

J. Wiemeyer

Dehnen und Leistung – primär psychophysiologische Entspannungseffekte?

Stretching and performance – primarily psychophysiological relaxation effects?

Institut für Sportwissenschaft, TH Darmstadt

Zusammenfassung

Zahlreiche Studien von Labor- und Sportbewegungen haben gezeigt, dass Maximal- und Schnellkraftleistungen – zumindest kurzfristig – durch Dehnen primär negativ beeinflusst werden. Die Leistungseinbußen sind beträchtlich und von großer praktischer Bedeutung. Für diese Leistungseinbußen werden biomechanische, neuromuskuläre und psychophysiologische Ursachen diskutiert. Die vorliegende Untersuchung ist ein erster Zugang zur Frage, ob durch psychophysiologische Entspannung vergleichbare Leistungseinbußen wie durch Dehnen hervorgerufen werden können und wie die Leistungseinbußen durch Dehnen und Entspannung zusammenhängen. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl durch Dehnen als auch durch Entspannung signifikante Leistungseinbußen bei der Vertikalsprungleistung nachweisbar sind. Zwischen diesen beiden Interventionen besteht ein signifikanter Zusammenhang ($R=,51$). Folglich muss psychophysiologischen Desaktivierungsprozessen ein bedeutender, wenn auch nicht alleiniger Anteil an der Reduktion von Schnellkraftleistungen zugeschrieben werden.

Schlüsselwörter: Dehnen, Leistung, Entspannung, Sprung

Einleitung

Die kurzfristigen negativen Effekte von Dehnen auf die sportliche Leistung sind in zahlreichen Untersuchungen nachgewiesen worden (Überblick: 31). Im Prinzip kommen drei Mechanismen für diese Effekte in Frage:

- Veränderungen der biomechanischen Eigenschaften des Muskel-Sehnen-Komplexes
- Periphere neuromuskuläre Veränderungen
- Zentrale psychophysiologische Desaktivierungsprozesse

Ziel dieses Beitrags ist es, auf der Grundlage der bestehenden Befundlage den Beitrag psychophysiologischer Desaktivierungsprozesse zu untersuchen. Zunächst soll die Befundlage aufgearbeitet und auf die drei Wirkungsebenen bezogen werden. Anschließend wird über eine experimentelle Untersuchung berichtet, die die Effekte von Dehnen versus psychophysiologischer Entspannung untersucht.

Problem und Zielstellung

Für eine differenzierte Bewertung des Dehnens ist zu berücksichtigen, dass verschiedene Dehnmetho-

Summary

Numerous studies with laboratory and sport movements show that stretching causes a short-term decrease of maximum and explosive strength performance. The decrease is considerable and has strong practical significance. Biomechanical, neuromuscular and psychophysiological mechanisms may cause this decrease. In this contribution a first approach is reported to the question whether comparable decreases can be achieved by relaxation and how the decreases caused by stretching and relaxation are correlated. The results show that both stretching and relaxation cause a significant decrease of vertical jumping performance. Furthermore, there is a significant correlation of stretching and relaxation effects ($R=,51$). Therefore, the conclusion is justified that psychophysiological de-activation processes may play a significant role in the decrease of sport performance.

Key words: stretching, relaxation, performance, jumping

werden müssen (vgl. ausführlich 10, 31): Statische und dynamische, aktive und passive, Eigen- und Fremddehnmetho-

den. Anspannungs-Entspannungsdehnen (auch CHRS- oder CRS-Methode) bzw. Antagonisten-Kontraktionsdehnen als aktiv-statische Dehnmetho-

den berufen sich auf spezifische neurophysiologische Mechanismen, die gezielt beim Dehnen ausgenutzt werden sollen. Bei allen statischen Dehnmetho-

den soll die phasische Komponente des Muskeldehnungsreflexes ausgeschaltet werden. Weiterhin können sich die Belastungskomponenten beim Dehnen unterscheiden (z.B. Intensität, Dauer und Anzahl der Wiederholungen).

Zunächst soll kurz dargestellt werden, welche Effekte die Dehnung von Muskel-Sehnen-Einheiten hat (31).

Wenn man eine Muskel-Sehnen-Einheit dehnt, kommt es zu einer sogenannten viskoelastischen Stressrelaxation, die in Abb. 1 nach Magnusson (15) dargestellt ist. Im unteren Teil der Abbildung ist zu erkennen, dass das registrierte mechanische Drehmoment, d.h. der Widerstand des Muskel-Sehnen-Systems, im Laufe des dynamischen Streckens (Geschwindigkeit: 5°/s) exponentiell ansteigt (bis auf ca. 58 Nm). Weiterhin ist zu erkennen, dass im Verlaufe des 90sekündigen Haltens der Endstellung das registrierte

Drehmoment um ca. 25% absinkt. Dabei ist zunächst ein relativ schnelles Absinken in den ersten Sekunden zu erkennen, gefolgt von einem langsamen Einschwenken auf ein Plateau.

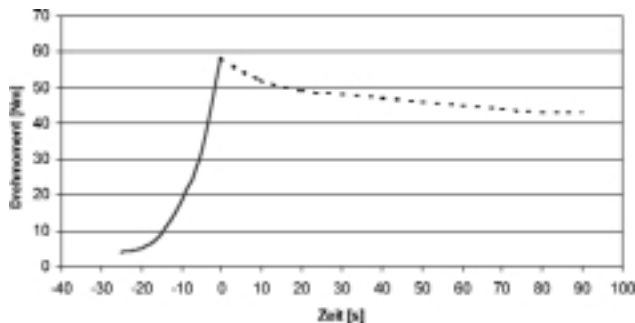


Abbildung 1: Viskoelastische Stressrelaxation bei einer langsam-dynamischen Dehnung mit nachfolgendem Halten von 90s Dauer nach Magnusson (15; vgl. auch 16)

Die dargestellten, auch mit anderen Messapparaturen replizierten Befunde (vgl. z.B. 21) zeigen, dass der Muskel-Sehnen-Komplex auf Dehnung nicht linear (wie eine Hook'sche Feder) reagiert. Vielmehr müssen drei Komponenten der Muskel-Sehnen-Eigenschaften unterschieden werden:

- Zu Beginn der Dehnung lässt sich der Muskel ohne nennenswerten Anstieg des Widerstandes deformieren (plastische Komponente).
- Mit zunehmender Dehnung kommt es dann zu einem Anstieg des Widerstandes (elastische Komponente), der allerdings nicht (wie bei der Hook'schen Feder) linear, sondern exponentiell ausfällt.
- Eine visköse Komponente des Muskel-Sehnen-Komplexes zeigt sich darin, dass das Längen-Drehmoment-Verhältnis abhängig ist von der Dehnrate (Geschwindigkeit und Häufigkeit). Mit zunehmender Dehngeschwindigkeit steigt der Widerstand des Muskels. Dabei lässt sich ein Hysterese-Effekt nachweisen, d.h. beim Dehnen des Muskels entstehen größere Widerstände als beim Entdehnen (10, 21, 24). Mit zunehmender Häufigkeit des Dehnens sinkt der Muskelwiderstand ab, d.h. die Längen-Spannungs-Kurve wird nach rechts verschoben (21).

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass ein Muskel kurzfristig auf einen Dehnreiz mit einem exponentiellen Anstieg des Drehmomentes bzw. Widerstandes reagiert, gefolgt von einem negativ beschleunigten Widerstandsabfall. Damit sinkt also letztlich der Widerstand, den der Muskel dem Dehnreiz entgegensetzt. Nach Befunden von Scott (22) kann man davon ausgehen, dass es zu einer kurzfristigen Verlängerung des Muskels und der Sarkomere kommt.

Vergleicht man das Dehnungsverhalten von isolierten Sehnen (27) mit dem Verhalten des Muskel-Sehnen-Komplexes (16, 21), dann sieht man eine deutliche Ähnlichkeit des Verlaufs. Wahrscheinlich wird dieser Verlauf aber nicht nur durch kollagene Anteile, sondern auch die Titinfilamente verursacht (10).

Neuromuskuläre Effekte des Dehnens (z.B. die Reduktion der Reflex- bzw. Motoneuronenaktivität), die zum Teil in Ab-

hängigkeit von der jeweiligen Dehnmethode variieren, kommen als mögliche Ursachen für diese Phänomene nicht in Frage, da sie primär während des Dehnens auftreten und nach wenigen Sekunden wieder abgeklungen sind (31). *Freiwald et al.* (5) diskutieren – bezogen auf die Dehnung der Mm. ischiocrurales - weitere mechanische, peripher-sensorische und neurophysiologische Einflüsse, die die Dehnfähigkeit des Nerv-Muskel-Systems limitieren können: Dehnung des N. ischiadicus, erhöhte Transmitterfreisetzung an nociceptiven Nervenendigungen, Aktivierung von Schmerz- und Mechanorezeptoren sowie neuronale Adaptationsprozesse.

Ein weiterer möglicher Mechanismus ist das Absinken des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus (AZAN; vgl. 30, 33; kritisch 28) nach einem statischen Dehnen, das sich z.B. in einem signifikanten Abfall der Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF; 20), einem Abfall der Herzfrequenz und einer Zunahme der Herzfrequenzvariabilität (8) zeigt. Bei Rothe (20; s. Abb. 2) zeigt sich in einem Experiment an 9 Versuchspersonen ein progressiver Abfall der FVF um durchschnittlich 0.6 bis 0.8 Hz (unmittelbar nach Aufwärmen) bzw. 1.2 bis 1.7 Hz (10 Minuten nach Aufwärmen), der relativ unabhängig von der Dauer des Dehnens ist. Da die *Formatio reticularis* bei allgemeinen und spezifischen Aktivierungsprozessen eine Schlüsselrolle zu spielen scheint (28, 30), könnte gerade statisches Dehnen aufgrund im Vergleich zu dynamischem Dehnen reduzierter sensorischer Afferenzen und kortikaler Efferenzen über diese Struktur zu einer Entspannung führen.

Insgesamt sind vor allem biomechanische und psychophysiologische Mechanismen plausibel.

Die kurzfristigen Effekte von Dehnen auf die Muskellängen-Spannungs-Beziehung können nicht ohne Folgen für nachfolgende Belastungen im Sport bleiben. Wenn z.B. die Verlängerung des Muskel-Sehnen-Komplexes erhalten bleibt, verändert sich die Muskellänge, bei welcher durch ei-

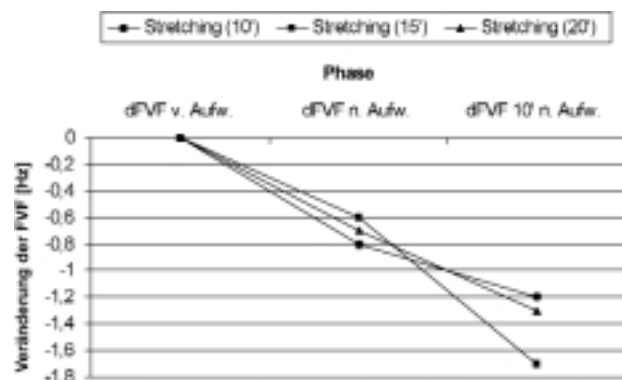


Abbildung 2: Psychophysiologische Effekte von Stretching auf die Flimmerverschmelzungsfrequenz (nach 20)

ne optimale Überlappung von Aktin- und Myosinfilamenten eine maximale Kraftentwicklung möglich ist.

Im Hinblick auf die Verbesserung der muskulären Leistungsfähigkeit zeigen die in Tabelle 1 zusammengefassten experimentellen Befunde, dass die dynamische und isome-

trische Maximalkraft sowie die dynamische Schnellkraft im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) durch ein statisches Dehnen in keinem Fall positiv beeinflusst werden konnten.

In der überwiegenden Zahl von Untersuchungen wurden passiv-statische Dehnübungen eingesetzt, während PNF-Methoden (Antagonisten-Kontraktionsdehnen und Anspan-

Tabelle 1: Übersicht über die vorliegenden experimentellen Untersuchungen zum Einfluss des Dehnens auf Kraft- und Schnellkraftleistungen

Autor(en) (Jahr)	Probanden	Dehnintervention	Abhängige Variable	Ergebnis
Rosenbaum & Hennig (1997)	55 männliche Sportler (Alter: 25.3 Jahre)	statisches Dehnen des M. triceps surae (dreimal 30s Halten)	Konzentrische Maximalkraft des M. triceps surae	kein Kraftabfall
Kokkonen, Nelson & Cornwell (1998)	30 College-Studenten (Alter: 22 Jahre)	20 Minuten aktiv- und passivstatisches Dehnen der Hüft-, Oberschenkel- und Wadenmuskulatur (jeweils 15s Halten und Pause)	Konzentrische Maximalkraft der Kniebeuger und -strecker	signifikanter Kraftabfall: - Beuger: -7.3% - Strecker: -8.1%
Jones & Sutlive (2001)	keine Angaben (?)	20 Minuten aktiv- und passiv-statisches Dehnen (jeweils 15s Halten und Pause)	Konzentrische Maximalkraft der Kniebeuger und -strecker	Signifikanter Kraftabfall: durchschnittlich -4.3%
Nelson & Kokkonen (2001)	11 männliche und 11 weibliche College-Studenten (Alter: 23.3 bzw. 21.6 Jahre)	20 Minuten aktives und passives intermittierend-ballistisches Dehnen der Hüft-, Oberschenkel- und Unterschenkelmuskulatur (5 Übungen, 6 Wiederholungen)	Konzentrische Maximalkraft der Kniebeuger und -strecker	signifikanter Kraftabfall: - Beuger: -7.5% - Strecker: -5.6%
Avela, Kyröläinen & Komi (1999)	20 männliche Versuchspersonen (Alter: 27 Jahre)	1 Stunde intermittierendes passives Dehnen des M. triceps surae (1.5 Dehnungen pro s; Amplitude: 10°)	Isometrische Maximalkraft des M. triceps surae	Signifikanter Kraftabfall: -23.2%
Nelson et al. (2001)	55 College-Studenten (Alter: 22 Jahre)	10 Minuten passives Dehnen des M. quadriceps femoris (je 30 s Halten)	Isometrische Maximalkraft der Kniestrecker	Signifikanter Abfall: durchschnittlich -7% (nur bei Winkel von 162°!)
Wiemann & Klee (1993)	32 Studenten (keine Altersangabe)	15 Minuten Antagonisten-Kontraktionsdehnen der Hüftbeuger oder -strecker (3 Serien à 3 Wiederholungen)	35-m-Sprintzeit	Signifikanter Anstieg der Sprintzeit um durchschnittlich 0.14s
Hennig & Podzielný (1994)	29 Sportstudenten (Alter: 24.2 Jahre)	Statisches Dehnen der oberen und unteren Extremität (je 20s Halten)	Vertikalsprunghöhe und Bodenreaktionskräfte	Signifikanter Abfall der Sprunghöhe (-4%) und der Bodenreaktionskräfte (-2% bis -4.5%) – nur bei Dehnen im aufgewärmten Zustand
Young & Elliott (2001)	14 männliche Probanden (Alter: 22 Jahre)	passiv-statisches und Anspannungs-Entspannungsdehnen (15s Halten)	Quotient aus Sprunghöhe und Kontaktzeit von Drop und Squat Jumps	Signifikanter Abfall des Quotienten nach statischem Dehnen (nur Drop Jump): -7%
Wiemeyer (2002)	2 Experimente: 23 Basketballspieler (Alter: 23.6 Jahre) bzw. 17 jugendliche Leichtathleten (Alter: 13.9 Jahre)	passiv-statisches Dehnen von M. gluteus maximus, M. rectus femoris und M. gastrocnemius (jeweils 20s Halten)	Vertikalsprunghöhe	Signifikanter Abfall der Sprunghöhe: zwischen -3.1% und -5.6% (Effektgrößen: über 1.0)
Begert & Hillebrecht (2003)	35 Sportstudierende	passiv-statisches versus dynamisches Dehnen von Mm. ischiocrurales, quadriceps femoris und triceps surae (6 Übungen, jeweils 15s Halten – statisch bzw. 12 zügige Wiederholungen – dynamisch)	Reaktivitätsindex (RI) beim Drop Jump aus 24 cm Höhe	Signifikanter Abfall des RI nach statischem Dehnen (-8 bis -10%), kein signifikanter Abfall nach dynamischem Dehnen
Wiemeyer (in Druck)	18 weibliche und männliche Volleyballspieler (Alter: 30.9 Jahre; Größe: 181,0 cm; Gewicht: 73.9 kg)	passiv-statisches Dehnen von M. gluteus maximus, M. rectus femoris und M. gastrocnemius (jeweils 20s Halten)	Weite im Standweitsprung mit Ausholbewegung	Signifikanter Abfall der Sprungweite: -5.3% (Effektgröße: 1.82)

nungs-Entspannungsdehnen) und intermittierendes Dehnen nur vereinzelt untersucht wurden.

Insgesamt lassen sich aus der dargestellten Befundlage deutliche Hinweise dafür finden, dass Dehnen – insbesondere nach vorhergehenden dynamischen Ganzkörperbeanspruchungen – sich nicht positiv und häufig sogar negativ auf Kraft- und Schnellkraftleistungen auswirkt. Biomechanische, neurophysiologische oder psychophysiologische Ursachen kommen – wie bereits erwähnt – für diese Effekte in Frage (35): z.B. Creeping- und Relaxations-Phänomene, Reduktion der Motoneuronen-Erregbarkeit oder allgemeine psychophysiologische Entspannung (25).

Psychophysiologische Entspannungsverfahren bewirken allgemein die folgenden Effekte, die u.a. übungsabhängig sind (26): Reduktion des Muskeltonus und der neuromuskulären Reflexaktivität (gemessen über die EMG-Aktivität), Vasodilatation, Reduktion von Herzfrequenz, Blutdruck, Atemfrequenz, Sauerstoffverbrauch und Hautleitfähigkeit sowie Veränderungen im Spontan-EEG (besonders im α - und θ -Wellenbereich). Als Erklärungsansätze werden peripher-neurovegetative (entspannungsbedingte Dämpfung der sympathischen Aktivität) und zentral-neuropsychologische Mechanismen (Entspannungszustand als zielgerichtet verlängertes Übergangsstadium zwischen Wach- und Schlafzustand) diskutiert (26).

Ungeklärt ist die Frage, ob sich durch eine isolierte psychophysiologische Entspannung ähnliche Effekte wie durch Dehnen auslösen lassen. Aufgrund der berichteten neuromuskulären Effekte von psychophysiologischen Entspannungstechniken erscheint ein Absinken der Leistung durchaus plausibel. Diese Hypothese sollte durch das vorliegende Experiment geprüft werden.

Material und Methoden

An der Untersuchung nahmen 14 erwachsene weibliche und männliche Versuchspersonen teil (Alter: M=21 Jahre; Größe: M= 174 cm; Gewicht: M=66 kg; 6 Frauen und 8 Männer).

Die Hauptkinetoren des Vertikalsprungs, der *M. gluteus maximus* (Hüftstrecker), der *M. quadriceps femoris* (Kniestrecker, Hüftbeuger) und der *M. gastrocnemius* (Kniebeuger, Fußbeuger) wurden beidseitig, jeweils dreimal für 20 Sekunden, passiv-statisch gedehnt. Die entsprechenden Dehnübungen sind in den Abbildungen 3 bis 5 dargestellt.

Vor und nach dem statischen Dehnen bzw. einer Pause wurde ein Standhochsprung mit frei gewählter Ausholbewegung durchgeführt (siehe Tab. 2). Es wurde ein AB- bzw. BA-Plan durchgeführt, d.h. die Probanden wurden insgesamt zweimal untersucht (zwei verschiedene Testtage), jeweils einmal nach einem Aufwärmen mit Dehnen bzw. nach einem Aufwärmen mit Ent-



Abbildung 3: Übung zum passiv-statischen Dehnen des *M. gluteus maximus*



Abbildung 4: Übung zum passiv-statischen Dehnen des *M. quadriceps femoris*



Abbildung 5: Übung zum passiv-statischen Dehnen des *M. gastrocnemius*

spannung. Um Sequenzeffekte zu vermeiden, begann die eine Hälfte der Gruppe mit der A-Phase, die andere mit der B-Phase.

Kriteriumsaufgabe war ein vertikaler Strecksprung mit Ausholbewegung (Jump-and-Reach-Test; vgl. 4). Als abhängige Variable wurde die Sprunghöhe als Differenz zwischen der Reichhöhe im Stand (frontal zur Wand) und der Reichhöhe während des Sprungs (seitlich zur Wand) gemessen. Unter jeder Testbedingung wurden jeweils vier Sprünge durchgeführt, wobei der Mittelwert der vier Sprünge in die statistischen Analysen einbezogen wurde. Die Reliabilität des Vertikalsprungs wurde mehrfach geprüft und liegt in der Mehrzahl der Untersuchungen im Bereich von 0,8 und darüber (4, 12, 13, 14, 32).

Vor und nach einem fünfminütigen standardisierten Aufwärmen (Lauf- und Sprungübungen) wurden jeweils vier Standhochsprünge absolviert. Danach wurde entweder ein

Tabelle 2: Phasen der durchgeführten Studie

Dehnen (A-Phase)	Entspannung (B-Phase)
4 Standhochsprünge	4 Standhochsprünge
5 Minuten standardisiertes Aufwärmen (Lauf- und Sprungübungen)	5 Minuten standardisiertes Aufwärmen (Lauf- und Sprungübungen)
4 Standhochsprünge	4 Standhochsprünge
Statisches Dehnen (6 Minuten)	Entspannung (6 Minuten)
4 Standhochsprünge	4 Standhochsprünge

sechsminütiges statisches Dehnen (A-Phase: 3 Muskeln, jeweils dreimal, 20s Halten) oder ein sechsminütiges Entspannungsprogramm (B-Phase: meditative Atementspannungsübung mit Musik und Text im Droschkenkutschersitz auf einem Stuhl) durchgeführt. Nach dem Dehnen bzw. der Entspannung wurden weitere vier Sprünge absolviert. Mit diesem Forschungsdesign war es möglich, auch die Aufwärmefekte auf die Sprungleistung zu erfassen.

Die Normalverteilung wurde mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests mit Lilliefors-Korrektur geprüft. Da eine Normalverteilung nicht gegeben war, wurden Mittelwertun-

terschiede mit Hilfe des Wilcoxon-Tests geprüft. Die jeweilige Effektgröße (d') wurde auf der Grundlage der entsprechenden Formel nach (3) bestimmt:

$$d' = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\sigma_D} \cdot \sqrt{2}$$

Effektgrößen von 0.2 wurden als gering, von 0.5 als mittel und 0.8 als stark bewertet. Aufgrund der fehlenden Normalverteilung können die berechneten Effektgrößen nur als grobe Tendenzen interpretiert werden.

Die Zusammenhangshypothesen wurden – mit Ausnahme der Reliabilitätsprüfungen (7) – mit Hilfe der Rangkorrelation nach Spearman geprüft.

Ergebnisse

Die Test-Retest-Reliabilität der Sprungleistungen wurde mit Hilfe von Produkt-Moment-Korrelationen bestimmt. Die Korrelationskoeffizienten sind durchgehend signifikant positiv und liegen zwischen 0.982 und 0.996 (s. Tab. 3).

Tabelle 3: Test-Retest-Reliabilitäten der Sprungkrafttests (N = 14; VT1/2 – Vortest, ZT1/2 – Zwischentest nach Aufwärmen, NT1/2 – Nachtest nach Entspannung bzw. Dehnen; ** - $2p < .001$)

	VT1	ZT1	NT1	VT2	ZT2
ZT1	.987 **				
NT1	.993 **	.995 **			
VT2	.996 **	.987 **	.991 **		
ZT2	.982 **	.996 **	.991 **	.986 **	
NT2	.996 **	.992 **	.996 **	.995 **	.990 **

Die Testhalbierungsreliabilität wurde mit Hilfe von Produkt-Moment-Korrelationen bzw. der Spearman-Brown-Korrekturformel (7) bestimmt. Es wurden zwei Verfahren (seriell und Odd-even) angewandt. Die korrigierten Reliabilitätskoeffizienten liegen bei 0.990 und darüber (s. Tab. 4).

Damit liegt durchweg eine ausgezeichnete Reliabilität vor.

Tabelle 4: Split-Half-Reliabilitäten der Sprungkrafttests (N = 14; VT1/2 – Vortest, ZT1/2 – Zwischentest nach Aufwärmen, NT1/2 – Nachtest nach Entspannung bzw. Dehnen; Gleichheit der Varianzen ist gegeben: F-Test)

	Vergleich 1./2. vs. 3./4. Versuch				Vergleich nach Odd-Even			
	N	r	p	r _{korrigiert}	N	r	p	r _{korrigiert}
VT1	14	0.989	<.001	0.994	14	0.992	<.001	0.996
ZT1	14	0.992	<.001	0.996	14	0.987	<.001	0.993
NT1	14	0.994	<.001	0.997	14	0.992	<.001	0.996
VT2	14	0.988	<.001	0.994	14	0.989	<.001	0.994
ZT2	14	0.994	<.001	0.997	14	0.991	<.001	0.995
NT2	14	0.996	<.001	0.998	14	0.981	<.001	0.990

Das Aufwärmen führt an beiden Untersuchungstagen zu einem signifikanten Anstieg der Sprunghöhe um 4.4 bzw. 4.5 % (s. Abb. 6; Dehnen: N = 14; $z = -2.859$; $2p = .004$; $d' = 1.64$; Entspannung: N = 14; $z = -2.974$; $2p = .008$; $d' = 1.67$)

Die nach dem Aufwärmen realisierte Sprunghöhe sank nach statischem Dehnen um durchschnittlich 2.6% (N = 14, $z = -2.626$, $2p = .009$, $d' = -1.59$), während sie nach dem Entspannen um durchschnittlich 2.2% absank (N = 14, $z = -2.450$,

$2p = .014$, $d' = -1.05$). Nach dem Dehnen war bei 12 Versuchspersonen und nach der Entspannung bei 10 Versuchspersonen ein Abfall der Sprunghöhe nachzuweisen.

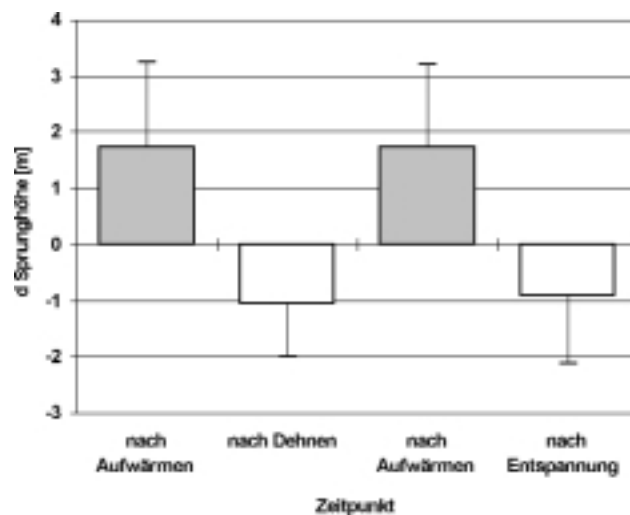


Abbildung 6: Einfluss eines Aufwärmens mit und ohne Dehnen auf die dynamische Schnellkraft bei einem Standhochsprung mit Ausholbewegung (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Die Veränderungen der Sprunghöhe nach Dehnen und nach Entspannen korrelieren signifikant (N = 14, $R = .51$, $p < .05$). Sie unterscheiden sich nicht (N = 14; $z = -1.155$; $2p = .248$). Das entsprechende Streudiagramm ist in Abbildung 7 dargestellt. Während bei 9 Probanden die Veränderungen der Sprunghöhe beim Dehnen deutlicher als beim Entspannen ausfallen (d.h., die Werte liegen oberhalb der Winkelhalbierenden), ist dies bei vier Probanden umgekehrt.

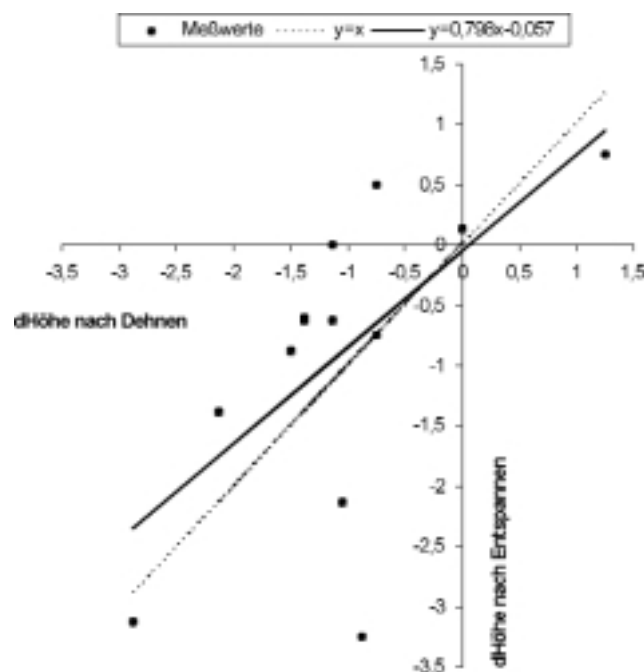


Abbildung 7: Streudiagramm zum Zusammenhang von Dehn- und Entspannungseffekten auf die Veränderung der Vertikalsprunghöhe

Diskussion

Die Ergebnisse des Experiments bestätigen zunächst einmal wiederum die zahlreichen Befunde, die – zumindest kurzfristig – negative Effekte statischen Dehnens auf Kraft- und Schnellkraftleistungen nachweisen.

Die von den Probanden realisierte Sprunghöhe von ungefähr 40 cm ist – im Vergleich zu anderen Befunden (32) – eher gering. Die Ursache liegt darin, dass in dieser Untersuchung keine Sprungspezialisten untersucht wurden.

Der Abfall der Sprungleistung fällt mit 2.6% im Vergleich zu den vorliegenden Befunden (siehe Tab. 1) relativ gering aus. Andere Studien finden z.T. erheblich stärkere Beeinträchtigungen. Im Vergleich zu den vorliegenden Hochsprunguntersuchungen sind die Werte aber durchaus vergleichbar.

Aufgrund der Höhe der Korrelation kann – bei aller Vorsicht gegenüber einem isolierten Korrelationswert (besonders 3) – von einer beträchtlichen Bedeutung von psychophysiologischen Entspannungseffekten für das Stretching ausgegangen werden. Da uns einschlägige Befunde zur genauen Spezifikation der diesem Zusammenhang zugrundeliegenden Mechanismen nicht bekannt sind, müssen die folgenden Interpretationen sehr allgemein und spekulativ bleiben. Berücksichtigt man die bereits berichteten Befunde zum Absinken des AZAN nach statischem Dehnen (8, 20) und psychophysiologischer Entspannung (26) sowie die Bedeutung der *Formatio reticularis* für allgemeine und spezifische Aktivierungsprozesse (26, 28, 30), so ist zu vermuten, dass statisches Dehnen – ähnlich wie psychophysiologische Entspannung – aufgrund reduzierter afferenter und efferenter Zuflüsse zur *Formatio reticularis* zu allgemeinen Desaktivierungsprozessen führt. Die Plausibilität dieser Interpretation wird durch Befunde verstärkt, die nur bei statischem, nicht aber bei dynamischem Dehnen einen Abfall der Reaktivkraftleistung finden, obwohl die beiden Techniken in gleicher Weise die statische Beweglichkeit (Stand-and-reach-Test) verbesserten (2). Auch diese Autoren gehen von verstärkten propriozeptiven Afferenzen beim dynamischen Dehnen aus, allerdings beziehen sie diese unterschiedlichen Afferenzen auf antagonistische Veränderungen der neuromuskulären Erregbarkeit. Aufgrund der nachgewiesenen kurzen Zeitdauer neuromuskulärer Fazilitations- und Inhibitionsprozesse erscheint diese Interpretation allerdings wenig plausibel, da die reduzierte Reaktivkraftleistung für 30 Minuten, die die Versuchspersonen ohne motorische Aktivität verbrachten, anhielt. Diese lange Zeitspanne ist weniger kritisch für die hier vorgelegte Interpretation. Tonische psychophysiologische Entspannungseffekte von dieser Dauer sind durchaus möglich (26) und wahrscheinlicher als neuromuskuläre Prozesse. Auf jeden Fall müssen weitere Faktoren eine Rolle spielen.

Dass ein reduziertes Aktivierungsniveau, das sich z.B. in reduzierter Motivation ausdrücken kann, Kraftleistungen negativ beeinflusst, ist unbestritten und vielfach nachgewiesen (kritisch zum generalisierbaren Zusammenhang zwischen psychophysiologischer Aktivierung und motorischer Leistung: 23). Denkbar sind aber auch Desaktivierungsprozesse

zentralen Ursprungs, wie sie auch von psychophysiologischen Entspannungstechniken bekannt sind (26).

Allerdings zeigt die Höhe der Korrelation ($R=.51$) auch, dass zwischen Dehn- und Entspannungseffekten kein vollständiger Zusammenhang besteht. Es müssen also weitere spezifische Faktoren, z.B. beim Dehnen neuromuskuläre und biomechanische Effekte, eine Rolle spielen. Über die relative Bedeutung dieser beiden Faktoren kann auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Untersuchung keine Aussage gemacht werden.

Weitere Untersuchungen müssen klären, ob bzw. in welchem Ausmaß die negativen Effekte des Stretchings durch psychophysiologische Aktivierungsmaßnahmen wieder rückgängig gemacht werden können. Dies wäre ein wichtiger Beleg für den postulierten Mechanismus. Außerdem sind weitere Experimente erforderlich, um zentrale und periphere Effekte zu isolieren bzw. zentral-psychophysiologische, peripher-neuromuskuläre und peripher-mechanische Effekte getrennt zu erfassen.

Danksagung

Ich danke *Herrn Daniel Kutzmann* für die engagierte Unterstützung bei der Planung, Durchführung und Auswertung der Untersuchung.

Literatur

1. Avela J, Kyröläinen H, Komi PV: Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *J Appl Physiol* 86 (1999) 1283-1291.
2. Begert B, Hillebrecht M: Einfluss unterschiedlicher Dehnstechniken auf die reaktive Leistungsfähigkeit. *Spectrum der Sportwissenschaften* 15 (2003) 1, 6-25.
3. Bortz J, Döring N: *Forschungsmethoden und Evaluation* (2. Aufl.). Springer, Berlin, 1995.
4. Felz F, Kornel E: *Sportmotorische Tests* (3. Aufl.). öbv, Wien, 1993.
5. Freiwald J, Engelhardt M, Jäger M, Gnewuch A, Reuter I, Wiemann K, Starischka S: Neue Aspekte für Evaluation und Bedeutung von Dehnung. in Wiemeyer J (Hrsg.): *Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport*. Czwalina, Hamburg, 1999, 260-264.
6. Hennig E, Podzielny S: Die Auswirkungen von Dehn- und Aufwärmübungen auf die Vertikalsprunghöhe. *Dtsch Z Sportmed* 45 (1994) 253-260.
7. Höner O, Roth K: Klassische Testtheorie: Die Gütekriterien sportwissenschaftlicher Erhebungsmethoden, in Singer R, Willimczik K (Hrsg.): *Sozialwissenschaftliche Forschungsmethoden in der Sportwissenschaft*. Czwalina, Hamburg, 2002, 67-97.
8. Janshoff G, Mück H, Mück-Weymann M: Einfluss von Dehnung ("Stretching") auf die autonome Herzfunktion, in Hottenrott K (Hrsg.): *Herzfrequenzvariabilität im Sport*. Czwalina, Hamburg, 2002, 131-140.
9. Jones K, Suttive V: Report: An independent replication of the Kokkonen et al. (1998) study: Acute muscle stretching inhibits maximal strength. *Res Quart Exerc Sport* 72 (2001) Suppl. A-16.
10. Klee A: Methoden und Wirkungen des Dehnungstrainings. Die Ruhespannungs-Dehnungskurve – ihre Erhebung beim M. rectus femoris und ihre Veränderung im Rahmen kurzfristiger Treatments. *Habilitationsschrift*, UGH Wuppertal, 2002.
11. Kokkonen J, Nelson AG, Cornwell A: Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res Quart Exerc Sport* 69 (1998) 411-415.
12. Kuhl A: Sportmotorische Tests für Mädchen. *Die Leibeserziehung* 18 (1969) 261-266.
13. Kuhn W: Testbatterie zur Leistungserfassung im Sportspiel Basketball. *Leistungssport* 4 (1974) 111-118.
14. Letzelter H, Letzelter M: Zur Aussagekraft von Konditionstesten: Der "allgemeine Konditionstest von Nordrhein-Westfalen". *Sportunterricht* 28 (1979) 13-21.

15. *Magnusson SP*: Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. A review. *Scand J Med Sci Sports* 8 (1998), 65-77.
16. *Magnusson SP, Simonsen EB, Aagard P, Kjaer M*: Biomechanical response to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *Am J Sports Med* 24 (1996), 622-628.
17. *Nelson AG, Allen JD, Cornwell A, Kokkonen J*: Inhibition of maximal voluntary isometric torque production by acute stretching is joint-angle specific. *Res Quart Exerc Sport* 72 (2001) 68-70.
18. *Nelson AG, Kokkonen J*: Acute ballistic muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res Quart Exerc Sport* 72 (2001) 415-419.
19. *Rosenbaum D, Hennig EM*: Veränderung der Reaktionszeit und Explosivkraftentfaltung nach einem passiven Stretchingprogramm und 10minütigem Aufwärmen. *Dtsch Z Sportmed* 48 (1997) 95-99.
20. *Rothe M*: Zur Abhängigkeit des zentralnervösen Aktivierungsniveaus von verschiedenen Aufwärmtrainingsinterventionen bei unterschiedlichen Aufwärmzeiteinheiten. Unveröff. Diss., DSHS, Köln, 1993.
21. *Schönthaler SR, Ohlendorf K, Ott H, Meyer T, Kindermann W, Schmidtbleicher D*: Biomechanische und neurophysiologische Parameter zur Erfassung der Dehnbarkeit von Muskel-Sehnen-Einheiten. *Dtsch Z Sportmed* 49 (1998) 223-230.
22. *Scott AB*: Change of eye muscle sarcomers according to eye position. *Journal of Pediatric Ophthalmology and Strabismus* 31 (1994) 4, 85-88.
23. *Strang H*: Effizienzregeln in der Aktivierungsforschung: Fakt oder Fiktion? *Sportpsychologie* 6 (1992) 4, 11-14.
24. *Taylor DC, Dalton JD, Seaber AV, Garrett WE*: Viscoelastic properties of muscle-tendon units. *Am J Sports Med* 18 (1990) 300-309.
25. *Ullrich K, Gollhofer A*: Physiologische Effekte und Effektivität unterschiedlicher Dehnmethode. *Dtsch Z Sportmed* 45 (1994) 336-345.
26. *Vaitl D*: Psychophysiologie der Entspannung, in Vaitl D, Petermann F (Hrsg.): *Lehrbuch der Entspannungsverfahren*. Band 1: Grundlagen und Methoden (2. Aufl.). PVU, Weinheim, 2000, 29-76.
27. *Viidik A*: Structure and function of normal and healing tendons and ligaments, in Mow VC, Ratcliffe A, Woo SL (Eds.): *Biomechanics of diarthrodial joints*. Springer, New York, 1990, 257-280.
28. *Walschburger P*: Sport und Aktivierung. Ein überschätztes Konzept in der Sportpsychologie. *Sportpsychologie* 6 (1992) 4, 5-10.
29. *Wiemann K, Klee A*: Muskeldehnung zur Leistungsverbesserung im Sport, in BISP (Hrsg.): *Sportwissenschaftliche Forschungsprojekte*. Erhebung 1992. Strauß, Köln, 1993, 445.
30. *Wiemeyer J*: Zentralnervöse Aktivierung und sportliche Leistung. Strauß, Köln, 1990.
31. *Wiemeyer J*: Beweglichkeitstraining im Sport, in Singer R (Hrsg.): *Neuere Aspekte des Konditionstrainings*. Institut für Sportwissenschaft, Darmstadt, 2001, 121-155.
32. *Wiemeyer J*: Stretching – eine sinnvolle Vorbereitungsmaßnahme im Sport? Kritische Diskussion kurz-, mittel- und langfristiger Effekte statischen Dehnens. *Spectrum der Sportwissenschaften* 14 (2002), 53-80.
33. *Wiemeyer J*: Flimmerverschmelzungsfrequenz und zentralnervöse Aktivierung. *Neurologie & Rehabilitation* 8 (2002), 29-34.
34. *Wiemeyer J*: Dehnen reduziert auch die Weitsprungleistung. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge* 44 (2003), in Druck.
35. *Wydra G*: Stretching – ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung. *Sportwissenschaft* 27 (1997), 409-427.
36. *Young W, Elliott S*: Acute effects of static stretching, proprioceptive neuromuscular facilitation stretching, and maximum voluntary contractions on explosive force production and jumping performance. *Res Quart Exerc Sport* 72 (2001) 273-279.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. rer. medic. Josef Wiemeyer

Institut für Sportwissenschaft

Magdalenenstr. 27

64289 Darmstadt

e-mail: wiemeyer@ifs.sport.tu-darmstadt.de