

Josef Wiemeyer

Dehnen – eine sinnvolle Vorbereitungsmaßnahme im Sport?

Kritische Diskussion kurz- und langfristiger Effekte des Dehnens im Rahmen von Aufwärmprozeduren

STRETCHING – AN ADEQUATE WARM-UP PROCEDURE IN SPORT?

A CRITICAL DISCUSSION OF SHORT- AND LONG-TERM EFFECTS OF STRETCHING AS A PART OF WARM-UP PROCEDURES

Zusammenfassung

Wenn Maßnahmen des Dehnens im Rahmen von Aufwärminterventionen im Sport eingesetzt werden, wird im Allgemeinen eine positive Wirkung erwartet. Zu diesen positiven Wirkungen zählen kurzfristige, d.h. auf die einzelne Trainingseinheit bezogene Leistungssteigerungen sowie kurz- und langfristige Verletzungsprophylaxe. Allerdings zeigen die einschlägigen empirischen Befunde – insbesondere zum passiv-statischen Dehnen –, dass berechtigte Zweifel daran bestehen, ob diese Wirkungen auch tatsächlich generell eintreten. Im vorliegenden Beitrag werden diese Befunde eingehend diskutiert. Außerdem werden zwei eigene Experimente berichtet, die auf der Grundlage eines ABAB-Plans die Reliabilität und externe Validität der Befunde erhöhen sollten.

Insgesamt bestehen beträchtliche Forschungsdefizite zum Aufwärmen und Dehnen.

Abstract

When stretching is applied in warm-up procedures positive effects are expected, particularly short term performance improvement and short- and long-term injury prevention. Recent evidence, however, particularly concerning passive-static stretching, raises serious doubts about the question, whether the expected effects can generally be achieved. In this contribution we discuss the evidence concerning the effects of stretching on performance and injury prevention. Furthermore we report two experiments based on an ABAB-plan in order to improve reliability and external validity of the results.

Concerning warm-up and stretching considerable research deficits do exist.

1 Einleitung

Zur Vorbereitung auf sportliche Betätigungen dient das Aufwärmen. Betrachtet man allerdings die praktische Durchführung des Aufwärmens im Sport, stellt sich die Frage, ob die gewöhnlich durchgeführten Maßnahmen zum Aufwärmen mehr sind als ein bloßes Ritual (vgl. hierzu auch Loy, 2000).

Wenn Aufwärmmaßnahmen gezielt eingesetzt werden sollen, ist eine differenzierte Auseinandersetzung mit Zielen, Zwecken und Erfordernissen des Aufwärmens erforderlich. Im Rahmen des Aufwärmens spielen Dehn- und Lockerungsübungen eine bedeutende Rolle. Diese Übungen sollen die Beweglichkeit erhöhen und auf diese Weise leistungssteigernd und verletzungsprophylaktisch wirken. Zwar sind diese Begründungen durchaus plausibel, allerdings stellt sich die Frage, ob ein Dehnen im Rahmen eines Aufwärmens tatsächlich die postulierten Wirkungen hat.

Ziel des vorliegenden Beitrages ist es daher, sich differenziert mit der Rolle von Dehnübungen im Rahmen des Aufwärmens im Sport auseinanderzusetzen. Es sollen zunächst grundsätzliche Überlegungen zu Zielen und Durchführungsmöglichkeiten des Aufwärmens angestellt werden, um dann einige Befunde zu diskutieren, die zum kurz- und langfristigen Einfluss von Dehnen auf die sportliche Leistung bzw. Leistungsvoraussetzungen berichtet werden. Im Hinblick auf die Differenzierung kurz- versus langfristiger Effekte orientieren wir uns an Wiemann und Klee (1999, S.11), die „Kurzzeit-Dehnen“ auf eine Dehnungseinheit beziehen und „Langzeit-Dehnen“ auf eine mehrtägige bis mehrwöchige Dehntrainingsperiode.

2 Grundlagen des Aufwärmens

2.1 Was sollen Vorbereitungsmaßnahmen bewirken?

Allgemeines *Ziel von Vorbereitungsmaßnahmen auf sportliche Belastung* ist die „Herstellung eines optimalen psycho-physischen und koordinativ-kinästhetischen Vorbereitungszustandes“ (Weineck, 2000, S. 645). Die folgenden Funktionseinheiten des Organismus müssen auf nachfolgende Beanspruchungen vorbereitet werden (Shellock & Prentice, 1985; de Mareès, 1989, S. 313-315; Weineck, 2000, S. 646-649; ausführlich Freiwald, 1991, S. 27-42; 2001; Michel, 2001; Wiemeyer, 2001b):

- Muskulatur: Temperaturerhöhung (Noonan & Garrett, 1992, S.799-801), Energiestoffwechselaktivierung, Abnahme der Rissbereitschaft von Muskel und Sehnen (besonders Noonan et al., 1993), Steigerung von Kraft und Geschwindigkeit der Muskelkontraktion
- Gelenke: Zunahme der Dicke der hyalinen Knorpelschicht, Erhöhung der Plastizität und Elastizität der kollagenen Fasern (Kapseln, Bänder)
- Herz-Kreislauf-System: Anstieg von Herzfrequenz, Schlagvolumen, Herzminutenvolumen und Blutdruck, Blutumverteilung zugunsten der beanspruchten Muskulatur
- Atmung: Anstieg von Atemfrequenz, Atemzugvolumen und Atemminutenvolumen
- Hormonelles und vegetatives System: Umstellung auf ergotrope Phase, Verbesserung der Koordination der Organfunktionen
- Zentralnervensystem: Aktivierung des sensomotorischen Gedächtnisses und weiterer funktioneller Handlungsregulationssysteme

- peripheres Nervensystem: Verbesserung der Sensorenfunktionen (Leitungsgeschwindigkeit, Empfindlichkeit)
- psychisches System: Verbesserung bzw. Aktivierung von Kognition (z.B. Aufmerksamkeit), Motivation, Emotionen, Einstellung etc.

Nach Freiwald (1991) stehen diese Funktionseinheiten mit vier Funktionsdimensionen in Verbindung:

- Allgemeine organismische Leistungsfähigkeit
- Koordinative Leistungsfähigkeit
- Psychische Leistungsfähigkeit
- Verletzungsprophylaxe

2.2 Wie sollte man sich aufwärmen?

Ziel des Aufwärmens sollte es sein, die genannten Funktionseinheiten so vorzubereiten, dass sich optimale Effekte auf die vier Funktionsdimensionen einstellen.

Es gibt verschiedene *Formen des Aufwärmens*: allgemeines und spezielles sowie aktives und passives Aufwärmen. Allgemeines Aufwärmen zielt auf die unspezifische Vorbereitung der genannten Funktionssysteme des Organismus, während spezielles Aufwärmen sich an den disziplin- oder sportartspezifischen Anforderungen der jeweiligen Bewegungen orientiert. Aktives Aufwärmen beinhaltet die physische Ausführung von Bewegungen durch den Sportler, während passives Aufwärmen Maßnahmen zur Erhöhung der Körpertemperatur wie heißes Duschen, Einreibungen, Massagen etc. umfasst. Mentales Aufwärmen stellt eine Zwischenstufe dar, da zwar einerseits keine Bewegungen sichtbar sind, aber andererseits im Rahmen des intensiven Vorstellungsprozesses durchaus – wenn auch sehr kleine – periphere Muskelaktivitäten nachweisbar sind (z.B. Mimbbrero, Torregrosa & Capdevila, 1995). Freiwald (1991, S. 15-16) unterscheidet zusätzlich ein individuelles Aufwärmen, das auf die persönlichen Voraussetzungen des jeweiligen Sportlers abgestimmt ist.

Vor dem Hintergrund der oben skizzierten Funktionseinheiten und Funktionsdimensionen sollte ein Aufwärmen auf jeden Fall allgemeine und spezifische Formen kombinieren. Passives und mentales Aufwärmen reichen – isoliert durchgeführt – nicht aus, um die Gesamtheit der erforderlichen Effekte zu gewährleisten.

2.2.1 Phasen eines Aufwärmprogramms

Um die allgemeine organismische Leistungsfähigkeit sicherzustellen, ist eine dynamische Ganzkörperbeanspruchung (allgemeines Aufwärmen) zwingend erforderlich. In einer zweiten Phase sollte vor allem die Muskulatur adäquat gedehnt werden, an die nachfolgend spezifische Flexibilitätsanforderungen gestellt werden (koordinative Leistungsbereitschaft und Verletzungsprophylaxe). Als dritte Phase sollte ein ausgeprägtes koordinatives Einüben, d.h. die Ausführung sportarttypischer Bewegungen – möglichst unter sportarttypischen Bedingungen – folgen, damit das Bewegungsge-

dächtnis sowie psychische Prozesse wie Motivation und Einstellung der Sportler positiv beeinflusst werden können.

Damit ergibt sich grundsätzlich eine *Dreiphasigkeit des Aufwärmens* (siehe Tabelle 1). Zur Reihenfolge der drei Phasen gibt es unterschiedliche Auffassungen (vgl. hierzu Freiwald, 1991; Wiemeyer, 2001b).

Tab. 1: Phasen des Aufwärmens und Funktionsdimensionen

<i>Phase</i>	<i>Funktionsdimensionen</i>
Allgemeine dynamische Ganzkörperbeanspruchungen	Allgemeine organismische Leistungsbereitschaft Psychische Leistungsbereitschaft
Dehnen	Koordinative Leistungsbereitschaft Verletzungsprophylaxe
Koordinatives Einüben (sportartspezifisch)	Koordinative Leistungsbereitschaft Psychische Leistungsbereitschaft

2.2.2 Dauer und Intensität des Aufwärmens

Zur *Dauer des Aufwärmens* generell bzw. der einzelnen Phasen des Aufwärmens liegen kaum differenzierte wissenschaftliche Befunde vor. Die Schwierigkeit, hier generelle Empfehlungen auszusprechen, liegt sicherlich auch darin begründet, dass zahlreiche Faktoren einen Einfluss auf die Länge des Aufwärmens haben, z.B. Alter, Trainingszustand, Tageszeit, Klima, psychische Verfassung und Art der nachfolgenden Beanspruchung. So gibt Weineck (2000, S. 651) als optimale Aufwärmzeit eine Spanne von 20 bis 45 Minuten an, während de Mareès (1989, S. 316) eine Zeitspanne von 10 bis 30 Minuten empfiehlt. Als absolutes Minimum gelten fünf Minuten (vgl. de Mareès, 1989, S. 316), da nach dieser Zeit wenigstens 50% des Aufwärmeffektes im Hinblick auf die Körpertemperatur erreicht sind.

Zur *Intensität des Aufwärmens* publizierten Joch und Ückert (2001) die Ergebnisse von insgesamt sechs empirischen Untersuchungen. Die Befunde lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die von den Autoren untersuchten Fahrradergometerbelastungen müssen eine bestimmte Mindestintensität aufweisen, um zu einem signifikanten Anstieg der Körpertemperatur zu führen. Bei zu geringer (subjektiver wie objektiver) Intensität bleiben entsprechende Veränderungen aus. Allerdings scheint weniger die Körperkerntemperatur als die Muskeltemperatur von Bedeutung zu sein (Noonan & Garrett, 1992; Noonan et al., 1993).
- Nachfolgende Leistungen können durch ein geeignetes Aufwärmen um bis zu 7% gegenüber der Leistung vor dem Aufwärmen gesteigert werden. Auch hier zeigt sich, dass signifikante Leistungsverbesserungen ausbleiben, wenn kritische Intensitäten unterschritten werden.

Im Hinblick auf die Aktivierung des Zentralnervensystems in Abhängigkeit von der Intensität und den Inhalten von Aufwärminterventionen führte Rothe (1993) eine interessante Untersuchung durch. Er untersuchte insgesamt fünf verschiedene Intensitäten bzw. Inhalte des Aufwärmens, wobei die Aufwärmdauer in Stufen von 10, 15 und 20 Minuten variiert wurde. Rothe untersuchte die folgenden fünf Aufwärmbedingungen:

- isometrische Kontraktionen einzelner Muskeln, Muskelgruppen und Muskelschlingen,
- moderate dynamische Ganzkörperbeanspruchungen (Laufen, Gymnastik) im Bereich von Herzfrequenzen zwischen 110 und 140 Schlägen pro Minute,
- intensive dynamische Ganzkörperbeanspruchungen (Laufen, Gymnastik) im Herzfrequenzbereich von 140 bis 180 Schlägen pro Minute,
- Stretching einzelner Muskeln oder Muskelgruppen und
- eine Mischung aus den oben genannten vier Inhalten und Intensitäten.

Als abhängige Variablen wurden Blutlaktat, Blutammoniak und die Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF) als Indikator des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus (AZAN) erhoben.

Rothe fand die folgenden Ergebnisse:

- Nach allen Aufwärmhalten bzw. -intensitäten stieg der Laktatwert signifikant an. Der Anstieg war beim Stretching am geringsten, gefolgt von dem dynamisch leichten, isometrischen, gemischten und dynamisch intensiven Aufwärmen.
- Der Blutammoniakspiegel stieg nur bei isometrischem, moderat-dynamischem, intensiv-dynamischem und gemischtem Aufwärmen an, aber nicht nach einem Stretching. Dabei war der Ammoniakanstieg nach isometrischen Inhalten am geringsten. Bei den dynamischen Aufwärmbedingungen korrelierte der Ammoniakanstieg mit der Intensität.
- In Abbildung 1 sind die Ergebnisse im Hinblick auf die Veränderung der FVF dargestellt. Während Stretching-Übungen als alleinige Inhalte des Aufwärmens zu einem signifikanten Abfall des AZANs führten, blieb das Aktivierungsniveau nach isometrischen und gemischten Aufwärmhalten nahezu gleich. Lediglich leicht bzw. intensiv dynamische Aufwärmhalte führten zu einem Anstieg des AZANs, wobei der Anstieg bei intensiv dynamischen Inhalten höher ausfiel, gefolgt von einem anschließenden Abfall. Dem gegenüber stieg die Aktivierung nach leicht dynamischen Aufwärmhalten progressiv an.

Die Untersuchung zeigt deutlich, dass weniger die Dauer des Aufwärmens – zumindest in den untersuchten Bereichen zwischen 10 und 20 Minuten – als die Aufwärmhalte und -intensitäten eine Rolle spielen.

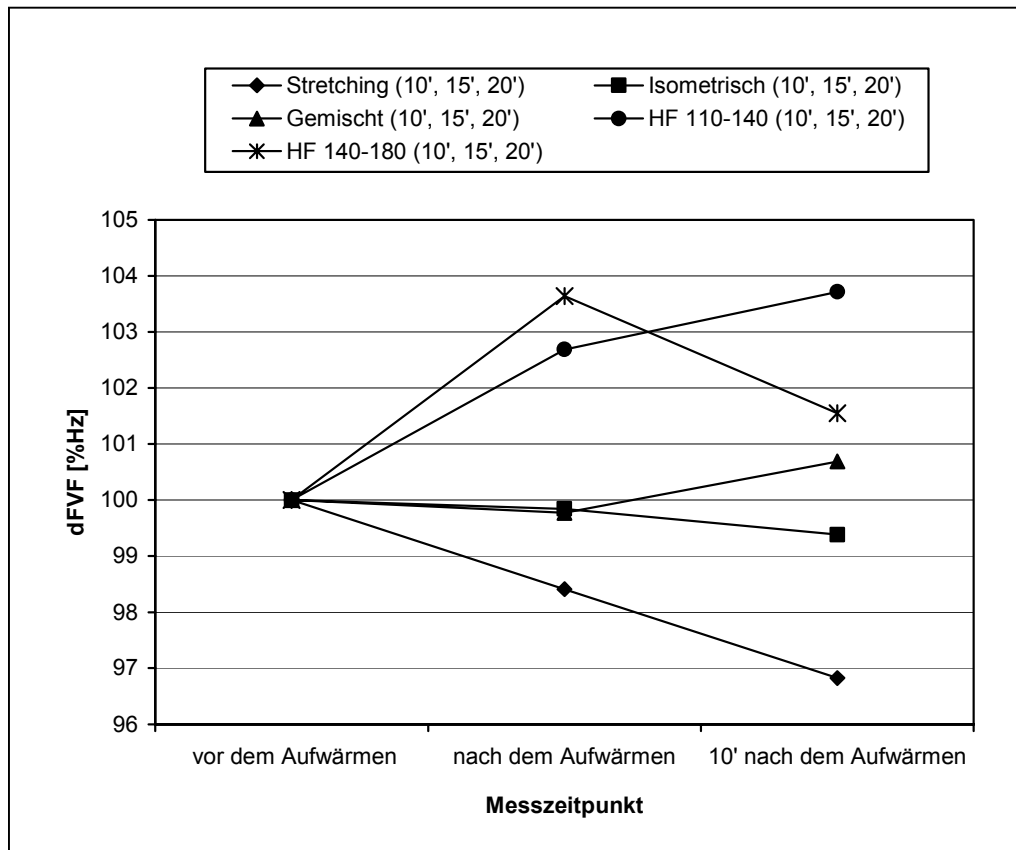


Abb. 1: Veränderung des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus, gemessen über die relative Veränderung der Flimmerverschmelzungsfrequenz (dFVF), in Abhängigkeit von verschiedenen Inhalten und Intensitäten des Aufwärmens (Ausgangsniveau = 100%; Zusammenfassung der drei Aufwärmzeiten: 10, 15 und 20 Minuten; nach Rothe, 1993)

3 Dehnen als Aufwärminhalt

Für eine differenzierte Bewertung des Dehnens als Aufwärminhalt ist zu berücksichtigen, dass verschiedene Dehnmethode unterschieden werden müssen (vgl. ausführlich Wiemeyer, 2001a, S.137-146): statische und dynamische, aktive und passive Dehnmethode. Anspannungs-Entspannungsdehnen (auch CHRS- oder CRS-Methode) bzw. Antagonisten-Kontraktionsdehnen als aktiv-statische Dehnmethode berufen sich auf spezifische neurophysiologische Mechanismen, die gezielt beim Dehnen ausgenutzt werden sollen. Bei allen statischen Dehnmethode soll die phasische Komponente des Muskeldehnungsreflexes ausgeschaltet werden. Weiterhin können sich die Belastungskomponenten beim Dehnen unterscheiden (z.B. Intensität, Dauer und Anzahl der Wiederholungen).

Beim praktischen Einsatz von Dehn- und Stretching-Übungen im Rahmen des Aufwärmens wird häufig darauf verwiesen, dass durch diese Übungen Muskelkater oder mögliche Verletzungen verhindert werden können und die Leistungsfähigkeit des Organismus erhöht werden kann. Zu diesen Fragestellungen sind in der Vergangenheit eine Reihe von Experimenten durchgeführt worden, die im Folgenden diskutiert werden.

Zunächst soll kurz dargestellt werden, welche Effekte die Dehnung von Muskel-Sehnen-Einheiten hat (ausführlich vgl. Wiemeyer, 2001a).

3.1 Kurzfristige Effekte von Dehninterventionen auf die Beziehung von Muskellänge und Muskelspannung

Wenn man eine Muskel-Sehnen-Einheit dehnt, kommt es zu einer viskoelastischen Stressrelaxation, die in Abbildung 2 nach Magnusson (1998) 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 90-sekündigen 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.

Dieses Verhalten des Muskel-Sehnen-Systems ist nicht statisch, sondern die Längen-Drehmoment-Kurve des Muskels kann durch Veränderung der statischen Reflexschwelle (λ oder statische Stiffness) seitlich verschoben werden (vgl. Feldman, 1986). Wenn es sich bei der in Abbildung 2 dargestellten Kurve um die passive Ruhedehnungskurve eines maximal entspannten Muskels handelt, ist lediglich eine Verschiebung nach links, d.h. hin zu höheren Spannungen, möglich (vgl. hierzu Wiemann & Klee, 1999).

Die dargestellten, auch mit anderen Messapparaturen replizierten Befunde (vgl. z.B. Schönthaler et al., 1998) zeigen, dass der Muskel-Sehnen-Komplex nicht wie eine Hook'sche Feder funktioniert. Vielmehr müssen drei Komponenten der Muskel-Sehnen-Eigenschaften unterschieden werden (ähnlich Viidik, 1990; Fung, 1993; Wydra, 1997):

- Zu Beginn der Dehnung lässt sich der Muskel ohne nennenswerten Anstieg des Widerstandes deformieren (plastische Komponente).
- Mit zunehmender Dehnung kommt es 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 Dehnrates (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 (z.B. Taylor et al., 1990, S. 306-307; Schönthaler et al., 1998, S. 225-227). Mit zunehmender Häufigkeit des Dehnens sinkt der Muskelwiderstand dagegen ab, d.h. die Längen-Spannungs-Kurve wird nach rechts verschoben (z.B. Schönthaler et al., 1998, S. 228).

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass ein Muskel kurzfristig auf einen Dehnreiz mit einem exponentiellen Anstieg des Drehmoments 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 (1994) kann man davon ausgehen, dass es zu einer kurzfristigen Verlängerung des Muskels und der Sarkomere kommt.

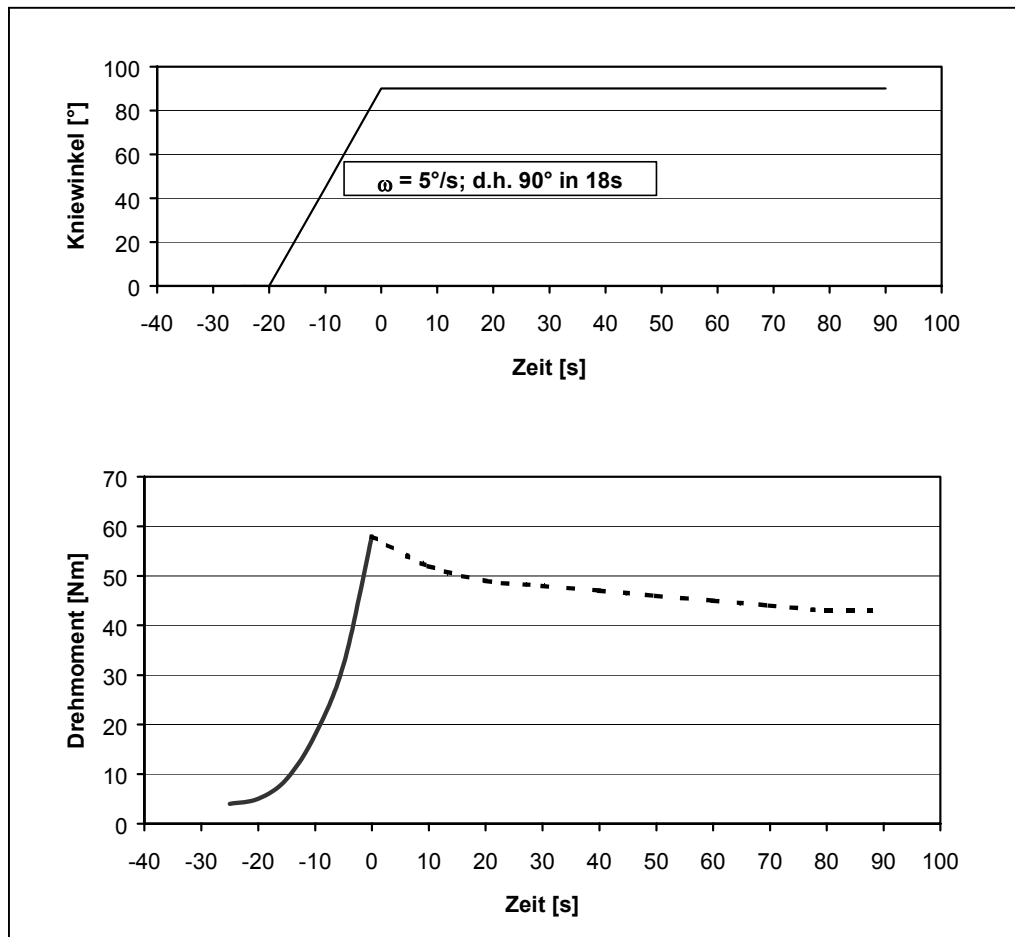


Abb. 2: Viskoelastische Stressrelaxation bei einer langsam-dynamischen Dehnung mit nachfolgendem Halten von 90s Dauer nach Magnusson (1998, S. 67; vgl. auch Magnusson et al., 1995, S. 343)

Vergleicht man das Dehnungsverhalten von isolierten Sehnen (z.B. Viidik, 1990; Fung, 1993) mit dem Verhalten des Muskel-Sehnen-Komplexes (z.B. Magnusson et al., 1995; Schönthaler et al., 1998), dann kann man aufgrund der Ähnlichkeit schließen, dass auf jeden Fall elastische kollagene Anteile beteiligt sind. Ob es sich um parallelelastische oder serienelastische Elemente (vgl. hierzu Hujing, 1994) handelt, ist nicht geklärt.

Neuromuskuläre Effekte des Dehnens (z.B. die Reduktion der Reflex- bzw. Motoneuronenaktivität), die zum Teil in Abhängigkeit 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 (vgl. zusammenfassend Wiemeyer, 2001a).

3.2 Kurzfristige Effekte des Dehnens auf Kraftleistungen

Die in Abschnitt 3.1 berichteten Befunde zu kurzfristigen Effekten von Dehnen auf die Muskellängen-Spannungs-Beziehung können nicht ohne Folgen für nachfolgende Kraftbelastungen bleiben. Wenn die Verlängerung des Muskel-Sehnen-Komplexes erhalten bleibt, verändert sich die Muskellänge, bei welcher durch eine optimale Überlappung von Aktin- und Myosinfilamenten eine maximale Kraftentwicklung möglich ist.

3.2.1 Vorliegende Befunde

Im Hinblick auf die Verbesserung der muskulären Leistungsfähigkeit zeigen experimentelle Befunde, dass die dynamische und isometrische Maximalkraft sowie die dynamische Schnellkraft im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus durch ein statisches Dehnen in keinem Fall positiv beeinflusst werden konnten.

Rosenbaum und Hennig (1997) untersuchten an 55 männlichen Sportlern (Alter: $M = 25.3$ Jahre) den Einfluss von statischem Dehnen (dreimal 30s Halten) und 10 Minuten Dauerlauf auf die konzentrische Maximalkraft des *M. triceps surae*. Als Referenzwert diente der Vorbelastungswert im unaufgewärmten Zustand. Nach dem dreiminütigen Stretching zeigte sich zwar kein signifikanter Kraftabfall, aber ein signifikanter Abfall der EMG-Amplitude und des EMG-Integrals. Nach dem Dauerlauf verbesserten sich sowohl die Kraftwerte als auch die Reaktions- und Latenzzeitwerte.

Kokkonen, Nelson und Cornwell (1998) untersuchten an 30 College-Studenten (Alter: $M = 22$ Jahre) die Auswirkungen von zehninütigem Sitzen versus 20-minütigem aktiv- und passiv-statischem Stretching der Hüft-, Oberschenkel- und Wadenmuskulatur (5 Komplexübungen: je drei Wiederholungen mit und ohne Unterstützung durch den Testleiter; jeweils 15s Halten und Pause) auf die konzentrische Maximalkraft der Kniebeuger und -strecker. Das Stretching führte – im Vergleich zur Pause – zu einem signifikanten Kraftabfall der Kniebeuger um 7.3% und der Kniestrecker um 8.1%. In einer Replikationsstudie konnten Jones und Sutlive (2001) diese Befunde bestätigen; allerdings fiel der Kraftabfall mit durchschnittlich 4.3% deutlich geringer aus.

Avela, Kyröläinen und Komi (1999) untersuchten an 20 männlichen Versuchspersonen im Alter von durchschnittlich 27 Jahren die Auswirkungen eines wiederholten dynamischen Dehnens auf die isometrische Kraft und die Reflexaktivität (M- und H-Reflex) der Wadenmuskulatur. Nach einem einstündigen intermittierenden passiven Dehnen des M. triceps surae (Dehngeschwindigkeit: 3.5 rad/s; Dehnamplitude: 10°; Dehnfrequenz: 1.5 Dehnungen pro Sekunde; Ausgangswinkel im Fußgelenk: 90°) fielen die isometrische Maximalkraft des M. triceps surae um 23.2% und die H-Reflex-Amplitude um 46.1% ab. Bereits 15 Minuten nach der Dehnprozedur war der Kraftabfall nicht mehr nachweisbar.

Nelson et al. (2001) untersuchten an 55 College-Studenten im Alter von durchschnittlich 22 Jahren die Auswirkungen eines zehninütigen passiv-statischen Dehnens (Stretching) des M. quadriceps auf die maximale isometrische Kraft der Kniestreckung. Es wurden zwei Stretchingübungen eingesetzt (30s Halten; 20s Pause). Die isometrische Maximalkraft wurde in fünf verschiedenen Kniewinkelstellungen gemessen (90°, 108°, 126°, 144° und 162°; jeweils vier Versuche bei jeder Winkelstellung; 30 bis 60s Pause zwischen den einzelnen Versuchen). Die Stretching-Intervention führt lediglich bei einer Gelenkwinkelstellung von 162° zu einem signifikanten Abfall der Maximalkraft um durchschnittlich 7%. Dies kann als Hinweis für die Rechtsverschiebung der Längen-Kraft-Kurve der gedehnten Streckmuskulatur interpretiert werden. Durch die dehnbedingte Verlängerung der Muskel-Sehnen-Einheit kann erst bei größeren Muskellängen die maximale Kraft entfaltet werden, während bei geringer Muskellänge eine geringere Kraft als im ungedehnten Zustand produziert werden kann.

Wiemann und Klee (1993) berichten von einer Untersuchung, in der 32 Studenten zwischen 35-m-Läufen mit fliegendem Start entweder 15 Minuten ein Antagonisten-Kontraktionsdehnen der Hüftbeuge- oder Streckmuskulatur (je drei Sätze à drei Wiederholungen mit 3 Minuten Pause zwischen den Sätzen) oder 15 Minuten Dauerlauf absolvierten. Nach dem Dehnen war ein signifikanter Anstieg der 35-m-Zeit um durchschnittlich 0.14s, nach dem Dauerlauf dagegen nur ein geringerer, aber ebenfalls signifikanter Anstieg von durchschnittlich 0.02s nachzuweisen. Bereits nach fünf Minuten war die Sprintzeit nach den Dehninterventionen wieder leicht und signifikant verbessert.

Hennig und Podzielny (1994) untersuchten an 29 Sportstudenten (Alter: $M = 26.5$ Jahre) und 17 Leichtathleten (Alter: $M = 24.2$ Jahre) die Auswirkungen von statischem Dehnen (12 nicht näher beschriebene, einfache Übungen für die obere und untere Extremität; 20s Halten) und zehninütigem Dauerlauf auf die Sprunghöhe und die Kräfte beim Vertikalsprung mit Ausholbewegung. Am ersten Untersuchungstag wurden jeweils fünf Sprünge vor und nach dem Stretching sowie nach dem darauffolgenden zehninütigen Dauerlauf durchgeführt. Am zweiten Untersuchungstag wurde – bei gleichem Design – das Stretching nach dem Dauerlauf durchgeführt. Der Dauerlauf führte zu einem sechsprozentigen Anstieg der Sprunghöhe sowie zu einem vier- bis achtprozentigen Anstieg der Bodenreaktionskräfte. Ein Stretching nach dem Dauerlauf führte zu einem signifikanten Abfall der Sprunghöhe um ca. 4% und zu einem Abfall der Bodenreaktionskräfte um 2 bis 4.5%. Dagegen

fürte das Stretching vor dem Dauerlauf, d.h. im kalten Zustand, zu keiner signifikanten Veränderung der realisierten Sprunghöhe.

Young und Elliott (2001) untersuchten an 14 männlichen Probanden im Alter von durchschnittlich 22 Jahren die Auswirkungen von vier verschiedenen Aufwärmbedingungen (fünf Minuten Jogging in Verbindung mit passiv-statischem Dehnen, Anspannungs-Entspannungs-Dehnen, maximalen isometrischen Kontraktionen oder vier Minuten Pause, jeweils gefolgt von vier Minuten langsamem Gehen). Gedeht bzw. kontrahiert wurden die Mm. glutei, der M. triceps surae und der M. quadriceps. Die Haltezeiten beim Dehnen betragen jeweils 15s und bei der isometrischen Kontraktion 5s. Als Kriteriumsbebewegungen wurden jeweils nach den Treatments drei Vertikalsprünge ohne Ausholbewegung aus einer Kniewinkelstellung von 100° (Squat Jumps) und Tief-Hoch-Sprünge aus einer Höhe von 30cm (Drop Jumps) ausgeführt. Bei den Squat Jumps zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den vier Bedingungen. Es bestand lediglich eine Tendenz zu negativen Effekten durch statisches Dehnen (Abfall der Sprunghöhe um 2% im Vergleich zur Kontrollbedingung). Bei den Drop Jumps nach dem statischen Dehnen war der Quotient aus Sprunghöhe und Kontaktzeit signifikant niedriger als bei allen anderen Bedingungen (Reduktion um 7% gegenüber der Kontrollbedingung).

Insgesamt lassen sich aus der dargestellten Befundlage deutliche Hinweise dafür finden, dass Dehnen – insbesondere nach vorhergehenden dynamischen Ganzkörperbeanspruchungen – sich in keiner Untersuchung positiv und häufig sogar negativ auf Kraft- und Schnellkraftleistungen auswirkt (vgl. auch Höss-Jelten, 2001). Sowohl biomechanische als auch neurophysiologische Ursachen kommen für diese Effekte in Frage (vgl. Wydra, 1997): z.B. Creeping- und Relaxations-Phänomene, Reduktion der Motoneuronen-Erregbarkeit oder allgemeine psychophysische Entspannung (vgl. auch Ullrich & Gollhofer, 1994).

3.2.2 Eigene Befunde zum Einfluss des Stretchings auf Sprungleistungen

Die Ziele der eigenen Untersuchungen zu den Auswirkungen eines statischen Dehnens auf Kraftleistungen liegen auf zwei Ebenen:

- Erstens sollen durch Untersuchung einer komplexen Bewegung (Vertikalsprung mit Ausholbewegung), wie sie im Sport in vielfachen Variationen vorkommt und auch von Hennig und Podzielny (1994) untersucht wurde, die Sportnähe und damit die externe Validität erhöht werden. Der Vertikalsprung mit Ausholbewegung (Countermovement Jump) besteht aus einer exzentrischen und konzentrischen Phase der beteiligten Strecksehne und ist damit ein Modell für einen langen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ), da die Kontaktzeit über 200ms liegt (vgl. Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 225; Komi, 1994). Güllich und Schmidtbleicher (1999, S. 225) schätzen, dass 90% aller Sportbewegungen einen DVZ beinhalten.
- Zweitens soll durch Einsatz eines ABAB-Plans die Reliabilität der Befunde geprüft bzw. erhöht werden (vgl. hierzu Bortz & Döring, 1995, S. 544-545).

Es wurden zwei experimentelle Untersuchungen zum Einfluss statischen Dehnens auf die dynamische Schnellkraft im langen DVZ durchgeführt, über die hier kurz berichtet werden soll.

3.2.3 Methode

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

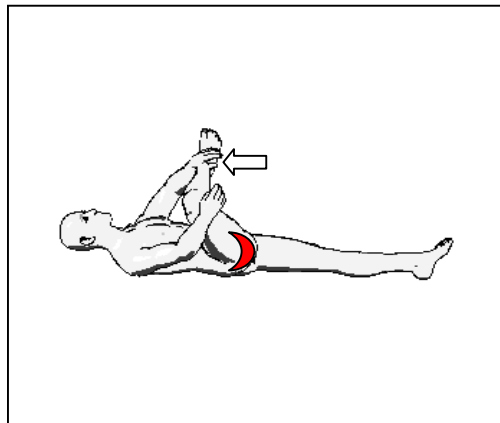


Abb. 3: Übung zum passiv-statischen Dehnen des M. gluteus maximus

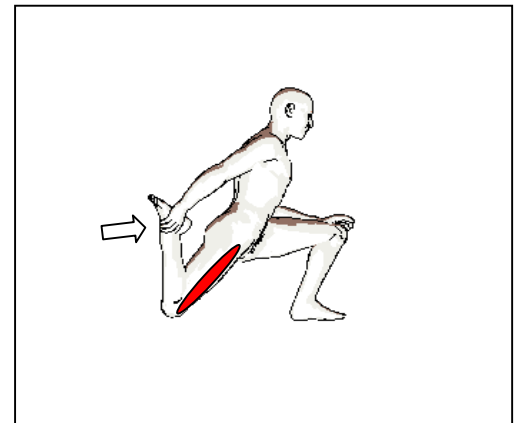


Abb. 4: Übung zum passiv-statischen Dehnen des M. quadriceps femoris

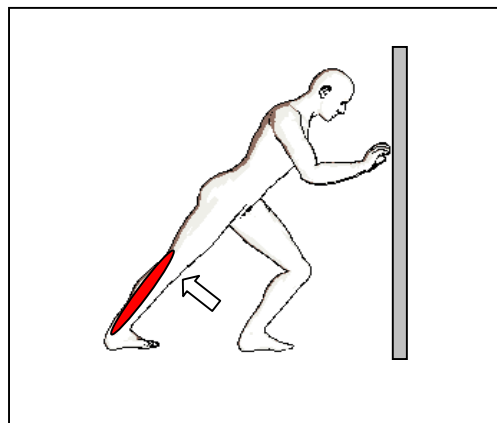


Abb. 5: Übung zum passiv-statischen Dehnen des M. gastrocnemius

Vor und nach dem statischen Dehnen bzw. einer Pause wurde ein Vertikalsprung mit Ausholbewegung (Jump-and-Reach-Test) durchgeführt (siehe Tabelle 2). In beiden Experimenten wurde – wie bereits erwähnt – ein ABAB- bzw. BABA-Plan durchgeführt, d.h. die Probanden wurden insgesamt viermal untersucht (vier verschiedene Testtage), jeweils zweimal nach einem Aufwärmen mit Pause bzw. nach einem Aufwärmen mit statischem Dehnen. Um Sequenzeffekte zu vermeiden, begann die eine Hälfte der Gruppe mit der A-Phase, die andere mit der B-Phase.

Tab. 2: Phasen der durchgeführten Experimente

Experiment 1		Experiment 2	
<i>A-Phase</i>	<i>B-Phase</i>	<i>A-Phase</i>	<i>B-Phase</i>
-	-	3 Vertikalsprünge	3 Vertikalsprünge
Aufwärmen	Aufwärmen	Aufwärmen	Aufwärmen
3 Vertikalsprünge	3 Vertikalsprünge	3 Vertikalsprünge	3 Vertikalsprünge
Pause	Statisches Dehnen	Pause	Statisches Dehnen
3 Vertikalsprünge	3 Vertikalsprünge	3 Vertikalsprünge	3 Vertikalsprünge

Kriteriumsaufgabe ist ein vertikaler Strecksprung mit Ausholbewegung (Jump-and-Reach-Test; vgl. Fetz & Kornexl, 1993). Als abhängige Variable wurde die Sprunghöhe als Differenz von einarmiger Standreichhöhe und der einarmigen Sprungreichhöhe gemessen. Unter jeder Testbedingung wurden jeweils drei Sprünge durchgeführt, wobei jeweils der Mittelwert der drei 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 (vgl. Fetz & Kornexl, 1993; Kuhlow, 1969; Kuhn, 1974; Letzelter & Letzelter, 1979).

Im ersten Experiment (ausführliche Beschreibung: vgl. Friede & Kuciej, 2000)¹ wurden 23 Basketballspieler (Bezirkssklasse; Alter: $M=23,6$ Jahre) untersucht. Nach einem standardisierten Aufwärmprogramm (10 Minuten Einlaufen, 30m Sprunglauf, 5 Hockstrecksprünge, 2 Testsprünge) wurden zunächst drei Vertikalsprünge absolviert. Danach wurde entweder eine fünfminütige Pause (A-Phase) oder ein statisches Dehnen (B-Phase: 3 Muskeln, jeweils dreimal 20s Halten) durchgeführt. Nach der Pause bzw. dem Dehnen wurden weitere drei Sprünge absolviert.

Im zweiten Experiment (ausführliche Beschreibung: vgl. Müller & Waldmann, 2000)² wurden 17 jugendliche Leichtathleten (Alter: $M=13,9$ Jahre) untersucht. Der Haupt-

1 Besonders danke ich Herrn Marco Friede und Herrn Zbigniew Kuciej für die engagierte Unterstützung bei der Planung, Durchführung und Auswertung der ersten Untersuchung.

2 Besonders danke ich Frau Vanessa Waldmann und Frau Christine Müller für die engagierte Unterstützung bei der Planung, Durchführung und Auswertung der zweiten Untersuchung.

unterschied zum ersten Experiment ist die Tatsache, dass die Probanden bereits vor dem Aufwärmen, d.h. im nicht-aufgewärmten Zustand, drei Strecksprünge absolvieren mussten. Nach dem dreiminütigen standardisierten Aufwärmen (Seilspringen) wurden drei weitere Vertikalsprünge absolviert. Danach wurde entweder eine dreiminütige Pause (A-Phase) oder ein statisches Dehnen (B-Phase: 3 Muskeln, jeweils dreimal, 20s Halten) durchgeführt. Nach der Pause bzw. dem Dehnen wurden weitere drei Sprünge absolviert. Mit diesem Forschungsdesign war es möglich, auch die Aufwärmefekte auf die Sprungleistung zu erfassen.

Die Mittelwertunterschiede wurden mit Hilfe des Wilcoxon-Tests geprüft. Die jeweilige Effektgröße (d') wurde auf der Grundlage der entsprechenden Formel nach Bortz und Döring (1995, S.569) 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.

3.2.4 Ergebnisse

Die Test-Retest-Reliabilitäten der Sprungleistungen wurden mit Hilfe von Produkt-Moment-Korrelationen bestimmt. Die Korrelationskoeffizienten sind durchgehend signifikant und liegen – mit vier Ausnahmen (Experiment 2, Nachtest nach dem Dehnen am zweiten Versuchstag) – über 0.9 (s. Tabellen 3 und 4).

Die Befunde der Experimente zum Einfluss des Dehnens auf die Vertikalsprungleistung sind eindeutig.

Im ersten Experiment fanden Friede und Kuciej (2000), dass sich die nach dem Aufwärmen im Jump-and-Reach-Test realisierte Sprunghöhe nach einer Pause nicht veränderte (A₁-Phase: $N=23$, $z=-0.41$, $2p>0.5$) bzw. sogar signifikant anstieg (A₂-Phase: $N=23$, $z=-1.99$, $2p<0.05$; $d'=0.51$), während sie nach statischem Dehnen signifikant absank (B₁-Phase: $N=23$, $z=-3.35$, $2p=0.001$; $d'=1.32$; B₂-Phase: $N=23$, $z=-4.11$, $2p<0.001$; $d'=2.66$). In der ersten Serie (B₁-Phase) war bei 19 Versuchspersonen ein Abfall, bei 4 ein Anstieg der Sprunghöhe nachweisbar. In der zweiten Serie (B₂-Phase) wurde bei 22 Versuchspersonen ein Abfall und bei einer Versuchsperson eine Konstanz der Sprunghöhe gemessen.

In der zweiten Serie ist der Abfall durch Dehnen mit 5.3% gegenüber 3.1% in der ersten Serie sogar noch deutlicher ausgeprägt (siehe Abbildung 6). Die berechneten Effektgrößen von über 1 belegen die hohe praktische Bedeutsamkeit dieser Sprunghöhenveränderungen.

Tab. 3: Test-Retest-Reliabilitäten im ersten Experiment (VT – Vortest, NT – Nachtest; ** - $2p < .01$)

	VT1	NT1	VT2	NT2	VT3	NT3	VT4
NT1	.984 **	—					
VT2	.972 **	.974 **	—				
NT2	.976 **	.969 **	.988 **	—			
VT3	.963 **	.957 **	.962 **	.954 **	—		
NT3	.971 **	.964 **	.965 **	.958 **	.995 **	—	
VT4	.972 **	.984 **	.976 **	.971 **	.969 **	.974 **	—
NT4	.977 **	.986 **	.974 **	.981 **	.958 **	.967 **	.990 **

Tab. 4: Test-Retest-Reliabilitäten im zweiten Experiment (VT – Vortest, NTA – Nachtest nach Aufwärmen; NTD – Nachtest nach Dehnen bzw. Pause; ** - $2p < .01$)

	VT1	NTA1	NTD1	VT2	NTA2	NTD2	VT3	NTA3	NTD3	VT4	NTA4
NTA1	.974 **	—									
NTD1	.967 **	.974 **	—								
VT2	.973 **	.986 **	.965 **	—							
NTA2	.964 **	.980 **	.970 **	.983 **	—						
NTD2	.928 **	.931 **	.954 **	.911 **	.953 **	—					
VT3	.947 **	.955 **	.927 **	.964 **	.955 **	.877 **	—				
NTA3	.967 **	.979 **	.962 **	.978 **	.984 **	.931 **	.952 **	—			
NTD3	.959 **	.972 **	.958 **	.973 **	.984 **	.932 **	.951 **	.996 **	—		
VT4	.961 **	.964 **	.949 **	.979 **	.960 **	.886 **	.945 **	.971 **	.962 **	—	
NTA4	.956 **	.979 **	.961 **	.973 **	.969 **	.898 **	.944 **	.984 **	.982 **	.975 **	—
NTD4	.956 **	.973 **	.955 **	.979 **	.967 **	.898 **	.951 **	.984 **	.985 **	.972 **	.995 **

Die Ergebnisse von Müller und Waldmann (2000) bestätigen die Befunde von Friede und Kuciej (2000). Wie in Abbildung 7 (linke Seite) zu erkennen ist, zeigt sich wiederum nur nach einem Dehnen im Anschluss an ein Aufwärmen ein signifikanter Abfall der realisierten Sprunghöhe (B₁-Phase: $N=17$, $z=-2.69$, $2p=0.01$; $d'=1.09$; B₂-Phase: $N=17$, $z=-3.62$, $2p < 0.001$; $d'=4.26$), nicht aber nach einer Pause (A₁-Phase: $N=17$, $z=-1.00$, $2p > 0.3$; A₂-Phase: $N=17$, $z=-0.14$, $2p > 0.8$). In der ersten Serie sank die Sprunghöhe bei 15 Versuchspersonen, bei jeweils einer Versuchsperson blieb

sie gleich oder stieg an. In der zweiten Serie war bei allen Versuchspersonen ein Sprunghöhenabfall zu verzeichnen.

Wie bei Friede und Kuciej (2000) fällt dieser Abfall in der zweiten Serie mit 5.6% gegenüber 4.2% in der ersten Serie größer aus. Wir vermuten, dass in der zweiten Serie die Motivation der Probanden nachgelassen hat. Wiederum zeigen die Effektgrößen eine hohe praktische Bedeutsamkeit der Sprunghöhenreduktion an.

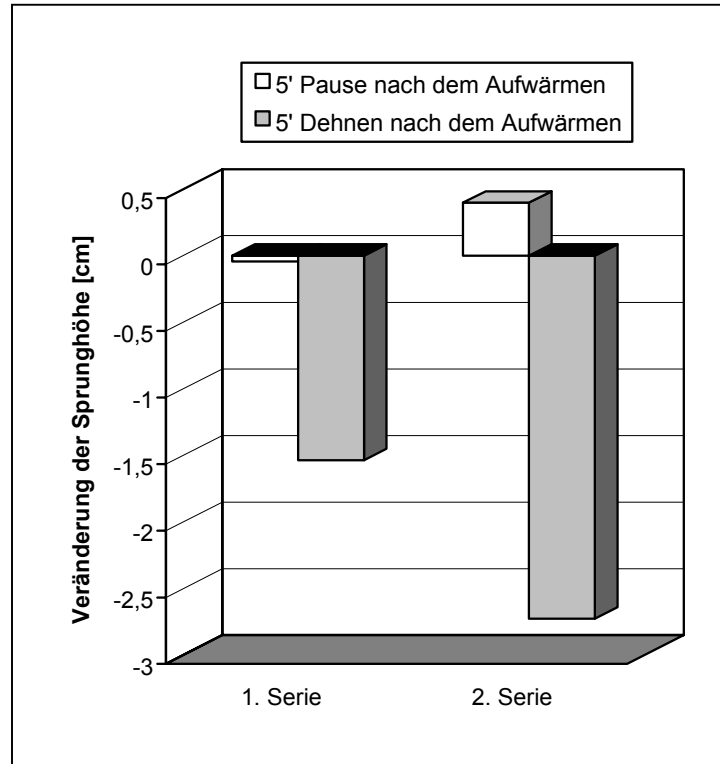


Abb. 6: Einfluss eines Aufwärmens mit und ohne Dehnen auf die dynamische Schnellkraft bei einem Vertikalsprung mit Ausholbewegung

In der rechten Hälfte von Abbildung 7 ist zu erkennen, dass in beiden Serien das Aufwärmen zunächst einmal zu einem signifikanten Anstieg der realisierten Sprunghöhe um 2 bis 3 cm geführt hat, der eine hohe praktische Bedeutsamkeit hat (A₁-Phase: $N=17$, $z=-3.34$, $2p=0.01$; $d'=1.79$; A₂-Phase: $N=17$, $z=-2.68$, $2p<0.01$; $d'=1.08$; B₁-Phase: $N=17$, $z=-3.62$, $2p<0.001$; $d'=2.46$; B₂-Phase: $N=17$, $z=-3.58$, $2p<0.001$; $d'=2.49$). Während nach der Pause die Sprungleistung immer noch signifikant über dem Ausgangsniveau vor dem Aufwärmen liegt, sinkt sie nach dem Dehnen signifikant ab und liegt wieder fast auf dem Ausgangsniveau vor dem Aufwärmen.

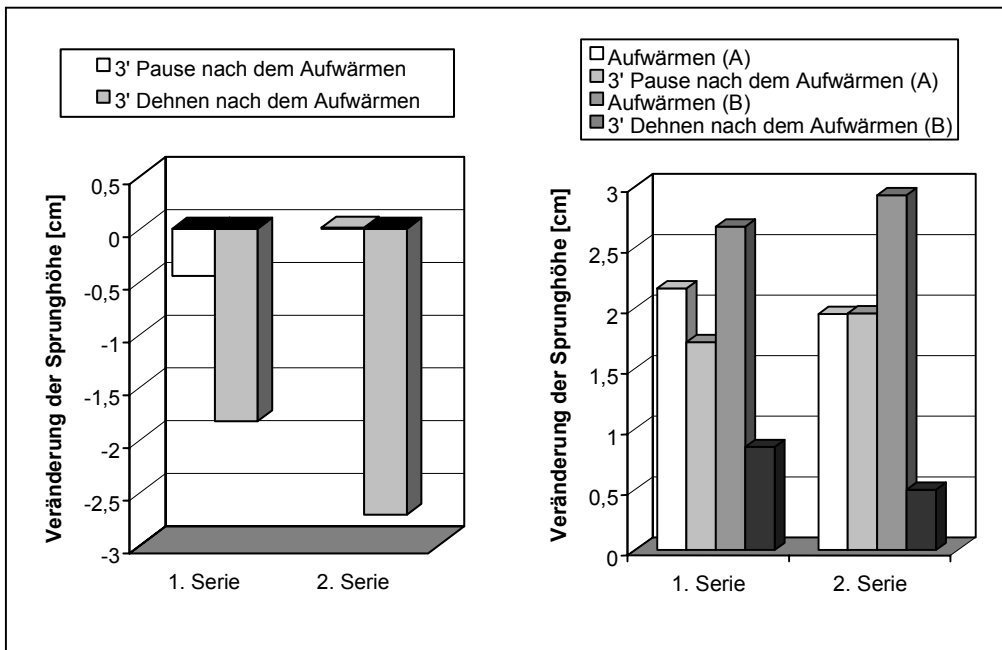


Abb. 7: Einfluss eines Aufwärmens mit und ohne Dehnen auf die dynamische Schnellkraft bei einem Vertikalsprung mit Ausholbewegung

3.2.5 Diskussion

Beide Ziele konnten durch die vorliegenden Untersuchungen erreicht werden: die Prüfung der Praxisrelevanz der vorliegenden Befunde und die Erhöhung der Reliabilität.

Die Ergebnisse der beiden Experimente bestätigen uneingeschränkt die allgemeine Forschungshypothese, dass statisches Dehnen nach einem allgemeinen Aufwärmen Schnellkraftleistungen im langen DVZ beeinträchtigt, wobei die Schnellkraftreduktionen in der zweiten AB-Phase noch deutlicher ausfallen. In der Untersuchung von Hennig und Podzielný (1994) sank nicht nur die Sprunghöhe, sondern auch die maximal realisierte Kraft und die Kraftrelaxationsrate, d.h. der Quotient des terminalen Kraftabfalls von 60 auf 40% und der Zeit für diesen Abfall, während die Kraftanstiegsrate als Quotient der Kraftdifferenz zwischen Kraftmaximum in der konzentrischen Phase und Kraftminimum in der exzentrischen Phase (Ausholen) und der Zeit für diesen Anstieg nur tendenziell absank. Da Young und Elliott (2001) lediglich beim Drop Jump, nicht aber beim Squat Jump signifikant negative Effekte des statischen Dehnens auf die Schnellkraftleistung finden, muss die Hypothese negativer Effekte zunächst auf Sprungleistungen im langen und kurzen DVZ beschränkt werden. Darüber hinaus lässt sich aus den entsprechenden Befunden von Hennig und Podzielný (1994) schließen, dass ein statisches Dehnen ohne vorhergehendes allgemei-

nes dynamisches Aufwärmen weder positive noch negative Effekte auf Schnellkraftleistungen im langen DVZ hatte (für konzentrische Explosivkraftleistungen vgl. Rosenbaum & Hennig, 1997).

Ob für die negativen Effekte auf die Schnellkraft im DVZ primär die reduzierte Fähigkeit der Muskel-Sehnen-Einheit zur Speicherung elastischer Energie als Folge von Relaxations- oder Creeping-Prozessen (z.B. Höss-Jelten, 2001, S. 358) oder neurophysiologische Prozesse (z.B. reduzierte Erregbarkeit der Motoneuronen oder verminderte Reflexaktivität) verantwortlich sind, konnten und sollten die vorliegenden Untersuchungen nicht klären. Dass die negativen Effekte auch nach einigen Minuten noch vorhanden sind, spricht eher für mechanische und gegen neurophysiologische Mechanismen, da neuronale Effekte, z.B. die verminderte Erregbarkeit der α -Motoneuronen, während des Dehnens besonders ausgeprägt sind und bereits wenige Sekunden nach dem Dehnen wieder abgeklungen sind (vgl. hierzu Wiemeyer, 2001a, S. 139-141). Auch die von Rothe (1993) nachgewiesene Reduktion des AZANs könnte eine Rolle spielen.

Weiterhin beschränkt sich diese Aussage ausschließlich auf kurzfristige Effekte, da die untersuchten Kraftleistungen unmittelbar im Anschluss an das Dehnen gemessen wurden. Dass bei der Übertragung dieser Befunde auf ein Aufwärmprogramm, das nach dem Dehnen spezifische dynamische Koordinationsübungen enthält bzw. enthalten sollte, Vorsicht geboten ist, zeigen die Befunde von Wiemann und Klee (1993), Rosenbaum und Hennig (1997), Avela, Kyröläinen und Komi (1999) sowie Magnusson et al. (1995, 1996a).

Bei Wiemann und Klee (1993) stiegen die durch Dehnen beeinträchtigten 35-m-Sprintzeiten bereits nach fünf Minuten wieder signifikant an.

Rosenbaum und Hennig (1997) konnten nachweisen, dass nach einer zehnminütigen dynamischen Laufbandbelastung im Anschluss an das statische Dehnen die negativen Effekte des Stretchings nicht mehr nachweisbar und zum Teil sogar überkompensiert waren. Bei Avela, Kyröläinen und Komi (1999) waren die negativen Effekte nach 15 Minuten nicht mehr nachweisbar. In zwei Untersuchungen von Magnusson et al. (1995, 1996a) waren nach einer Stunde normaler Alltagstätigkeit die Effekte eines fünfmaligen statischen Dehnens der Mm. ischiocrurales wieder weitgehend verschwunden. Auch die zum Teil ausbleibenden Effekte in den Untersuchungen von Young und Elliott (2001) könnten darauf zurückzuführen sein, dass die Versuchspersonen nach der Dehnintervention in der vierminütigen aktiven Pause ein langsames Gehen absolvierten.

Als Konsequenz für die Sportpraxis lässt sich – mit aller Vorsicht – aus den vorliegenden Befunden ableiten, dass ein passiv-statisches Dehnen nach einem vorhergehenden allgemeinen Aufwärmen nicht zu empfehlen ist, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Die gedehnte Muskulatur soll eine konzentrische oder isometrische Maximalkraftleistung oder eine Schnellkraftleistung im kurzen bzw. langen DVZ erbringen.

- Diese Leistung wird im unmittelbaren Anschluss an die Dehnintervention gefordert.

Ob andere Dehnmethode die gleichen Auswirkungen nach sich ziehen, kann nach den Befunden von Young und Elliott (2001) durchaus bezweifelt werden. Hier müssen weitere Untersuchungen Klarheit bringen.

3.3 Langfristige Effekte des Dehnens im Rahmen von Aufwärminterventionen

Der langfristige Einfluss des Dehnens im Rahmen von Aufwärminterventionen wurde in mehreren empirischen Studien untersucht.

3.3.1 Dehnen als Muskelkaterprophylaxe: ohne Effekt

Muskelkater (englisch: delayed onset muscle soreness, DOMS) beschreibt einen Schmerzzustand, der in Folge der mechanischen Schädigung des Muskels durch exzentrische Kontraktionen nach einigen Stunden eintritt und nach ein bis drei Tagen seinen Höhepunkt erreicht (vgl. Jones et al., 1997; Wiemann & Fischer, 1997; Böning, 2000).

Zum Einfluss von Dehnen auf die Muskelkater-Entwicklung wurden mehrere Untersuchungen durchgeführt.

Wessel und Wan (1994) untersuchten an 10 Probanden den Effekt von passiv-statischem Dehnen (10 Wiederholungen; 60s Halten) vor versus nach 3 Serien à 20 konzentrisch-exzentrischen Kontraktionen der Kniebeuger (Mm. ischiocrurales). Das Dehnen wurde nur einseitig eingesetzt; das nicht gedehnte Bein der Gegenseite diente als Kontrollbedingung. Es zeigten sich die typischen Muskelkater-Symptome (eingeschränkte Flexibilität, Schmerz). Die eingesetzte Dehnintervention konnte diese beiden abhängigen Variablen nicht beeinflussen.

Wiemann und Kamphöfner (1995) untersuchten an 24 weiblichen Versuchspersonen die Auswirkungen von 5 Serien von Belastungen, die 30 exzentrische Hüftbeugungen und dreiminütiges statisches einseitiges Dehnen des M. rectus femoris beinhalteten. Das nicht gedehnte Bein diente als Kontrollbedingung. An allen sieben auf diese Intervention folgenden Tagen waren die subjektiven Beschwerden im gedehnten Bein signifikant größer als im nicht gedehnten Bein.

Lightfoot et al. (1997) untersuchten in einem Kontrollgruppen-Design an 31 Versuchspersonen den Einfluss von drei Bedingungen (nicht näher spezifiziertes leichtes Dehnen der Mm. ischiocrurales und quadriceps, 10 Minuten Massage und Kontrollbedingung ohne Intervention) auf die subjektiven Beschwerden, das Unterschenkelvolumen, den Unterschenkelumfang und den Creatinkinase(CK)-Spiegel nach exzentrischen Plantarflexionen (4 Serien à 15 Wiederholungen). Das Dehnen wurde vor der Belastung und die Massage nach der Belastung eingesetzt. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Bedingungen. Ungewöhnlich ist hier die Wahl der gedehnten Muskulatur, die nicht unmittelbar an der exzentrischen Bewegung beteiligt ist.

Johannsson et al. (1999) untersuchten an 10 Probanden den Einfluss von einseitigem passiv-statischem Dehnen der Mm. ischiocrurales (viermal 20s Halten) vor der Belastung auf das Auftreten von Muskelkater nach exzentrischer Kontraktion der Knieflexoren (10 Serien à 10 Wiederholungen; Reichweite: 60°; Geschwindigkeit: 30°/s). Das kontralaterale Bein diente als Kontrollbedingung. Als abhängige Variablen wurden die subjektiven Beschwerden und die exzentrische Maximalkraft ermittelt. Bei keiner der abhängigen Variablen zeigten sich Unterschiede zwischen dem gedehnten und dem nicht gedehnten Bein.

Rodenburg et al. (1994) untersuchten in einem Kontrollgruppen-Design mit 50 männlichen Probanden die Auswirkungen einer Kombination aus 15-minütigem Aufwärmen und zehnminütigem statischem Dehnen (2 Übungen; 20s Halten) vor sowie 15-minütiger Massage nach einer 30-minütigen exzentrischen Belastung des Ellbogenbeugers (120 Wiederholungen; 4 Kontraktionen pro Minute). Von den sieben gemessenen abhängigen Variablen zeigten vier Variablen in der Versuchsgruppe einen signifikanten Effekt in der erwarteten Richtung: geringere Schmerzempfindung bei Armstreckung, geringere Plasma-CK-Aktivität, größerer maximaler Ellbogen-Beugewinkel und höhere maximale isotonische Kraftentwicklung bei einem Ellbogenwinkel von 90°. Die Schmerzempfindung bei Druckbeanspruchung, der maximale Ellbogen-Streckwinkel und das Serum-Myoglobin zeigten allerdings keine Effekte. Aufgrund der Konfundierungsproblematik können die positiven Effekte allerdings nicht allein der Dehnintervention zugeschrieben werden.

Ein Experiment von Smith et al. (1993) zeigt sogar, dass durch statisches und ballistisches Dehnen (Dauer: ca. eine Stunde) ein leichter Muskelkater ausgelöst werden kann. Dabei waren die subjektiven Beschwerden nach dem statischen Dehnen sogar tendenziell höher als nach dem ballistischen Dehnen.

Damit zeigen sich insgesamt keine positiven Effekte von statischem Dehnen auf das Auftreten von Muskelkater – weder vor noch nach der exzentrischen Belastung. Lediglich in Verbindung mit weiteren Maßnahmen werden einige Parameter positiv beeinflusst. Die Wirkungslosigkeit und teilweise sogar Muskelkater verstärkende Wirkung von Dehnen nach einer exzentrischen Belastung ist sicherlich in der Tatsache begründet, dass unter diesen Bedingungen die bereits durch extreme mechanische Belastungen teilweise zerstörte Muskelstruktur einer weiteren hohen mechanischen Belastung ausgesetzt wird. Insgesamt scheinen bei der Prävention von Muskelkater eher koordinative Mechanismen entscheidend zu sein (vgl. auch Posner, 1995).

3.3.2 Dehnen als Verletzungsprophylaxe: Plausibilitätsüberlegungen und empirische Befunde

Die potenziell verletzungsprophylaktische Wirkung von Dehnen kann sich vor dem Hintergrund der Vielfalt von Verletzungsmechanismen im Sport prinzipiell nur auf die Verletzungstypen beziehen, bei denen die biomechanischen bzw. viskoelastischen Eigenschaften des Muskel-Sehnen-Systems eine Rolle spielen.

Positive Effekte von Dehnen im Rahmen eines Aufwärmens werden einerseits von zahlreichen Autoren auf der Grundlage von Plausibilitätsüberlegungen unterstellt

(z.B. Kujala, Orava & Järvinen, 1997) oder aus sportarttypischen Verletzungsmustern abgeleitet (z.B. für das Turnen: Mackie & Taunton, 1994; für das Schwimmen: Pieper & Schulte, 1996). Da ein wiederholt gedehnter Muskel gleichen Bewegungsamplituden – so die Vermutung – kurz- und langfristig einen geringeren Widerstand entgegengesetzt als ein ungedehnter Muskel und damit eine größere Bewegungsreichweite zulässt, wird erwartet, dass dadurch mechanische Überlastungsschäden verhindert werden können. Allerdings lassen sich lediglich Belege für eine kurzfristige Reduktion der Dehnspannung finden (z.B. Taylor et al., 1990; Magnusson et al., 1995), während die vorliegenden experimentellen Befunde gegen eine langfristige Reduktion sprechen (z.B. Wiemann, 1991, 1993; Magnusson et al., 1996b). Außerdem bedeutet eine Reduktion des muskulären Widerstandes immer auch eine potenzielle Destabilisierung der Gelenksicherung, denn eine Bremswirkung des entsprechenden Muskels setzt später ein.

Häufig wird auch auf mögliche positive Effekte des Dehnens zur langfristigen Bekämpfung muskulärer Dysbalancen verwiesen. Auch hier sprechen die vorliegenden Befunde gegen die weit verbreitete Meinung, dass verkürzte Muskeln durch Dehnen verlängert werden können (zusammenfassend Wiemeyer, 2001a, S. 148-151).

Andererseits gibt es mehrere empirische Untersuchungen, die zum Einfluss von Dehnen auf die Verletzungsprophylaxe durchgeführt wurden. Hier wird zwischen Befragungen und experimentellen Untersuchungen unterschieden.

Befragungen

Walter et al. (1989) untersuchten weibliche und männliche Ausdauerläufer (Teilnehmer an zwei Straßenrennen), die mindestens 14 Jahre alt waren, in einer als Quer- und Längsschnitt angelegten Kombination von Untersuchung und Befragung. Am Tag des Rennens wurde den Läufern ein Basisfragebogen ausgehändigt; außerdem wurden die Läufer einer kurzen orthopädischen Untersuchung unterzogen. Nach vier, acht und zwölf Monaten wurden Folge-Interviews durchgeführt. 1680 Läufer nahmen an der ersten Erhebung teil, von 1288 Läufern wurden vollständige Daten zu allen Untersuchungszeitpunkten erhoben. Die Einschätzung des Verletzungsrisikos ergab, dass Läufer, die sich niemals aufwärmen, sich regelmäßig oder gar nicht dehnen, ein signifikant geringeres Verletzungsrisiko aufwiesen als Läufer, die sich immer, gewöhnlich oder manchmal aufwärmen bzw. nur manchmal dehnen. Dabei stieg das Verletzungsrisiko bei unregelmäßigem Dehnen – unabhängig vom Geschlecht – ungefähr auf das Doppelte des Referenzwertes bei fehlendem bzw. regelmäßigem Dehnen.

Dirx, Bouter und De Geus (1992) führten eine schriftliche Befragung von 130 verletzten und 512 unverletzten Handballspielern mit einem durchschnittlichen Alter von 24.1 bzw. 22.1 Jahren durch. Sie fanden in der Gegenüberstellung der beiden Gruppen eine 50-prozentige – allerdings nicht signifikante – Erhöhung des Verletzungsrisikos bei fehlendem Stretching. Fehlendes Aufwärmen erhöhte das Verletzungsrisiko nicht.

Johannsen und Stallknecht (1993) untersuchten in einer Längsschnittstudie über ein bis drei Jahre an 23 weiblichen und männlichen Orientierungsläufern des dänischen

Nationalteams Trainingsmerkmale, Dehnaktivitäten (Vergabe von 6, 3, 2, 1 oder 0 Punkten für 12 Muskeln) und akute bzw. chronische Verletzungen. Die Athleten wurden bei Beginn der Studie mit Hilfe eines Buches über Dehnen informiert und erhielten eine Supervision. Sie mussten ein Trainingstagebuch führen und einen Fragebogen ausfüllen. Die Autoren fanden bei den Frauen ($n = 11$) eine signifikant positive Rangkorrelation zwischen dem Ausmaß des Stretchings und akuten Verletzungen ($R = 0.48$; $p = 0.024$). Im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen dem Ausmaß des Stretchings und chronischen Überlastungsschäden fanden die Autoren bei den Frauen eine tendenziell positive Korrelation ($R = 0.37$; $p = 0.066$). Bei den männlichen Orientierungsläufern ($n = 12$) waren derartige Zusammenhänge nicht nachweisbar.

Wilber et al. (1995) führten eine postalische Befragung von 518 Freizeit-Fahrradfahrern bezüglich demografischer Merkmale, Trainingsmerkmale und Verletzungen durch. Die befragten Frauen und Männer gaben an, durchschnittlich 5.8 bzw. 6.9 Minuten vor und 5.8 bzw. 6.9 Minuten nach dem Radtraining zu dehnen. Die Autoren fanden, dass nur bei den Frauen ($n = 224$) ein signifikanter Unterschied bezüglich der Verletzungshäufigkeit im Bereich der Leiste und des Gesäßes in Abhängigkeit von der Dauer des Dehnens vor dem Radfahren (eine vs. zwei Minuten) bestand. Leider teilen die Autoren nicht die Richtung dieses Unterschiedes mit.

Experimentelle Untersuchungen

Mechelen et al. (1993) führten ein Kontrollgruppen-Experiment zum Einsatz einer Kombination von sechsminütigem Aufwärmen (Laufen), dreiminütigen Lockerungsübungen, zehnminütigem Stretching (drei Muskelgruppen) und Abwärmen durch. Insgesamt 421 Freizeitläufer nahmen an dem Experiment teil, das 16 Wochen dauerte. Die Versuchsgruppe erhielt schriftliche Informationen zum durchzuführenden Programm und eine theoretische Einführung. Während der Intervention sollten die Probanden der Treatmentgruppe Tagebuch über Laufdistanz, Laufzeit und Verletzungen führen, und vor sowie nach der Interventionsperiode sollten alle Probanden zwei Fragebögen (Wissen, Einstellung) ausfüllen. Die Probanden der Kontrollgruppe mussten zusätzlich noch einen Fragebogen zum Aufwärmen, Abwärmen und Dehnen während der Interventionsperiode ausfüllen. Die Autoren fanden, dass das Programm im Vergleich zu einer Kontrollgruppe zu keinem verringerten Verletzungsrisiko führte. Allerdings wurde das vorgeschriebene Dehnprogramm von nur 46.6% der Probanden der Versuchsgruppe korrekt durchgeführt. In der Versuchsgruppe wurde von 39.6% der Versuchspersonen überhaupt nicht gedehnt, in der Kontrollgruppe von 43.5% der Probanden. Auch beim Auf- und Abwärmen zeigten mehr als 30% der Probanden Abweichungen vom vorgeschriebenen Programm.

Pope et al. (2000) führten an 1538 Rekruten über elf Wochen (40 Einheiten von insgesamt 50 Stunden Dauer) eine experimentelle Untersuchung durch. In der Experimentalgruppe wurden vor intensiven Belastungen sechs verschiedene Muskeln bzw. Muskelgruppen (Mm. gastrocnemius, soleus, ischiocrurales, quadriceps, Adduktoren und Hüftbeuger) jeweils für 20 Sekunden statisch gedehnt. Aufwärmen und Dehnen wurden durch die jeweiligen Trainer gelehrt und überwacht. Im untersuchten Zeitraum zeigt sich, dass – bei insgesamt 333 aufgetretenen Verletzungen

der unteren Extremität – das Verletzungsrisiko durch diese Art des Stretchings zwar tendenziell (Gesamt: -5%; Bindegewebe: -17%), aber nicht signifikant reduziert werden konnte.

Überblicksarbeiten

Verschiedene Arbeiten setzen sich zusammenfassend mit den Studien zum Einfluss von Dehnen auf das Verletzungsrisiko auseinander.

Shellock und Prentice (1985, S. 275-276) skizzieren die Anfänge dieser Forschungsrichtung und erkennen deutliche Forschungsdefizite. Hubley-Kozey und Stanish (1990, S. 21) sehen zwar keine konsistenten empirischen Hinweise auf die verletzungsprophylaktische Wirkung von Dehnen, aber sie leiten diese Wirkung aus den nachgewiesenen Primäreffekten des Dehnens (z.B. Anpassungen des Bindegewebes) ab. Safran, Seaber und Garrett (1989, S. 244-245) sowie Noonan und Garrett (1992) schließen insgesamt auf potenziell positive bis fehlende Effekte des Dehnens. Dagegen postuliert Mechelen (1992) primär negative Effekte von Stretching auf das Verletzungsrisiko.

Zusammenfassung der Erkenntnislage

Insgesamt lassen sich damit weder generell positive noch generell negative Effekte von Dehnen auf das Verletzungsrisiko nachweisen, wobei primär das passiv-statische Dehnen (Stretching) experimentell untersucht wurde. Eine mögliche Ursache liegt in den unterschiedlichen Untersuchungsdesigns (Stichprobe, Dehnverfahren und -parameter etc.) und untersuchungsmethodischen Problemen (besonders Repräsentativität bzw. Validität der Befragungen und experimentelle Kontrolle der Treatments sowie der zahlreichen Einflussfaktoren) begründet. In den wenigen experimentellen Untersuchungen sind keine Effekte nachweisbar.

Ob Dehnen sich positiv, negativ oder überhaupt nicht auswirkt, hängt vermutlich von der komplexen individuellen Bedingungskonstellation, insbesondere den psychophysischen Voraussetzungen der Person, den eingesetzten Dehnmethoden, den spezifischen Dehnparametern, den auf die Dehnintervention folgenden Belastungen und dem biomechanischen Anforderungsprofil der jeweiligen Sportfertigkeiten ab. Statisches Dehnen kann einerseits durch kurzfristige Verlängerung der Muskel-Sehnen-Einheit und Reduktion des Muskeltonus zu einer Verringerung der mechanischen Beanspruchung und damit zu einer Verringerung des Verletzungsrisikos, andererseits aber durch eine potenzielle Destabilisierung der Gelenksicherung zu einer Erhöhung des Verletzungsrisikos beitragen. Beim Ausdauerlauf scheint es eher günstig zu sein, nicht zu dehnen, während sich beim Handball tendenziell positive Effekte zeigen.

Als Mittel zur langfristigen Bekämpfung muskulärer Dysbalancen scheint Dehnen allerdings definitiv nicht geeignet zu sein: Alle bisherigen Befunde zu langfristigen Effekten des statischen Dehnens auf die Längen-Spannungs-Beziehung beim Menschen zeigen, dass nicht damit gerechnet werden kann, einen verkürzten Muskel langfristig zu verlängern (vgl. hierzu ausführlich Wiemeyer, 2001a). Um diese Effekte zu erreichen, ist ein Dauerdehnen von mehreren Tagen Dauer erforderlich (z.B. Holly et al., 1980; Scott, 1994).

4 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde die Frage kritisch diskutiert, ob Dehnen und insbesondere Stretching einen sinnvollen Beitrag im Rahmen des Aufwärmens leisten kann. Wir unterscheiden zwischen kurz- und langfristigen Auswirkungen, die sich auf eine einzelne Trainingseinheit oder mehrere Trainingseinheiten beziehen.

Zunächst wurden die Grundlagen des Aufwärmens diskutiert – mit den folgenden Ergebnissen:

- Damit alle leistungsrelevanten und verletzungsgefährdeten Funktionssysteme auf die nachfolgende Belastung vorbereitet werden, sollte Aufwärmen drei Phasen beinhalten: dynamische Ganzkörperbeanspruchungen, Dehn- und Lockerungsübungen, koordinatives Einüben.
- Dauer und Intensität des Aufwärmens sind von zahlreichen Faktoren abhängig. Wenn ein Mindestwert von 5 bis 10 Minuten überschritten wird, scheint die Dauer des Aufwärmens von untergeordneter Bedeutung zu sein. Für die Intensität scheint ebenfalls ein Mindestwert zu existieren.

Der Einsatz von Dehnübungen als Aufwärminhalt verfolgt zwei Zwecke: Leistungssteigerung und Verletzungsprophylaxe. Zwar lassen sich für diese Position plausible Argumente angeben, aber die kritische Diskussion der einschlägigen Befunde ergab die folgenden Schlussfolgerungen:

- Muskeldehnungen beeinflussen die biomechanischen und neurophysiologischen Eigenschaften von Muskel-Sehnen-Einheiten. Die entsprechenden Effekte (Relaxations- und Creeping-Phänomen, reduzierte Motoneuronen-Erregbarkeit bzw. Reflexaktivität, reduziertes AZAN) sind abhängig von der Dehnmethode bzw. den Dehnparametern und scheinen in unterschiedlichen Zeitspannen reversibel zu sein.
- Kurzfristige Effekte des Dehnens auf die sportliche Leistung sind keinesfalls immer als positiv zu bewerten. Zwar wird durch Dehnen – wahrscheinlich vor allem aufgrund mechanischer Effekte – das Muskellängen-Drehmoment-Verhältnis des Muskels verändert, allerdings scheint dadurch neben der Abnahme des Muskeldrehmoments bei gleichem Gelenkwinkel auch eine Krafteinbuße einherzugehen, die reliabel bei Labor- und sportnahen Bewegungen nachweisbar ist. Wie schnell die durch das passiv-statische Dehnen induzierte Kraftreduktion reversibel ist, müssen weitere Untersuchungen zeigen. Erste eigene Befunde weisen darauf hin, dass die negativen Effekte nach Tonisierungsübungen von drei Minuten Dauer bereits wieder abgeklungen sind. Die Auswirkungen anderer Dehnmethoden (aktiv-statisch, dynamisch) wurden entweder singular oder überhaupt nicht erforscht.
- Kurz- und langfristige Effekte eines Dehnens als verletzungsprophylaktische Maßnahme sind – zumindest im Hinblick auf eine generelle Effektivität – fraglich. Sinnvoll scheint es, die jeweils spezifischen Bedingungskonstellationen bzw. Verletzungsmechanismen zu berücksichtigen. Dehnen kann einerseits durch Er-

höhung der Flexibilität Muskelverletzungen vermeiden helfen, andererseits aber auch durch Destabilisierung der Gelenke Gelenkverletzungen begünstigen.

Insgesamt zeigen sich eine Reihe von Forschungslücken hinsichtlich des Aufwärmens (Phasen, Dauer, Intensität, Einflussfaktoren) und des Dehnens als Aufwärmhalt, insbesondere bzgl. der methoden- und parameterabhängigen Auswirkungen, der Kausalzusammenhänge zwischen Dehneffekten und Leistung, der zugrunde liegenden Mechanismen, der Generalisierbarkeit und des Zeitgangs der Effekte. Die wissenschaftliche Basis für fundierte und differenzierte praktische Empfehlungen ist damit als (noch) defizitär zu bezeichnen.

Literatur

- Avela, J., Kyröläinen, H. & Komi, P. V. (1999). Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *Journal of Applied Physiology*, 86 (4), 1283-1291.
- Böning, D. (2000). Muskelkater. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51 (2), 63-64.
- Bortz, J. & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation* (2. Aufl.). Berlin: Springer.
- Dirx, M., Bouter, L. M. & Geus, G. H. de (1992). Aetiology of handball injuries: a case-control study. *British Journal of Sports Medicine*, 26 (3), 121-124.
- Feldman, A. G. (1986). Once more on the equilibrium-point hypothesis (λ model). *Journal of Motor Behavior*, 18, 17-54.
- Fetz, F. & Kornexl, E. (1993). *Sportmotorische Tests* (3. Aufl.). Wien: öbv.
- Freiwald, J. (1991). *Aufwärmen im Sport*. Reinbek: Rowohlt.
- Freiwald, J. (2001). Maßnahmen und Wirkungen des Auf- und Abwärmens im Sport. In R. Singer (Hrsg.), *Neuere Aspekte des Konditionstrainings* (S.173-180). Darmstadt: Institut für Sportwissenschaft.
- Friede, M. & Kuciej, Z. (2000). *Der Einfluß des Dehnens auf die Schnellkraftleistung im Dehnungs-Verkürzungszyklus beim Vertikalsprung* (Unveröffentlichter Projektbericht). Darmstadt: Institut für Sportwissenschaft.
- Fung, Y. C. (1993). *Biomechanics. Mechanical properties of living tissues* (2nd edition). New York: Springer.
- Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50, (7/8), 223-234.
- Hennig, E. & Podzielný, S. (1994). Die Auswirkungen von Dehn- und Aufwärmübungen auf die Vertikalsprungleistung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 45 (6), 253-260.
- Holly, R. G., Barnett, J. G., Ashmore, C. R., Taylor, R. G. & Mole, P. A. (1980). Stretch-induced growth in chicken wing muscles: a new model of stretch hypertrophy. *American Journal of Physiology*, 238, C62-C71.
- Höss-Jelten, C. (2001). Was gibt's Neues zum Thema „Dehnen“? In H. Altenberger, S. Hecht, V. Oesterhelt, M. Scholz & M. Weigl (Hrsg.), *Im Sport lernen – mit Sport leben* (S. 353-362). Augsburg: Ziel.
- Hubley-Kozey, C. L. & Stanish, W. D. (1990). Separating fact from fiction about a common sports activity. Can stretching prevent athletic injuries? *Journal of Musculoskeletal Medicine*, 7 (3), 21-31.

- Hujing, P. A. (1994). Mechanische Muskelmodelle. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 135-154). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Joch, W. & Ückert, S. (2001). Aufwärm-Effekte. Kriterien für ein wirkungsvolles Aufwärmen im Sport. *Leistungssport*, 32 (3), 15-19.
- Johannsen, F. & Stallknecht, B. (1993). Training, injuries and infections among elite orienteers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 3, 273-278.
- Johansson, P. H., Lindström, L., Sundelin, G. & Lindström, B. (1999). The effects of preexercise stretching on muscular soreness, tenderness and force loss following heavy eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 9, 219-225.
- Jones, C., Allen, T., Talbot, J., Morgan, D. L. & Proske, U. (1997). Changes in the mechanical properties of human and amphibian muscle after eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 76, 21-31.
- Jones, K. & Sutlive, V. (2001). Report: An independent replication of the Kokkonen et al. (1998) study: Acute muscle stretching inhibits maximal strength. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72 (Suppl.), A-16.
- Kokkonen, J., Nelson, A. G. & Cornwell, A. (1998). Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69 (4), 411-415.
- Komi, P. V. (1994). Der Dehnungs-Verkürzungszyklus. In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport* (S. 173-182). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Kuhlow, A. (1969). Sportmotorische Tests für Mädchen. *Die Leibeserziehung*, 18 (8), 261-266.
- Kuhn, W. (1974). Testbatterie zur Leistungserfassung im Sportspiel Basketball. *Leistungssport*, 4 (2), 111-118.
- Kujala, U. M., Orava, S. & Järvinen, M. (1997). Hamstring injuries. Current trends in treatment and intervention. *Sports Medicine*, 23 (6), 397-404.
- Letzelter, H. & Letzelter, M. (1979). Zur Aussagekraft von Konditionstesten: Der „allgemeine Konditionstest von Nordrhein-Westfalen“. *Sportunterricht*, 28 (1), 13-21.
- Lightfoot, J. T., Char, D., McDermott, J. & Goya, C. (1997). Immediate postexercise massage does not attenuate delayed onset muscle soreness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11, 119-124.
- Loy, R. (2000). Schluß mit den Aufwärmritten vor dem Sport! *Fußballtraining* (11/12), 18-22.
- Mackie, S. J. & Taunton, J. E. (1994). Injuries in female gymnasts. Trends suggest prevention tactics. *The Physician and Sportsmedicine*, 22 (8), 40-45.
- Magnusson, S. P. (1998). Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. A review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 8, 65-77.
- Magnusson, S. P., Simonsen, E. B., Aagard, P., Gleim, G. W., McHugh, M. P. & Kjaer, M. (1995). Viscoelastic response to repeated static stretching in the human hamstring muscle. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 5, 342-347.
- Magnusson, S. P., Simonsen, E. B., Aagard, P. & Kjaer, M. (1996a). Biomechanical response to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *American Journal of Sports Medicine*, 24 (5), 622-628.
- Magnusson, S. P., Simonsen, E. B., Aagard, P., Sörensen, H. & Kjaer, M. (1996b). A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *Journal of Physiology*, 497.1, 291-298.
- Mareès, H. de (1989). *Sportphysiologie* (6. Aufl.). Mühlheim: Tropon.
- Mechelen, W. van (1992). Running injuries. A review of the epidemiological literature. *Sports Medicine*, 14 (5), 320-335.

- Mechelen, W. van, Hlobil, H., Kemper, H. C. G., Voorn, W. J. & Jongh, H. R. de (1993). Prevention of running injuries by warm-up, cool-down, and stretching exercises. *American Journal of Sports Medicine*, 21 (5), 711-719.
- Michel, S. (2001). Erwärmung als Verletzungsprophylaxe und Leistungsentfaltung. *Sportpraxis*, (6), 6-12.
- Mimbrero, J., Torregrosa, M. & Capdevila, L. (1995). Imagery practice and EMG changes. In R. Vanfraechem-Raway & Y. Vanden Auweele (Eds.), *Integrating laboratory and field studies* (pp. 1152-1159). Brussels: FEPSAC.
- Müller, C. & Waldmann, V. (2000). *Der Einfluß des Dehnens auf die Schnellkraftleistung im Dehnungs-Verkürzungszyklus beim Vertikalsprung* (Unveröffentlichter Projektbericht). Darmstadt: Institut für Sportwissenschaft.
- Nelson, A. G., Allen, J. D., Cornwell, A. & Kokkonen, J. (2001). Inhibition of maximal voluntary isometric torque production by acute stretching is joint-angle specific. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72 (1), 68-70.
- Noonan, T. J., Best, T. M., Seaber, A. V. & Garrett, W. E. (1993). Thermal effects on skeletal muscle tensile behavior. *American Journal of Sports Medicine*, 21 (4), 517-522.
- Noonan, T. J. & Garrett, W. E. (1992). Injuries at the myotendinous junction. *Clinics in Sports Medicine*, 11 (4), 783-806.
- Pieper, H. G. & Schulte, A. (1996). Muscular imbalances in elite swimmers and their relation to typical sports lesions. *Sports Exercise and Injury*, 2 (2), 96-99.
- Pope, R. P., Herbert, R. D., Kirwan, J. D. & Graham, B. J. (2000). A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (2), 271-277.
- Posner, P. (1995). Die Bremsarbeit des Muskels. *Physikalische Therapie*, 16 (9), 652-659.
- Rodenburg, J. B., Steenbeek, D., Schiereck, P. & Bär, P. R. (1994). Warm-up, stretching and massage diminish harmful effects of eccentric exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 15, 414-419.
- Rosenbaum, D. & Hennig, E. M. (1997). Veränderung der Reaktionszeit und Explosivkraftentfaltung nach einem passiven Stretchingprogramm und 10minütigem Aufwärmen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 48 (3), 95-99.
- Rothe, M. (1993). *Zur Abhängigkeit des zentralnervösen Aktivierungsniveaus von verschiedenen Aufwärmtrainingsinterventionen bei unterschiedlichen Aufwärmzeiteinheiten*. Unveröff. Diss., Deutsche Sporthochschule Köln.
- Safran, M. R., Seaber, A. V. & Garrett, W. E. (1989). Warm-up and muscular injury prevention. *Sports Medicine*, 8 (4), 239-249.
- Schönthaler, S. R., Ohlendorf, K., Ott, H., Meyer, T., Kindermann, W. & Schmidtbleicher, D. (1998). Biomechanische und neurophysiologische Parameter zur Erfassung der Dehnbarkeit von Muskel-Sehnen-Einheiten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 49 (8), 223-230.
- Scott, A. B. (1994). Change of eye muscle sarcomers according to eye position. *Journal of Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 31, 85-88.
- Shellock, F. G. & Prentice, W. E. (1985). Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Medicine*, 2, 267-278.
- Smith, L. L., Brunetz, M. H., Chenier, T. C., McCammon, M. R., Houmard, J. A., Franklin, M. E. & Israel, R. G. (1993). The effects of static and ballistic stretching on delayed onset muscle soreness and creatine kinase. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 64 (1) 103-107.

- Taylor, D. C., Dalton, J. D., Seaber, A. V. & Garrett, W. E. (1990). Viscoelastic properties of muscle-tendon units. *American Journal of Sports Medicine*, 18 (3), 300-309.
- Ullrich, K. & Gollhofer, A. (1994). Physiologische Effekte und Effektivität unterschiedlicher Dehnmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 45 (9), 336-345.
- Viidik, A. (1990). Structure and function of normal and healing tendons and ligaments. In Mow, V.C., Ratcliffe, A. & Woo, S. L. (Eds.), *Biomechanics of diarthrodial joints* (pp. 257-280). New York: Springer.
- Walter, S. D., Hart, L. E., McIntosh, J. M. & Sutton, J. R. (1989). The Ontario cohort study of running-related injuries. *Archives of Internal Medicine*, 149, 2561-2564.
- Weineck, J. (2000). *Optimales Training* (11. Aufl.). Balingen: Spitta.
- Wessel, J. & Wan, A. (1994). Effect of stretching on the intensity of delayed-onset muscle soreness. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 4, 83-87.
- Wiemann, K. (1991). Beeinflussung muskulärer Parameter durch ein zehnwöchiges Dehnungstraining. *Sportwissenschaft*, 21 (3), 295-306.
- Wiemann, K. (1993). Stretching. Grundlagen, Möglichkeiten, Grenzen. *Sportunterricht*, 42 (3), 91-106.
- Wiemann, K. & Fischer, T. (1997). Ruhespannung und Muskelkater. *Sportwissenschaft*, 27 (4), 428-436.
- Wiemann, K. & Kamphöfner, M. (1995). Verhindert statisches Dehnen das Auftreten von Muskelkater nach exzentrischem Training? *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 46 (9), 411-421.
- Wiemann, K. & Klee, A. (1993). Muskeldehnung zur Leistungsverbesserung im Sport. In BISP (Hrsg.), *Sportwissenschaftliche Forschungsprojekte. Erhebung 1992* (S. 445). Köln: Strauß.
- Wiemann, K. & Klee, A. (1999). Dehnen und Stretching – Effekte, Methoden, Hinweise für die Praxis. *Sportpraxis*, 40 (3), 8-12.
- Wiemeyer, J. (2001a). Beweglichkeitstraining im Sport. In R. Singer (Hrsg.), *Neuere Aspekte des Konditionstrainings* (S. 121-155). Darmstadt: Institut für Sportwissenschaft.
- Wiemeyer, J. (2001b). Der zielgerichtete Einsatz von Auf- und Abwärmen im Sport. In R. Singer (Hrsg.), *Neuere Aspekte des Konditionstrainings* (S. 157-171). Darmstadt: Institut für Sportwissenschaft.
- Wilber, C. A., Holland, G. J., Madison, R. E. & Loy, S. F. (1995). An epidemiological analysis of overuse injuries among recreational cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 16, 201-206.
- Wydra, G. (1997). Stretching – ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung. *Sportwissenschaft*, 27 (4), 409-427.
- Young, W. & Elliott, S. (2001). Acute effects of static stretching, proprioceptive neuromuscular facilitation stretching, and maximum voluntary contractions on explosive force production and jumping performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72 (3), 273-279.