29). Da sich das Titin über die Distanz eines Halbsarkomers erstreckt und einen Anteil von ca. 10% an der Gesamtmuskelmasse hat, ist dieses Filament hauptsächlich an der Entwicklung der maximal tolerierten Zugkraft beteiligt. Bindegewebiges Material sowie extrazelluläre Strukturen kommen deshalb als Auslöser der maximalen Widerstandskräfte offensichtlich weniger in Betracht (27). Man geht weiterhin davon aus, dass die Verbesserung der Dehnfähigkeit durch Dehnungsmaßnahmen auf die Steigerung der Dehnungsbelastungsfähigkeit des Muskels, und damit auf eine erhöhte maximal tolerierte Dehnungsspannung im Sinne einer Habituation während eines Dehnprozesses zurückzuführen ist (28). Diese Anpassungsprozesse konnten in dieser Studie im Verlauf von 15 singulären Dehnungen ebenfalls beobachtet werden. Hierbei spielt jedoch die Methode keine Rolle. Bei der Interpretation der Zugkraft bei konstantem Bezugswinkel und der maximal tolerierten Zugkraft sind zusätzlich die in der Literatur erwähnten Flüssigkeitsverschiebungen zu berücksichtigen (12). Im Verlauf von 15 Wiederholungen kann die Verlagerung von Flüssigkeitsanteilen in der zu dehnenden Muskulatur nicht ausgeschlossen werden. Obwohl auf eine ausreichende Pausenlänge zwischen den einzelnen Versuchen geachtet wurde, ist dieser Artefakt nicht ganz zu eliminieren.

Auf Grund der generellen Probleme, die bei der Durchführung einer EMG-Messung auftreten können (7), sollte das Ergebnis der elektromyographischen Ableitungen vorsichtig interpretiert werden. Im Durchschnitt bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Durchführungsformen im Hinblick auf die Muskelaktivität. Jedoch konnte zwischen den Ausgangswerten bei direkter und indirekter Eigendehnung ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die relativierte Muskelaktivität erreicht nur einen Innervationszustand von maximal 15%. Dies bestätigt die Vermutung, dass bei Dehnprozeduren neuromuskuläre Prozesse nur zu einem geringen Anteil am Entstehen einer Zugkraft oder Dehnungsspannung beteiligt sind. Auch dann, wenn in einem maximalen Bereich (18) gedehnt wird. Die Muskelaktivität hängt laut Angaben jedoch nicht von speziellen Dehnungstechniken ab, sondern von der maximalen Bewegungsreichweite (6). Demnach steigt die neuromuskuläre Aktivierung mit zunehmender Reichweite. Trotz der größten maximalen Bewegungsreichweite bei direkter Eigendehnung trat hier die geringste Muskelaktivität auf. Jede psychische oder physische Beanspruchung führt zu einer Erhöhung der Motoneuronenpool-Erregbarkeit (16, 19). Somit könnte die eingeschränkte Möglichkeit der sensorisch-motorischen Handlungsregulation bei den beiden indirekten Verfahren die Ursache für das erhöhte  $\%iEMG_{biz}$  darstellen. Diese Beobachtung und der nachweisbar höhere Aktivierungsgrad bei der indirekten Fremddehnung könnten aus handlungstheoretischer Sicht als Vorteil der Eigendehnung angesehen werden.

Innerhalb der Beweglichkeitsforschung wurde die Bedeutung des Bewusstseins, und damit den eigenen Dehnprozess direkt steuern zu können, bisher vernachlässigt. Die neuere Einteilung der Dehnungen in Eigen- bzw. Fremddehnungen ermöglicht erstmalig die Einbeziehung psychischer Prozesse (20). Die bisherige Untergliederung in aktive und passive Dehnungen beruhte überwiegend auf pragmatischen Überlegungen. Bisher gelang die klare Abgrenzung einer aktiven Dehnung von einer passiven nicht. Deshalb erscheint die vorgetragene Kritik gerechtfertigt (8). Aus laborexperimenteller Sicht hat die direkte Eigendehnung einen Nachteil. Da die Versuchsperson die Dehnprozedur über den selbstständigen Zug an einem Seil regelt, ist eine konstante Dehngeschwindigkeit, wie beispielsweise bei einem Elektromotor, nicht möglich. Deshalb können, wie auch in der Literatur beschrieben, innerhalb eines Dehnvorganges keine Hysteresekurven produziert werden (11). Es bleibt nur die Möglichkeit, wie hier angewendet, einen Dehnungsrückstand vom ersten bis zum nächsten Dehnprozess zu ermitteln.

Schlussfolgernd bleibt festzuhalten, dass die direkte Eigendehnung die hochsignifikant größte Bewegungsreichweite bei gleichzeitig geringsten Zugkräften und Muskelaktivität aufweist. Aus handlungstheoretischer Sicht und der Einbeziehung psychischer Prozesse erscheint aufgrund der hier erhobenen kurzfristigen Daten die direkte Eigendehnung vorteilhafter als die beiden indirekten Verfahren. Die zusätzliche Befragung im Hinblick auf die angenehmste Dehnmethode zeigt ebenfalls eine subjektiv empfundene Überlegenheit der direkten Eigendehnung. In der Literatur werden Differenzen zwischen aktiver und passiver Beweglichkeit von 20° beschrieben. Diese Größenunterschiede konnten in der vorliegenden Untersuchung zwischen den drei Methoden nicht bestätigt werden. Dennoch erscheint die theoriegeleitete Differenzierung für die Anwendung in der Praxis klarer und praktikabler. Terminologische Unschärfen hinsichtlich der begrifflichen Abgrenzung (Tab. 1) werden hier vermieden. Da diese Studie jedoch nur kurzfristige Effekte singulärer Dehnungen in verschiedener Form überprüft, muss in folgenden Längsschnittstudien zusätzlich die Übertragbarkeit in den Praxisbereich sichergestellt werden. Weiterhin sollten nachfolgende Studien untersuchen, inwieweit tatsächlich die psychische Befindlichkeit Einfluss auf ein Beweglichkeitstraining nimmt.

## Literatur

1. American College of Sports Medicine (ACSM): The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 30 (1998) 975-991.
2. Beigel K, Gruner S, Gehrke T: Gymnastik – falsch und richtig. Rowolt, Reinbek (1993).
3. Borg G: Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14 (1982) 377-381.
4. Bös K, Wydra G, Karisch W: Gesundheitsförderung durch Bewegung, Spiel und Sport. perimed, Erlangen 1992.
5. Dietrich L, Berthold F, Brenke H: Muskeldehnung aus sportmethodischer Sicht. *Med Sport* 25 (1985) 52-62.
6. Freiwald J, Engelhardt M, Jäger M, Gnewuch A, Reuter J, Wiemann K, Starischka S: Dehnung – genügen die bisherigen Erklärungsmodelle? *Sportverletzung und Sportschaden* 12 (1998) 54-59.
7. Gollhofer A, Schmidbleicher D: Protokoll der Expertendiskussion: Methodische Probleme der Elektromyographie, in: Daus R, Leist K, Ulmer H-V (Hrsg): *Motorikforschung aktuell*. dvs-Protokoll, Clausthal-Zellerfeld 1989, 74-79.
8. Harre D (Red.): Trainingslehre. Einführung in die Theorie und Methodik des sportlichen Trainings. Sportverlag, Berlin 1973.
9. Hartley-O'Brien S: Six mobilization exercises of hip flexion. *Res Quart Exerc Sport* 51 (1980) 625-635.
10. Hubley C, Kozey J, Stanish W: The effects of static exercises and stationary cycling on range of motion at the hip joint. *J Orthop Sports Phys Ther* 6 (1984) 104-109.
11. Klee A, Wiemann K, Jöllenbeck T: Meßstation zur Erfassung des Dehnungswiderstandes, der Viskosität sowie dynamischer und statischer Kraftparameter in vivo, in: Wiemeyer J (Hrsg): *Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport*. Czwalina, Hamburg 1999, 249-254.
12. Klee A, Wiemann K: Der Einfluss von Flüssigkeitsverschiebungen auf die Bestimmung muskulärer Dehnungsparameter. *Dtsch Z Sportmed* 51 (2000) 205-210.
13. Kornblum C: Die Dehnung. *Cond* 10/11 (1994) 38-41.
14. Linke WA, Labeit S, Rüegg JC: Auf den Spuren molekularer Federn. Genetische und mechanische Analyse des Muskelproteins Titin. *Phys* (1998) 13-37.
15. Maehl O: Beweglichkeitstraining, in: Tiwald H (Hrsg): *Budo und transkulturnelle Bewegungsforschung*. Band 10. Czwalina, Ahrensburg 1986.
16. Mark R, Coquery J-M, Paillard J: Autogenic reflex effects of slow or steady stretch of the calf muscles in man. *Exp Brain Res* 6 (1968) 130-145.
17. Markmann M: Dehnungstechniken. *Mag* 4 (1998), 9.
18. Marschall F: Wie beeinflussen unterschiedliche Dehnintensitäten kurzfristig die Veränderung der Bewegungsreichweite? *Dtsch Z Sportmed* 50 (1999) 5-9.
19. Nitsch J (Hrsg): *Streß: Theorien, Untersuchungen, Maßnahmen*. Hans Huber, Bern 1981.
20. Nitsch J: Handlungstheoretische Grundlagen der Sportpsychologie, in: Gabler H, Nitsch J, Singer R (Hrsg): *Einführung in die Sportpsychologie*. Teil 1: Grundthemen. Hofmann, Schorndorf 2000.
21. Schnabel G, Harre D, Borde A (Hrsg): *Trainingswissenschaft. Leistung – Training – Wettkampf*. Sportverlag, Berlin 1994.
22. Schönthaler S, Ohlendorf K, Ott H, Meyer T, Kindermann W, Schmidbleicher D: Biomechanische und neurophysiologische Parameter zur Erfassung der Dehnbarkeit von Muskel-Sehnen-Einheiten. *Dtsch Z Sportmed* 49 (1998) 223-230.
23. Schwab R: Durch Stretching beweglicher – Beweglichkeitsschulung am Beispiel der Stretching-Methode. *Sp Praxis* 6 (1993) 3-5.
24. Spachtholz B: *Relax: entspannen Sie sich: das Gesundheitsprogramm für Beruf und Alltag*. Walhalla, Regensburg 1996.
25. Spring H, Urs I, Kunz H-R, Röthlin K, Schneider W, Tritschler T: *Dehn- und Kräftigungsgymnastik*. Thieme, Stuttgart 1986.
26. Taylor D, Dalton J, Seaber A, Garrett E: Viscoelastic properties of muscle-tendon units: the biomechanical effects of stretching. *Am J Sports Med* 18 (1990) 300-309.
27. Ullrich K, Gollhofer A: Physiologische Aspekte und Effektivität unterschiedlicher Dehnmethoden. *Dtsch Z Sportmed* 45 (1994) 336-345.
28. Wiemann K: Beeinflussung muskulärer Parameter durch unterschiedliche Dehnverfahren, in: Hoster M, Nepper H-U: *Dehnen und Mobilisieren*. Waldenburger Trainingstherapie 1993. Sport Consult, Waldenburg 1994.
29. Wiemann K, Klee A, Startmann M: Filamentäre Quellen der Muskel-Ruhe-spannung und die Behandlung muskulärer Dysbalancen. *Dtsch Z Sportmed* 49 (1998) 111-118.
30. Wydra G: *Gesundheitsförderung durch sportliches Handeln*. Hofmann, Schorndorf 1996.
31. Wydra G, Bös K, Karisch G: Zur Effektivität verschiedener Dehnverfahren. *Dtsch Z Sportmed* 42 (1991) 386-400.
32. Wydra G, Glück S, Roemer K: Entwicklung, Evaluation und erste experimentelle Erprobung eines Dehnungsmessschlittens, in: Wiemeyer J (Hrsg): *Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport*. Czwalina, Hamburg 2000.

Korrespondenzadresse:

Sabine Glück

Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes

66041 Saarbrücken, Fax.: 0681 / 302 – 4091

E-mail: s.glueck@mx.uni-saarland.de