

# Beweglichkeitstraining im Freizeitsport - biologische Grundlagen und praktische Empfehlungen

## 1 Biologische Grundlagen

Bei den biologischen Grundlagen des Beweglichkeitstrainings haben sich bezüglich der Frage, welche Struktur im Muskel die Spannung entwickelt, die dieser einer Dehnung entgegensetzt, neue Erkenntnisse ergeben. Noch bis vor wenigen Jahren schrieb man dies verschiedenen Elementen des *Bindegewebes* zu (Muskelfaszie, Epimysium, Perimysium, Sarkolemm, Endomysium). Erst nach und nach setzt sich durch, dass das Ende der 70er Jahre entdeckte Titin diese Funktion erfüllt. Ein Beleg ist, dass die Entfernung der Titinfilamente durch radioaktive Bestrahlung, Eiweiß spaltende Enzyme (Protease) oder Extraktion (Auslaugung, Auswaschung) zu einem Wegfall der Dehnungsspannung bei Dehnungen im physiologischen Bereich, d.h. bis zu einer Sarkomerlänge von ca. 3,5  $\mu\text{m}$  führt (Labeit & Kolmerer, 1995).

Ein Titinfilament besteht aus einem einzigen Titinmolekül und erstreckt sich im ungedehnten Muskel mit einer Länge von 1  $\mu\text{m}$  über ein Halbsarkomer und verbindet die Z-Scheibe mit den Myosinfilamenten und mit der M-Linie. Die Titinfilamente sorgen dafür, dass die Sarkomere nicht bis zum kritischen Punkt gedehnt werden, an dem sich Myosin- und Aktinfilamente nicht mehr überlappen („yield point“ = Fließgrenze, ca. 3,5  $\mu\text{m}$ ). Zum anderen gewährleisten sie, dass das Sarkomer nach einer Dehnung wieder seine Ausgangslänge (ca. 2  $\mu\text{m}$ ) einnimmt. Innerhalb des Titinfilamentes ist es die so genannte „PEVK-Region“, die sich bei Dehnungen unter 60% (bis 3,0  $\mu\text{m}$ ) wie eine weiche und bei stärkeren Dehnungen wie eine steifere Feder verhält. Da die Quelle der Ruhespannung des Muskels also im Titinmolekül verortet ist, werden diese auch als die *molekularen Federn* des Muskels bezeichnet. Die Ursache der unterschiedlichen Länge der PEVK-Region in verschiedenen Muskeln könnte nach Linke, Labeit und Rüegg (1998) in muskelspezifischen Elastizitätsanforderungen und somit in einem „*fine tuning*“ bestehen.

Ein Hinweis auf die *Adaptionsfähigkeit* des Titins liefern McBride, Triplett-McBride, Davie, Abernethy und Newton (2003), die feststellten, dass vermehrte körperliche Belastung den Anteil der T1-Isoform des Titins in der Muskulatur erhöht. Entsprechende Untersuchungen zur Wirkung eines Dehnungstrainings fehlen noch.

## 2 Wirkungen des Beweglichkeitstrainings

Eng verbunden mit den biologischen Grundlagen sind Fragen zu den Wirkungen des Beweglichkeitstrainings. Will man die Effekte von Beweglichkeitsübungen auf die Dehnungseigenschaften von Muskeln beschreiben, müssen sowohl bei den

Dehnmaßnahmen als auch bei den Dehneffekten zwei zeitliche Dimensionen unterschieden werden (Wiemann, 1994):

1. 10 – 20 min dauernde Programme von Dehnübungen, wie man sie innerhalb einer Trainingseinheit oder eines Aufwärmprogramms durchführt („*Kurzzeitdehnen*“), die *kurzfristige* Effekte bewirken, die nach wenigen Minuten nachlassen und nach einer Stunde wieder abgeklungen sind (Aufwärmeffekte).
2. Über mehrere Wochen regelmäßig (täglich oder zumindest alle 3 Tage) durchgeführte kurzzeitige Dehnprogramme („*Langzeitdehnen*“), die zu Trainingsanpassungen in Form von Wachstumsprozessen führen, die über Wochen und Monate Bestand haben (*langfristige* Effekte).

### 2.1 Wirkungen des Beweglichkeitstrainings auf Dehn- und Kraftparameter

Die ersten sechs Wirkungen werden hier nur kurz beschrieben (Klee & Wiemann, 2005). Das Augenmerk soll auf einen Punkt gerichtet werden, der für den Freizeitsport besonders wichtig ist und in den letzten Jahren aufgrund der überraschenden Aussagen für viel Diskussionsstoff sorgte: die Verletzungsprophylaxe (Kap. 2.2).

Tab. 1: Kurzfristige und langfristige Effekte von unterschiedlichen Dehnmaßnahmen. ⇔: keine Veränderung.?: Untersuchungsergebnisse liegen nicht vor.

Kennwerte	kurzfristige Effekte nach Kurzzeitdehnen	Langfristige Effekte nach Langzeitdehnen
1. Bewegungsreichweite	+ 8%	+ 15%
2. max. Dehn.spannung	+ 23%	+ 30%
3. submax. Dehn.span.	- 20%	⇔, bzw. + 13%
4. Muskellänge	⇔	⇔
5. Kontraktionskraft	- 7%	⇔, bzw. + 13%
6. Schnellkraftleistung	- 5%, statisches Dehnen ⇔, dynamisches Dehnen	Zunahme
7. Verletzungsgefahr	1. Alle Verletzungen: ⇔ 2. Muskelverletzungen: Abnahme	1. Alle Verletzungen: ⇔ 2. Muskelverl.: ? (vermutl. Abn.)
8. Muskelkater	⇔, Zunahme	?

#### (1) Bewegungsreichweite und (2) maximale Dehnungsspannung

Dehnen vergrößert sowohl kurz- als auch langfristig die Bewegungsreichweite. In gleicher Weise steigt die maximale Dehnungsspannung, so dass der Schluss nahe liegt, dass die Steigerung der Gelenkreichweite durch eine gesteigerte Toleranz gegenüber maximalen Dehnungsspannungen (vergrößerte Dehnbelastungsfähigkeit) zu begründen ist. Dabei zeigt sich, dass bei einem Kurzzeitdehnen die ersten 4-5 Wiederholungen die größten Zuwächse an Bewegungsreichweite bewirken.

#### (3) Submaximale Dehnungsspannung

Im Gegensatz zur maximalen Dehnungsspannung sinkt die submaximale Dehnungsspannung (Ruhespannung) während der ersten 4-5 Wiederholungen eines Kurzzeitdehnens um bis zu 20%, bleibt dann aber etwa konstant. Dieser Aufwärmeffekt ist nach 4 min wieder um ein Fünftel, nach 15 min bis auf die Hälfte und spätestens nach 60 min völlig abgeklungen.

Lässt man zwischen der letzten Trainingseinheit eines Langzeitdehnens und dem Nachtest eine genügend lange Zeit zum Abklingen kurzfristiger Effekte verstreichen (einige Tage), zeigt sich nicht - wie vermutet - eine Abnahme der Ruhespannung. Je nach Intensität des Dehnungstrainings tritt sogar eine erhöhte Ruhespannung auf (Klee, 1995; Wiemann, 1994). Eine Erklärung könnte sein, dass die Dehnbelastung passiver Strukturen zu einer Hypertrophie des Muskels führt, was zusätzlich durch einen Anstieg der Kontraktionskraft untermauert wird (Wiemann, 1994).

#### (4) Muskellänge

Die Muskellänge (Anzahl der Sarkomere in Serie), die beim Menschen durch die Kraft-Längen-Kurve ermittelt wird, wird durch Langzeitdehnen nicht beeinflusst (Wiemann, 1994).

#### (5) Kontraktionskraft, (6) Schnellkraftleistung

Dehnen belastet durch die auftretenden Spannungen die Muskulatur, insbesondere die fibrillären Strukturen innerhalb der Muskelfaser (Wiemann & Klee, 2000). So ist nicht verwunderlich, dass intensives statisches Dehnen zu einer kurzfristigen Abnahme von Schnellkraft (Hennig & Podzielny, 1994) und Maximalkraft (Kokkonen, Nelson & Cornwell, 1998) führt. Wiemeyer (2002) wertete sieben Untersuchungen zur kurzfristigen Auswirkung statischen Dehnens auf die Leistungsfähigkeit aus und resümiert, dass Dehnmaßnahmen zu Leistungseinbußen von bis zu 7% (Maximalkraft) bzw. 2-5% (Sprungtests) führen können. Dabei muss allerdings zwischen den verschiedenen Dehnungsmethoden unterschieden werden, denn nach neueren Erkenntnissen wirkt sich *dynamisches Dehnen* bei der direkten Vorbereitung auf eine Schnellkraftleistung nicht leistungsmindernd aus (Begert & Hillebrecht, 2003).

Es wurde oft vermutet, dass ein langfristiges Dehn- ein langfristiges Krafttraining behindert. Dies ist widerlegt. Studien zu Langzeit-Dehnmaßnahmen, bei denen abschließende Krafttests erst nach Abklingen kurzfristiger Wirkungen durchgeführt wurden, belegen fehlende Maximalkrafteinbußen. Teilweise war - besonders bei weiblichen Versuchspersonen - die Maximalkraft angestiegen (Wiemann, 1991; Wiemann, 1992). Dehnungstraining kann demnach auch Entwicklungsreize für die Muskulatur liefern. Shrier (2004) kommt in seiner Analyse von neun Untersuchungen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die Maximalkraft durch Langzeitdehnen verbessert wird - darüber hinaus auch die Schnellkraftleistung (Sprints, Sprunghöhe).

## 2.2 Zur Wirkung des Beweglichkeitstrainings als Verletzungsprophylaxe

### 2.2.1 Metaanalysen und Übersichtsarbeiten

In den letzten Jahren fanden einige Metaanalysen und Übersichtsarbeiten zur Wirkung des Beweglichkeitstrainings als Verletzungsprophylaxe große Beachtung auch in populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen bis hin zur Tagespresse und bis hin zum Internet. Zu nennen ist hier vor allem die Übersichtsarbeit von Herbert und Gabriel (2002), bei der allerdings nur zwei Untersuchungen berücksichtigt wurden. Erst kürzlich erschien eine Metaanalyse von Thacker, Gilchrist, Stroup und Kimsey (2004), die sechs Untersuchungen einbezog. Im deutschsprachigen Be-

reich sind hier Wiemeyer (2002) und Marschall und Ruckelshausen (2004) zu nennen, wobei letztere durch eine recht hohe Anzahl von berücksichtigten Untersuchungen und durch eine sehr systematische Darstellung positiv auffallen.

Allen vier Beiträgen ist gemeinsam, dass das *abschließende Statement eher zurückhaltend ausfällt*, d.h., dem Dehnungstraining wird nur eine geringe Wirkung bei der Verletzungsprophylaxe beigemessen. Dies gipfelt in solchen Aussagen, dass man 23 Jahre dehnen müsse, um eine Verletzung zu vermeiden (Herbert & Gabriel, 2002, S. 5). Oder es wird resümiert, dass aufgrund sehr unterschiedlicher Untersuchungsergebnisse „pauschale Aussagen zur verletzungsprophylaktischen Wirkung von Dehnen nicht zu belegen sind“ (Marschall & Ruckelshausen, 2004, S. 41) und dass sich „weder generell positive noch generell negative Effekte von Dehnen auf das Verletzungsrisiko nachweisen“ lassen (Wiemeyer, 2002, S. 75).

Ursache dieser letzten beiden Beurteilungen ist, dass es sowohl Untersuchungen gibt, die eine *positive Wirkung* des Beweglichkeitstrainings als Verletzungsprophylaxe nachweisen, als auch Untersuchungen, die *gegenteilige* Ergebnisse erbrachten. So werden in der Analyse von Marschall und Ruckelshausen zwei Untersuchungen angeführt, die zeigten, dass Dehnen kurzfristig das Verletzungsrisiko reduziert (Bixler & Jones, 1992; Hartig & Henderson, 1999), und drei Untersuchungen, die keinen Einfluss des Dehnens nachweisen konnten (Macera et al., 1989; Pope, Herbert, Kirwan & Graham, 2000; Walter, Hart, McIntosh & Sutton, 1989).

Zu den zurückhaltenden Statements der vier Metaanalysen und Übersichtsarbeiten ist anzumerken, dass diese in allen vier Veröffentlichungen mit Verweis auf die *Qualität der Untersuchungen* und vor allem auf die eingesetzten Methoden relativiert werden. Bei Thacker et al. (2004) erhielten die sechs berücksichtigten Untersuchungen nur durchschnittlich 41 von 100 möglichen Qualitätspunkten, die vier schwächeren nur 29-34 (Andrish, Bergfeld & Walheim, 1974; Bixler & Jones, 1992; Cross & Worrell, 1999; Hartig & Henderson, 1999), die beiden besseren 60 und 61 (Pope, Herbert & Kirwan, 1998; Pope et al., 2000).

Eine Gefahr besteht nun darin, dass die eher negativen abschließenden Beurteilungen des Dehnungstrainings, zu denen die Metaanalysen und Übersichtsarbeiten kommen, übernommen werden, ohne dass die einschränkenden Aussagen mit genannt werden. Marschall und Ruckelshausen verweisen z.B. auf die grundsätzliche methodische Schwierigkeit, Verletzungen als abhängige Variable zu erfassen. Dies geschieht teilweise z.B. nur im Rahmen von Befragungen. In den vier Übersichtsarbeiten werden zwischen zwei und sechs Primärstudien berücksichtigt, insgesamt handelt es sich um 12 Primärstudien.

Neben den methodischen Schwächen fällt bei diesen 12 Primärstudien auf, dass außer Zerrungen vor allem Überlastungsschäden registriert wurden, also Verletzungen, bei denen es nur einen indirekten Zusammenhang zum Beweglichkeitstraining gibt. Bei einer entsprechenden Sichtung zeigt sich, dass bei vier Untersuchungen (Dirx, Bouter & Geus 1992; Johannsen & Stallknecht 1993, Mechelen 1993, Pope et al. 2000) Zerrungen und andere Verletzungen zwar getrennt erho-

ben, aber nicht getrennt ausgewertet werden. Bei vier Untersuchungen (Bixler und Jones 1992, Hartig und Henderson 1999, Macera et al. 1989, Walter et al. 1989) wurden Zerrungen und andere Verletzungen nicht getrennt erhoben und in drei Untersuchungen (Andrish et al. 1974, Pope et al. 1998, Wilber 1995) ausschließlich andere Verletzungen als Muskelzerrungen erfasst, so dass diese *11 Untersuchungen keine Aussagen über die Vermeidung von Muskelzerrungen zulassen*.

Herbert und Gabriel, die in ihre Analyse nur die beiden Untersuchungen von Pope et al. (1998) und von Pope et al. (2000) einbeziehen, gründen z.B. ihre etwas reißerisch anmutende Aussage, man müsse 23 Jahre dehnen, um eine Verletzung zu vermeiden (2002), auf insgesamt 381 Verletzungen (48 + 333), von denen jedoch nur 9% Muskelzerrungen (35/381) waren und der Rest Verstauchungen des Fußgelenks, Ermüdungsbrüche des Wadenbeins und des Fußes, Knochenhaut- und Sehnenentzündungen, das vordere Muskellogensyndrom, Verletzungen der Gelenke, Meniskusverletzungen und Schleimbeutelentzündungen. Dabei ist noch anzumerken, dass in der Untersuchung von Pope et al. (2000) in der Gruppe der Rekruten, die während der 12-wöchigen Grundausbildung sechs Beinmuskeln jeweils 20 s lang dehnte, mit 14 Zerrungen sieben weniger auftraten als in der Kontrollgruppe. Diese Frage wird von den Autoren statistisch nicht ausgewertet.

Bei der Frage, von welcher *Art von Verletzungen* beim Sport man glaubt, dass diese durch Dehnen vermieden werden könnte, kann man *drei verschiedene Wirkungsdimensionen* unterscheiden.

1. Da sich durch Dehnen sowohl kurz- als auch langfristig die Dehnfähigkeit und die Belastungstoleranz steigern lässt, ist am nahe liegendsten zu erwarten, dass *Muskeln vor Zerrungen und Faserrissen* geschützt werden, also vor akuten Verletzungen, die sich während oder unmittelbar nach der Belastung durch Schmerzen, Schwellungen oder Hämatome zeigen und meist Folge einer einmaligen Krafteinwirkung sind, die den Gewebewiderstand überschreitet (Peterson & Renström 1987, S. 84).
2. Man könnte in einer erweiterten Betrachtungsweise auch erwarten, dass Beweglichkeitsübungen auch das Auftreten von *Überlastungsschäden*, wie z.B. Sehnen- und Schleimbeutelreizungen, Arthrosen und Ermüdungsbrüchen reduzieren. Eine Verringerung der Überlastungsschäden erscheint allerdings insofern weniger wahrscheinlich, da diese Strukturen im Gegensatz zu den Muskeln und Sehnen bei Dehnungsübungen nur indirekt betroffen sind und da die Ursache von Überlastungsschäden in der Überlastung (eine zu hohe Summe von kleineren Einzelbelastungen und/oder zu kurze Regenerationsphasen) besteht.
3. In der weitesten Betrachtungsweise könnte man annehmen, dass ein Sportler mit guter allgemeiner Beweglichkeit besser in der Lage ist, Gefahrensituationen zu umgehen bzw. situationsspezifisch zu reagieren und auf diese Weise auch akute Verletzungen zu vermeiden, die nicht Folge der sportartspezifischen Bewegungen, sondern von „*Unfällen*“ sind. Empirische Belege für eine solche Annahme liegen nicht vor. Wenn hier ein positiver Einfluss angenommen wird, so ist dieser aber als relativ gering einzuschätzen. Dass ein solcher positiver Ein-

fluss angenommen wird, zeigen die Primärstudien von Pope et al. (1998) und von Pope et al. (2000), in denen Bänderrisse im Fußgelenk erhoben wurden. Bei Dirx et al. (1992) wurden bei Handballspielern Zusammenstöße mit anderen Spielern und dem Pfosten erfasst, Verletzungen durch den Ball und Stürze.

Die einzigen Untersuchungen, in denen die Vermeidung von Zerrungen erhoben und ausgewertet wurde, sind diejenigen von Cross und Worrell (1999) und von Dadebo, White & George (2004). Letztere hatten über Fragebogen ermittelt, wie die Spieler von 30 englischen Mannschaften der ersten drei Fußballligen dehnen und welche Muskelverletzungen, insbesondere Verletzungen der hinteren Oberschenkelmuskeln auftreten. Sie fokussierten demnach im Gegensatz zu den anderen Untersuchungen erstens auf eine Muskelgruppe, die besonders anfällig für Zerrungen ist, und zweitens auf eine Belastung, die besonders häufig zu Zerrungen führt (maximale Sprints). Die Autoren können in ihrer multifaktoriellen Auswertung die 158 Verletzungen der hinteren Oberschenkelmuskeln zu einem erstaunlich hohem Prozentsatz von 79% durch die drei Faktoren „Haltezeit beim Dehnen“ (29%), „Verwendung eines Standard-Stretching-Protokolls“ (40%) und „angewendete Dehnmethode“ (10%) erklären, d.h. Spieler, die erstens ein standardisiertes Dehnprogramm benutzten, zweitens die Dehnung 15-30 Sekunden hielten und drittens statisches Dehnen oder eine PNF-Methode einsetzten, verletzten sich signifikant weniger. Auch die Ergebnisse dieser Studie sind jedoch aufgrund der Kritikpunkte, die es bei allen Befragungen gibt (Zuverlässigkeit der Informationen), zu relativieren.

Cross und Worrell (1999) hatten die Verletzungen von 193 Footballspielern über zwei Spielzeiten verfolgt. In der zweiten Saison dehnten die Sportler im Gegensatz zur ersten Saison vor jedem Sprinttraining die hinteren und vorderen Oberschenkelmuskeln, die Adduktoren und die Wadenmuskulatur. Die Anzahl der Verletzungen unterschied sich in den beiden Spielzeiten nicht (Erste Saison: 155, zweite 153), die Zahl der Muskel- und Sehnenverletzungen war mit 21 in der zweiten Saison hingegen signifikant geringer als in der ersten (43). Dies zeigt, dass sich bei den Muskelverletzungen durchaus ein signifikanter Unterschied zeigen kann, auch wenn sich dies bei dem Vergleich der Zahlen aller Verletzungen nicht offenbart. Beide Untersuchungen deuten also eher darauf hin, dass sich *Zerrungen durch Dehnungstraining reduzieren lassen*. Bei beiden Untersuchungen ist allerdings nicht zu klären, ob die positive Wirkung des Dehnens den kurz- oder den langfristigen Effekten zugeschrieben werden muss.

### 2.2.2 Verletzungsprophylaxe: kurz- und langfristige Effekte

Dabei ist sehr wohl auch beim Untersuchungsschwerpunkt der Verletzungsprophylaxe sinnvoll, zwischen den kurz- und langfristigen Effekten zu unterscheiden, nur lassen sich diese kaum trennen.

Mit kurzfristigen Effekten ist gemeint, dass Dehnungstraining *unmittelbar* vor einer Belastung vor Verletzungen schützen soll. Es ist anzumerken, dass zwei Drittel der Verletzungen erst gegen Ende der Belastungszeit auftreten (Dadebo et al., 2004),

zu einem Zeitpunkt also, an dem fraglich ist, ob die Wirkung des Dehnungstrainings überhaupt noch besteht, und ob hier nicht eher die Ermüdung als Grund für die Verletzung angeführt werden muss (Witvrouw, Mahieu, Danneels & McNair, 2004). Die langfristigen Effekte, die bei einem mehrwöchigen Beweglichkeitstraining zu erwarten sind, bestehen in Wachstumsprozessen innerhalb der Muskulatur, wie sie bisher nur in Tierversuchen nachgewiesen sind (Klee, 2003). Denkbar sind aber auch Anpassungen der Rezeptoren, der Reflexe und zentralnervöse Anpassungen. Um die langfristigen Effekte nun von den kurzfristigen zu trennen, müsste das Dehnen in einer eigenen Trainingseinheit absolviert werden, d.h. nicht direkt vor derjenigen Belastung, bei der Verletzungen ausgelöst werden können, denn diese hat im Untersuchungsplan die Funktion eines Nachtests.

So muss auch bei der Überprüfung der langfristigen Effekte eines Dehnungstrainings auf die Bewegungsreichweite und die Dehnungsspannung zwischen dem letzten Termin des Dehnungstrainings und dem Nachtest eine *Pause* von mehreren Tagen eingelegt werden, um die kurzfristigen Effekte abklingen zu lassen, denn z.B. bei der submaximalen Dehnungsspannung (der Ruhespannung) zeigen sich bei den kurzfristigen Effekten andere Veränderungen (Abnahme) als bei den langfristigen Effekten (Zunahme, bzw. keine Veränderung). Nimmt man z.B. rein hypothetisch an, ein Dehnungstraining würde kurzfristig zu einer Zunahme des Verletzungsrisikos (Wiemann & Klee, 2000) und langfristig zu einer Abnahme führen, so würden sich diese Effekte aufheben, wenn man zwischen dem Dehnprogramm des langfristigen Dehnungstrainings und der Belastung keine Pause einlegt, in der die kurzfristigen Effekte abklingen können.

Umgekehrt kann man die kurzfristigen Effekte auch kaum von den langfristigen trennen, denn in den vorliegenden sieben Untersuchungen zu den kurzfristigen Effekten wurde über einen längeren Zeitraum gedehnt (12 Wochen: Pope et al., 1998; 2000; 13 Wochen: Hartig & Henderson, 1999; ein Jahr: Bixler & Jones, 1992; Dadebo et al., 2004; Macera et al., 1989; Walter et al., 1989), so dass einerseits anzunehmen ist, dass mit zunehmenden Untersuchungszeitraum die Beteiligung langfristiger Effekte zunimmt und die Ergebnisse somit in beiderlei Hinsicht (kurzfristige und langfristige Effekte) diskutiert werden müssen. Andererseits war der Umfang der Dehnprogramme vermutlich doch zu klein, um langfristige Effekte zu haben. Dies kann aber eben auch nicht ausgeschlossen werden.

Um ausschließlich die kurzfristigen Effekte eines Dehnens bei der Verletzungsprophylaxe zu ermitteln, müssten entweder immer wieder verschiedene Vpn untersucht werden, oder es müssten mehrere Wochen Pausen zwischen den Dehnprogrammen eingelegt werden, so dass keine langfristigen Effekte auftreten können.

### 2.2.3 Beweglichkeit und Verletzungsrisiko

Marschall und Ruckelshausen (2004) ziehen bei dem zweiten Auswerteschwerpunkt neun Untersuchungen heran, bei denen nicht die Wirkung eines langfristigen regelmäßigen Beweglichkeitstrainings untersucht wurde, sondern bei diesen Untersuchungen wurde jeweils die Beweglichkeit gemessen, wobei es sich z.T. ausdrücklich um eine Messung der Bänderschwäche z.B. an den Fingern und am El-

lenbogen (Diaz, Estevez & Guijo 1993; Grana & Moretz 1978; Krivickas & Feinberg 1996) handelte, und diese dann mit der Verletzungsrate korreliert. Dabei war also nicht die Frage, ob etwa eine überdurchschnittlich ausgeprägte Beweglichkeit Folge eines gezielten Dehnungstrainings war.

Wie schon bei den Untersuchungen zur Wirkung des Dehnungstrainings so werden auch bei diesen Untersuchungen die verschiedenen *Verletzungsarten und -ursachen nicht differenziert erhoben und/oder ausgewertet* und vor allem nicht auf akute Muskelzerrungen fokussiert.

Solche Untersuchungen zum Zusammenhang von zwei Parametern (hier Ausprägung der Beweglichkeit und Anzahl der Verletzungen) beinhalten immer auch das Problem der *Scheinkorrelation*, d.h., stellt man einen Zusammenhang fest zwischen z.B. einer gering ausgeprägten Beweglichkeit und dem Verletzungsrisiko, so lässt dies nicht auf einen kausalen Zusammenhang schließen, sondern beide Variablen können durch eine andere Variable (allgemeiner Trainingszustand) beeinflusst sein - dies merken z.B. Pope et al. an (1998, S. 171). Umgekehrt kann auch sein, dass in Fällen, in denen sich kein Zusammenhang nachweisen lässt, dies auf *Suppressorvariablen* zurückzuführen ist. Dieses Problem lässt sich nur lösen, wenn möglichst viele potenzielle Einflussfaktoren erhoben und im Rahmen einer multifaktoriellen Auswertung berücksichtigt werden. So weisen etwa Pope et al. (2000) den Zusammenhang zwischen der Verletzungsrate einerseits und der 20m-Sprintzeit, dem Alter und der Jahreszeit andererseits nach.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Untersuchungen, die den Zusammenhang zwischen der Beweglichkeit und dem Verletzungsrisiko untersuchen, kaum Rückschlüsse auf die Wirkung des Dehnungstrainings als Verletzungsprophylaxe zulassen, denn in diesen Untersuchungen wurde *kein Dehnungstraining durchgeführt*, es wurde kaum zwischen den verschiedenen Verletzungsarten und -ursachen unterschieden und bei der statistischen Auswertung wurden nur selten multifaktorielle Verfahren eingesetzt.

#### 2.2.4 Die Wirkung des Dehnungstrainings auf die Entstehung von Muskelkater

Bei den Übersichtsarbeiten zum Dehnen werden auch Untersuchungen herangezogen, die die Wirkung des Dehnungstrainings auf die Entstehung von Muskelkater prüften (High, Howley & Franks, 1989; Johansson, Lindstrom, Sundelin & Lindstrom, 1999; Lund, Vestergaard-Poulson, Kanstrup & Sejrsen, 1998; Wessel & Wan, 1994) und die nachwiesen, dass man Muskelkater weder durch Dehnen vor einer Belastung noch durch Dehnen nach einer Belastung reduzieren kann.

Die Ergebnisse sind vor allem überzeugend, da neben dem subjektiv eingeschätzten Muskelkater auch andere Parameter erhoben werden, die dieses Ergebnis stützen. So kann durch ein Kurzzeitdehnen weder die Abnahme der Kraft, die mit dem Muskelkater einhergeht, reduziert werden (Johansson et al., 1999, Lund et al., 1998), noch die Kreatinkinasekonzentration (Lund et al., 1998), noch die Bewegungseinschränkung (Wessel & Wan, 1994).

Es gibt sogar Hinweise darauf, dass intensives Kurzzeitdehnen das *Gegenteil* dessen bewirkt, was es bewirken soll. So stellten Smith et al. (1993) fest, dass allein durch 17 einminütige Dehnungen Muskelkater ausgelöst wurde. Bei Wiemann und Kamphöfner (1995) wurde der Muskelkater, der durch das exzentrische Krafttraining ausgelöst wurde, durch das 15-minütige zusätzliche Dehnen verstärkt. Bei Lund et al. (1998) fiel der Kraftverlust nach einem exzentrischen Krafttraining im Bein, das zuvor 90 Sekunden gedehnt worden war, stärker aus.

Zu allen Ergebnissen ist anzumerken, dass hierbei ausschließlich kurzfristige Effekte untersucht wurden, d.h. die Wirkung eines *einmaligen* Dehnungstrainings. Um die langfristigen Wirkungen des Dehnungstrainings auf die Entstehung von Muskelkater zu erforschen, müsste ein mehrwöchiges regelmäßiges Dehnungstraining durchgeführt werden. Solche Untersuchungen liegen zurzeit noch nicht vor. Zudem muss man auch hier - ähnlich wie bei den Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Beweglichkeit und dem Verletzungsrisiko - danach fragen, wie aussagekräftig diese Untersuchungen sind. Sie haben nur dann eine Beweiskraft, wenn man akzeptiert, dass Muskelkater als „nicht pathologisches Modell von Muskelverletzungen“ (Wiemann & Kamphöfner, 1995, S. 412) im Sinne einer graduellen Verletzung zu verstehen ist. Neben Parallelen zwischen Muskelverletzungen und Muskelkater (Schmerzen, Bewegungseinschränkung) gibt es aber auch Unterschiede (Zeitpunkt des Auftretens der Schmerzen, bei Muskelkater keine erkennbaren Symptome wie Hämatome, Hitze, Schwellungen). So nehmen Yu, Carlsson und Thornell (2004) an, dass die Veränderungen der Myofibrillen und des Zytoskeletts, die mit Muskelkater einhergehen, eher den Wiederaufbau der Myofibrillen widerspiegeln, als dass sie Anzeichen einer Zerstörung der Myofibrillen sind.

### 2.2.5 Tierexperimentelle Studien

Dass aus Untersuchungen an Tiermuskeln Rückschlüsse für die Trainingswissenschaften gezogen werden, hat eine lange Tradition auch beim Dehnungstraining. Dabei handelt es sich vor allem um Untersuchungen zur Wirkung von Immobilisationen von Tiermuskeln in gedehntem und in entdehntem Zustand (Klee, 2003, S. 48-86). Aber auch zur Frage der Verletzungsprophylaxe gibt es einige interessante tierexperimentelle Studien.

Hasselman, Best, Seaber und Garrett (1995) stellten bei ihren Untersuchungen fest, dass es für das Entstehen von Verletzungen einen Schwellenwert gibt, der bei 60% derjenigen Kraft liegt, bei der die Kraft bei einer supramaximalen Dehnung des kontralateralen Kontrollmuskels nachließ. Oberhalb dieses Schwellenwertes nehmen die Verletzungen des Muskels kontinuierlich zu. Dabei treten die Zerreißen der Muskelfasern vor den Zerreißen des Bindegewebes auf, wobei sich die Zerreißen der Muskelfasern zunächst an den Enden des Muskels und erst danach am Muskelbauch zeigen. Die Verletzungen zeigten sich beim M. extensor digitorum longus innerhalb seiner physiologischen Bewegungsreichweite, beim M. tibialis anterior außerhalb dieses Bereiches, eine mögliche Erklärung dafür, dass manche Muskeln anfälliger sind für Verletzungen als andere.

In vier weiteren Untersuchungen wurden die Muskeln vor der Verletzung mit Dehnungen behandelt. Pizza, Koh, McGregor und Brooks (2002) stellten fest, dass die Entstehung von Entzündungszellen durch 75 Dehnungen reduziert wurde. Die Untersuchungen von Koh, Peterson, Pizza und Brooks (2003) hatten zum Ergebnis, dass der Kraftverlust und die Anzahl verletzter Muskelfasern durch 75 Dehnungen reduziert wurde. Beide Ergebnisse lassen eher Rückschlüsse auf die langfristigen Effekte des Dehnens zu, denn zwischen den 75 Dehnungen und dem Nachtest lagen jeweils zwei Wochen.

Black und Stevens (2001) prüften den Einfluss eines Kurzeitdehnens, indem sie Muskeln von 22 Mäusen vor einer verletzungsauslösenden Bewegung eine Minute lang statisch dehnten. Es zeigte sich bzgl. des Kraftverlusts kein Unterschied zu den kontralateralen Muskeln, die nicht gedehnt wurden. Um die langfristigen Effekte eines Dehnungstrainings zu untersuchen, dehnten Black, Freeman und Stevens (2002) die Muskeln von 29 Mäusen 12 Tage lang täglich eine Minute. Auch hier konnten sie keinen Unterschied zu den kontralateralen Muskeln feststellen, die nicht gedehnt wurden.

Neben Untersuchungen, die einen *positiven* Einfluss des Dehnens bei der Verletzungsprophylaxe vermuten lassen, gibt es also auch *gegenteilige* Ergebnisse. Es ist zu hoffen, dass dieser Forschungszweig in den nächsten Jahren weitere Ergebnisse liefert. Vielleicht gibt es *Schwellenwerte*, die bei Black und Stevens (2001) und bei Black et al. (2002) nicht erreicht wurden und die es erst noch auszutariieren gilt. Dazu ist anzumerken, dass bei der Übertragung der Ergebnisse von Untersuchungen zum Langzeitdehnen auf den Menschen die unterschiedlichen Eiweißsyntheseraten von Tieren und Menschen bedacht werden müssen (Klee, 2003).

#### 2.2.6 Zusammenfassung und Ausblick

Bei der Beurteilung der Frage, ob ein Dehnungstraining Verletzungen vermeiden kann, ist entscheidend, welche Aussagefähigkeit man den einzelnen Untersuchungen zubilligt. Ein entscheidender Filter ist, von welchen Verletzungen man glaubt, dass diese durch Dehnungstraining vermieden werden können. Hält man dies vor allem für *Zerrungen* für möglich und weniger für Überlastungsschäden, verlieren eine ganze Reihe von Primärstudien und Übersichtsarbeiten ihre Bedeutung. Zudem erwartet man vielleicht auch zuviel, wenn man annimmt, man könnte durch Dehnen *Sportunfälle* reduzieren. In den meisten Untersuchungen werden diese Verletzungsursachen nicht differenziert erhoben und/oder ausgewertet.

Ein weiterer Filter ist die Frage, ob Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Beweglichkeit und dem Verletzungsrisiko, also Untersuchungen, in denen *kein Dehnungstraining* durchgeführt wurde, zur Beurteilung herangezogen werden können. Dies trifft in ähnlicher Weise auf Untersuchungen zur Wirkung des Dehnungstrainings auf die Entstehung von Muskelkater zu. Bei allen Untersuchungsergebnissen ist zudem immer wichtig mit zu nennen, ob es sich um kurz- oder langfristige Effekte des Dehnens handelt. Auf Probleme bei der Trennung dieses Effekte wurde hingewiesen. Untersuchungen, bei denen die Effekte ausschließlich einem Lang-

zeitdehnen zugerechnet werden können, fehlen aufgrund der Tatsache, dass in den vorliegenden Untersuchungen das Dehnungstraining nicht in einer gesonderten Trainingseinheit absolviert wurde, sondern direkt vor der Belastung. Entsprechende Effekte sind aber unwahrscheinlich, da die Trainingsumfänge zu gering waren. Zu fordern sind zuletzt vor allem Untersuchungen mit einer multifaktoriellen Datenerhebung und -auswertung.

Es ist jedenfalls zu früh zu resümieren, Dehnen hätte keine Bedeutung bei der Vorbeugung von Verletzungen, es sei denn man betont bei dieser Aussage ausdrücklich, dass mit Verletzungen vor allem solche von Knochen, Gelenken, Bändern, Sehnen und Schleimbeuteln gemeint sind und nicht Muskelverletzungen. Für Zerrungen liegen keine entsprechenden Untersuchungen vor, die eine Aussage mit einer solchen Tragweite rechtfertigen. Zwei Untersuchungen zeigen eher, dass Zerrungen durch Dehnungstraining reduziert werden können.

Welche Perspektiven eröffnen sich für diesen Forschungszweig? Neben den angesprochenen tierexperimentellen Studien könnten Untersuchungsdesigns, in denen ein Bein mit einem Dehnungstraining behandelt wird und das kontralaterale als Kontrolle dient, helfen, Störvariablen auszuschließen. Ein solches Versuchsdesign ist bei den tierexperimentellen Studien sehr verbreitet und wird auch bei Untersuchungen zum Dehnungstraining am Menschen bereits eingesetzt.

Untersuchungen zum Einfluss von Dehnungsübungen auf die Entstehung von Muskelkater sind eine weitere Forschungsperspektive. Wenn der Zusammenhang zwischen Muskelkater und Muskelverletzungen in Frage gestellt wurde, sollte dies vor allem bedeuten, dass dieser Zusammenhang weiter validiert werden muss. Sollte sich dieser Zusammenhang als plausibel erweisen, so sollten auch die langfristigen Effekte des Dehnens auf die Entstehung von Muskelkater, zu denen zurzeit noch Untersuchungen fehlen, geprüft werden.

Eine letzte Forschungsperspektive eröffnet sich vielleicht dann, wenn nicht mehr Muskelverletzungen und Muskelkater als abhängige Variable erhoben werden, sondern Parameter wie der Kraftverlust, die Bewegungseinschränkung und die Konzentration der Kreatinkinase oder des Gesamtcholesterins (Shahbazpour, Carroll, Riek & Carson, 2004). Würden diese Untersuchungsmethoden mit dem Vorschlag kombiniert, ein Bein mit einem Dehnungstraining zu behandeln und das kontralaterale zur Kontrolle zu nehmen, so könnten hier in kleineren Stichproben zuverlässige Ergebnisse geliefert werden.

### **3 Praktische Empfehlungen**

Betrachtet man noch einmal Tab. I, so ist festzustellen, dass es vor allem vier Wirkungen des Dehnens sind, die in den letzten Jahren in Frage gestellt wurden und die dazu geführt haben, dass in manchen Veröffentlichungen grundsätzlich davon abgeraten wird, zu dehnen: die langfristige Abnahme der *Ruhespannung*, die kurzfristige Steigerung der *Leistungsfähigkeit*, die Vermeidung von *Muskelkater* und die kurz- und langfristige *Verletzungsprophylaxe*.

Die Tatsache, dass man die *Ruhespannung* durch langfristiges Beweglichkeitstraining nicht senken kann, hat vor allem Konsequenzen für die Behandlung muskulärer Dysbalancen. So kann man z.B. nicht - wie man früher annahm - durch Dehnungsübungen für die Hüftbeuger ein vorgekipptes Becken aufrichten und somit ein Hohlkreuz beseitigen. Hier ist ein Krafttraining für die Hüftstrecker wegen der Zunahme der Ruhespannung dieser Muskeln und eines entsprechend stärkeren Becken aufrichtenden Drehmomentes Erfolg versprechender (Wiemann & Klee, 1999; Wiemann, Klee, & Stratmann, 1998). Auch andere Ziele, die man mit der Reduzierung der Ruhespannung durch Dehnungsübungen erreichen wollte (z.B. Verminderung von Gelenkschmerzen durch Dehnen der umgebenden Muskeln), sind nicht zu erwarten. Diese Feststellung gilt für den gesunden, nicht durch pathologische Veränderungen beeinflussten Muskel, d.h. nach Sportverletzungen, bei denen ein Gelenk längere Zeit immobilisiert war, kann die Bewegungseinschränkung durch Dehnungsübungen beseitigt werden.

Die Einbußen der *Leistungsfähigkeit*, die kurzfristig durch intensives statisches Dehnen verursacht werden, sind für den Freizeitsport weniger von Belang, da hier die Leistung nicht im Vordergrund steht. Trotzdem ist hier von einem umfangreichen maximalen Dehnen abzuraten, da dies die Muskulatur zusätzlich belastet. Es sollten vielmehr einige submaximale dynamische Dehnungsübungen durchgeführt werden, da diese durch die durchblutungsfördernde Wirkung eine erhöhte Muskeltemperatur und somit einen höheren allgemeinen Aufwärmeeffekt zur Folge haben. Einige submaximale *statische* Dehnungen können eingestreut werden. Durch diese kann man ggf. auch Verspannungen der Muskulatur aufspüren, in diesem Fall sollte man von einer weiteren sportlichen Belastung eher absehen.

Ein submaximales Dehnen im Rahmen des Aufwärmens ist vor allem in Sportarten zu empfehlen, bei denen es zur maximalen Ausschöpfung der Bewegungsreichweite kommt wie z.B. bei den Rückschlagsportarten (Tennis, Badminton, Squash), den Sportspielen (Fußball, Handball, Volleyball), aber auch vor Golf. Bei anderen Bewegungsformen wie Walken, Joggen und Fahrradfahren, bei denen es zu keinen maximalen Gelenkausschlägen kommt, sprechen kaum Argumente für ein Dehnen, es sei denn man dehnt nicht während des Aufwärmens, sondern wärmt sich auf, indem man sich dynamisch dehnt und lockert.

Auch bei der Frage, ob man *nach* einer Belastung dehnen soll, muss berücksichtigt werden, dass maximales Dehnen die Muskulatur zusätzlich belastet. Somit sollte man auch hier nur submaximal dehnen. Da statische Dehnungsübungen subjektiv entspannender sind, sind diese hier zu empfehlen. Dabei sollten auch Übungen zur Mobilisation der Wirbelsäule und zur Durchsaftung der Bandscheiben durchgeführt werden („Aushängen“, vgl. Klee & Wiemann, 2005, S. 125).

Da durch ein langfristiges Dehnen die Bewegungsreichweite verbessert wird, kann es dazu dienen, einer entwicklungsbedingten Abnahme der Beweglichkeit vorzubeugen. Hierzu sollte in einer eigenen Trainingseinheit (also nicht vor oder nach einer sportlichen Belastung) gedehnt werden. Dabei können alle Methoden zum Einsatz kommen (dynamisches und statisches Dehnen, PNF-Methoden) und mit stei-

gernder Intensität bis hin zum maximalen Dehnen trainiert werden. Zuletzt sollte auch das Ergebnis, dass durch langfristiges Dehnungstraining eine Hypertrophie erreicht werden kann (Steigerung der Maximalkraft und der Ruhespannung), als Argument für ein Dehnen insbesondere im Freizeitsport beachtet werden.

Aus diesem Grund und da vermutet werden kann, dass es durch Langzeitdehnen zu einer Stabilisierung der serienelastischen fibrillären Strukturen kommt (Wiemann & Kamphöfner, 1995, S. 418), ist eine Wirkung bei der Prophylaxe von Muskelverletzungen zu erwarten. Da hierzu noch keine Untersuchungen vorliegen, ist es jedenfalls zu früh, dem Dehnen diesbezüglich seine Bedeutung abzusprechen.

Auch zur Wirkung des Kurzzeitdehnens bei der *Prophylaxe von Zerrungen* liegen keine Untersuchungen vor, die rechtfertigen, diese grundsätzlich in Frage zu stellen, im Gegenteil, zwei Studien belegen, dass sich die Anzahl von Zerrungen durch Dehnen reduzieren lässt. Von einem intensivem Dehnen beim Aufwärmen ist allerdings abzuraten, da dies die Muskulatur zusätzlich belastet. Ein Kompromiss könnte hier bei den angesprochenen Rückschlagsportarten und Sportspielen sein, nur 4-5 submaximale statische und dynamische Dehnungen beim Aufwärmen durchzuführen und nur vor den Sportarten maximal zu dehnen, die eine maximale Beweglichkeit erfordern (Hürdenlauf, Turnen). Will man hier die Leistungseinbußen vermeiden, die intensives statisches Dehnen mit sich bringen kann, so empfiehlt sich eine Pause von 10-15 min vor der Belastung und/oder einige dynamische Dehnungen und Kontraktionen, um die Erregbarkeit des Muskels wieder herzustellen. Aber auch hier müssen noch weitere Untersuchungen zur endgültigen Klärung beitragen. Wenn man dem Kurzzeitdehnen bei den anderen angesprochenen Sportarten (Walken, Joggen) bei der Prophylaxe von Muskelverletzungen eine Wirkung zuspricht, dann handelt es sich wohl eher um eine, die man auch von einem allgemeinen Aufwärmen erwarten kann.

Muskelkater und seine negativen Begleiterscheinungen (Leistungseinbuße, Bewegungseinschränkungen) lassen sich durch Kurzzeitdehnen nicht verhindern, diese traditionell erwartete Wirkung kann also nicht mehr dazu dienen, ein Dehnen zu empfehlen. Für ein Langzeitdehnen gilt dies nicht, denn auch hier könnten die nachgewiesenen Effekte (Steigerung der Maximalkraft und der Ruhespannung) und die vermuteten Ursachen (Hypertrophie, Stabilisierung der serienelastischen fibrillären Strukturen) zu einer langfristigen Reduktion von Muskelkater führen. Auch hierzu fehlen noch entsprechende Untersuchungen.

## Literatur

- Andrish, J.T., Bergfeld, T.A. & Walheim, J. (1974). A prospective study on the management of shin splits. *J. Bone. Joint. Surg.*, 56-A, 1697-1700.
- Begert, B. & Hillebrecht, M. (2003). Einfluss unterschiedlicher Dehnstechniken auf die reaktive Leistungsfähigkeit. *Spectrum*, 15 (1), 6-25.
- Bixler, B. & Jones, R.L. (1992). High-school football injuries: effects of a post-halftime warm-up and stretching routine. *Fam Pract Res J.*, 12 (2), 131-139.
- Black, J.D. & Stevens, E.D. (2001). Passive stretching does not protect against acute contraction-induced injury in mouse EDL muscle. *J Muscle Res Cell Motil.*, 22 (4), 301-310.

- Black, J.D., Freeman, M. & Stevens, E.D. (2002). A 2 week routine stretching programme did not prevent contraction-induced injury in mouse muscle. *J Physiol.* 544 (Pt 1), 137-147.
- Cross, K.M. & Worrell, T.W. (1999). Effects of a static stretching program on the incidence of lower extremity musculotendinous strains. *J. Athl. Train.*, 34, 11-14.
- Dadebo, B., White, J. & George, K.P. (2004). A survey of flexibility training protocols and hamstring strains in professional football clubs in England. *Br J Sports Med.*, 38 (4), 388-394.
- Diaz, M.A., Estevez, E.C., & Guijo, P.S. (1993). Joint hyperlaxity and musculoligamentous lesions: study of a Population of homogeneous age, sex, and physical education. *British journal of Rheumatology*, 32, 120-122.
- Dirx, M., Bouter, L.M., Geus, de, G.H. (1992). Aetiology of handball injuries. *Br J Sports Med.*, 26 (3), 121-124.
- Grana, W.A. & Moretz, J.A. (1978). Ligamentous laxity in secondary school athletes. *JAMA*, 240 (18): 1975-1976.
- Hartig, D.E. & Henderson, J.M. (1999). Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees. *Am J Sports Med.*, 27 (2): 173-176.
- Hasselmann, C.T., Best, T.M., Seaber, A.V., & Garrett, A.V. (1995). A threshold and continuum of injury during active stretch of rabbit skeletal muscle. *Am. J. Sports Med.*, 23 (1), 65-73.
- Hennig, E. & Podzielnny, S. (1994). Die Auswirkungen von Dehn- und Aufwärmübungen auf die Vertikalsprungleistung. *Dtsch Z. Sportmed.*, 45 (6), 253-260.
- Herbert, R.D. & Gabriel, M. (2002). Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury. systematic review. *BMJ*, 325, 1-5.
- High, D.M., Howley, E.T. & Franks, B.D. (1989). The effects of static stretching and warm-up on prevention of delayed-onset muscle soreness. *Res Q Exerc Sport.*, 60 (4): 357-361.
- Johannsen, F. & Stallknecht, B. (1993). Training, injuries and infections among elite orienteers. *Scan J Med Sci Sports*, 3, 273-278.
- Johansson, P.H., Lindstrom, L., Sundelin, G. & Lindstrom, B. (1999). The effects of preexercise stretching on muscular soreness, tenderness and force loss following heavy eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports.*, 9 (4): 219-225.
- Klee, A. (1995). *Haltung, muskuläre Balance und Training*. 1994<sup>1</sup>, 2., unveränderte Auflage, Frankfurt a.M.: Verlag Harri Deutsch.
- Klee, A. (2003). *Methoden und Wirkungen des Dehnungstrainings*. Habilitationsschrift. Schorndorf: Hofmann.
- Klee, A. & Wiemann, K. (2002). Stretch and Contraction Specific Changes in Passive Torque in Human M. Rectus Femoris. *European Journal of Sport Science*, 2 (6), 1-10.
- Klee, A. & Wiemann, K. (2005). *Beweglichkeit und Dehnfähigkeit*. Schriftenreihe Praxisideen, Verlag K. Hofmann, Schorndorf.
- Koh, T.J., Peterson, J.M., Pizza, F.X. & Brooks, S.V. (2003). Passive stretches protect skeletal muscle of adult and old mice from lengthening contraction-induced injury. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*, 58 (7), 592-597.
- Kokkonen, J., Nelson, A.G. & Cornwell, A. (1998). Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res Q Exerc Sport*, 69 (4), 411-415.
- Krivickas, L.S. & Feinberg, J.H. (1996). Lower extremity injuries in college athletes: relation between ligamentous laxity and lower extremity muscle tightness. *Arch Phys Med Rehabil.*, 77 (11), 1139-1143.
- Labeit, S. & Kolmerer, B. (1995). Titins: giant proteins in charge of muscle ultrastructure and elasticity. *Science*, 270, 293-296.
- Linke, W.A., Labeit, S. & Rüegg, J.C. (1998). Auf den Spuren Molekularer Federn. Genetische und mechanische Analyse des Muskelproteins Titin. *Physiologie*, 10, 13-17, 36-37.
- Lund, H., Vestergaard-Poulson, P., Kanstrup, I.-L., & Sejrnsen, P. (1998). The effect of passive stretching on delayed onset muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports.*, 8 (4), 216-221.
- Macera, C.A., Pate, R.R., Powell, K.E., Jackson, K.L. et al. (1989). Predicting lower-extremity injuries among habitual runners. *Arch Intern Med.*, 149 (11), 2565-2568.
- Marschall, F. & Ruckelshausen, B. (2004). Dient Dehnen der Verletzungsprophylaxe? Eine qualitative Metaanalyse. *Spectrum* 16 (1), 31-47.
- McBride, J.M., Triplett-McBride, T., Davie, A.J., Abernethy, P.J. & Newton, R.U. (2003). Characteristics of titin in strength and power athletes. *Eur J Appl Physiol*, 88, 553-557.

- Mechelen, W. van (1993). Prevention of running injuries by warm up. *Am J Sports Med.*, 21 (5), 711-719.
- Peterson, L. & Renström, P. (1987). *Verletzungen im Sport*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Pizza, F.X., Koh, T.J., McGregor, S.J. & Brooks, S.V. (2002). Muscle inflammatory cells after passive stretches, isometric contractions, and lengthening contractions. *J Appl Physiol.*, 92 (5), 1873-1878.
- Pope, R.P., Herbert, R.D. & Kirwan, J.D. (1998). Effects of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in army recruits. *Australian J Physiother.*, 44, 165-177.
- 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. *Med Sci Sports Exerc.*, 32 (2), 271-277.
- Shahbazzpour, N., Carroll, T.J., Riek, S. & Carson, R.G. (2004). Early alterations in serum creatine kinase and total cholesterol following high intensity eccentric muscle actions. *J. of Sports Med. & phys. Fitness*, 44, 193-199.
- Shrier, I. (2004). Does stretching improve performance?: a systematic and critical review of the literature. *Clin J Sport Med.* 14 (5), 267-273.
- Smith, L.L., Brunetz, M.H., Chenier, T.C., McCammon et al. (1993). The effects of static and ballistic stretching on DOMS and creatine kinase. *Res Q Exerc Sport*, 64 (1), 103-107.
- Thacker, S.B., Gilchrist, J., Stroup, D.F. & Kimsey, C.D. (2004). The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Med Sci Sports Exerc.* 36 (3), 371-378.
- Walter, S.D., Hart, L.E., McIntosh, J.M. & Sutton, J.R. (1989). The Ontario cohort study of running-related injuries. *Arch Intern Med.*, 149 (11), 2561-2564.
- Wessel, E.R. & Wan, A. (1994). Effect oft stretching on the intensity of delayed-onset muscle soreness. *Clinical Journal oft Sports medicine.*, 4, 83-87.
- Wiemann, K. (1991). Beeinflussung muskulärer Parameter durch ein zehnwöchiges Dehnungstraining. *Sportwissenschaft*, 21 (3), 295-306.
- Wiemann, K. (1992). Die ischiocrurale Muskulatur. In Carl, K., Mechling, H., Quade, K. & Stehle, P. (Hrsg.), *Krafttraining in der Sportwissenschaftlichen Forschung* (S. 37-74). Köln: Strauß.
- Wiemann, K. (1994). Beeinflussung muskulärer Parameter durch unterschiedliche Dehnverfahren. In Hoster, M. & Nepper, H.-U. (Hrsg.), *Dehnen und Mobilisieren*. (S. 40-71). Waldenburg: Sport Consult.
- Wiemann, K. & Kamphöfner, M. (1995). Verhindert statisches Dehnen das Auftreten von Muskelkater nach exzentrischem Training? *Dtsch Z. Sportmed.*, 46 (9), 411-421.
- Wiemann, K. & Klee, A. (1999). Dehnen und Stretching - Effekte, Methoden, Hinweise für die Praxis. *Sportpraxis*, 40, (3), 8-12; (4), 37-41.
- Wiemann, K. & Klee, A. (2000). Die Bedeutung von Dehnungsübungen für die Aufwärmphase. *Leistungssport*, 30 (4), 5-9.
- Wiemann, K., Klee, A. & Stratmann, M. (1998). Filamentäre Quellen der Muskel-Ruhespannung und die Behandlung muskulärer Dysbalancen. *Dtsch Z. Sportmed.*, 49 (4), 111-118.
- Wiemeyer, J. (2002). Dehnen – eine sinnvolle Vorbereitungsmaßnahme. *Spectrum*, 14 (1), 53-80.
- Wilber, C.A. (1995). An epidemiological analyse of overuse injuries among rec-reational cyclists. *Int J Sports Med.*, 16 (3), 201-206.
- Witvrouw, E., Mahieu, N., Danneels, L. & McNair, P. (2004). Stretching and injury prevention: an obscure relationship. *Sports Med.*, 34 (7), 443-449.
- Yu, J.G., Carlsson, L. & Thornell, L.E. (2004). Evidence for myofibril remodeling as opposed to myofibril damage in human muscles with DOMS: an ultrastructural and immunoelectron microscopic study. *Histochem Cell Biol.*, 121 (3), 219-227.