

Die Auswirkungen statischer Muskeldehnungen der unteren Extremitäten auf das Bewegungsausmass, das maximale Drehmoment und die Sprungkraft

Ambass Marcel
Weinbergstrasse 107
8408 Winterthur
Matrikelnummer: S06-539-084

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Departement Gesundheit
Studiengang Physiotherapie 2006

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften



Eingereicht am 19. Juni 2009

Betreuende Lehrperson: Herr Arjen van Duijn

Inhaltsverzeichnis

	Abstract	4
1	Einleitung	5
1.1	Persönliche Motivation	5
1.2	Ziele der Arbeit/Fragestellung	6
1.3	Methodik und Abgrenzung	6
1.4	Aufbau der Arbeit	7
2	Basiswissen	8
2.1	Muskelaufbau	8
2.2	Sarkomer	9
2.3	Filament-Gleit-Theorie	10
2.4	Muskelkontraktion	11
2.5	Kraft-Längen-Relation	13
2.6	Isokinetik	14
2.7	Dynamometer	15
2.8	Dehnmethoden	16
2.8.1	Dynamisches Dehnen	16
2.8.2	Statisches Dehnen	17
3	Hauptteil	18
3.1	Die Wirkung statischer Dehnungen auf die Range of Motion	18
3.1.1	Resultate bezüglich der Range of Motion	20
3.2	Die Wirkung statischer Dehnungen auf das maximale Drehmoment	21
3.2.1	Resultate bezüglich des maximalen Drehmoments	25
3.3	Die Wirkung statischer Dehnungen auf die Sprungkraft	27
3.3.1	Resultate bezüglich der Sprungkraft	31
3.4	Theorie-Praxis Bezug	32
3.5	Diskussion	33
3.5.1	Diskussion zur Range of Motion	33
3.5.2	Diskussion zum maximalen Drehmoment	34
3.5.3	Diskussion zur Sprungkraft	35

4	Schlussteil	36
4.1	Schlussfolgerung	36
4.2	Beantwortung der Fragestellung	36
4.3	Offene Fragen	37
4.4	Danksagung	37
5	Literaturverzeichnis	38
5.1	Studien- und Bücherverzeichnis	38
5.2	Tabellenverzeichnis	40
5.3	Abbildungsverzeichnis	40
6	Eigenständigkeitserklärung	41

In der Arbeit wird ausschliesslich die männliche Form verwendet. Die Begriffe treffen aber immer auf die männliche als auch auf die weibliche Form zu.

Abstract

Studiendesign: Diese Arbeit ist ein systematisches Review, mit dem Ziel die Auswirkungen statischer Dehnungen auf das Bewegungsausmass, das maximale Drehmoment und die Sprungkraft aufzuzeigen.

Methodik: In die Arbeit sind hauptsächlich Studien aus den Datenbanken von PubMed und Medline eingeflossen. Die am häufigsten verwendeten Keywords bei der Literatursuche waren: muscle, stretching, static, peak torque, jump performance und range of motion. Diverse Studien sind dann via „Related Articles“ gefunden worden. Die Haupteinschlusskriterien waren ein möglichst gleiches Studiendesign und vergleichbare Dehninterventionen (Dosierungen). Es sind für das Bewegungsausmass, das maximale Drehmoment und die Sprungkraft jeweils drei Studien in der Arbeit behandelt.

Hintergrund: Dehnungen werden in der Physiotherapie häufig angewendet, auch im Sport ist das Stretching in beinahe jedem Warm-up zu finden. Die Frage, welche Auswirkungen diese auf den Muskel haben, ist aber noch nicht genau beantwortet. Vor allem physiologisch sind Dehnungen kaum erforscht. Diese Arbeit gibt einen Überblick über die direkten Auswirkungen von statischen Dehnungen.

Resultate: Auf das Bewegungsausmass haben statische Dehnungen bereits nach drei Wochen eine signifikant vergrößernde Wirkung. Der Effekt auf das maximale Drehmoment und die Sprungkraft ist nach einmaliger Dehnintervention leicht leistungsmindernd aber klinisch nicht relevant.

Schlussfolgerungen: In der Physiotherapie können bei muskulären Verkürzungen mit statischen Dehnungen gute Prognosen bezüglich der Verbesserung des Bewegungsausmasses gemacht werden. Direkt vor sportlichen Höchstleistungen muss je nach Disziplin abgeschätzt werden, ob es wichtiger ist, ein grösseres Bewegungsausmass oder eine höhere Kraftspitze und mehr Sprungkraft zu haben.

1 Einleitung

1.1 Persönliche Motivation

Als langjähriger Kunst- und Geräteturner dehne ich vor jedem Training, um mich auf die bevorstehende Aktivität vorzubereiten. Erst während der Ausbildung zum Physiotherapeuten sind Fragen zur Wirksamkeit des Dehnens, die nicht vollumfänglich beantwortet wurden, aufgekommen. Auch während der Praktika habe ich bei muskulären Verkürzungen verschiedene Dehntechniken angewendet. Unterschiede bezüglich der Resultate der verschiedenen Techniken konnte ich jedoch keine feststellen. Die Tatsache, dass ich mehr über die Wirkung von Dehnungen wissen möchte, hat mich auf eine Fragestellung, die in diese Richtung geht gebracht.

Dehnen ist eine häufig gebrauchte Technik um muskuläre Dysbalancen und Verspannungen zu beheben. Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Dehntechniken, welche zur Auswahl stehen, die statische und die dynamische. In der Therapie wird mehrheitlich statisch gedehnt, während im Sport tendenziell mehr dynamisch gestretcht wird.

Im Sport sind Dehnungen allgegenwärtig, in beinahe jeder Sportart gehört ein Stretching ins Aufwärmprogramm. Den Dehnungen wird eine präventive Wirkung gegen Verletzungen nachgesagt und wenn man nach dem Training dehnt, soll es Muskelkater verhindern. Diese Wirkungen wurden jedoch laut Zahnd (2005) von diversen Studien widerlegt. Dennoch gibt es viele Sportarten, welche ein hohes Grad an Beweglichkeit und sehr viel Sprungkraft und/oder Maximalkraft voraussetzen wie Kunstturnen, Eiskunstlauf, Leichtathletik, etc. und um diese Beweglichkeit zu erlangen, wird gedehnt. Um die genauen Auswirkungen von Dehnungen zu erläutern, müsste ein fundiertes physiologisches Wissen diesbezüglich vorhanden sein. Da dies jedoch noch nicht existent ist, kann man lediglich die direkten Auswirkungen aufzeigen.

1.2 Ziele der Arbeit/Fragestellung

In der vorliegenden Arbeit soll die Wirkung von statischen Dehnungen der unteren Extremitäten auf verschiedene objektiv messbare Verlaufsparemeter aufgezeigt werden. Die Fragestellung lautet: „Welche Auswirkungen haben statische Muskeldehnungen der unteren Extremitäten auf das Bewegungsausmass, das maximale Drehmoment und die Sprungkraft?“ Es soll nach der Auseinandersetzung mit der Arbeit klar werden, was man mit statischen Dehnungen erreichen kann und wie sie die einzelnen Parameter beeinflussen. Auf Grund dieser Erkenntnisse soll in der Praxis besser abgeschätzt werden können, ob statische Dehnungen indiziert sind oder eine andere Technik passender wäre. Im Sportbereich sollen Trainer und Sportler erkennen können, ob statische Dehnungen vor sportlichen Höchstleistungen förderlich sind oder die Leistung dadurch negativ beeinflusst wird.

1.3 Methodik und Abgrenzung

Für die Literaturrecherche wurde hauptsächlich in den Datenbanken von PubMed und Medline gesucht. Die dazu verwendeten Key-Words sind: muscle, stretching, static, peak torque, jump performance und range of motion. Diese sind verschieden miteinander kombiniert worden. Zu den über die Key-Words gefundenen Artikeln sind über „Related Articles“ weitere Studien zugezogen worden. Eingegrenzt wurde die Suche zu Anfang durch das Publikationsjahr; die Studien mussten zwischen dem Jahr 2003 und 2009 publiziert worden sein. Eines der Hauptkriterien war, neben den möglichst gleichen Studiendesigns, dass die Dosierungen der Dehn-Interventionen vergleichbar sind, damit Quervergleiche zwischen den verschiedenen Studien gemacht werden können. Aus diesem Grund konnten einige Studien nicht in die Arbeit integriert werden und andere, ältere Studien sind in die Arbeit mit eingeflossen. Um mögliche Begründungen für die gefundenen Ergebnisse zu finden, sind zusätzlich Studien, die sich auf physiologische Erklärungsversuche fokussieren, in Datenbanken und diversen Physiologie-Journals gesucht worden. Doch auch diese werden nur am Rande erwähnt, weil sie nicht mit der Fragestellung korrelieren. Neben der Primärliteratur

sind diverse Inhalte von Physiologie-Büchern und Büchern zum Thema „Dehnungen“ in die Arbeit mit eingeflossen.

1.4 Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung wird im ersten grossen Abschnitt das Grundwissen zum Verständnis des Hauptteils gelegt.

Im anschliessenden Hauptteil werden zu den Themenbereichen Bewegungsausmass, maximales Drehmoment und Sprungkraft jeweils drei Studien genau erläutert. Die Resultate sind immer direkt nach den einzelnen Themenbereichen zu finden. Ebenfalls im Hauptteil wird der Theorie-Praxis Bezug behandelt. In diesem Abschnitt wird die Relevanz der gewonnenen Erkenntnisse für die Praxis aufgezeigt. Im Anschluss ist die Diskussion zu finden, in welcher die Arbeit kritisch hinterfragt wird und allfällige Problematiken aufgezeigt werden.

Die Schlussfolgerungen, die Beantwortung der Fragestellung und die weiterhin offenen Fragen, welche noch beantwortet werden müssen, sind im Schlussteil zu finden.

2 Basiswissen

2.1 Muskelaufbau

Der Muskel besteht aus bindegewebigen und kontraktile Anteilen. Zu den nicht kontraktile Elementen gehören das Endomysium, das Perimysium und das Epimysium. Das Endomysium legt sich um eine Muskelfaser und trennt die einzelnen Fasern voneinander. Das Perimysium umschliesst als nächste Schicht ein Muskelfaserbündel. Der gesamte Muskel mit allen Muskelfaserbündeln ist von der bindegewebigen Schicht des Epimysiums umhüllt. Diese Bindegewebsschichten sind reich an Nerven und Gefässen. Das Epimysium des Muskels ist wiederum von einer Muskelfaszie umgeben, die die verschiedenen Muskeln bzw. Muskelgruppen voneinander trennt. Das Endomysium, das Perimysium und das Epimysium bestehen zu grossen Teilen aus den Kollagen Typen 1, 3, 5, 6 und wenig Anteilen elastischer Fasern. (Lindel, 2006; van den Berg, 2003)

Wie bereits erwähnt unterteilt sich ein Muskelfaserbündel in Muskelfasern, welche aus vielen Myofibrillen bestehen. Die Myofibrille wiederum wird durch viele hintereinander angereihte Sarkomere gebildet (Lindel, 2006). In Abb.1 ist der Aufbau eines Muskels Schematisch ersichtlich.

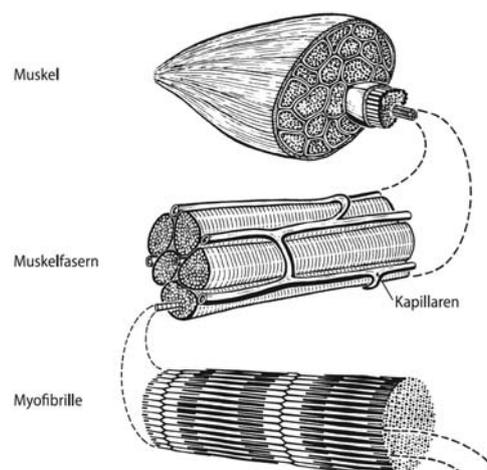


Abb.1 Schematischer Muskelaufbau vom Muskelbündel bis zur Myofibrille.

Quelle: aus Appell et al. (2008, S.8)

2.2 Sarkomer

Ein Sarkomer ist mit ca. 2µm die kleinste funktionelle Einheit eines kontraktiven Elements und reicht von einer Z-Linie bis zur nächsten. Weil Sarkomere immer parallel nebeneinander liegen, sind in einer Myofibrille charakteristische Querstreifungen zu sehen (Abb.2). Myosinfilamente und Aktinfilamente sind die proteinhaltigen Myofilamente, die zusammen die kontraktiven Elemente eines Sarkomers bilden. Des Weiteren sind so genannt „tertiäre“ Filamente vorhanden, dazu gehören:

- Intermediäre Filamente, welche in Längsrichtung und im Bereich der Z-Linie ringförmig durch das Sarkomer verlaufen. Diese haben Kontakt zum Sarkolemm und den benachbarten Fibrillen.
- Nebulinfilamente, welche parallel zu den Aktinfilamenten laufen.
- Titinfilamente, die zwischen den Z-Linien verlaufen. Sie haben Verbindungen zu den freien Enden der Myosinfilamente und ziehen parallel zu ihnen. Einem Myosinfilament sind jeweils sechs Titinfilamente zugeordnet.
- Kurze filamentöse und globuläre Proteine verlaufen innerhalb und ausserhalb des Sarkolemm mit Kontakt zu den Faserhüllen und Sehnen.

Diese „tertiären“ Filamente sind im Gegensatz zu den Aktin- und Myosinfilamenten nicht kontraktile. Sie stabilisieren das Sarkomer in longitudinaler und transversaler Richtung. Dem Titinfilament wird die Eigenschaft zugeschrieben, den Muskel nach einer Dehnung wieder in seine Ruhelänge zu bringen, indem es die Myosinfilamente in Richtung Z-Linie zieht. (Lindel, 2006)

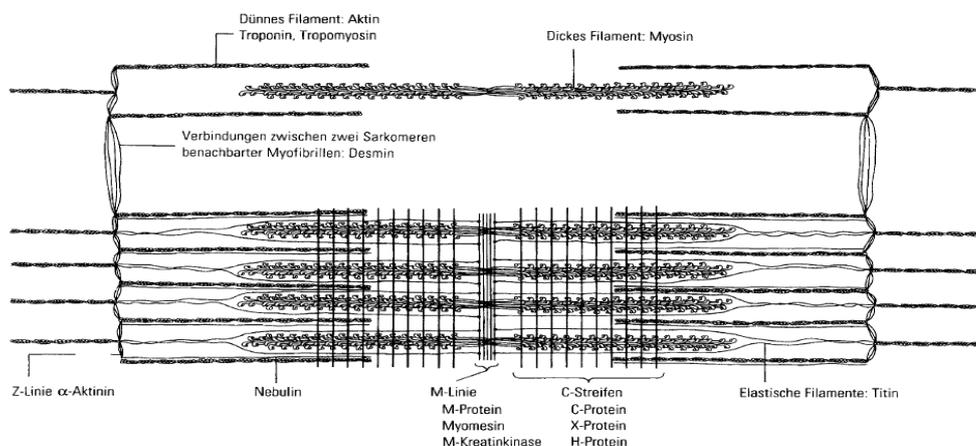


Abb.2 Aufbau eines Sarkomers mit seinen kontraktiven und tertiären Filamenten.
Quelle: unverändert aus Freiwald et al. (1999, S.9).

2.3 Filament-Gleit-Theorie

Die Filament-Gleit-Theorie besagt, dass Aktin- und Myosinfilamente innerhalb eines Sarkomers aneinander vorbeigleiten können. Die Länge der beiden Filamente verändert sich dabei nicht. Die Z-Linien verändern ihre Distanz zueinander und die H-Zone verändert ihre Länge, während die A-Bande einen konstanten Abstand hält. Dieser Mechanismus ist wie in Abb.3 dargestellt sowohl bei Kontraktionen als auch bei Dehnungen vorhanden. (Klinke, Pape und Silbernagl, 2005)

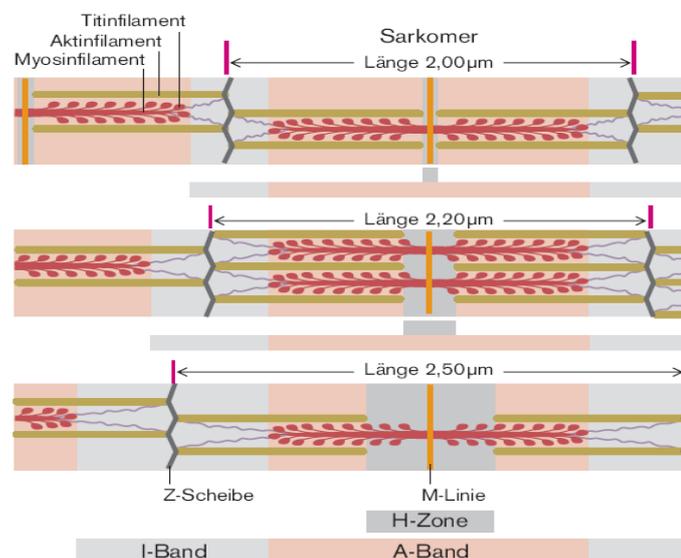


Abb.3 Überlappung der Aktin- und Myosinfilamente in angenähertem und gedehnten Zustand.
Quelle: unverändert aus Klinke et al. (2005, S.105)

2.4 Muskelkontraktion

Klinke et al. (2005, S.105-106) beschreiben den Ablauf einer Muskelkontraktion in sechs Schritten (Abb.4):

Schritt 1 Die Bindung eines ATP-Moleküls in das aktive Zentrum des Myosinkopfes durchbricht die feste, hochaffine Bindung zwischen nucleotidfreiem Myosinkopf und Aktinfilament. Der Myosinkopf löst sich vom Aktinfilament ab.

Schritt 2 Die Spaltung des ATP-Moleküls in ADP und anorganisches Phosphat induziert eine Strukturumlagerung des Myosinkopfes mit Umklappen des Hebelarms. Dadurch wird die katalytische Domäne in Richtung Z-Linie verschoben und kommt in Höhe eines neuen Aktinmonomers zu liegen.

Schritt 3 Der Myosinkopf geht mit Aktin eine Bindung niedriger Affinität ein (niederaffiner Aktomyosinkomplex).

Schritt 4 Strukturumlagerungen im Myosinkopf führen zu fester, hochaffiner Bindung des Myosinkopfes an Aktin (hochaffiner Aktomyosinkomplex).

Schritt 5 Umorientierung des Hebelarms und Abdissoziation des anorganischen Phosphats aus dem aktiven Zentrum des Myosinkopfes. Durch die Umorientierung des Hebelarms werden Aktin- und Myosinfilament etwa 6–8nm gegeneinander verschoben. Diese Verschiebung stellt den ersten Teilschritt des sogenannten Kraftschlags dar.

Schritt 6 Die Abdissoziation von ADP geht mit einem weiteren Umklappen des Hebelarms einher. Durch diesen zweiten Teilschritt des Kraftschlags werden Aktin- und Myosinfilament um weitere 2–4nm gegeneinander verschoben.

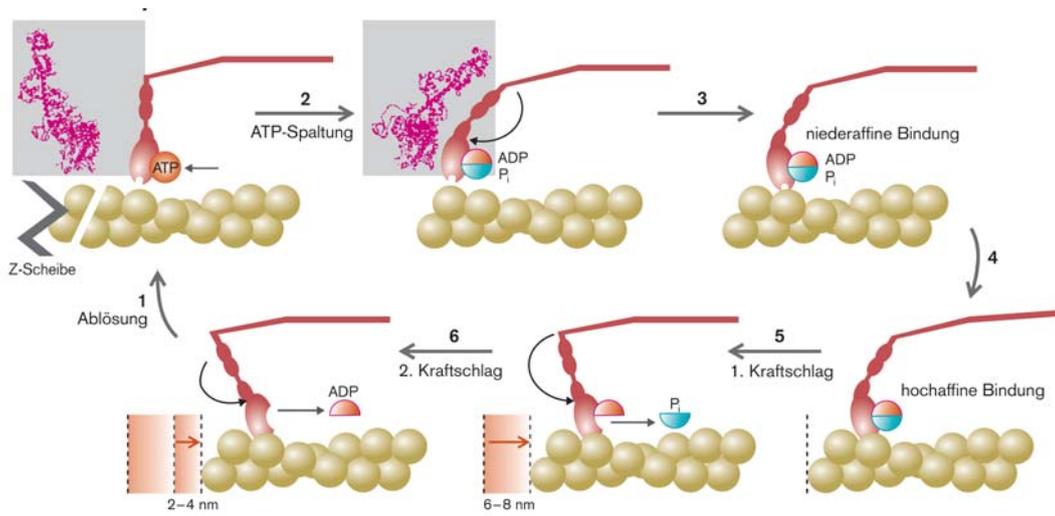


Abb.4 Schematischer Ablauf eines Kontraktionszyklus.

Quelle: aus Klinke et al. (2005, S.106)

2.5 Kraft-Längen-Relation

Je nach Ausgangsstellung, in welcher sich der Muskel kontrahiert, variiert die Kraft, die er entwickeln kann. Ein Muskel erreicht seine Maximalkraft aus der Ruhelänge. Kontrahiert er aus angenäherter oder verlängerter Ausgangsstellung, sinkt die isometrische Maximalkraft. Grund dafür ist die strukturell veränderte Ausgangslage im Sarkomer. Die maximale isometrische Spannung kann im Muskel nur bei bestehender Ruhelänge des Sarkomers generiert werden, da die Anzahl Aktin-Myosin-Brücken bei vorhandener Ruhelänge optimal ist. Nimmt das Sarkomer eine grössere Länge ein, so ist die Überlappung weniger günstig, die Anzahl an Aktin-Myosin-Brücken nimmt durch das „Auseinanderziehen“ ab und demnach kann weniger Kraft generiert werden. Sarkomere, die kürzer als ihre Ruhelänge sind, können weniger Kraft ausüben, da die Überlappung der gegenseitig gepolten Aktinfilamente zugelassen wird. Zudem werden die dicken Filamente an die Z-Linie gepresst. Die Beziehung zwischen der Sarkomerlänge und der Kraftentwicklung ist in Abb.5 mit einer Kraftentwicklungskurve dargestellt. Wenn der Muskel gedehnt wird, nimmt die aktive Spannung stetig ab, wobei die passive Spannung durch das Titin konstant zunimmt. (Schmidt und Lang, 2007; van den Berg, 2003)

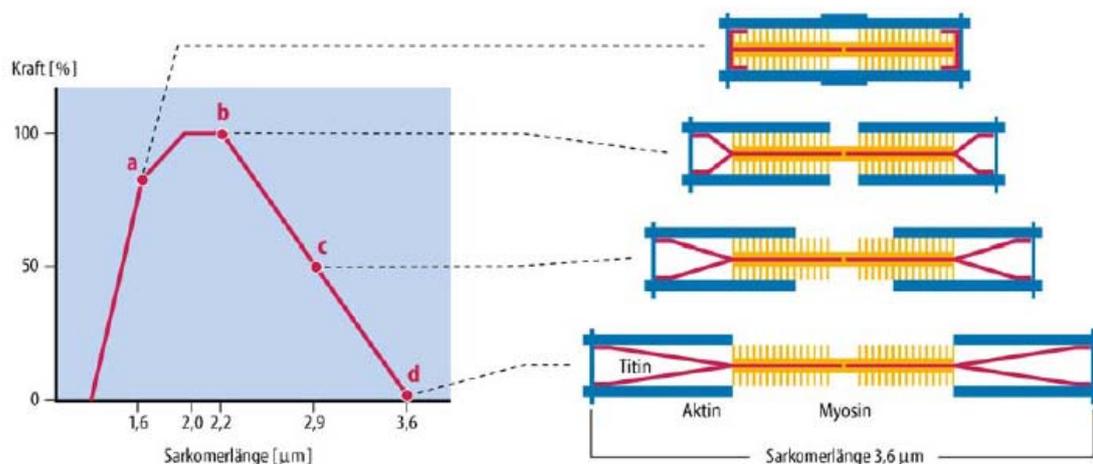


Abb.5 Beziehung zwischen Kraftentwicklung und Sarkomerlänge (Filamentüberlappung)

Quelle: unverändert aus Schmidt et al. (2007, S.125)

2.6 Isokinetik

Van den Berg, Cabri, Elvey, Gosselink, Haas, Heesen, Horst, Van Kampen, Oettmeier, Reybrouck, Schöttker-Königer, Sinz, Slater, Steverding, Thacker, Watson, und Wilke (2001) beschreiben die Isokinetik wie folgt:

Isokinetische Übungen (nach dem Griechischen iso: gleich und kinein: bewegen) lassen sich definieren als Methode, die Geschwindigkeit von Bewegungen innerhalb eines Bewegungsbereichs mittels eines Gerätes zu kontrollieren. Das Gerät ermöglicht mit einer Reaktionskraft die Kontrolle der Winkelgeschwindigkeit über den vollen Bereich der Gelenkbewegung. (S.218)

Dass der Muskel in seiner eigentlichen Funktion – während einer Bewegung – konstant seine maximale Kraft bei entsprechender Gelenkstellung aufwenden muss und somit während der ganzen Bewegung maximal belastet wird, ist der Vorteil gegenüber isometrischen Übungen und Übungen mit gleich bleibenden Widerständen. Durch die Reaktionskraft des Dynamometers wird die maximale vom Muskel aufgewendete Kraft in jeder Gelenkstellung berechnet und dementsprechend Widerstand gegeben. Der höchste Widerstandswert ist das maximale Drehmoment (Kraftspitze). Die Anpassung des Widerstandes geschieht beim normalen Krafttraining an Maschinen oder mit Gewichten nicht. Die Kraft, welche dabei aufgewendet werden muss, ist konstant. Durch sich verändernde Hebelarme und Muskellängen wird bei Ermüdung das Ende der Bewegung von der Gelenkstellung, bei der am wenigsten Kraft aufgebracht werden kann bestimmt. Die Winkelgeschwindigkeiten variieren ebenfalls während der Durchführung der Bewegung. Isometrische Kraftübungen messen lediglich die Kraft in bestimmten statischen Gelenkstellungen. Dies ist nicht funktionell, weil ein Muskel in der Regel dynamisch arbeitet und diese Komponente mit isometrischen Kraftmessungen nicht berücksichtigt werden kann. (van den Berg, 2001)

2.7 Dynamometer

Ein Dynamometer ist das Instrument für die Durchführung isokinetischer Kraftübungen und deren Auswertung. Das gängigste Gerät ist der Cybex II. Es gibt jedoch diverse andere Dynamometer wie Ariel RTE, Biodex, Lido, Isosystem, Kin.Com. oder Spark. Es werden zwei verschiedene Typen von Dynamometern unterschieden; der elektronische (z.B. Cybex II) und der hydraulische (z.B. Kin.Com.). In ihren Funktionen unterscheiden sich die verschiedenen Geräte insofern, dass sie verschiedene maximale Winkelgeschwindigkeiten (z.B. $60^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ oder $300^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$) anbieten und in der Fähigkeit, die exzentrischen Muskelaktionen zu messen. Mit gerätespezifischer Software werden die genauen Werte berechnet. Anhand von Kraftkurven können im Anschluss die Winkelgeschwindigkeit (in $^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$), die Kraft (in Nm) und die Gelenkwinkel (in $^{\circ}$) objektiviert werden. Damit wird die genaue Beziehung zwischen Winkelgeschwindigkeiten, Kraft und Gelenkstellungen der für die Bewegung verantwortlichen Muskelgruppe auf ein bestimmtes Gelenk sichtbar. (van den Berg, 2001)

2.8 Dehnmethoden

Lindel (2006) teilt die Dehnmethoden wie in Abb.6 auf. Es werden zwei grundsätzlich verschiedene Techniken unterschieden, die dynamische und die statische.

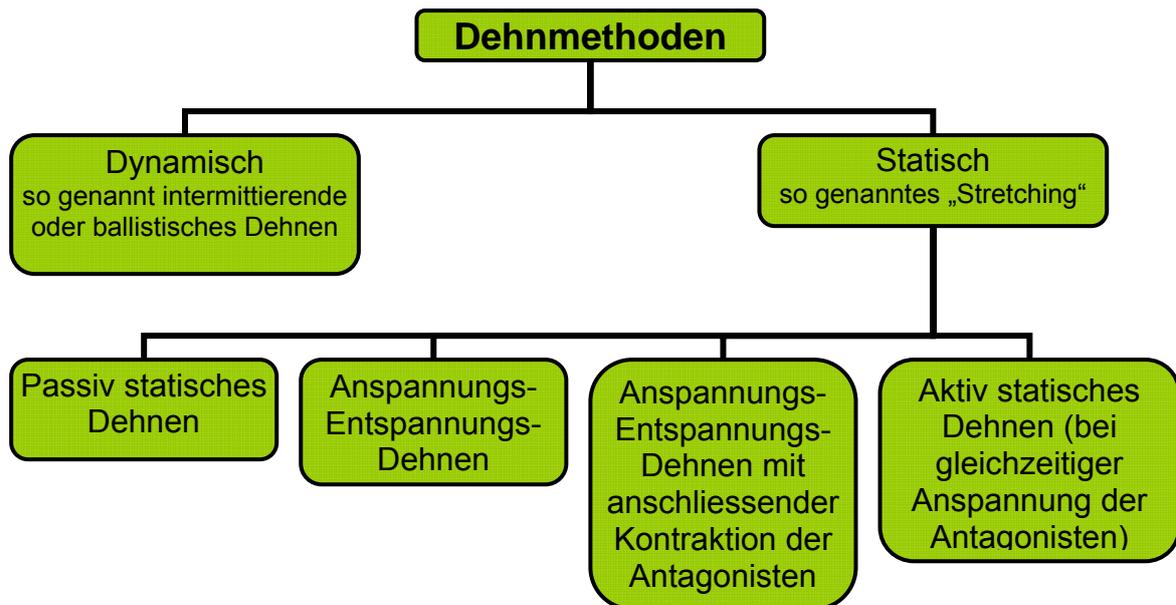


Abb.6 Dehnmethoden
Quelle: nach Vorlage von Lindel (2006, S.30)

2.8.1 Dynamisches Dehnen

Bei der dynamischen Technik wird rhythmisch wippend nachgedehnt. Im Sport wird diese Methode häufig als Vorbereitung für spezifische Schnellkraft-Belastungen angewendet (z.B. Wurfdisziplinen). Therapeutisch ist die dynamische Dehnung schwierig anzuwenden, weil sie schwer zu dosieren ist und somit ein Verletzungsrisiko besteht. Eine positive Wirkung auf das Bewegungsausmass ist jedoch wissenschaftlich erwiesen. (Lindel, 2006)

2.8.2 Statisches Dehnen

Lindel (2006) unterteilt das statische Dehnen in vier Unterkategorien. In den behandelten Studien der vorliegenden Arbeit wird hauptsächlich passiv statisch gedehnt. Dabei wird der Muskel langsam und kontrolliert in eine maximale Verlängerung gebracht und dort gehalten. Die Dosierung variiert in verschiedenen Literaturen. Bandy et al. (1998, zit. nach Bandy, WD. und Irion, J., 1994. S.845-850) zeigt, dass eine Dauer von 30 Sekunden fünf Mal wöchentlich während sechs Wochen zur Beweglichkeitsverbesserung optimal ist. Die Testgruppe, welche 15 Sekunden stretchte verbesserte sich, jedoch nicht im gleichen Ausmass, wie diejenige welche 30 Sekunden stretchte. Des Weiteren sind von 30 zu 60 Sekunden keine signifikanten Unterschiede gemessen worden.

Lindel (2006) beschreibt weiter, dass bei dem Anspannungs-Entspannungs-Dehnen der Muskel mit geringer Kraft in die eingeschränkte Bewegungsrichtung geführt wird. Bevor ein unangenehmes Gefühl auftritt wird die Bewegung unterbrochen und der zu dehnende Muskel spannt isometrisch gegen den Widerstand des Therapeuten während ~5 Sekunden an. Die Intensität der Anspannung ist unklar und muss somit dem Patienten angepasst werden. Im Anschluss entspannt der Patient, während Ursprung und Ansatz des Muskels weiter voneinander entfernt werden. Bei einem deutlichen Dehngefühl (kein Schmerz) wird die Position für 15-30 Sekunden gehalten. Dieser Ablauf wird zwei bis vier Mal wiederholt.

Der wesentliche Unterschied zwischen dem „Anspannungs-Entspannungs-Dehnen“ und dem „Anspannungs-Entspannungs-Dehnen mit anschliessender Kontraktion der Antagonisten“ ist, dass die isometrische Anspannung des Agonisten für fünf Sekunden maximal sein muss. Im Anschluss wird wieder 15-30 Sekunden statisch gedehnt. Direkt danach muss diese Position vom Patienten aktiv gehalten werden oder gegen Widerstand des Therapeuten arbeiten. Mit dieser Technik nutzt man das Prinzip der reziproken Inhibition aus.

Das aktive statische Dehnen (bei gleichzeitiger Anspannung der Antagonisten) nutzt ebenfalls die Wirkung der reziproken Inhibition. Sobald die Dehnposition eingenommen ist, müssen die Antagonisten anspannen. (Lindel, 2006)

3 Hauptteil

3.1 Die Wirkung statischer Dehnungen auf die Range of Motion

In Bekir und Fatih's (2009) Studie mussten 10 zwischen 18 und 26 Jahre alte Männer während sechs Wochen vier Mal wöchentlich statisch dehnen. Die Studienteilnehmer der Testgruppe zeigten beim pre-Test eine Beweglichkeit von $21.6^\circ \pm 7.45^\circ$, die der Kontrollgruppe war $20.44^\circ \pm 13.23^\circ$. Diese Messungen wurden mittels Goniometer vorgenommen. Dabei war das Hüftgelenk zu 90° flektiert. Das Knie wurde passiv extendiert und der Gelenkwinkel im Knie gemessen.

Gedehnt wurden gleichzeitig die Muskelgruppe der Hamstrings und der M. Triceps surae. Dafür wurde in Rückenlage das Hüftgelenk zu 90° flektiert und in dieser Position das Knie extendiert (Hamstrings), während das obere Sprunggelenk in 0° gehalten wurde (Triceps surae). Es wurde demnach die Technik der „aktiven statischen Dehnung bei gleichzeitiger Anspannung der Antagonisten“ angewendet. Die Dosierung war vier Mal wöchentlich vier Wiederholungen à 30 Sekunden statisch in einer Dehnposition, welche auf der Visual Analogue Scale (Schmerzskala) den Wert fünf nicht übersteigt, dazwischen wurden jeweils 10 Sekunden pausiert.

Mittels post-Test wurde die Beweglichkeit nach 6 Wochen erneut evaluiert. Dabei wurde eine signifikante Zunahme des Bewegungsausmasses bei der Testgruppe festgestellt. Die Gelenkstellung im Knie lag bereits bei $6.2^\circ \pm 3.67^\circ$, während bei der Kontrollgruppe, die nicht dehnte, lediglich eine kleine, klinisch nicht relevante Veränderung festgestellt werden konnte ($17.22^\circ \pm 11.12^\circ$).

Bandy, Iron und Biggler (1998) untersuchten die Wirkung statischer Dehnungen und „Dynamic Range of Motion Training“ auf die Flexibilität der hamstring Muskelgruppe. Dafür haben sie ihre 58 Testpersonen (41 Männer, 17 Frauen, mittleres Alter 26.21 Jahre) in drei randomisierte Gruppen aufgeteilt (Stretching-, Dynamic Range of Motion-, und Kontroll-Gruppe). Alle Testpersonen hatten mit

einem Goniometer gemessen bei 90° Hüftflexion eine Knie-Extensionseinschränkung von mindestens 30°.

Die Probanden der Stretching-Gruppe mussten während sechs Wochen, fünf mal wöchentlich, einmal täglich für 30 Sekunden die hamstring Muskelgruppe statisch dehnen. Die Mitglieder der Testgruppe die statisch dehnen musste, dehnte die hamstring Muskelgruppe, indem sie das zu dehnende Bein erhöht positionierten und bei voller Knieextension den Oberkörper über das Hüftgelenk nach vorne neigten, bis ein leichter Stretch gefühlt wurde. Diese Position hielten sie für 30 Sekunden. Die Kontrollgruppe (N=20) übte über den gesamten Zeitraum keine Dehnungen aus.

Beim post-Test wurde eine signifikante Verbesserung der Knieextension festgestellt (mean change 11.42°), während bei der Kontrollgruppe keine signifikante Veränderung der Bewegungseinschränkung festzustellen war.

Gajdosik (1991) untersuchte den Effekt statischer Dehnungen auf die hamstring Muskelgruppe an 24 gesunden Männern mit klinisch verkürzten Hamstrings (Straight Leg Raise $\leq 70^\circ$). Die Männer waren zwischen 18 und 37 Jahre alt. Mittels pre-Test wurden das jeweilige Bewegungsausmass der Testgruppe (N=12) und der Kontrollgruppe (N=12) ermittelt. Die Mittelwerte des Straight Leg Raise der Testgruppe war $61.0^\circ \pm 3.5^\circ$, während die Kontrollgruppe Mittelwerte von $61.1^\circ \pm 4.2^\circ$ aufwies. Eine zweite Methode um das Bewegungsausmass zu messen, wurde über die Knieextension bei fixierter 90° Hüftflexion durchgeführt. Die Testgruppe hatte dabei Mittelwerte von $33.6^\circ \pm 3.0^\circ$, die Kontrollgruppe $31.9^\circ \pm 4.5^\circ$. Gemessen wurden diese Zahlen mittels Fotografien, welche ausgewertet wurden.

Die Testgruppe dehnte während 21 Tagen täglich zehn Mal 15 Sekunden mit 15 Sekunden Pause dazwischen. Die Dehnung musste langsam ausgeführt werden, bis leichte Schmerzen verspürt wurden. Die Testpersonen mussten dafür in stehender Ausgangsstellung ihren Fuss auf einer Erhöhung positionieren, das Knie extendiert halten und den Rumpf mit geradem Rücken mittels Hüftbeugung vorbeugen. Die Kontrollgruppe übte keine Dehnungen aus.

Nach drei Wochen wurde bei der Testgruppe eine signifikante Steigerung des Bewegungsausmasses festgestellt. Beim Straight Leg Raise wurde neu ein

Mittelwert von $74.4^{\circ} \pm 6.2^{\circ}$ gemessen, während bei der Kontrollgruppe die neuen Werte kaum verändert bei $62.5^{\circ} \pm 4.3^{\circ}$ lagen. Bei der Kniextension lagen die Werte beim post-Test der Testgruppe bei $24.8^{\circ} \pm 4.3^{\circ}$, bei der Kontrollgruppe bei $32.3^{\circ} \pm 5.4^{\circ}$. Das heisst also ebenfalls eine signifikante Verbesserung der Testgruppe, während die Kontrollgruppe wiederum keine Veränderung aufzeigte.

3.1.1 Resultate bezüglich der Range of Motion

In allen drei Studien sind nach der Auswertung der pre- und post-Tests signifikante Veränderungen des Bewegungsausmasses festgestellt worden.

Trotz verschiedener Dosierungen sind bei allen Testgruppen Verbesserungen auszumachen. Dies zeigt, dass statisches Dehnen einen positiven Einfluss auf die Beweglichkeit hat. Über die optimale Dosierung ist man sich noch uneinig.

In Tab.1 sind nochmals zusammengefasst die wichtigsten Daten aller drei Studien aufgezeigt.

Tab.1: Zusammenfassung der behandelten Studien zum Bewegungsausmass.

Autor	Bekir et al. (2009)	Bandy et al. (1998)	Gajdosik (1991)
Anzahl Teilnehmer	28	58	24
Einschluss- kriterien	keine bekannten Defizite	eingeschränkte Beweglichkeit	eingeschränkte Beweglichkeit
Studiendauer	6 Wochen	6 Wochen	3 Wochen
Dosierung der Dehnungen	4 × Woche 30 Sek. 4 Wh	5 × Woche 30 Sek. 1 Wh	Täglich 15 Sek. 10 Wh
Outcome bei der Testgruppe	+15.4° signifikant	+11.2° signifikant	+8.8° signifikant

Quelle: erstellt durch den Autor

3.2 Die Wirkung statischer Dehnungen auf das maximale Drehmoment

Marek, Cramer, Fincher, Massey, Dangelmaier, Purkayastha, Fitz, und Culbertson (2005) haben den Effekt statischer Dehnungen des M. Quadriceps auf das maximale Drehmoment (MD) untersucht. Dafür wurden zehn Frauen (Alter 23 ± 3 Jahre) und neun Männer (Alter 21 ± 3 Jahre) ohne Einschränkungen in Bezug auf Schmerzen, Bewegungsausmass oder frühere Verletzungen getestet. In der Studie wurde auch die Beweglichkeit untersucht. Die Teilnehmer durchliefen den folgenden Test-Kreislauf:

1. Warm-up
2. Isokinetisches Assessment
3. Range of Motion Assessment
4. Statisches Dehnprogramm
5. Range of Motion Re-Assessment
6. Isokinetisches Re-Assessment

Dieser Kreislauf dauerte 58.0 ± 7.0 Minuten.

Die Teilnehmer mussten ein fünf Minuten dauerndes Warm-up auf einem Veloergometer der auf 50W eingestellt war absolvieren. Direkt danach wurde mit dem „Biodex System 3 isokinetic dynamometer“ das maximale Drehmoment-Assessment für die Knie-Extensoren mit zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten (60° und $300^\circ \cdot s^{-1}$) durchgeführt. Den Testpersonen wurden das Becken und der Oberkörper mit Gurten am Stuhl fixiert. Bevor die effektiven Messungen gemacht wurden, durfte der Proband drei submaximale Probedurchläufe der „kick-Bewegung“ absolvieren. Danach wurden jeweils drei maximale Kraftmessungen mit beiden Geschwindigkeiten ausgeführt. Die Reihenfolge der Geschwindigkeiten wurde randomisiert. Zwischen den verschiedenen Geschwindigkeiten wurde zwei Minuten Pause eingelegt, um den Muskel nicht zu erschöpfen. Für die folgende Analyse wurde der höchste Kraftwert verwendet. Am meisten Kraft konnte der Muskel in den mittleren 30° entwickeln, also zwischen 120° und 150° wenn die volle Knie-Extension bei 180° liegt. Im Anschluss wurde das Bewegungsausmass mit einem Goniometer gemessen.

Das statische Dehnprogramm der Knie-Strecker umfasst vier Übungen à vier Wiederholungen, die jeweils für 30 Sekunden gehalten wurden. Zwischen den Dehnungen wurden jeweils Pausen von 20 Sekunden in der Neutralposition gemacht. Gedeht wurde bis zu einem Punkt des Unbehagens, welcher jedoch noch nicht als Schmerz empfunden wurde. Die erste Übung war eine Selbstdehnung. Dafür stand der Proband aufrecht neben einer Wand, beugte sein Knie und hielt mit der ipsilateralen Hand den Fuss. Der Fuss wurde soweit hochgezogen, bis die Ferse das Gesäss berührte. Die Hüfte musste dabei möglichst weit extendiert werden. Die nächsten drei Dehnmethode waren passiv, ein Untersucher führte die Dehnung aus. Für die zweite Dehnung lag der Proband in Bauchlage auf einer Liege. Mit passiver Knieflexion wurde die Ferse zum Gesäss geführt. Wenn dies noch keine Dehnung erzeugte, wurde diese über eine Hüftgelenks-Extension herbeigeführt. Bei der dritten Dehnung stand der Proband mit dem Rücken zur Liege, mit hinten auf die Liege gelegtem Rist. Der Untersucher stretchte, indem er die ipsilaterale Schulter und das ipsilaterale Knie nach dorsal drückte. Während der letzten Methode lag der Proband am unteren Ende einer Liege auf dem Rücken, so dass das Gesäss gerade vor dem Liegende positioniert war. Das nicht zu dehnende Bein wurde in neutraler Position gelagert. Für die Dehnung wurde nun das Knie des vom Untersucher gehaltenen Beines flektiert und die Hüfte langsam extendiert.

Das erste Re-Assessment nach dem Dehnprogramm bezog sich auf das Bewegungsausmass. Die nicht signifikanten Resultate in Bezug auf die Beweglichkeit sind in Tab.2 aufgezeigt. 10.5 ± 2.8 Minuten nach Beendigung des Dehnprogramms folgte das isokinetische Re-Assessment. Die Ergebnisse des Pre- und Post-Assessments sind in Tab.3 ersichtlich.

Tab.2: Das aktive und passive Bewegungsausmass (ROM) vor und nach der Intervention.

	Pre-Stretch	Post-Stretch
Active ROM	126.3° ± 1.8°	128.1° ± 1.8°
Passive ROM	141.2° ± 2.0°	143.0° ± 2.0°

Quelle: erstellt durch den Autor.

Tab.3: Werte des maximalen Drehmoments (MD) bei 60°-, 300° s⁻¹ vor und nach der Intervention.

	Pre-Stretch	Post-Stretch
MD in Nm bei 60°·s ⁻¹	180.7 ± 14.8	180.4 ± 15.7
MD in Nm bei 300°·s ⁻¹	113.0 ± 11.8	111.1 ± 12.8

Quelle: erstellt durch den Autor.

In Tab.3 erkennt man, dass nach dem Dehnprogramm die durchschnittlichen Werte des maximalen Drehmoments bei beiden Geschwindigkeiten (60° und 300°·s⁻¹) kleiner sind, jedoch in einem so kleinen Rahmen, dass sie nicht als signifikant bezeichnet werden können.

Als Ausgangslage für die Studie von Egan, Cramer, Massey und Marek (2006) diente die bereits erläuterte Studie von Marek et al. (2005). Die Unterschiede liegen in der Auswahl der Studienteilnehmer und im Re-Assessment. Die Messungen des Bewegungsausmasses wurden gänzlich unterlassen.

Als Testpersonen wurden bei Egan et al. (2006) elf Frauen (Alter 20 ± 1.1 Jahr) einer NCAA-Division 1 Basketballmannschaft aus den USA ausgewählt. Alle an der Studie teilnehmenden Frauen hatten keinerlei Verletzungen der unteren Extremitäten.

Sie starteten mit fünf Minuten Warm-up auf einem Veloergometer, der auf 50W eingestellt war. Das isokinetische Assessment der Kniestrecke wurde direkt nach Beendigung des Warm-up's erhoben. Dafür wurde der Biodex System 3 Dynamometer mit Geschwindigkeiten von 60° und 300°·s⁻¹ verwendet. Die beiden Geschwindigkeiten sind in randomisierter Reihenfolge getestet worden. Nachdem die Probanden sachgemäss auf dem Dynamometer festgemacht wurden, durften sie drei bis vier submaximale Probedurchläufe durchführen, bevor das maximale Drehmoment gemessen wurde. Der höchste Wert aus drei Versuchen wurde für die Auswertung verwendet.

Im Anschluss durchliefen alle Testpersonen dasselbe Dehnprogramm (gleiche Dosierung und Übungen) wie in der Studie von Marek et al. (2005).

Die Re-Assessments wurden nach 5, 15, 30 und 45 Minuten durchgeführt. Aus Tab.4 geht hervor, dass kleine Veränderungen in den post-Tests gemessen

wurden. Diese Veränderungen sind jedoch in einem geringen Ausmass, so dass keine Signifikanz besteht.

Tab.4: Werte des maximalen Drehmoments (MD) bei 60°, 300° s⁻¹ vor und nach der Intervention (post 5, 15, 30 & 45 Min).

MD in Nm	Pre-Stretch	Post 5Min.	Post 15Min	Post 30Min	Post 45Min
bei 60°·s ⁻¹	180.2 ± 11.98	174.5 ± 12.5	179.5 ± 11.7	173.7 ± 13.6	182.4 ± 11.2
bei 300°·s ⁻¹	99.6 ± 3.8	104.7 ± 5.5	102.6 ± 5.0	111.6 ± 7.4	107.1 ± 5.3

Quelle: erstellt durch den Autor.

Cramer, Housh, Johnson, Miller, Coburn und Beck (2004) untersuchten das maximale Drehmoment der Knieextensoren bei 14 Frauen (Alter 20 ± 1 Jahr), die sich in ihrer Freizeit sportlich betätigten und keine Verletzungen der unteren Extremitäten aufwiesen. Die Messung des maximalen Drehmoments wurde mit einem Cybex 6000 Dynamometer durchgeführt. Wie in Marek et al. (2005) und Egan et al.'s (2006) Studien absolvierten die Probanden ein fünf Minuten dauerndes Warm-up auf dem Veloergometer bei 50W. Direkt danach wurde auf dem Cybex 6000 Dynamometer das isokinetische Kraft-Assessment bei Geschwindigkeiten von 60° und 240°·s⁻¹ durchgeführt. Dafür wurden das Becken und der Thorax mit Gurten fixiert. Das dominante Bein wurde zuerst beurteilt, danach das weniger dominante. Drei submaximale Versuche durften vor dem eigentlichen Assessment ausgeführt werden. Für die Auswertung der Daten wurden die jeweils höchsten Werte der einzelnen Geschwindigkeiten verwendet.

Das Dehnprogramm war dasselbe, wie das von Marek et al. (2005) und von Egan et al. (2006), auch die Dosierung ist identisch (jeweils vier Wiederholungen à 30 Sekunden mit 20 Sekunden Pause in einer Neutralposition). Gedeht wurde lediglich das dominante Bein.

Das isokinetische Re-Assessment wurde im Anschluss nach 4 ± 1 Minuten ruhigem Sitzen durchgeführt. Zuerst das dominante (gedehnte) Bein, danach das weniger dominante. In Tab.5 sind die Werte des dominanten/gedehnten Beines zu sehen, in Tab.6 diejenigen des weniger dominanten, nicht gedehnten.

Tab.5: Werte des maximalen Drehmoments (MD)
bei 60°, 240° s⁻¹ des
dominanten/gedehnten Beines vor und
nach der Intervention.

MD in Nm	Pre-Stretch	Post-Stretch
bei 60°·s ⁻¹	174.1 ± 7.7	170.7 ± 8.2
bei 240°·s ⁻¹	112.4 ± 5.1	109.3 ± 4.7

Quelle: erstellt durch den Autor.

Tab.6: Werte des maximalen Drehmoments (MD)
bei 60°, 240° s⁻¹ des nicht dominanten/nicht
gedehnten Beines vor und nach der
Intervention.

MD in Nm	Pre-Stretch	Post-Stretch
bei 60°·s ⁻¹	182.4 ± 7.9	174.1 ± 4.7
bei 240°·s ⁻¹	109.6 ± 5.0	106.9 ± 4.5

Quelle: erstellt durch den Autor.

Aus den Tab.5 und Tab.6 geht hervor, dass die Werte bei beiden Beinen und Geschwindigkeiten nach dem Dehnprogramm abgenommen haben. Die Differenzen sind jedoch zu klein, um der Dehnung eine wesentliche Wirkung zuzusprechen.

3.2.1 Resultate bezüglich des maximalen Drehmoments

Die kurzzeitige Wirkung der Dehnungen bei der Geschwindigkeit von 60°·s⁻¹ ist bei allen drei Studien nicht signifikant. Die Werte aller gemessenen post-Tests sind kleiner als die der pre-Tests. Die Auswirkungen bei 300°·s⁻¹ beziehungsweise 240°·s⁻¹ sind auch sehr gering und bei Cramer et al. (2004) und Marek et al. (2005) ebenfalls kleiner. Einzige Ausnahmen sind die Werte der post-Tests bei 300°·s⁻¹ in der Studie von Egan et al. (2006), diese sind nach dem Dehnprogramm alle besser als im pre-Test.

Das maximale Drehmoment wird - wie in den Studien aufgezeigt - kaum durch statisches Dehnen beeinflusst. Eine Zusammentragung der wichtigsten Daten der drei Studien über das maximale Drehmoment ist in Tab.7 ersichtlich.

Tab.7: Zusammenfassung der behandelten Studien zum maximalen Drehmoment.

Autor	Marek et al. (2005)	Egan et al. (2006)	Cramer et al. (2004)
Anzahl Teilnehmer	19	11	14
Voraussetzungen	Freizeitsportler- /Innen	Leistungs- sportlerinnen	Freizeit- sportlerinnen
Warm-up	5 Min. Velo- Ergometer	5 Min. Velo- Ergometer	5 Min. Velo- Ergometer
Pre-, Posttest	Ja	Ja	Ja
Dynamometer	Biodex System 3	Biodex System 3	Cybox 6000
Geschwindigkeiten	60° und 300°·s ⁻¹	60° und 300°·s ⁻¹	60° und 240°·s ⁻¹
Dosierung der Dehnungen	1 Selbstdehnung Knie-Extensoren 3 assistierte Dehnungen Knie-Extensoren 4 Wiederholungen à 30 Sek.		
Outcome bei der Testgruppe	keine signifikante Veränderung	keine signifikante Veränderung	keine signifikante Veränderung

Quelle: erstellt durch den Autor.

3.3 Die Wirkung statischer Dehnungen auf die Sprungkraft

In Robbins und Schermann's (2008) Studie wurden zehn gesunde College Athleten und zehn Freizeitsportler (Alter $20,25 \pm 1,29$ Jahre) in die Studie mit einbezogen. Sie absolvierten an vier verschiedenen Tagen vier verschiedene Dehnprogramme. Um die Muskeltemperatur zu erhöhen, bestand das Warm-up aus fünf Minuten submaximalem Training auf einem Veloergometer. Danach wurde vor dem pre-Test vier Minuten pausiert. Die Sprungkraftmessungen erfolgten über eine Matte (Just Jump Contact Mat System), die an einen Computer angeschlossen war. Der Computer zeigte dann sofort den Zeitabstand zwischen dem letzten Kontakt mit der Matte und dem ersten Kontakt bei der Landung. Die Sprunghöhe wurde ebenfalls direkt vom Computer berechnet. Alle Probanden standen schulterbreit auf der Matte. Vor dem Sprung nahmen sie eine Squat-Position ein und hielten diese bei 100° Knieflexion für zwei Sekunden. Aus dieser Position sprangen die Testpersonen senkrecht hoch. Sie durften ihre Arme als Unterstützung gebrauchen. Es wurden drei Sprünge mit jeweils einer Minute Pause zwischendurch ausgeführt. Der Durchschnitt aller drei Werte wurde bei der Datenanalyse verwendet.

Gedehnt wurden jeweils der M. Quadriceps, die hamstring-Muskelgruppe und die Plantarflexoren der Füße, die Reihenfolge der Dehnungen war randomisiert. Um den M. Quadriceps zu dehnen, stand die Testperson aufrecht neben einer Wand, beugte ihr Knie und hielt mit der ipsilateralen Hand den Fuss. Der Fuss wurde soweit hochgezogen, bis die Ferse das Gesäss berührte. Die Hüfte wurde dabei so weit wie möglich extendiert. Bei der Dehnung der Hamstrings saßen die Probanden im Langsitz und wurden aufgefordert, die Hände so nahe wie möglich zu den Füßen zu führen. Die Dehnung der Plantarflexoren erfolgte, indem sie sich an einer Wand abstützten, in Schrittstellung das vordere Knie zu 90° beugten und das hintere Bein streckten. Dabei musste die Ferse den Kontakt zum Boden halten. An den verschiedenen Tagen, an welchen die Daten erhoben wurden, variierten die Dosierungen. Am ersten Tag wurden pro Dehnmethode zwei Repetitionen mit jeweils 15 Sekunden Pause dazwischen gemacht. Am zweiten Tag waren es vier Repetitionen und am dritten Tag waren es sechs. Die Testpersonen durften soweit dehnen, bis sie ein deutliches Dehngefühl, jedoch

keinen Schmerz verspürten. Der vierte Tag diente als Kontrolltag, an dem keine Dehnungen durchgeführt wurden. Am Kontrolltag machten die Probanden anstelle der Dehnungen 15 Minuten Pause vor dem post-Test. Der post-Test wurde vier Minuten nach den Dehnungen durchgeführt.

Die Dehnprogramme zeigten keine signifikanten Veränderungen der Sprungkraft vor und nach den Dehnprogrammen. Einzig am dritten Tag (sechs Repetitionen) wurde eine signifikante Verschlechterung der Sprungleistung gemessen.

Power, Behm, Cahill, Carroll und Young (2004) untersuchten die Sprungkraft an zwölf männlichen Testpersonen (Alter 20-44 Jahre), die alle ein „physical activity readiness questionnaire“ ausfüllten und unterzeichneten. Die Probanden absolvierten wie bei Robbins et al. (2008) fünf Minuten auf einem Veloergometer um die Muskeltemperatur leicht zu erhöhen. Danach erfolgten diverse pre-Tests (ROM, maximal voluntary force, etc.) unter anderem auch der drop-jump und die reine konzentrische Sprungkraft. Die Sprungkraft wurde jeweils unilateral am dominanten Bein getestet. Alle Messungen erfolgten auf einer „Kinematics Measurement Systems“ Matte. Beim drop-jump wurden sowohl die Sprunghöhe als auch Kontaktzeit auf der Matte gemessen, während beim konzentrischen Sprung lediglich die Höhe gemessen wurde. Für den drop-jump mussten die Probanden ihre Hände an die Hüfte halten, von einer 30cm hohen Plattform schreiten und einbeinig mit möglichst kurzer Kontaktzeit auf der Matte so hoch wie möglich abzuspringen. Der konzentrische Sprung wurde aus einem einbeinigen Squat mit 90° Knieflexion ausgeführt. Die Testpersonen mussten vor dem Sprung zwei Sekunden in der Squat-Position verharren und dann so hoch wie möglich abspringen. Das nicht dominante Bein war im Knie flektiert, so dass kein Bodenkontakt entstand. Bei beiden Sprungarten (drop jump und konzentrischer Sprung) wurden zwei Versuche durchgeführt.

Gedehnt wurde auch lediglich das dominante Bein. Um den M. Quadriceps zu dehnen, lag die Testperson auf den Bauch, während der Tester das Knie soweit beugte, bis der Fuss das Gesäss berührte. Die zweite Methode absolvierten die Testpersonen kniend. Sie hatten dafür beide Knie in 90° Flexion, eine Hüfte in 90° Flexion, die andere in voller Extension. Um den M. Quadriceps zu dehnen wurde nun der hintere Knöchel umfasst und zum Gesäss geführt. Für die Dehnung der

Hamstrings sassen die Testpersonen mit dem gestreckten zu dehnenden Bein am Boden. Das konterolaterale Bein war in Innenrotation und maximaler Knieflexion, so dass die Ferse am Gesäss positioniert war. In dieser Position beugte sich der Proband mittels Hüftflexion vor, um sowohl die Hamstrings als auch den unteren Rücken zu dehnen. Eine weitere Technik war der Straight Leg Raise, wobei der Proband durch einen Tester unterstützt wurde. Die Dehnmethode für die Plantarflexoren war, wie sie Robbins et al. (2008) beschreibt. Zusätzlich wurde eine zweite Technik angewendet, die Ausgangsposition ist dieselbe nur ist das hintere Bein ebenfalls gebeugt. Es wurden pro Dehnmethode jeweils 3 Repetitionen à 45 Sekunden mit 15 Sekunden Pause dazwischen durchgeführt. Die Dehnung wurde nur bis zur Schmerzgrenze ausgeführt und dort statisch gehalten. Anschliessend fanden vier Re-Assessments (nach 30, 60, 90 und 120 Minuten) statt, auch dabei wurden jeweils zwei drop-jump's und konzentrische Sprünge ausgeführt.

Es sind sowohl beim drop-jump als auch beim konzentrischen Sprung Verschlechterungen der Leistung ersichtlich, die sich jedoch in einem nicht signifikanten Bereich bewegen. Beim drop-jump sind beim Bodenkontakt Verschlechterungen von 2.6% bis 10.1% und bei der Höhenmessung von 5.1% bis 6.5% ersichtlich. Der konzentrische Sprung zeigte eine Verschlechterung von 2% bis 5.4% während der verschiedenen post-Tests.

Burkett, Phillips und Ziuraitis (2005) untersuchten vier verschiedene Aufwärmprogramme und deren Auswirkungen auf die Sprungkraft bei 29 Männern (Alter 18-23 Jahre). Alle Testpersonen spielen Football auf einer speed-Position. Die Studie dauerte vier Tage, an jedem Tag wurde ein anderes Aufwärmprogramm absolviert. Die 29 Testpersonen wurden in vier Gruppen eingeteilt, welche mit unterschiedlichen Aufwärmprogrammen starteten. Das erste Aufwärm-Protokoll war ein submaximales Sprung Warm-up, welches fünf Sprünge, auf 75% der Maximalhöhe beinhaltete. Beim zweiten Warm-up wurden Sprünge mit Gewichten (10% Körpergewicht) in den Händen durchgeführt. Dabei mussten sie fünf Mal auf eine 63.5cm hohe Box springen. Das stretching Warm-up umfasste 14 Dehnübungen, jede Übung wurde statisch 20 Sekunden gehalten.

Das Protokoll umfasste folgende Übungen:

1. Standing toe touch
2. Standing toe touch with right leg crossed over the left
3. Standing toe touch with left leg crossed over the right
4. Standing straddle with arms reaching to the ground
5. Standing right side lunge
6. Standing left side lunge
7. Standing forward lunge with right foot forward
8. Standing forward lunge with left foot forward
9. Standing right quadriceps stretch
10. Standing left quadriceps stretch
11. Standing bent-over toe raise with leg straight
12. Standing bent-over toe raise with knee slightly bent
13. Standing side bend to the right
14. Standing side bend to the left

An einem der vier Tage übten die Testpersonen kein Warm-up aus. Vor dem Sprung wurde die Körpergröße mit hochgestreckten Armen gemessen. Alle Testpersonen standen für die Messung der Sprünge schulterbreit neben einer Wand, mussten so hoch wie möglich springen und an der höchsten Stelle einen Hebel umlegen. Der ganze Sprung wurde auf Video aufgenommen und ausgewertet. Die maximale Reichweite im Sprung minus die Körpergröße mit hochgestreckten Armen ergab die Sprunghöhe. Für die Analyse wurde jeweils der höchste Sprung verwendet.

Aus den vier verschiedenen Warm-up Varianten wurde lediglich beim Warm-up mit den Gewichten eine signifikant höhere Sprungleistung festgestellt. Zwischen dem submaximalen Sprung-, dem stretching- und keinem Warm-up sind keine relevanten Differenzen festzustellen.

3.3.1 Resultate bezüglich der Sprungkraft

Es sind keine signifikante Veränderungen der Sprungkraft nach statischen Dehnungen auszumachen. Die einzige Ausnahme findet man aus unklaren Gründen in der Studie von Robbins et al. (2008) als die Testpersonen sechs Repetitionen der Dehnungen durchführen mussten.

Tab.8: Zusammenfassung der behandelten Studien zur Sprungkraft.

Autor	Robbins et al. (2008)	Power et al. (2004)	Burket et al. (2005)
Anzahl Teilnehmer	20	12	29
Voraussetzungen	10 Leistungssportler 10 Freizeitsportler	Freizeitsportler	Leistungssportler
Warm-up	5 Min. Velo- Ergometer	5 Min. Velo- Ergometer	verschiedene Protokolle
Messgrösse	Sprunghöhe	Sprunghöhe	Sprunghöhe
Pre-, Posttest	Ja	Ja	Nein
Dosierung der Dehnungen	1 Quadriceps 1 Hamstrings 1Plantarflexoren 15 Sek. stretch bei 2/4 oder 6 Wh	2 Quadriceps 2 Hamstrings 2Plantarflexoren 45 Sek. stretch bei 3 Wh	14 Dehnungen der unteren Extremitäten 20 Sek. stretch bei 1 Wh
Outcome bei der Testgruppe	keine signifikante Veränderung	keine signifikante Veränderung	keine signifikante Veränderung zu andere Protokollen

Quelle: erstellt durch den Autor.

3.4 Theorie-Praxis Bezug

Auf Grund der Ergebnisse kann man statische Dehnungen in der Therapie bei muskulär bedingten Verminderungen des Bewegungsausmasses als effektive Therapie verwenden. Den Ergebnissen zu Folge erzeugt eine Dosierung von vier Mal wöchentlich à vier Mal 30 Sekunden den grössten Erfolg. Zu beachten ist jedoch, dass auch klar eine muskuläre Verkürzung vorliegt und die verminderte Bewegungsamplitude nicht eine neurale, artikuläre, etc. Ursache hat. Ebenfalls sind in den Studien lediglich passiv statische Dehnungen durchgeführt worden. Welche Wirkung die anderen statischen Dehnmethode auf die einzelnen Parameter haben, ist in dieser Arbeit nicht beantwortet.

Dehnungen sind häufig im Aufwärmprogramm vor sportlichen Leistungen anzutreffen. Das Bewegungsausmass wird durch statische Dehnungen in einem Aufwärmprogramm leicht gesteigert. Diese Dehnungen mindern jedoch, wie in den Resultaten ersichtlich, geringfügig die Leistung des maximalen Drehmoments und der Sprungkraft. Demnach muss man vor Höchstleistungen das leicht grössere Bewegungsausmass gegen die geringfügig verminderte Kraftspitze und Sprungkraft in die Waagschale werfen und entscheiden, was für eine optimale Leistung mehr Nutzen mit sich bringt. Kann ein Speerwerfer zum Beispiel durch die grössere Wurfbewegung die leicht reduzierte Kraftspitze wettmachen oder ist es sinnvoller das Bewegungsausmass vor dem Wurf nicht zu erhöhen, um mehr Kraft generieren zu können. Als Therapeut von Sportlern sollte man den Trainer und die Sportler über diese Auswirkungen aufklären, damit als Team ein optimales Aufwärmprogramm gestaltet werden kann.

3.5 Diskussion

Dehnen ist verglichen mit anderen Techniken in der Physiotherapie oder der Sportmedizin ein noch wenig erforschtes Gebiet. Nach wie vor fehlt das physiologische Hintergrundwissen, um die genauen Wirkungen von Dehnungen jeglicher Art zu erklären. Ein Indiz dafür sind die verschiedenen Dosierungen, welche je nach Literatur zu finden sind. Man ist sich nicht einig, welche Dehnmethode für welches Einsatzgebiet am effektivsten ist. In Bezug auf das Bewegungsausmass sind nach Bandy et al. (1997, zit. nach Bandy et al., 1998) 30 Sekunden statisches Dehnen ideal.

Die direkten Auswirkungen von statischen Dehnungen auf das Bewegungsausmass, das maximale Drehmoment und die Sprungkraft sind erklärt worden.

Zu beachten ist, dass die Studien über das Bewegungsausmass keinesfalls mit denen des maximalen Drehmoments oder der Sprungkraft verglichen werden dürfen. Hauptgrund dafür ist, dass Studien über das Bewegungsausmass drei bis sechs Wochen dauerten, die Sprungkraftmessungen und das maximale Drehmoment jeweils nach einmaliger Intervention re-assessed wurde.

3.5.1 Diskussion zur Range of Motion

Benutzt man das Messinstrument Goniometer für die Bestimmung des Bewegungsausmasses, kommt zwangsläufig die Frage nach dem Messfehler auf. In der Studie von Brosseau, Tousignant, Budd, Chartier, Duciaume, Plamondon, O'Sullivan, O'Donoghue und Balmer (1997) wurde jedoch aufgezeigt, dass eine sehr gute intertester- und intratester-Reliabilität für den normalen mit der Hand gehaltenen Goniometer besteht. In Folge dessen kann der Messfehler, wenn der pre- und post-Test von derselben Person durchgeführt wurde, vernachlässigt werden.

Erstaunlich ist, dass sich in Bekir et al.'s (2009) Studie eine derart grosse Beweglichkeitsverbesserung manifestierte, wenn man bedenkt, dass die Testpersonen bei Studienbeginn keine bekannten Beweglichkeitsdefizite aufwiesen.

Eine mögliche Erklärung für das grössere Bewegungsausmass ist die höhere Dehntoleranz nach wiederholten Dehnungen. Dies besagt das Review von Zahnd (2005; zit. nach u.a. Björklund et al. 2001; Guissard et al. 2004).

In den Studien wurden die Dehnungen instruiert und beschrieben, es ist jedoch nicht berichtet, ob bei den Probanden die neuralen, artikulären, etc. Komponenten vor den Interventionen ausgeschlossen wurde.

Lindel (2006; zit. nach Williams et al. 1978.; 1990) besagt, dass Immobilisation in verkürzter Stellung eine Abnahme der hintereinander geschalteten Sarkomere bewirkt. Dasselbe beschreiben Williams und Goldspink (1978) in ihrer Studie „Changes in sarcomere length and physiological properties in immobilized muscle“. In dieser wurde jedoch auch in verlängerter Position immobilisiert. Der Effekt auf Sarkomer-Ebene war, dass nach drei Wochen mehr hintereinander geschaltene Sarkomere vorhanden waren. Dies zeigt, dass Dehnungen die Anzahl Sarkomere in Serie vermehrt. Diese Ergebnisse sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da die Dosierung (konstant während drei Wochen) weit über die therapeutische Anwendung hinausgeht. Auch die Tatsache, dass alle Experimente an Tieren durchgeführt worden sind, lässt keine exakte Übertragung auf den Menschen zu. Zudem ist die Studie bereits über 30 Jahre alt.

Die Dosierungen der Dehnprogramme, die von den Testpersonen ausgeführt werden mussten, sind in allen drei Studien sehr unterschiedlich. Somit sind die Ergebnisse nicht vollumfänglich vergleichbar. Die Tatsache, dass über die Dosierung bei Dehnungen die Meinungen weit auseinander gehen, macht es ebenfalls schwierig vergleichbare Studien zu finden.

3.5.2 Diskussion zum maximalen Drehmoment

In den drei im Hauptteil beschriebenen Studien sind keine signifikanten Unterschiede in pre- und post-Tests gefunden worden. Die Anzahl der Studienteilnehmer ist aber vor allem in Egan et al. (2006) und Cramer et al.'s (2004) Studien relativ klein gehalten worden, was nicht ideal ist. Erleichtert wurde die Auswertung dadurch, dass alle Studien Interventionen mit derselben Dosierung ausführten, was einen direkten Vergleich untereinander zulässt. Dabei ist zwischen Leistungs- und Freizeit-Sportlern kein Unterschied festgestellt worden. Es sind verringerte Werte nach den Dehnungen gemessen worden, was

mit einer momentanen Verlängerung der Sarkomere zusammenhängen könnte. Somit ist die Kraft-Längen-Relation nicht mehr ideal, was sich in der leichten Abnahme der Leistung zeigt. Interessant wäre dabei zu wissen, in wiefern sich die Kraftspitze in Bezug zur Gelenkstellung verändert.

In der Studie von Cramer et al. (2004) wurde der Cybex 6000 Dynamometer verwendet, in den Studien von Marek et al. (2005) und Egan et al. (2006) ist mit dem Biodex System 3 gemessen worden. In der Studie von Cotte und Ferret (2003) wurden der Cybex Norm-, und der Con-Trex MJ-Dynamometer miteinander verglichen, um allfällige Messunterschiede zu finden. Dafür wurden beide Geräte identisch eingestellt und eine genormte Kraft wurde bei beiden Geräten angewendet und ausgewertet. Es zeigten sich lediglich minimale Differenzen zwischen den beiden Dynamometern. Zusätzlich sind neun Sportler auf beiden Dynamometern bei zwei verschiedenen Geschwindigkeiten (60° und $180^\circ \cdot s^{-1}$) getestet worden. Getestet wurden die Knie-Strecker und Beuger. Die Höchstwerte des maximalen Drehmoments ist jeweils als Wert zum Vergleich der beiden Geräte verwendet worden. Abgesehen von einer Ausnahme wurde keine signifikanten Differenzen zwischen dem Cybex Norm und dem Con-Trex MJ gefunden. Aus nicht nachvollziehbaren Gründen sind bei $180^\circ \cdot s^{-1}$ die Knie-Beuger signifikant unterschiedlich. Verschiedene Dynamometer sind demnach grundsätzlich miteinander vergleichbar.

3.5.3 Diskussion zur Sprungkraft

Bezüglich Sprungkraft haben Dehnprogramme keine kurzfristigen Veränderungen der Leistung bewirkt. Im Vergleich sind die Werte der post-Tests ebenfalls schlechter als die der pre-Tests. Wiederum sind sie aber nicht signifikant. Wie bereits in der Diskussion zum maximalen Drehmoment ist auch für die Abnahme der Sprungleistung die momentane Verlängerung der Sarkomere und somit eine schlechte Kraft-Längen-Relation eine mögliche Erklärung. Wichtig ist zu sehen, dass in Sportarten, in denen man eine hohe Sprungkraft beansprucht (z.B. Leichtathletik, Kunstturnen, Eiskunstlauf, etc.) leicht verminderte Leistungen entscheidend sein können. Aus diesem Grund muss unbedingt vor sportlichen Höchstleistungen beurteilt werden, ob das grössere Bewegungsausmass oder die höhere Sprungleistung wichtiger ist.

4 Schlussteil

4.1 Schlussfolgerung

Die Frage, was man mit statischen Dehnungen eigentlich bewirkt und was sie im Muskel auslösen ist noch sehr wenig erforscht. Aus diesem Grund zeigt diese Arbeit die direkten Auswirkungen von statischen Muskeldehnungen der unteren Extremitäten auf das Bewegungsausmass, das maximale Drehmoment und die Sprungkraft auf.

Die Auswirkungen auf das Bewegungsausmass ist bereits nach drei Wochen regelmässigem Dehnen zu sehen. Das vergrösserte Bewegungsausmass ist mit klinischer Relevanz festgestellt worden (Bekir et al., 2009; Bandy et al., 1998; Gajdosik, 1991). Statische Dehnungen sind aus diesem Grund bei muskulären Verkürzungen/Dysbalancen sehr erfolgsversprechend.

Nach einem einmaligen statischen Dehnprogramm sind keine signifikanten Veränderungen des maximalen Drehmoments (Marek et al., 2005; Egan et al., 2006; Cramer et al., 2004) und der Sprungkraft (Robbins et al., 2008; Power et al., 2004; Burket et al., 2005) festgestellt worden. Kurzfristig ist jedoch das Bewegungsausmass leicht zu vergrössern, während die Leistungen des maximalen Drehmoments als auch der Sprungkraft geringfügig sinken. Aus diesem Grund sollte man vor sportlicher Aktivität den Mehrwert des gewonnen Bewegungsausmasses gegenüber den leichten Verlusten des maximalen Drehmoments und der Sprungkraft gut überdenken.

4.2 Beantwortung der Fragestellung

Bereits nach drei Wochen regelmässiger Anwendung statischer Dehnungen ist eine signifikante Vergrösserung des Bewegungsausmasses festzustellen. Auf das maximale Drehmoment haben statische Dehnungen kurzfristig keinen klinisch relevanten Einfluss. Auch die Sprungkraft wird durch statisches Dehnen kurzzeitig nicht signifikant verändert.

4.3 Offene Fragen

Nach einmaliger Durchführung eines Dehnprogramms sind kleine Veränderungen (Vergrößerungen) des Bewegungsausmasses ersichtlich (Marek et al., 2005), ebenso sind die Werte des maximalen Drehmoments und der Sprungkraft in den Studien leicht kleiner. Es wurde bereits erläutert, dass nach drei Wochen eine signifikante Vergrößerung des Bewegungsausmasses erzielt werden kann. Daraus resultiert die Folgefrage, ob sich bei einem signifikant vergrößerten Bewegungsausmass die Kraftspitze, die Gelenkstellung bei der Kraftspitze, beides oder die Sprungkraft verändert. Auf Grund einer solchen Studie könnte man auch weitere Aussagen bezüglich Kraft-Längen-Relation oder Auswirkungen der Dehnungen auf Sarkomer-Ebene machen.

Weiter sollten die Dosierungen von Dehnungen genauer erforscht werden. Die Meinungen gehen zum heutigen Zeitpunkt dermassen weit auseinander, dass darüber Klarheit geschaffen werden muss.

4.4 Danksagung

Ich möchte Herrn Arjen van Duijn für die Betreuung und Unterstützung im gesamten Entstehungsprozess dieser Bachelor-Arbeit danken. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Juliane Stöcker, für die Unterstützung bei der Literatursuche und der Beschaffung der Studien. Des Weiteren danke ich Maika Tischhauser für ihre Hilfeleistung bei der Überarbeitung der Arbeit.

5 Literaturverzeichnis

5.1 Studien- und Bücherverzeichnis

1. Bandy, W.-D., Irion, J.-M. & Biggler, M. (1998). The Effect of Static Stretch and Dynamic Range of Motion Training on the Flexibility of the Hamstring Muscles. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 27, 4, 295-300.
2. Bekir, Y. & Fatih, K. (2009). Investigation into the long-term effects of static and PNF stretching exercises on range of motion and jump performance. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 13, 11-21.
3. Brosseau, L., Tousignant, M., Budd, J., Chartier, N., Duciaume, L., Plamondon, S., O'Sullivan, J., O'Donoghue, S. & Balmer, S. (1997). Intratester and intertester reliability and criterion validity of the parallelogram and universal goniometers for active knee flexion in healthy subjects. *Physiotherapy Research International*, 2, (3), 150-166.
4. Burkett, L.-N., Phillips, W.-T. & Ziuraitis, J. (2005). The best Warm-Up for the Vertical Jump in College-Age Athletic Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(3), 673-676.
5. Cotte, T. & Ferret, J.-M. (2003). Comparative study of two isokinetics dynamometers: CYBEX NORM vs CON-TREX MJ. *Isokinetics and Exercise Science*, 11, 37-43.
6. Cramer, J.-T., Housh, T.-J., Johnson, G.-O., Miller, J.-M., Coburn, J.-W. & Beck, T.-W. (2004). Acute Effects of Static Stretching on Peak Torque in Woman. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (2), 236-241.
7. Deetjen, P., Speckmann, E.J. & Hescheler, J (2005). *Physiologie*, München: Urban & Fischer
8. Egan, A.-D., Cramer, J.-T., Massey, L.-L. & Marek, S.-M. (2006). Acute Effects of Static Stretching on Peak Torque and Mean Power Output in National Collegiate Athletic Association Division 1 Women's Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (4), 778-782.
9. Gajdosik, R.-L. (1991). Effects of Static Stretching on the Maximal Length and Resistance to Passive Stretch of Short Hamstring Muscles. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 14 (6), 250-255.

10. Klinke, R., Pape, H.-C. & Silbernagl, S. (2005). *Physiologie*, Stuttgart: Thieme Verlag.
11. Lindel, K. 2006. *Muskeldehnung*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
12. Marek, S.-M., Cramer, J.-T., Fincher, L.-A., Massey, L.-L., Dangelmaier, S.-M., Purkayastha, S., Fitz, K.-A. & Culbertson, J.-Y. (2005). Acute Effects of Static and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching on Muscle Strength and Power Output. *Journal of Athletic Training*, 40 (2), 94-103.
13. Power, K., Behm, D., Cahill, F., Carroll, M. & Young, W. (2004). An Acute Bout of Static Stretching: Effects on Force and Jumping Performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(8), 1389-1396.
14. Robbins, J.-W. & Scheuermann, B.-W. (2008). Varying amounts of acute static stretching and its Effect on Vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (3), 781-786.
15. Schmidt, R. & Lang, F. (2007). *Physiologie des Menschen – mit Pathophysiologie.*, Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
16. Van den Berg, F. 2003. *Angewandte Physiologie 1 – Das Bindegewebe des Bewegungsapparates verstehen und beeinflussen*, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
17. Van den Berg, F., Cabri, J., Elvey, B., Gosselink, R., Haas, H.-J., Heesen, G., Horst, R., Van Kampen, M., Oette-meier, R., Reybrouck, T., Schöttker-Königer, T., Sinz, H., Slater, H., Steverding, M., Thacker, M., Watson, T. & Wilke, M. (2001). *Angewandte Physiologie 3 Therapie, Training, Tests*. Stuttgart: Thieme Verlag.
18. Williams P.E. & Goldspink, G. (1978). Changes in sarcomere length and physiological properties in immobilized muscle. *Journal of Anatomy*, 127 (3), 459-468.
19. Zahnd, F. (2005). Stretching – Suche nach Erklärungen. *Manuelle Therapie*, 9, 1-8.

5.2 Tabellenverzeichnis

- Tab.1 Erstellt durch den Autor.
- Tab.2 Erstellt durch den Autor.
- Tab.3 Erstellt durch den Autor.
- Tab.4 Erstellt durch den Autor.
- Tab.5 Erstellt durch den Autor.
- Tab.6 Erstellt durch den Autor.
- Tab.7 Erstellt durch den Autor.
- Tab.8 Erstellt durch den Autor.

5.3 Abbildungsverzeichnis

- Abb.1 Appell, H-J. & Stang-Voss, C. (2008). *Funktionelle Anatomie – Grundlagen sportlicher Leistung und Bewegung*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Abb.2 Freiwald, J., Engelhardt, M., Konrad, P., Jäger, M. & Gnewuch, A. (1999). Dehnen – Neuere Forschungsergebnisse und deren praktische Umsetzung. *Manuelle Medizin (1999), 37, 3-10*.
- Abb.3 Klinke, R., Pape, H-C. & Silbernagl, S. (2005). *Physiologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Abb.4 Klinke, R., Pape, H-C. & Silbernagl, S. (2005). *Physiologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Abb.5 Schmidt, R. & Lang, F. (2007). *Physiologie des Menschen*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Abb.6 Lindel, K. (2006). *Muskeldehnung*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.

6 Eigenständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst habe.

Winterthur, 19. Juni 2009

Ambass Marcel