



DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Die Auswirkung von unterschiedlichen Stretching-Techniken im Rahmen des Aufwärmprogrammes auf die sportliche Leistung und Leistungsfähigkeit – eine systematische Übersichtsarbeit“

verfasst von / submitted by

Katrin Gutleben

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree
of

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.a.rer.nat.)

Wien, 2019 / Vienna, 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 423 482

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium
UF Chemie
UF Bewegung und Sport

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Danksagung

Ein herzliches Dankeschön geht an alle, die mich bei der Erstellung meiner Diplomarbeit, aber auch während der gesamten Studienzeit unterstützt haben.

Besonders möchte ich mich bei meinen Eltern, Geschwistern und Großeltern für die moralische und finanzielle Unterstützung während meines Studiums bedanken.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei meiner Tante Lisi, die mir mit ihrer anatomischen und physiologischen Expertise bei der Verfassung meiner Diplomarbeit stets zur Seite gestanden ist.

Meinem Freund Tobias danke ich vor allem für seine Geduld und die ständige Ermutigung im Laufe meines letzten Studienabschnittes.

Großer Dank gilt auch meinem Betreuer, Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan, der mit wertvollen Tipps und Anregungen wesentlich zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen hat.

Zusammenfassung

Zielsetzung: Stretching ist sowohl für Hobby- als auch Profisportler/innen ein zentraler Bestandteil des Aufwärmprogrammes vor Training und Wettkampf welchem Leistungsverbesserung, Verletzungsprophylaxe und allgemeine Vorteile für die Athlet/innen nachgesagt wird. Diese Vorteile werden in den letzten Jahren jedoch sehr kontrovers diskutiert und Zweifel an der Wirksamkeit der verschiedenen Dehnmethoden werden geäußert. Ziel dieser systematischen Übersichtsarbeit ist es, die optimale Dehnmethode für verschiedene Leistungsparameter (Sprint-, Sprung- und Agilitätsleistung und Bewegungsausmaß) herauszufinden.

Methodik: Die Datenbanken „Web of Science“ und „PubMed“ wurden für die Erstellung des systematischen Reviews nach geeigneten Studien mit Hilfe von gezielten Schlagwörtern durchsucht. Das Hauptaugenmerk bei der Auswahl der Studien lag darauf, dass Stretching im Zuge eines Aufwärmprogrammes durchgeführt und in Bezug auf die Leistungsfähigkeit getestet wurde. Weitere wichtige Einschlusskriterien stellten die Randomisierung der Studie und der Einschluss einer Kontrollgruppe dar. Außerdem sollte die Veröffentlichung innerhalb der letzten zehn Jahre, das Teilnehmer/innenalter zwischen 18 und 35 Jahren, die Mindestteilnehmer/innenzahl zehn und eine Verletzungsfreiheit der Proband/innen gewährleistet sein. Für die Beantwortung meiner Fragestellungen verblieben schließlich 35 Studien.

Ergebnisse: In Hinblick auf das Bewegungsausmaß gibt es eindeutig positive Auswirkungen nach statischem und auch dynamischem Stretching. Jedoch wirkt sich statisches Stretching tendenziell negativ auf die Sprungleistung aus, wogegen dynamisches Stretching Vorteile aufzeigt. In Studien, in denen kurze Stretch-Intervalle (≤ 30 Sekunden) zur Anwendung kamen, konnten keine negativen Effekte auf die Sprungleistung festgestellt werden. Dies kann daran liegen, dass kurze Intervalle keine Änderungen in den viskoelastischen Eigenschaften der Muskel-Sehnen-Einheiten hervorrufen, längere hingegen schon. Auch zeigten sich Verbesserungen in den Sprintleistungen bei jenen Studien, in welchen kurze Dehnintervalle (fünf - 20 Sekunden) zum Einsatz kamen. Längere Stretch-Einheiten beeinflussten Sprint- und Agilitätsleistung wiederum negativ. Drei von elf Studien zeigten eine signifikante Abnahme der Kraftproduktion, wobei in zwei dieser Studien statisch und in einer dynamisch gedehnt wurde.

Schlussfolgerung: Vor Sportarten, in denen überdurchschnittliche Dehnfähigkeit verlangt wird, sollte statisch gedehnt werden. Es liegt ein geringfügiger Beweis vor, dass sich statisches Stretching negativ auf Schnellkraftleistungen auswirkt. Dynamisches Dehnen sollte vor Sprung- und Sprintleistungen bevorzugt angewendet werden. Hervorzuheben ist, dass nicht nur die Stretching-Methode wichtig ist, sondern auch die Intensität, Dauer und Frequenz ihrer Anwendung ausschlaggebend für die Leistung sind.

Abstract

Objective:

Stretching is a central feature of warm-up before training sessions and competitions both among amateurs and professional athletes. It is said to have a positive effect on the performance, prevents injuries and has benefits for the athlete in general. Those benefits have been at the centre of a controversial discussion, with scientists disputing the effectiveness of various stretching methods. It is the aim of this systematic overview to determine the ideal stretching method for various performance parameters (sprint performance, jump performance, agility performance and range of motion).

Methodology:

Using specific keywords, the databases “Web of Science” and “PubMed” were scanned for suitable surveys to put together a systematic review. The studies were selected based on two main criteria: whether the studies looked into stretching as part of the warm-up and whether the effect of stretching on the performance was tested. Other important selection criteria were the randomisation of the trial and an existing control group. Moreover, publication should be no longer back than ten years, participants should be between 18 and 35 years of age, with at least ten people taking part in the trial, and the subjects should be injury-free. 35 studies were found to be eligible.

Results:

As far as range of motion is concerned, significant positive effects are achieved with static and dynamic stretching. However, static stretching has a negative effect on jump performance, while dynamic stretching shows positive effects. Trials with short stretching intervals (≤ 30 seconds) showed no negative effects on jump performance. A reason can be that short intervals do not affect the viscoelastic properties of the muscle-tendon unit, whereas longer intervals do.

In addition, an improvement in sprint performance was verified in studies with short stretching intervals (five to 20 seconds). Longer stretching was shown to have a negative effect on sprint performance and agility performance. Three out of eleven studies detected a significant loss in strength production as a result of stretching, with two out of three testing static stretching and one testing dynamic stretching.

Conclusion:

When doing sports that call for a higher than average stretching capability, static stretching is recommended. There is a mild indication that static stretching has a negative effect on speed strength. Dynamic stretching should be preferred when jump performance or sprint performance are relevant.

It is emphasized that not only the method but also the intensity, duration and frequency of stretching is relevant to the performance in question.

1. EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK	9
2. FRAGESTELLUNGEN	12
3. THEORETISCHE GRUNDLAGEN	12
3.1. AUFWÄRMEN	12
3.1.1. ALLGEMEINES UND SPORTSPEZIFISCHES AUFWÄRMEN	13
3.1.2. AKTIVES, PASSIVES UND MENTALES AUFWÄRMEN	14
3.1.3. ENDOGENE UND EXOGENE FAKTOREN	16
3.2. DEHNEN ALS TEIL DES AUFWÄRMPROZESSES	17
3.2.1. STATISCHES STRETCHING ALS TEIL DES AUFWÄRMPROZESSES	18
3.2.2. DYNAMISCHES STRETCHING ALS TEIL DES AUFWÄRMPROZESSES	20
3.2.3. PNF - STRETCHING ALS TEIL DES AUFWÄRMPROZESSES	22
3.2.4. DEHNDAUER UND DEHNINTENSITÄT	24
3.3. HISTORISCHE ENTWICKLUNG	26
3.4. ANATOMISCHE UND PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN	28
3.4.1. AUFBAU DER QUERGESTREIFTEN SKELETTMUSKULATUR	28
3.4.2. DEHNUNG DER SKELETTMUSKULATUR	32
3.5. TEILLEISTUNGEN DER KRAFT	36
3.5.1. MAXIMALKRAFT	37
3.5.2. SCHNELLKRAFT	38
3.5.3. REAKTIVKRAFT	39
3.5.4. KRAFTAUSDAUER	39
4. METHODIK	41
4.1. EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN FÜR DIE AUSWAHL DER STUDIEN	41
4.1.1. ZEITRAHMEN DER STUDIE	41
4.1.2. AUSWAHL DER TEILNEHMER/TEILNEHMERINNEN	42
4.1.3. AUSSCHLUSSFAKTOREN	43
5. ERGEBNISSE	47
5.1. ERGEBNISSE IN BEZUG AUF DIE GETESTETEN PARAMETER	49
5.2. ERGEBNISSE IN BEZUG AUF DEHNDAUER UND DEHNINTENSITÄT	50
5.3. EFFEKTE VON STRETCHING AUF ROM	75
5.4. EFFEKTE VON STRETCHING AUF SPRUNGLEISTUNG	76
5.5. EFFEKTE VON STRETCHING AUF SPRINT- UND AGILITY	78
5.6. EFFEKTE VON STRETCHING AUF KRAFT	79
5.7. EFFEKTE VON STRETCHING AUF AUSDAUER, DREHMOMENT UND BALANCE	80
6. DISKUSSION	82
7. AUSBLICK	93
8. REFERENZEN	94
8.1. EINGESCHLOSSENE STUDIEN	109
8.2. INTERNETQUELLEN	114
9. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	115
10. TABELLENVERZEICHNIS	115
11. ANHANG	116

11.1. MEILENSTEINE	116
11.2. EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	117

1. Einführung in die Thematik

Die Aufwärmprogramme verschiedenster Sportarten beinhalten Stretching-Methoden als Vorbereitungsmaßnahme auf Training und Wettkampf. In den letzten Jahren wird das Thema Stretching jedoch teilweise sehr kontrovers diskutiert. Zweifel an der Wirksamkeit bezüglich Leistungssteigerung (McHugh und Cosgrave, 2010; Behm und Chaouachi, 2011; Behm et al., 2004; Herda et al., 2008; Sayers et al., 2008; Chaouachi et al., 2010; van Gelder und Bartz, 2011) und Verletzungsprophylaxe (McHugh und Cosgrave, 2010; Young, 2007; Pope et al., 2000; Thacker et al., 2004; Anderson, 2005; Behm et al., 2016) werden geäußert. Trotz dieser kritischen Anmerkungen bleibt es ein zentraler Teil eines jeden Aufwärmprogrammes. Die Frage stellt sich, wieso Stretching dennoch diesen Stellenwert einnimmt?

Laut Ribeiro et al. (2014) sind Dehnübungen vor körperlichen bzw. sportlichen Bewegungen unter Hobbysportlern und Athleten weit verbreitet. Unter vielen Dehntechniken wird das statische Dehnen gerne im Zuge der Aufwärmphase im Krafttraining eingesetzt. Die Beliebtheit dieser Methode hängt auch mit den ihr nachgesagten Möglichkeiten der Verletzungsprophylaxe (McHugh und Cosgrave, 2010; Young, 2007; Winchester et al., 2008; Hadala und Barrios, 2009) und Leistungssteigerung (Fletcher und Monte-Colombo, 2010; Little und Williams, 2006; Costa et al., 2009; Stolen et al., 2005) zusammen. Doch in den letzten Jahren berichteten viele Studien darüber, dass statisches Dehnen vor einer sportlichen Betätigung möglicherweise die Leistungsfähigkeit mindern könnte (McHugh und Cosgrave, 2010; Behm und Chaouachi, 2011; Simic et al., 2013; Samuel et al., 2008; Chaouachi et al., 2010; Gelen, 2010; van Gelder und Bartz, 2011). Zahlreiche Studien weisen darauf hin, dass statisches Stretching einen negativen Effekt auf Sprint- und Sprungleistung hat (Behm und Chaouachi, 2011; Faigenbaum et al., 2005; Winchester et al., 2008; Nelson et al., 2005; Pearce et al., 2009; Vetter, 2007). Im Gegensatz dazu demonstrieren andere Studien (Molacek et al., 2010; Hough et al., 2009; Ryan et al., 2014; Herda et al., 2012; Paradisis et al., 2014; Konrad et al., 2016; Mizuno, 2017) eine Leistungsverbesserung auf Grund von dynamischem Stretching vor diesen Aktivitäten. Trotz dieser Erkenntnisse wird von vielen Trainern und Athleten statisches Stretching im Zuge des Aufwärmprogrammes durchgeführt (Behm et al., 2016). Auf Grund auch positiver Effekte von statischem Stretching empfehlen Simic et al. (2013), weitere Nachforschungen bezüglich der Dauer von statischen Stretching-Einheiten anzustellen. McHugh und Cosgrave (2010) weisen in ihrer Studie darauf hin, dass durch

Stretching die Fähigkeit vermindert wird, Maximalkraft zu generieren. Gleichzeitig stellen sie auch fest, dass diese negativen Auswirkungen durch Kombination mit Aufwärmtechniken wie z.B. moderater, aktiver Bewegung verringert werden (McHugh und Cosgrave, 2010). Van Gelder und Bartz (2011) verweisen in der Einleitung zu ihrer Studie darauf hin, dass im professionellen Trainingsbereich ein Trend vom statischen hin zum dynamischen Stretching erkennbar ist. Bekräftigt wird diese Aussage durch Studien von Herda et al. (2008); Little und Williams (2006); McMillian et al. (2006) und Yamaguchi und Ishii (2005). Diese Studien werden in der Diplomarbeit aber nicht berücksichtigt, weil das Erscheinungsdatum außerhalb der, in der Methodik des systematischen Reviews festgelegten 10-Jahresfrist lag. Avloniti et al. (2016) und Avloniti et al. (2016) belegen, dass durch statische Stretching-Einheiten (<30s) die Sprintleistung verbessert wird. Wogegen Wallmann et al. (2012) feststellen, dass sie weder durch statisches noch durch dynamisches Stretching beeinflusst wird. Einzig in der Kontrollgruppe (kein Stretching) zeigte sich in dieser Studie eine signifikante Verbesserung.

Mojock et al. (2011) untersuchten die Auswirkung von statischem Stretching auf die Ausdauerleistung bei Frauen. Das Ergebnis der Studie zeigte eine Verbesserung der Flexibilität (ROM), diese hatte jedoch keine Auswirkung auf die Ausdauerleistung und den Energieaufwand. Wilson et al. (2010) führten eine Studie mit demselben Hintergrund an Männern durch und kamen zu dem Ergebnis, dass die Testpersonen nach statischem Stretching eine geringere Distanz (- 0,2-0,5 km) zurücklegten und der Energieaufwand in der Stretching-Gruppe um 7-47 kcal höher lag als in der Kontrollgruppe. Infolgedessen sollte statisches Stretching vor Ausdauerwettkämpfen vermieden werden.

Werstein und Lund (2012) testeten die Auswirkungen von statischem und dynamischem Stretching auf den Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (stretch-shortening-cycle - SSC). Der SSC hat hohe Bedeutung bei allen Sportarten, bei denen Springen, Sprinten und Werfen gefragt ist. Ergebnis der Studie war, dass dynamisches Stretching signifikant höhere Werte in RSI (reactive strength index - Explosivkraftindex) und FT (flight time - Flugzeit) im Vergleich zu statischem Stretching und der Kontrollgruppe zeigte. Eine ähnliche Studie wurde von Kruse et al. (2015) an weiblichen Volleyballerinnen durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass eine Minute nach dem dynamischen Stretching die TTT (time-to-takeoff - Startkraft) signifikant verkürzt war. 15 Minuten nach dem dynamischen Stretching war kein signifikanter Unterschied erkennbar. Auch die RFD (rate of force development – initiale Kraftanstieg nach Beginn der Muskelaktion) zeigte eine Minute nach dynamischem

Stretching einen signifikant höheren Wert als nach statischem Stretching oder der Kontrollgruppe. Auch hier war nach 15 Minuten kein signifikanter Unterschied erkennbar. Loughran et al. (2017) beschäftigten sich in ihrer Studie mit der Auswirkung von verschiedenen Stretching-Techniken auf Sprint- und Sprungleistung und kamen zu dem Ergebnis, dass eine Kombination von statischem gefolgt von dynamischem Stretching im Vergleich zur Kontrollgruppe bzw. auch im Vergleich zu rein statischem Stretching in signifikant schnelleren Sprintzeiten resultiert. Auch bei Sprunghöhe und Sprungkraft gab es Verbesserungen, wenn statisches mit darauf folgendem dynamischem Stretching kombiniert wurde. Die Implementierung von dynamischem Aufwärmen nach statischem Stretching scheint eine signifikante Verbesserung dieser Leistungen mit sich zu bringen. Die Auswirkung auf Schnelligkeit und Agilität wurden von Avloniti et al. (2016) untersucht. Das Ergebnis der Studie zeigte, dass beide Leistungsdimensionen durch statisches Stretching mit einer Dauer von 20 – 60 Sekunden nicht negativ beeinflusst werden. Außerdem wird in der oben genannten Untersuchung festgestellt, dass sowohl Schnelligkeit wie auch Agilität nicht von der Wiederholungszahl der Dehnübungen abhängig sind, sondern von der Gesamtdauer des Dehnungsreizes. Bishop und Middleton (2013) veröffentlichten eine Studie, die belegt, dass ein dynamisches Aufwärmen, gefolgt von statischem Stretching, keine signifikante Verschlechterung von Sprint-, Agilitäts- und Sprungleistung brachte. Hammer et al. (2017) untersuchten die Auswirkung von verschiedenen Stretching-Interventionen auf den ROM (Range of Motion - Bewegungsumfang). Die Untersuchungen ergaben eine Verbesserung der Beweglichkeit sowohl nach multidirektionalem, passivem als auch statischem Stretching. Verbesserungen wurden aber auch bei der Kontrollgruppe gefunden. César et al. (2016) wiesen eine Verbesserung der ROM unmittelbar im Anschluss an statisches Stretching nach. Auch Paradisis et al. (2014) hält diese Methode für effektiv, um das Bewegungsausmaß zu verbessern. Nach Ribeiro et al. (2014) beeinflusst kurzzeitiges, statisches Stretching die Wiederholungszahl beim Bankdrücken im Zuge eines Krafttrainings nicht. Auch der Ermüdungsindex (FI) ändert sich nach statischem Stretching nicht.

2. Fragestellungen

Auf Grund des vorhergehenden Überblicks über den aktuellen Forschungsstand und der teilweise kontroversen Ergebnisse ergeben sich folgende Fragestellungen, die im Zuge der vorliegenden Diplomarbeit bearbeitet und beantwortet werden sollen.

- Welche unterschiedlichen Stretching-Methoden werden im Zuge eines Aufwärmens vorwiegend verwendet?
- Gibt es evidenzbasierte Einflüsse von Stretching-Methoden auf die Leistungsfähigkeit?
- Gibt es Stretching-Methoden, die eine höhere Relevanz auf die körperliche bzw. sportliche Leistungsfähigkeit besitzen?
- Haben die in den letzten 10 Jahren gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse den Einsatz, die Art und die Dauer der in der Trainingspraxis verwendeten Stretching-Methoden beeinflusst?

3. Theoretische Grundlagen

3.1. Aufwärmen

Um optimale neuromuskuläre, organische und seelisch-geistige Voraussetzungen für die Leistungsfähigkeit eines Sportlers/einer Sportlerin, welche auch der Vorbeugung von Verletzungen dienen sollten, zu schaffen, bedient man sich laut Weineck (2000) eines entsprechenden, sportartenorientierten Aufwärmens.

Das Ergebnis eines systematischen Reviews von Fradkin et al. (2010) zeigte, dass bei 79 % der inkludierten Studien eine Leistungsverbesserung in Folge des Aufwärmens zu verzeichnen war. Die Verbesserungen zeigten sich in aeroben und anaeroben Sportbereichen wie Radfahren, Schwimmen und Laufen, bei Sprung- und Agilitätsleistungen sowie bei verschiedenen Ballsportarten. Es sei aber auch festzuhalten, dass in 3 % der Fälle keine Veränderungen stattgefunden und sich bei 17 % der Aufwärmprozess sogar negativ auf die Leistung ausgewirkt hat. Er empfiehlt daher, weitere Forschungen anzustellen, um optimale Aufwärmmaßnahmen für unterschiedliche Sportarten und Aktivitäten zu definieren.

Auch McCrary et al. (2015) schreiben dem Aufwärmprozess die Möglichkeit zur Leistungsverbesserung und Verletzungsprophylaxe zu.

Die Definitionen des Aufwärmprozesses haben sich über die Jahre im Wesentlichen nicht verändert, so definieren Gottschalk (1989); Weineck (2000) und Brukner et al. (2012) diesen wie folgt:

Gottschalk (1989) versteht unter Aufwärmen alle Maßnahmen, die zu einer optimalen psychischen und physischen Verfassung vor Training oder Wettkampf führen. Diese können aktiver, passiver, allgemeiner oder sportspezifischer Natur sein.

Nach Weineck (2000, S. 645) werden „unter Aufwärmen alle Maßnahmen verstanden, die vor einer sportlichen Belastung – sei es für das Training oder für den Wettkampf – der Herstellung einer optimalen psychophysischen und koordinativ-kinästhetischen Vorbereitungszustanden sowie der Verletzungsprophylaxe dienen.“

Brukner et al. (2012) definieren das Aufwärmen als eine Maßnahme, die den Körper auf sportliche Aktivitäten vorbereitet.

Auch McGowan (2015) hält fest, dass Aufwärmen vor einer sportlichen Aktivität eine weit verbreitete und essenzielle Methode ist, um eine optimale sportliche Leistungsfähigkeit zu erlangen. Während es früher kaum empirische Beweise dafür gab, werden in den letzten Jahren vermehrt Studien durchgeführt, die dies auch wissenschaftlich belegen.

3.1.1. Allgemeines und sportspezifisches Aufwärmen

Folgt man Fradkin et al. (2010) sollten Sportler und Sportlerinnen dazu angehalten werden, ihr Aufwärmprogramm mit einem allgemeinen aeroben Aufwärmen zu beginnen. Dieses sollte von einem Stretching-Teil und einem sportspezifischen Aufwärmen, welches ähnliche Bewegungshandlungen wie die anschließende Zielbewegung enthält, gefolgt werden. Die Aktivitäten sollten auf jene Körperteile, die in der folgenden Bewegungshandlung benötigt werden, abzielen. Die Intensität des Aufwärmprogrammes darf nicht zu hoch sein und den Sportler/die Sportlerin nicht für die folgende sportliche Betätigung ermüden.

Meng (2002, S.10) beschreibt das allgemeine Aufwärmen als „Aktives Bewegen großer Muskelgruppen“, dessen Ziel die Steigerung der Körperkerntemperatur und die psychische Einstimmung ist. Des Weiteren zählt er positive Einflüsse auf Stoffwechselprozesse und Atmung- und Herzkreislaufsystem auf.

Das spezielle Aufwärmen folgt stets dem allgemeinen Aufwärmen und hat das Ziel den Sportler/die Sportlerin auf die sportartspezifischen Anforderungen vorzubereiten. Es beinhaltet einerseits ein Programm für den Gesamtorganismus sowie auch für diverse Muskelgruppen, die an der Durchführung von spezifischen Bewegungsabläufen beteiligt sind. Wird im Basketballtraining beispielsweise das Ziel verfolgt die Antrittsschnelligkeit zu verbessern, so müssen auch im spezifischen Aufwärmteil submaximale Antritte trainiert werden, um die Muskulatur des Sportlers/der Sportlerin auf maximale Antrittsleistung vorzubereiten. Zusätzlich sind auch die für den Sprint benötigten Muskelgruppen auf den Wechsel zwischen Anspannung und Dehnung aufzuwärmen. Die Erwartung an dieses spezielle Aufwärmtraining ist eine Optimierung der Leistungsfähigkeit sowie die Herabsetzung der Verletzungsanfälligkeit (Freiwald, 1994).

3.1.2. Aktives, passives und mentales Aufwärmen

In der Praxis nimmt ein aktives Aufwärmen den höheren Stellenwert ein, begleitend kommen oft auch passive Maßnahmen hinzu. Auch die mentale Vorbereitung auf einen Wettkampf oder das Training ist nur eine zusätzliche Option.

Bishop (2003) und McGowan (2015) schreiben dem aktiven Aufwärmen eine Erhöhung der Körperkerntemperatur und der Muskeltemperatur zu. Gray et al. (2011) halten auch fest, dass die Erhöhung der Muskeltemperatur mit einer Erhöhung des Muskelstoffwechsels einhergeht. Diese temperaturbezogenen Aussagen gehen auf Asmussen und Boje (1945) zurück, die damals schon aufzeigten, dass der Körper bei höheren Temperaturen effektiver arbeitet. Aus der Studie von Bergh und Ekblom (1979) resultiert, dass die Muskeltemperatur eine bedeutende Auswirkung auf kurzzeitige dynamische Aktivitäten und eine zu vernachlässigende auf maximal isometrische Kontraktionen hat. Racinais und Oksa (2010) bestätigen den Leistungszuwachs bei kurzzeitigen Aktivitäten und beschreiben einen 2 - 5%igen Anstieg dieser pro 1°C Muskeltemperatur. Friedrich (2014) schreibt der Erhöhung der Körperkerntemperatur (ca. 38,5 – 39°C) eine wichtige verletzungsprophylaktische Wirkung zu. Es kommt dadurch zu einer Verringerung der Muskelviskosität und somit zu einer verminderten Rissanfälligkeit

von Muskulatur, Sehnen, Faszien und Bändern. Auch von Smith (2004) wird die Erhöhung der Muskeltemperatur als ein wesentlicher Effekt des Aufwärmprozesses genannt.

Bishop (2003) beschreibt, dass aktives Aufwärmen, wie z.B. Radfahren, Joggen oder Schwimmen, zu einer Verbesserung von Stoffwechselprozessen und des Herzkreislaufsystems führt. Weitere Effekte, die durch aktives Aufwärmen generiert werden, sind die Verbesserung des Muskelstoffwechsels (Gray et al., 2011) und eine Erhöhung der Sauerstoffaufnahme (Burnley und Jones, 2007). Auch laut Friedrich (2014) wird durch ein aktives Aufwärmen eine verbesserte Versorgung der Muskulatur mit Sauerstoff gewährleistet. Dies stellt eine Grundvoraussetzung für Ausdauerleistungen im Sport dar. Bishop (2003) fügt als Faktor für eine Verbesserung des Muskelstoffwechsels die Erhöhung der Glykogenolyse und Glykolyse zur Energiebereitstellung in Form von ATP hinzu. Als einem nicht-temperatur-abhängigen Faktor erwähnt er das Aufbrechen, das Lösen der Verbindung zwischen Aktin- und Myosinfilamenten. Dies hat sowohl Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und dient auch der Verletzungsprophylaxe. Friedrich (2014) verweist auch darauf, dass für jede sportliche Leistung die Optimierung neuromuskulärer Prozesse, d.h. ein verbessertes Zusammenspiel zwischen Nerven und Muskulatur, entscheidend ist. Es kommt dadurch zu einer Verbesserung der Reaktionszeit (bis zu 15 %) und zu einer Verringerung der Ermüdbarkeit auf Grund eines geringeren Energiebedarfs.

Im Gegensatz zum aktiven Aufwärmen werden beim passiven Aufwärmen die Körperkerntemperatur und Muskeltemperatur durch externe Faktoren, wie z.B. heißes Duschen bzw. Baden, Sauna, Diathermie und durch das Auflegen von heißen Packungen erhöht (Bishop, 2003). Auch Ultraschall (Draper et al., 1995) sowie Einreibungen und Massagen zur Lockerung der Muskulatur (Weineck, 2000) zählen zu den passiven Aufwärmmethoden. McGowan et al. (2015) vertreten die Meinung, dass es durch passives Aufwärmen zur Erhöhung der Körperkern- und Muskeltemperatur kommt, ohne den Energieverbrauch anzuregen. Basierend auf Meng (2002) führt das passive Aufwärmen zu keiner Durchblutungssteigerung in der Muskulatur, wodurch auch die Kontraktionsarbeit nicht verändert wird. Der durch das passive Aufwärmen erzielte Effekt ist nur sehr oberflächlich und die Verletzungsgefahr wird daher nicht vermindert. Da psychologische Effekte eintreten können, empfiehlt er es als Ergänzung zur aktiven Bewegung, leistungssteigernde Wirkungen können dadurch jedoch kaum erreicht werden. Auch Bishop (2003) vertritt die Meinung, dass es nur eine Ergänzung zum aktiven Aufwärmen darstellt, besonders dann, wenn unvorhergesehene Verzögerungen zwischen dem Ende des

Aufwärmens und der folgenden Aktivität liegen und/oder das Wetter sehr kalt ist. Faulkner et al. (2013) beschreiben einen möglichen Temperaturverlust durch auftretende Wartezeiten zwischen Aufwärmen und Wettkampf. Diesen Verlust gilt es durch passive Maßnahmen zu kompensieren, um die Effektivität des aktiven Aufwärmens nicht zu gefährden. Da das Duschen oder Baden kurz vor einem Wettkampf oft nicht praktikabel ist, wurden neue Methoden der passiven Wärmebereitstellung (z.B. wärmende Kleidungsstücke) entwickelt (McGowan et al., 2015).

Die Zeit vor einem sportlichen Wettkampf wird von den Athleten und Athletinnen oft zur mentalen Vorbereitung genutzt (Tod et al., 2005). Folgt man Mellalieu & Hanton (2008) und Weinberg & Gould (2011) sind die Visualisierung, Fokussierung und das Sprechen von Schlüsselwörtern typische Strategien, um die Aufmerksamkeit und das Selbstvertrauen der Athleten und Athletinnen zu stärken. McGowan et al. (2015) zählen verschiedene Studien auf, bei denen Leistungssteigerung durch mentale Vorbereitung erzielt werden konnte (Hatzigeorgiadis et al., 2004; Johnson et al., 2004; Cutton und Landin, 2007). Mentales Aufwärmen wird vor Training und Wettkampf wesentlich häufiger von Elitesportler/innen angewendet als von Hobbysportler/innen (Arvinen-Barrow et al., 2007). Die Selbstwirksamkeit und Erwartungshaltung des Sportlers/der Sportlerin sind wichtige mentale Faktoren, um sich voll und ganz auf die Aktivität zu fokussieren (Fradkin et al., 2010).

3.1.3. Endogene und exogene Faktoren

Die Aufwärmzeit ist abhängig vom Alter des Sportlers/der Sportlerin. Auf Grund von etwaigen physischen und strukturellen Veränderungen (geringere Elastizität) steigt die Dauer und Intensität des Aufwärmprogramms mit zunehmendem Alter. Auch der Grad des Trainingszustandes bestimmt Umfang und Intensität. Bei schlechten körperlichen Voraussetzungen kann eine zu hohe Intensität zu einer Abnahme der Leistungsfähigkeit führen. (Weineck, 2000). Fradkin et al. (2010) und Simic et al. (2013) bestätigen den Einfluss dieser Faktoren auf die Gestaltung des Aufwärmprogrammes. Eine gegebene Aufwärmintensität bedeutet für eine trainierte Person weniger Anstrengung als für eine untrainierte Person. Auch unterschiedliche Altersstufen und Geschlechter können auf gleiche Anforderungen in Bezug auf Leistungsfähigkeit und Ermüdung unterschiedlich reagieren.

Auch der Zeitraum zwischen Ende des Aufwärmprogrammes und Beginn des Wettkampfes spielt eine wichtige Rolle. Ist diese Zeitspanne zu lange, so können wichtige Aufwärmeffekte verloren gehen (Fradkin et al., 2010).

Einen exogenen Einfluss auf das Aufwärmen bewirkt die Tageszeit, an der dieses stattfindet. Am Morgen dauert es länger, bis die Körperfunktionen an ihre gewohnte Leistungsfähigkeit herangeführt werden können, auch die Durchblutung der Muskulatur und der Anstieg der Körperkerntemperatur beanspruchen einen längeren Zeitraum. Infolgedessen wird die Dauer des Aufwärmens am Nachmittag weniger Zeit beanspruchen als am Morgen. Des Weiteren wird die Aufwärmzeit von klimatischen Bedingungen beeinflusst, höhere Temperaturen verkürzen, kaltes und feuchtes Wetter verlängern die Zeit. Als optimale Aufwärmzeit werden 20-45 Minuten vorgeschlagen. Das Aufwärmprogramm sollte 5-10 Minuten vor Beginn des Wettkampfes enden, weil so der volle Effekt für diesen erhalten bleibt. Erst nach 20-30 Minuten sinkt die Muskeltemperatur wieder auf ihren Ausgangswert (Weineck, 2000).

Die Wichtigkeit dieser endogenen und exogenen Faktoren wird auch bei Meng (2002) unter dem Thema allgemein geltende Grundsätze berücksichtigt. So ist auch er der Meinung, dass sich je nach Alter die Dauer, Umfang und die Intensität des Aufwärmens verändert. Außerdem sind der Biorhythmus und klimatische Bedingungen zu berücksichtigende Einflussfaktoren.

3.2. Dehnen als Teil des Aufwärmprozesses

Woods et al. (2007) beschreiben Stretching als eine Anordnung von passiven und aktiven Bewegungen zur Erhöhung der Flexibilität.

Laut Freiwald (2013, S. 18) versteht man unter Dehnen „ein Vorgehen, mit dem vielfältige Trainings- und Therapieziele verfolgt werden. [...] Ein besonders bedeutsames Trainings- und Therapieziel ist die Erweiterung der Beweglichkeit.“ Diese definiert Freiwald (2013, S.18) folgendermaßen: „Beweglichkeit stellt die maximal mögliche Amplitude in einem Gelenk dar.“

In den Aufwärmprogrammen von Athleten und Athletinnen verschiedenster sportlicher Disziplinen ist Stretching seit langer Zeit ein zentraler Bestandteil, welcher der Verletzungsprophylaxe und Leistungsverbesserung dienen soll (Trehearn und Buresh, 2009). Auch basierend auf Shrier (2004) ist Stretching ein wichtiger Teil des

Aufwärmprogramms vor Training und Wettkampf. Nach Auffassung von Baxter et al. (2017) wird Stretching sowohl von Hobby- als auch von Profisportler/innen vor, nach oder vor und nach sportlichen Aktivitäten durchgeführt. Den verschiedenen Stretching-Methoden, aktiv oder passiv, wurde lange Zeit Leistungsverbesserung, Verletzungsprophylaxe und allgemeine Vorteile für die Athleten und Athletinnen nachgesagt.

Lindel (2010) schreibt über eine Vielzahl an Dehnmethoden, die derzeit Anwendung finden. Es ist schwer, den Überblick über die verschiedenen Methoden zu behalten, da es in der Literatur unterschiedliche Bezeichnungen gibt, als auch einzelne Techniken in verschiedenen Kombinationen verwendet werden. Auf Grund von nicht einheitlichen Angaben bezüglich Intensität, Dauer und Wiederholungen ist es schwierig, die richtige Stretching-Methode für die entsprechende sportspezifische Anforderung zu finden.

Auch Albrecht, Meyer und Zahner (1997) schreiben von einer verwirrend großen Anzahl an Dehntechniken. Anstatt Klarheit in den Bereich des Beweglichkeitstrainings zu bringen, werden diese mit fragwürdigen Versprechungen und Erklärungsansätzen gegeneinander ausgespielt.

Über viele Jahre hinweg beruhte das Einbinden von Stretching in das Aufwärmprogramm jedoch eher auf Annahmen als auf wissenschaftlichen Erkenntnissen (Herbert et al., 2011).

3.2.1. Statisches Stretching als Teil des Aufwärmprozesses

Young und Behm (2002) beschreiben statisches Stretching als die Bewegung einer Extremität bis zum Ende des Bewegungsausmaßes und das Halten dieser Position über mehrere Sekunden.

Nach Freiwald (2013) lässt sich das statische Stretching in drei Bereiche teilen. Durch eine kurze Dehndauer von 10-15 Sekunden werden vor allem neurophysiologische Veränderungen angestrebt, d.h. die Muskulatur wird auf maximale Länge gebracht, dies wird von der Muskelspindel und den Golgi-Sehnenorganen wahrgenommen. Bei längerer Dehndauer (bis zu 60 Sekunden) werden zusätzlich strukturelle Veränderungen in der gedehnten Muskulatur angestrebt, dadurch soll die plastische Verformung des Bindegewebes erreicht werden. Dies ist vor allem bei Sportarten, wo ein hohes Maß an Beweglichkeit vorausgesetzt wird (Ballett-Tänzer, Turner), von Bedeutung. Der dritte Bereich mit einer Dehndauer von über 60 Sekunden findet vorrangig in der Therapie Anwendung und zielt darauf ab, versteifte Gelenke zu mobilisieren.

Shrier (2004) erklärt die mögliche positive Auswirkung von statischem Stretching auf die Leistungsfähigkeit durch die Erhöhung der Viskoelastizität in Muskel und Sehnen. Durch die Abnahme der Steifheit wird weniger Energie benötigt, um eine Extremität zu bewegen, und die Kraft bzw. Geschwindigkeit der Kontraktion könnte dadurch erhöht werden.

Wie von Opplert und Babault (2018) dargestellt, wurde statisches Stretching lange vor allem zur Vergrößerung des Bewegungsausmaßes eingesetzt. Diese gesteigerte Flexibilität wird der verminderten Steifheit der Muskel–Sehnen–Einheit (Opplert et al., 2016) sowie der erhöhten tolerierten Dehnspannung zugeschrieben (Magnusson et al., 1996). In weiterer Folge führt dies möglicherweise zu einer verringerten Verletzungsgefahr der Muskel–Sehnen–Einheit (Young, 2007). Anderer Meinung sind Pope et al. (2000), welche in ihrer Studie kein vermindertes Verletzungsrisiko durch Stretching im Aufwärmprozess nachweisen können. Kubo et al. (2001) hingegen erklären die Zunahme der Flexibilität durch statisches Stretching mit einer Abnahme in der Viskosität der Sehnenstrukturen und einer gleichzeitigen Zunahme der Elastizität. Diese Effekte führen Guissard & Duchateau (2004) auf den reduzierten passiven Widerstand des Muskel–Sehnen–Komplexes und der tonischen Reflexaktivität zurück. Gleichzeitig werden aber auch negative Auswirkungen auf die muskuläre Leistungsfähigkeit beschrieben. Als Gründe dafür werden Beeinträchtigungen in der neuralen Leistung und Änderungen in der Muskel–Sehnen–Einheit genannt (Fowles et al., 2000; Behm et al., 2001). Sayers et al. (2008) beschreiben in Anlehnung an Nelson et al. (2005) und Kubo et al. (2001) die neurale Hemmung als eine Beeinträchtigung der neuralen Leitung vom zentralen Nervensystem zum Muskel. Eine weitere Annahme für den Leistungsabfall nach statischem Stretching ist die verstärkte Stressrelaxation des muskulären Gewebes, welche zu einer geringeren Muskel–Sehnen–Steifheit und reduzierten Kraft führt (Kubo et al., 2002; Kubo et al., 2001). Die Verminderung der Viskosität in den Sehnenstrukturen behindert die Muskelfasern, während einer Bewegung, effizient zu gleiten. Auch das kann ein Grund für den Leistungsabfall sein (Kubo et al., 2001). Nach Auffassung von Fletcher und Jones (2004) führt statisches Stretching zu Veränderungen der Sehnenstruktur, erhöht die Nachgiebigkeit der Sehne und führt dadurch zu einer Einschränkung in der Kraftproduktion und einer verzögerten Muskelaktivierung.

Statisches Stretching führt zur Abnahme der muskulotendinösen Steifheit und Verminderung der neuralen Aktivierung. Durch diese Veränderung wird der SSC negativ beeinflusst (Cramer et al., 2004). Fowles et al. (2000) führen den Leistungsabfall auf

veränderte Eigenschaften der musklotendinösen Einheit und auf neurologische Faktoren zurück, wie z.B. die herabgesetzte Aktivierung von motorischen Einheiten.

Statisches Stretching führt laut Kokkonen et al. (1998) zu einer verminderten maximalen Muskelkraft. Nach Wilson et al. (1994) resultiert eine größere Kraftproduktion aus einer steiferen musklotendinösen Einheit als aus einer Einheit mit herabgesetzter Steifigkeit in Folge von statischem Stretching.

Nach Behm et al. (2016) bleibt statisches Stretching ein Bestandteil vieler Aufwärmprozesse, obwohl es mangelnde Nachweise über die Wirksamkeit als Verletzungsprophylaxe gibt, die Effektivität zur Vorbeugung gegen Muskelkater angezweifelt wird und es zu einer Minderung der Leistungsfähigkeit führen kann.

3.2.2. Dynamisches Stretching als Teil des Aufwärmprozesses

Beim dynamischen Stretching wird die Position mit einer schnellen, aber kontrollierten Bewegung eingenommen und wieder verlassen. Dieses Vorgehen wird rhythmisch wiederholt. Hier wird auch von intermittierendem Stretching gesprochen. Erfolgt am Ende des Bewegungsausmaßes ein Federn oder Wippen, kann dies als ballistisches Stretching bezeichnet werden (Hoster, 1987).

Auch Opplert & Babault (2018) verstehen unter dynamischem und ballistischem Stretching Bewegungen im gesamten Bewegungsausmaß. Die Kontraktion der agonistischen Muskulatur ermöglicht den Antagonisten Verlängerung, ohne am Bewegungsende zu halten. Die kontrollierte Durchführung der beschriebenen Bewegung wird dabei als dynamisches Stretching bezeichnet und die rasche, unkontrollierte und teilweise federnden Ausführung als ballistisches Stretching.

Nach den Ergebnissen der Studie von Wertstein & Lund (2012) ist dynamisches Stretching die geeignetste Aufwärmethode zur Verbesserung von Sprint – und Sprungleistungen. Angenommen wird, dass die Zunahme in der Muskelaktivierung und Erhöhung der Körpertemperatur für diesen positiven Effekt verantwortlich ist.

Basierend auf Curry et al. (2009) kommt es durch statisches Stretching, dynamisches Stretching und leichter aerober Aktivität gleichermaßen zu signifikanten Verbesserungen im Bewegungsausmaß. Auch Ryan et al. (2014) bestätigen eine Verbesserung des

Bewegungsausmaßes nach unterschiedlichen Aufwärmmethoden (dynamisches Stretching und aerobe Aktivität).

Nach Faigenbaum et al. (2005) beruht die Leistungsverbesserung in Folge von dynamischem Stretching auf einer Erhöhung der Körpertemperatur, einer gesteigerten Erregbarkeit von motorischen Einheiten, einem verbesserten Bewegungsempfinden und einem vergrößerten aktiven Bewegungsausmaß. Außerdem zeigen sie auf, dass Dauer, Ausmaß, Intensität und Art der dynamischen Stretching-Maßnahme eine entscheidende Rolle für die Auswirkung auf die Leistungsfähigkeit spielen (Faigenbaum et al., 2006).

Nach Auffassung von Opplert & Babault (2018) sind die Mechanismen, die zu einer Leistungsverbesserung durch dynamisches Stretching führen, weitgehend unerforscht. Mögliche Einflussfaktoren sind eine gesteigerte Herzfrequenz, erhöhte Muskel- und Körpertemperatur, die Steifheit der Muskel-Sehnen-Einheit, Post-activation Potentiation, Wiederholen von rhythmischen Bewegungsabläufen und neurale Anpassungen.

Auch Little und Williams (2006) und McMillian et al. (2006) sprechen der PAP infolge von dynamischem Stretching eine Leistungsverbesserung zu, die Schnellkraft hat sich laut ihren Studien signifikant verbessert. Laut Bishop (2003) kann die Erhöhung der Körpertemperatur einen schnelleren Aufbau von Nervenverbindungen, eine verbesserte Zusammenarbeit der Muskulatur und eine Beschleunigung in der Energieproduktion mit sich bringen.

Zu schnelle und kräftige Bewegungen können nachteilig wirken, da sie Dehnreflexe auslösen können. Es kommt zu einer Kontraktion der zu dehnenden Muskulatur und die Vergrößerung des Bewegungsausmaßes wird somit verhindert. Ein weiterer Nachteil ist eine zu kurze Reizdauer, wodurch die Gelenksendstellungen nur so kurz eingenommen werden, dass sich die für die Längenadaption verantwortlichen bindegewebeartigen Strukturen nicht anpassen können (Sampel et al, 2007).

Opplert & Babault (2018) halten fest, dass es keine klare Linie in den Studien, welche zum Thema dynamisches Stretching durchgeführt werden, gibt. Die verschiedenen Autoren verwenden unterschiedliche Ausführungen von dynamischem Stretching, wie z.B. ballistisches Stretching, die Anwendung auf einzelne oder mehrere Gelenke während der Fortbewegung oder im Stand. Vergleiche sind daher schwierig anzustellen.

3.2.3. PNF - Stretching als Teil des Aufwärmprozesses

Das Kennzeichen der PNF-Technik ist die isometrische Kontraktion des Muskels, während gedehnt wird (Alter, 1996).

Basierend auf Magnusson et al. (1996) ist PNF – Stretching im Vergleich zu statischem Stretching die effektivere Methode, um das Bewegungsausmaß zu vergrößern. Die Vergrößerung des Bewegungsausmaßes beruht auf zwei neuromuskulären Mechanismen: der autogenen Hemmung und der Kontrollschrankentheorie (Hindle et al., 2012). Funk et al. (2003) bezeichnen PNF–Stretching als eine Maßnahme zur Verbesserung der muskulären Elastizität und schreiben ihr auch die positiven Effekte auf das aktive und passive Bewegungsausmaß zu. Diese Verbesserungen resultieren aus einer Zunahme der Muskellänge und einer verbesserten neuromuskulären Effektivität. Diese Auswirkung zeigt sich sowohl bei trainierten als auch untrainierten Personen und ihre Wirkung wird 90 Minuten und länger nach Beendigung der Stretching–Maßnahme beobachtet.

In der Literatur werden Contract–Relax–Stretching (CR), Antagonist – Contract - Stretching (AC) und Contract-Relax Antagonist-Contract-Stretching (CR-AC) unter dem Begriff PNF-Stretching (Propriozeptive Neuromuskuläre Fazilitation) zusammengefasst (Klee & Wiemann, o.J.).

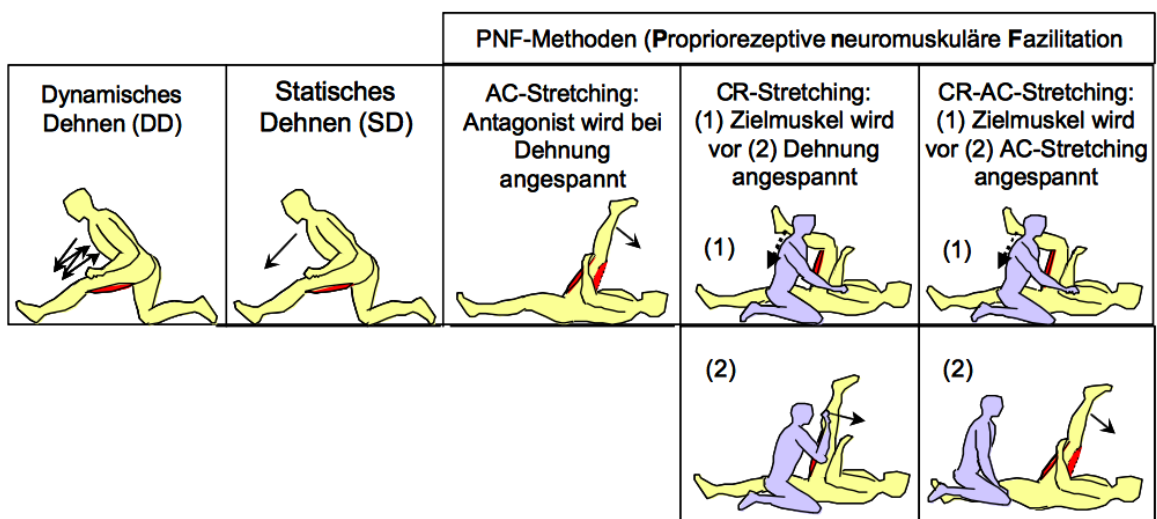


Abbildung 1: Die 5 wichtigsten Dehnmethode am Beispiel des Dehnens der ischiocruralen Muskeln (Klee & Wiemann, o.J., S.11)

Contract-Relax Stretching (CR):

Das Prinzip der CR-Methode beschreibt Friedrich (2014) durch eine isometrische Kontraktion der zu dehnenden Muskulatur, wobei die Anspannung zwei bis zehn Sekunden lang submaximal bis maximal gehalten werden soll. Durch die anschließende Entspannung der Muskulatur wird die Dehnposition eingenommen und gedehnt.

Der Vorteil dieser Methode entsteht durch die vorangegangene Anspannung, durch die eine Mehrdurchblutung und auch Kräftigung der Muskulatur erzielt wird. Außerdem kommt es zu einer verbesserten Aufmerksamkeit und Steigerung des Körpergefühls (Friedrich, 2014).

Antagonist-Contract Stretching (AC):

Durch die Kontraktion des Antagonisten (Gegenspieler) wird die Dehnstellung eingenommen und auf Grund der reziproken Hemmung (Sherrington-Prinzip) wird der Agonist (Zielmuskel) gedehnt (Lindel, 2010; Freiwald, 2013). Da auch diese Methode zu einer Erhöhung der Muskeldurchblutung führt, ist sie sehr geeignet als Vorbereitung auf Training und Wettkampf (Friedrich, 2014).

Contract-Relax Antagonist-Contract Stretching (CR-AC):

Bei dieser Methode werden CR und AC zusammengeführt. Die Wirkung wird durch das Zusammenspiel zwischen autogener Hemmung und reziproker Vorwärtshemmung erwartet (Hoster, 1987). Auch dieser Methode spricht Friedrich (2014) eine erhöhte Muskeldurchblutung zu und empfiehlt, sie in das Aufwärmprogramm zu integrieren.

Wie von Hindle et al. (2012) dargestellt, wirkt sich PNF – Stretching vor Aktivitäten wie Springen oder Sprinten negativ auf Kraft und Leistung aus. Auch von Bradley et al. (2007) wird eine Abnahme in der VJ – Höhe nachgewiesen. Costa e Silva et al. (2014) haben eine negative Auswirkung von PNF – Stretching auf die Schwimmleistung festgestellt.

Behm et al. (2016) halten in ihrem Review fest, dass bei einem Großteil der Studien keine signifikanten Änderungen der Leistung festgestellt werden konnten, aber es eine Tendenz hin zu einer Verschlechterung der Leistung (durchschnittlich – 4,4%) gibt.

Pacheco et al. (2011) empfehlen PNF – Stretching im Anschluss an sportliche Aktivitäten als Hilfe zur Regeneration und Normalisierung des Muskeltonus.

Obwohl PNF-Stretching eine gute Methode zur Verbesserung des Bewegungsausmaßes ist, wird es hauptsächlich im klinischen Bereich und nicht im Zuge eines Aufwärmprozesses eingesetzt. Gründe dafür sind die notwendige Unterstützung durch eine zweite Person, es möglicherweise schmerzhaft ist und die Gefahr einer Muskelfaserverletzung im Vergleich zum statischen Stretching größer ist (Alter, 1996).

3.2.4. Dehndauer und Dehnintensität

In Bezug auf Dehndauer, Dehnumfang und Dehnintensität gibt es in der Literatur unterschiedliche Auffassungen, welche in diesem Abschnitt behandelt werden.

Behm und Chaouachi (2011) und Kay und Blazeovich (2012) führen aus, dass vor allem Stretching – Einheiten ≥ 60 s zu Leistungseinbußen führen. Es gibt aber auch Studien, die belegen, dass Stretching – Einheiten < 60 s pro Muskelgruppe zu einer Verschlechterung führen (Hough et al., 2009; Fletcher und Monte-Colombo, 2010). Anderer Auffassung sind Knudson & Noffal (2005) und Kay und Blazeovich (2008), sie haben herausgefunden, dass nach einer Stretching-Dauer von weniger als 30 s, so wie es in einem Aufwärmprogramm üblicherweise praktiziert wird, keine negativen Effekte auf die Maximalkraft auftreten. Auch gibt es klare Ergebnisse, dass Stretching die Schnellkraftproduktion bei einer Stretching-Dauer von ≤ 45 s nicht beeinflusst. Die Mehrheit der von Kay und Blazeovich (2012) untersuchten Studien zeigten keine signifikanten Verschlechterungen in der Sprung- und Sprintleistung. Krcmar et al. (2018) hingegen stellten fest, dass 15, 30 und 60s statisches Stretching keinen Einfluss auf exzentrische Kraft- und Leistungsfähigkeit haben. Simic et al. (2013) fassen als Ergebnis ihres systematischen Reviews zusammen, dass bei einer Stretching-Dauer ≤ 45 s die geringsten negativen Auswirkungen zu beobachten sind. Behm und Chaouachi (2011) wiederum deuten darauf hin, dass sich statisches Stretching, gleich welcher Dauer, vor Sportarten, in denen Schnelligkeit, Explosiv- und Reaktivkraft notwendig sind, negativ auswirken können.

Behm et al. (2016) und Behm und Chaouachi (2011) führen aus, dass dynamisches Stretching mit einer Dauer von 60s oder länger keine Leistungseinbußen zur Folge hat.

Bezüglich der Dehnintensität beschreiben Albrecht und Meyer (2005) eine Dehnung erst dann als solche, wenn am Bewegungsende ein relevanter Reiz erfolgt. Geht eine Bewegung bis zum Ende des vollständigen Bewegungsumfanges, so handelt es sich um die exzentrische Kontraktion. Erst wenn es darüber hinaus zu einem intensiven

Dehnungsgefühl oder sogar einem milden Dehnschmerz kommt, wird Einfluss auf Nervensystem und bindegewebsartige Struktur genommen.

In Anlehnung an Woods et al. (2007) bedeutet statisches Stretching die Verlängerung eines Muskels bis hin zu einem leichten Dehngefühl. Diese Position soll nach deren Empfehlung mindestens 30 Sekunden pro Muskelgruppe beibehalten werden.

Arefi (2014) erklärt Dehnen als einen Reiz, durch den es erst dann zu strukturellen Anpassung und in Folge zur Adaptation kommt, wenn es regelmäßig passiert, ansonsten verschwinden Effekte nach einer bestimmten Zeit.

In einem systematischen Review von Apostolopoulos et al. (2015), in welchem auf die Dehnintensität und Dehnposition und deren Auswirkung auf das Bewegungsausmaß eingegangen wird, kommt es zu vielen unterschiedlichen Aussagen über diese Kernelemente. Während in einigen Studien (Caplan et al., 2009; Silveira et al., 2011) bis zum Punkt des Unbehagens gedehnt wird, beobachten andere Untersucher/innen Verbesserungen, wenn mit leichter Intensität gedehnt wird (Tsolakis et al., 2010; Maenhout et al., 2012). Aus diesem Grund empfehlen Apostolopoulos et al. (2015) standardisierte Methoden, um eine bessere Vergleichbarkeit der Resultate zu ermöglichen.

Behm und Chaouachi (2011) weisen darauf hin, dass statisches Stretching bis zum Punkt des Unbehagens die größten Verbesserungen des Bewegungsausmaßes mit sich bringt. Auch von Freitas et al. (2015) wird der Punkt des Unbehagens bzw. die Schmerzgrenze als effektiver Richtwert der Intensität genannt, der von vielen Klinikern und Trainern bevorzugt wird, um das Bewegungsausmaß zu vergrößern. Behm und Chaouachi (2011) weisen des Weiteren darauf hin, dass es bei dieser Dehnintensität zu Minderung der Kraft (Behm et al., 2004; Behm et al., 2006), Abnahme der Sprunghöhe (Cornwell et al., 2002) und zu einer Verschlechterung der Bodenkontaktzeit (Behm et al., 2006) kommt. Laut Young et al. (2006) führen Dehnungen unterhalb der maximalen Intensität zu keinen Leistungseinbußen. Laut Jacobs und Sciascia (2011) kommt es durch Stretching – Interventionen mit einer zu niedrigen Intensität zu keiner Verbesserung der Muskellänge.

Opplert & Babault (2018) weisen darauf hin, dass in vielen Studien die Beschreibung der Protokolle und die Kontrolle der Stretch – Interventionen nicht sorgfältig genug durchgeführt werden.

Lindel (2010) hält fest, dass es keine optimale Richtgröße in Bezug auf Dehndauer, Wiederholungen und Dehnintensität gibt.

3.3. Historische Entwicklung

Sölveborn (1983) hält fest, dass Muskeldehnung eine lange Tradition hat. Schon bei 2000 Jahre alten Statuen in Bangkok sind Positionen, die heutigen Dehnübungen gleichen, erkennbar. Auch in alten chinesischen und indischen Büchern wurden gymnastische Übungen beschrieben, die heutigen Techniken zur Verbesserung der Gelenkbeweglichkeit ähneln.

In den achtziger Jahren erreichte, wie von Höss-Jelten (2004) dargestellt, der Stretching-Trend, ausgehend von den USA, Europa. Klee (2003) schreibt diese Entwicklung der Übersetzung der Bücher „Stretching“ von Anderson (1980) und „Das Buch vom Stretching“ von Sölveborn (1983) zu. Einige deutschsprachige Autoren (z.B. Knebel 1985) teilten und befürworteten die neuen Stretching-Methoden. Höss-Jelten (2004) hält des Weiteren fest, dass Anderson (1980) und Sölveborn (1983) unter „Stretching“ das statische, gehaltene Dehnen verstehen und dieses förderten. Gleichzeitig wurde die dynamische Dehnmethode von ihnen heftig kritisiert und von Sölveborn (1983, S.15) sogar als „Zerr-Gymnastik“ bezeichnet.

Knebel (1985) beschrieb das bis dahin bevorzugte dynamische Dehnen als nicht funktionell. Laut Freiwald (2013, S. 283) ist eine Dehnübung im Sport „dann funktionell, wenn sie z.B. die sportliche Leistung zu steigern hilft.“

Die Kritik am dynamischen Stretching gründet auf der Annahme, dass durch schnelle Dehnung des Muskels der monosynaptische Dehnungsreflex ausgelöst wird, was einerseits die Vergrößerung des Bewegungsausmaßes verhindert und andererseits sogar Verletzungen verursachen kann. Um beides zu vermeiden wurde danach ausschließlich statisch gedehnt (Klee, o.J.).

Im deutschsprachigen Raum erhielt das dynamische Stretching durch Hoster (1987), Wiemann (1991), Wydra et al. (1991) und Wydra (1993) einen erneuten Aufschwung. Diese Autoren erforschten die unterschiedlichen Stretching-Methoden und versuchten so, Klarheit in die vorherrschende Grundsatzdiskussion zu bringen. (Klee, 2003).

Durch folgende Argumente wurde die Kritik am dynamischen Stretching entkräftet:

Klee & Wiemann (o.J., S.10)

- Weder durch das statische Dehnen noch durch die PNF-Methoden lassen sich die Dehnungsreflexe im Vergleich zum dynamischen Dehnen reduzieren.
- Verletzungen treten beim dynamischen Dehnen mit moderater Dehngeschwindigkeit und moderater Ausholbewegung ebenso wenig auf wie bei den anderen Dehntechniken.
- Das dynamische Dehnen liefert einen Kräftigungsreiz für die Antagonisten und hat durch die durchblutungsfördernde Wirkung eine erhöhte Muskeltemperatur und somit einen höheren allgemeinen Aufwärmeeffekt zur Folge.
- Bei der Vorbereitung auf dynamische Belastungen, wie z.B. dem Hürdenlauf, zeigt das dynamische Dehnen größere Nähe zur Zielübung.
- Die PNF-Methoden erfordern einen höheren zeitlichen Aufwand.
- Bei manchen Übungen muss die Dehnung dynamisch mit Schwung ausgeführt werden, da bei der statischen Ausführung nicht genügend Kraft für eine intensive Dehnung erzeugt werden kann.
- Das dynamische Dehnen kann unter bestimmten Voraussetzungen sogar effektiver für die Vergrößerung der Bewegungsreichweite als das statische Dehnen sein.
- Bei der direkten Vorbereitung auf eine Schnellkraftleistung wirkt sich das statische Dehnen leistungsmindernd aus, das dynamische nicht (Klee & Wiemann, o.J, S.10 zitiert nach Begert & Hillebrecht, 2003).

Laut Klee (o.J.) wurden in weiterer Folge zusätzliche Stretching-Methoden entwickelt, wie z.B. das „Contract-Relax-Stretching“ und das „Antagonist-Contract-Stretching“, diese werden in der Literatur auch als PNF-Stretching (Propriozeptive Neuromuskuläre Fazilitation) bezeichnet.

In weiterer Folge hat sich eine unüberschaubare Anzahl an Bezeichnungen und Abkürzungen von Stretching-Methoden entwickelt (Klee, 2003). Höss-Jelten (2004) zählt auch eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten für das Stretching auf. Diese decken die Bereiche Aufwärmen, Beweglichkeit, Prophylaxe, Therapie und Entspannung ab.

Bis dato gelten nach Freiwald (2013, S.283 f.) drei wesentliche Punkte als bestätigt:

- „Dehnungen führen im Normalfall zur Erweiterung der Gelenksbeweglichkeit.“

- „Alle Dehnmethoden haben je nach Zielsetzung und Zielgruppe ihre Berechtigung.“
- „Viele (voreilige) Begründungen für die Wirksamkeit der einen oder anderen Methode haben sich als nicht haltbar erwiesen.“

3.4. Anatomische und physiologische Grundlagen

Wie Lindel (2010) ausführt, besteht der Körper aus drei unterschiedlichen Muskelgewebearten, nämlich der quergestreiften Skelettmuskulatur, der glatten Muskulatur und der quergestreiften Herzmuskulatur. Eine wichtige Funktion der glatten Muskulatur besteht in der unwillkürlichen Kontraktionsfähigkeit innerer Organe. Die Herzmuskulatur ist zwar quergestreift, die Kontraktionsfähigkeit ist aber dennoch unwillkürlich. Wichtig für die Körperhaltung und die Durchführung von Bewegungen ist jedoch die quergestreifte Skelettmuskulatur, die mit ca. 430 Muskeln beinahe die Hälfte des Körpergewichts ausmacht. Zu den Haupteigenschaften dieser Muskelgruppe zählen die Kontraktion (Verkürzung), Dehnbarkeit (Verlängerung) und die Elastizität (Fähigkeit in die Ursprungslänge zurückzukehren).

In der weiteren Arbeit wird auf diesen Muskeltyp Bezug genommen.

Basierend auf Sternad (2000) hat das Dehnungstraining die größte Einflussmöglichkeit auf die Muskulatur, weshalb diese auch im Fokus eines jeden Stretchingprogramms liegt.

3.4.1. Aufbau der quergestreiften Skelettmuskulatur

Jeder einzelne Muskel im Körper ist aus Zellen aufgebaut, deren kleinste Bestandteile die in Bündeln zusammengefassten und parallel liegenden Muskelfibern sind. Diese wiederum enthalten kontraktile Elemente, welche als Myofibrillen bezeichnet werden (Evjenth & Hamberg, 1990). Wie von Lindel (2010) dargestellt, befinden sich diese im Sarkoplasma. In den Myofibrillen, welche durch die Aneinanderreihung vieler tausend Sarkomere bestehen, liegen die dickeren Myosinfilamente sowie die dünneren Aktinfilamente. Bei beiden handelt es sich um proteinhaltige Myofilamente. Das Strukturelement Titin wurde erst zu einem späteren Zeitpunkt entdeckt, sein Aufbau gleicht einer molekularen Feder mit der Aufgabe, die Beweglichkeit im Sarkomer zu begrenzen und dessen Struktur aufrecht zu erhalten (Freiwald, 2007).

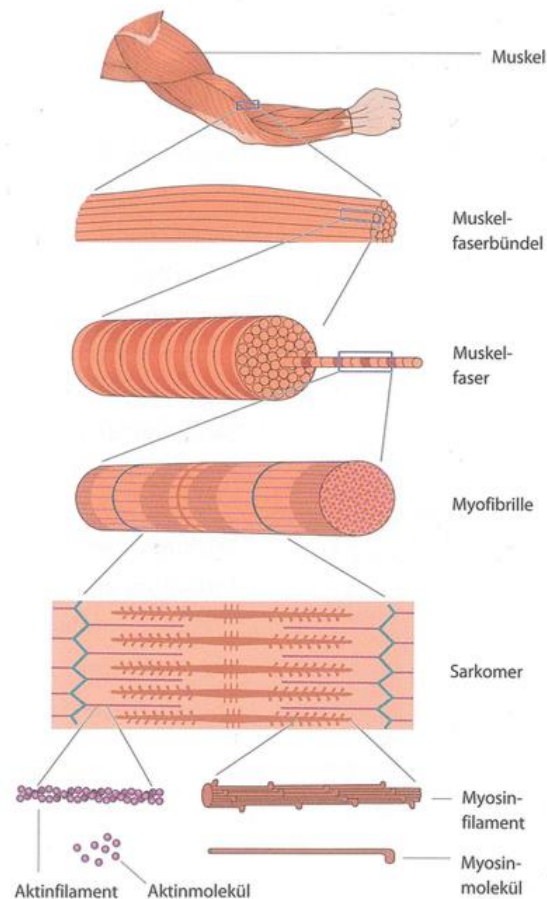


Abbildung 2: Aufbau der quergestreiften Skelettmuskulatur (Lindel, 2010, S.2)

Durch diesen Aufbau wird dem Muskel die Form gegeben, für den Halt ist das Bindegewebe verantwortlich (Evjenth & Hamberg, 1990). Basierend auf Freiwald (2013) beträgt der Bindegewebsanteil der Muskulatur bis zu 30%. An der Dehnung ist nicht nur die Muskulatur selbst, sondern alle am Aufbau beteiligten Gewebe (Muskelfasern, Muskel-Sehnenübergänge, Sehnen-Knochenübergänge, Sehnen sowie innerhalb und außerhalb der Muskulatur liegendes Bindegewebe) mitverantwortlich.

Sternad (2000) betont, dass die Sehnen im Vergleich zu den Muskelfasern nur unwesentlich an der Dehnung beteiligt sind. Verlängerungen im Sehnenbereich lassen sich erst nach jahrelangem Training feststellen. Sie streicht jedoch die Bedeutung des Stretchings für die Elastizität und damit Verletzungsprophylaxe hervor. Des Weiteren beschreibt sie, dass alle Bindegewebsschichten die Längenveränderungen des Muskels begleiten müssen. Ist die Mitbewegung eingeschränkt, so führt dies zu mechanischen Widerständen, die sogar Schmerzen verursachen können. Stretching begünstigt das reibungslose Gleiten der verschiedenen Schichten und reduziert somit den Widerstand im Gewebe.

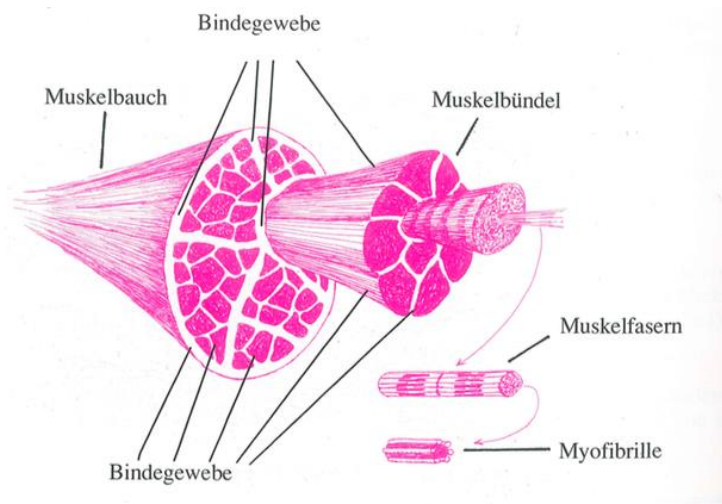


Abbildung 3: Aufbau des Muskels (Evjenth & Hamberg, 1990, S.242)

Die Muskel- und Sehnenspindeln sind Schutzmechanismen für die Muskulatur. Eine langsame und kontinuierliche Dehnung wird von der Muskelspindel toleriert. Durch eine Muskelkontraktion verhindert sie, dass es bei plötzlichen Bewegungen zu einer Überdehnung und in Folge Verletzung des Muskels kommt. Die Sehnenspindeln geben den Spannungszustand der Muskulatur an das Gehirn weiter. Bei zu großer Anspannung wird durch hemmende Impulse eine Muskelkontraktion verhindert. Diese Aktivität der Sehnenspindel führt zur Entspannung des Muskels (Evjenth & Hamberg, 1990).

Als Grundvoraussetzung der menschlichen Bewegung sieht Weineck (2000) nervale Impulse bzw. die zentralnervöse Steuerung, die eine muskuläre Kontraktion auslösen. Aus einem unbegrenzten Pool an möglichen Einzelbewegungen macht es das Zentralnervensystem (ZNS) möglich, das daraus zielorientierte und aufeinander abgestimmte Bewegungsabläufe und Funktionen entstehen können.

Alle vom Gehirn zum Muskel verlaufenden Nervenfasern teilen sich in viele Verzweigungen auf. Diese enden an einer oder mehreren Muskelzellen und bilden somit eine motorische Einheit. Durch die Aktivierung dieser motorischen Einheit kommt es zu einer maximalen Kontraktion der Muskelzelle bzw. Muskelzellen. Ist eine höhere Belastung des Muskels erforderlich, so werden mehrere motorische Einheiten aktiviert, um den Anforderungen Folge leisten zu können. Es gibt einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Kraft des Muskels und der Anzahl der zugeschalteten motorischen Einheiten (Evjenth & Hamberg, 1990).

Weineck (2000) schreibt, dass der Sportler/die Sportlerin durch gezieltes Training die Fähigkeit erwirbt, mehr motorische Einheiten eines Muskels gleichzeitig zu aktivieren und

damit die intramuskuläre Koordination verbessert werden kann. Dadurch ergibt sich eine höhere Gesamtkraft des Muskels.

Auch nach Auffassung von Arefi (2014) sind Muskeln in Form und Funktion stark veränderbar. Bei einer geringen Beanspruchung baut der Muskel Sarkomere ab und verkümmert. Wird er jedoch stark beansprucht, so werden vermehrt parallel Sarkomere in der Myofibrille aufgebaut. Daraus folgt, dass ein stark beanspruchter Muskel eine höhere Ruhespannung hat.

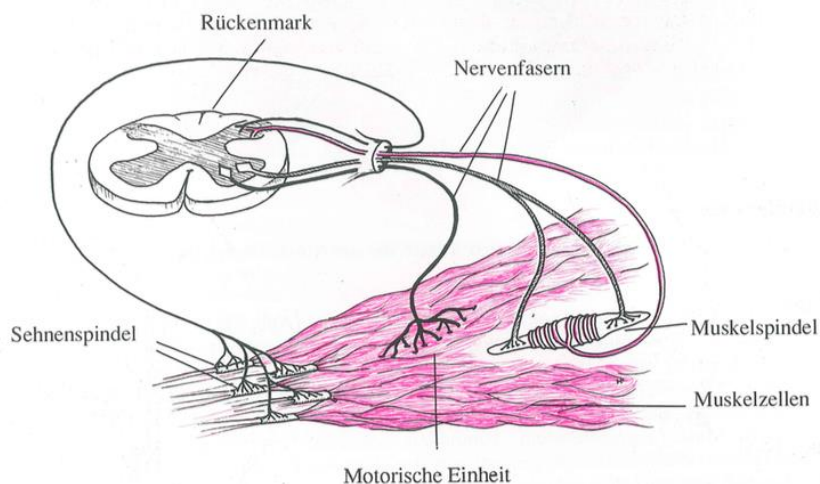


Abbildung 4: Motorische Einheit, Muskel-und Sehnenspindel (Evjenth&Hamberg, 1990, S.243)

Einen weiteren Bestandteil der Muskulatur stellen die Blutgefäße (Kapillaren) dar, wovon es pro mm^2 Muskelquerschnitt ca. 3000 gibt. Im Ruhezustand sind sie zu einem großen Teil verschlossen, während sich im Aktivitätszustand immer mehr öffnen. D.h. je mehr der Muskel beansprucht wird, umso höher ist die Durchblutung (Evjenth&Hamberg, 1990).

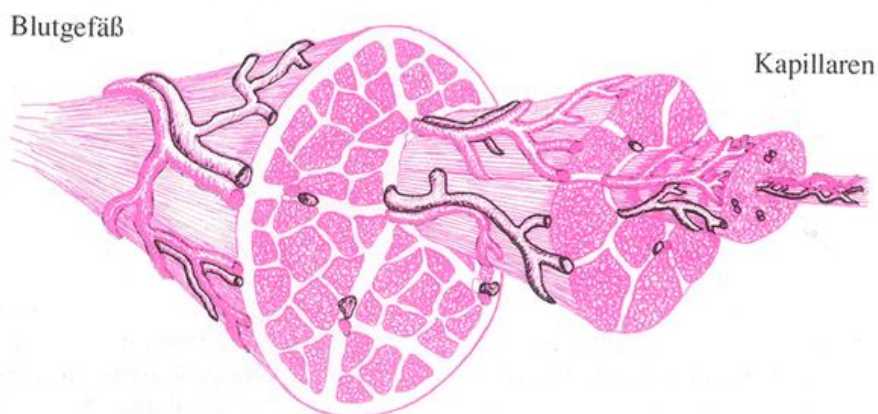


Abbildung 5: Blutversorgung (Evjenth&Hamberg, 1990, S.244)

3.4.2. Dehnung der Skelettmuskulatur

Um die Wirkung des Dehnens zu verstehen, wird im folgenden Abschnitt auf die beteiligten Strukturen und den Vorgang während der Muskeldehnung eingegangen.

Laut Freiwald (1994) besitzt das Körpergewebe verschiedene mechanische Eigenschaften, wobei das Muskelgewebe vor allem plastische Eigenschaften hat und das Bindegewebe über elastische Eigenschaften verfügt. Die Muskulatur besteht aus einer Kombination dieser beiden Gewebetypen, wobei das kontraktile Gewebe, mit den plastischen Eigenschaften den größeren und die elastischen bindegewebigen Fasern, den geringeren Anteil einnehmen. Auf Grund dieser Strukturen besitzt der Muskel neben der Kontraktionsfähigkeit auch elastische und plastische Eigenschaften.

Folgt man dem Dehnprozess bei Lindel (2010), so sind einerseits die dünnen Aktin- und andererseits die dicken Myosinfilamenten daran beteiligt. Die Aktinfilamente sind an der Z-Linie angeheftet, mit dieser bilden sie den I-Streifen. Zwischen ihnen liegen die dickeren Myosinfilamente, sie werden auch als A-Streifen bezeichnet. Zwei halbe I-Streifen und ein A-Streifen bilden ein Sarkomer. Des Weiteren sind auch intermediäre Filamente, welche im Sarkomer in Längsrichtung und entlang der Z-Linie ringförmig verlaufen, Nebulinfilamente, die parallel zu den Aktinfilamenten liegen, Titinfilamente, sie verlaufen zwischen den Z – Linien und haben Verbindung zu den Myosinfilamenten, kurze filamentöse und globuläre Proteine, welche teilweise inner- und außerhalb der Zellmembran (Sarkolem) liegen und Kontakt zu den Faserhüllen und Sehnen haben, daran beteiligt. Die Querstreifung der Skelettmuskulatur entsteht durch diesen Aufbau.

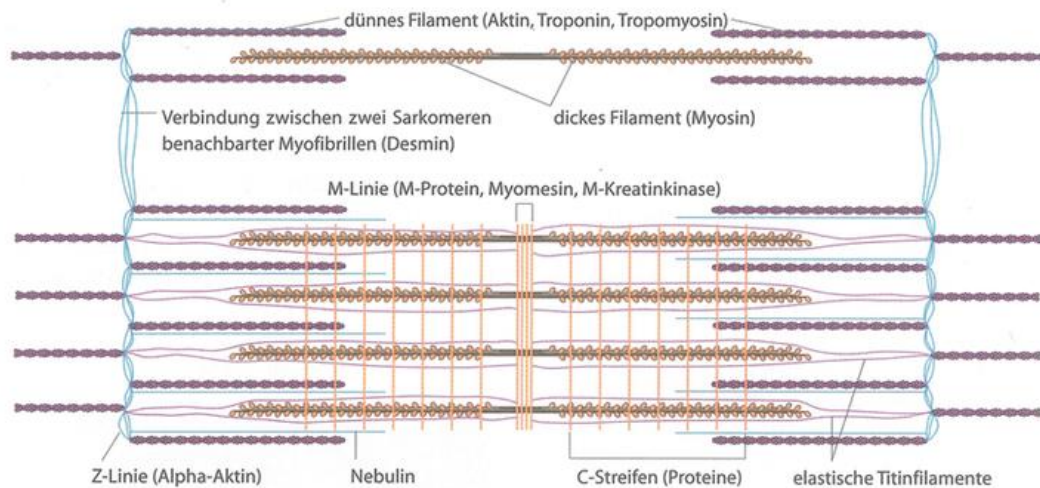


Abbildung 6: Sarkomer (van den Berg et al., 2001, S. 188 zitiert nach Billeter u. Hoppeler, 1994)

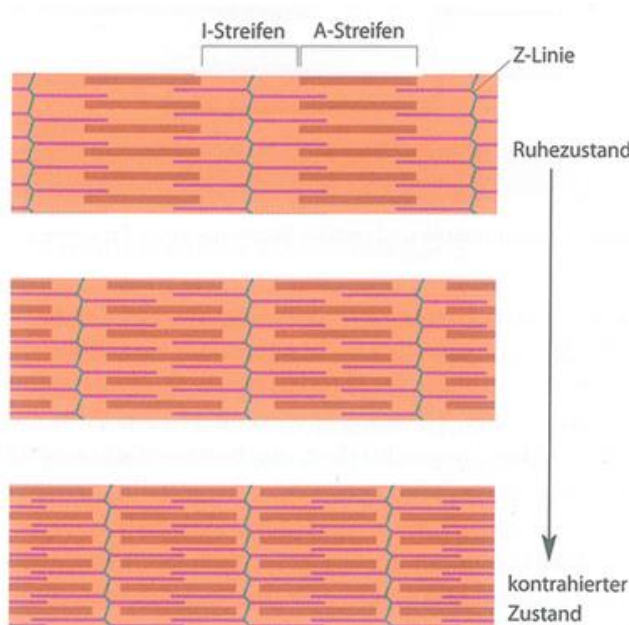


Abbildung 7: Sarkomere mit Aktin- und Myosinfilamenten (Lindel, 2010, S.3)

Den hochkomplexen Vorgang bei einer Muskelkontraktion beschreibt Arefi (2014) folgendermaßen: Die einzelnen Sarkomere eines Muskels verkürzen sich um bis zu 40% ihrer ursprünglichen Länge. Diese Verkürzung wird durch das Ineinandergleiten der Aktin- und Myosinfilamente ausgelöst. Bei der Kontraktion des Muskels sind dabei mehrere 1000 nacheinander liegende Sarkomere beteiligt. Am Ende der Kontraktion gleiten sie wieder auseinander. Bei der maximalen Dehnung eines Muskels überlappen sich Aktin- und Myosinfilamente nicht mehr. Maßgeblich beteiligt ist dabei das hochelastische Element Titin, das einerseits dafür sorgt, dass die Elemente nicht zu weit auseinandergezogen

werden, und andererseits trägt es für die Rückkehr der Filamente in ihre Ausgangsstellung Verantwortung.

Dieser Vorgang ist auf Abbildung 7 klar ersichtlich.

Laut Deetjen & Speckmann (1999) können sich Myosin- und Aktinfilamente gegeneinander bewegen. Es kommt zu einer Veränderung des Abstandes zwischen zwei Z-Streifen, was wiederum zu einer Längenänderung der Sarkomere führt. Kontraktion führt zu einer Verringerung des Abstandes, Relaxation vergrößert ihn.

Freiwald (2007) weist auf die Bedeutung der Titinfilamente während der Dehnung hin. Titin ist dafür verantwortlich, dass Aktin- und Myosinfilamente nach einer Verlängerung wieder in den Ruhezustand zurückkehren. Wäre dies nicht der Fall, so würden Muskeln nach jeder Dehnung ihre Länge verändern, was zu massiven koordinativen Einbußen führen würde. Auch Freiwald (2013) beschreibt, dass die Titinfilamente durch Dehnung im physiologischen Rahmen ihre mechanischen Eigenschaften nicht verändern. Bei Betrachtung der Dehnungskurven wird deutlich, dass bei wiederholten Dehnungen die Dehnungskurve identisch bleibt.

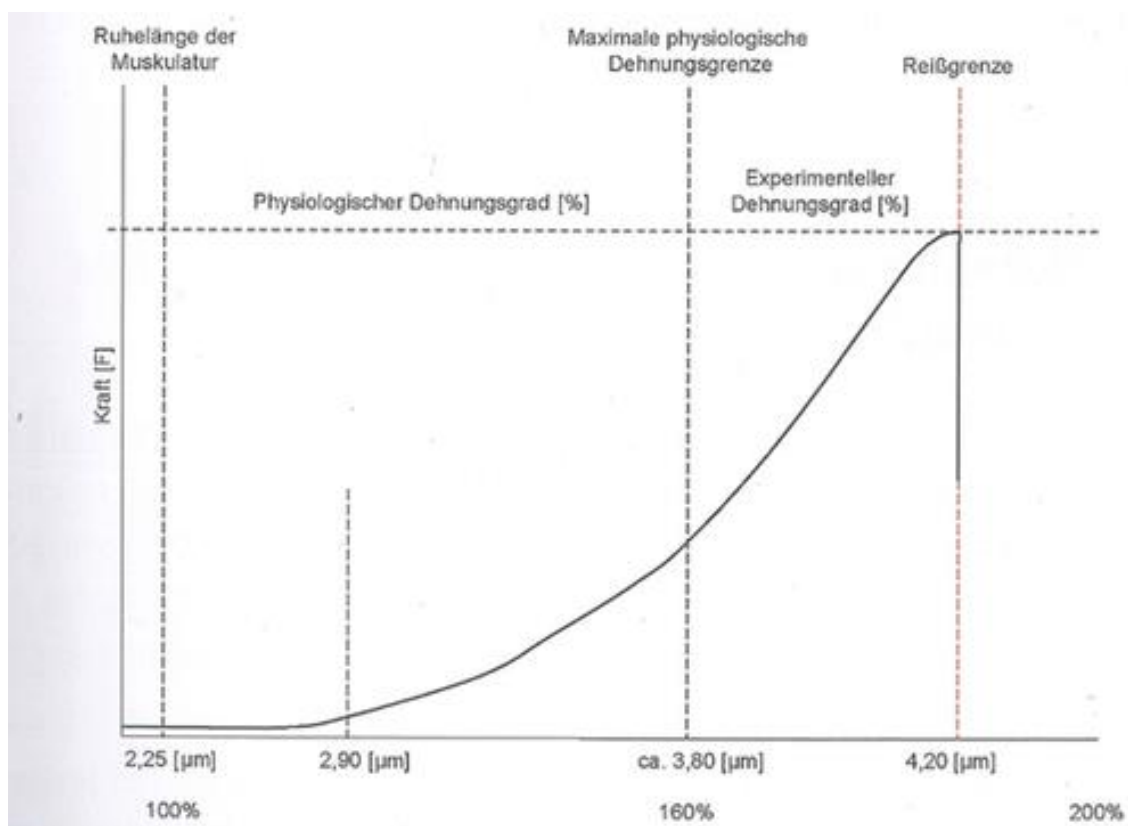


Abbildung 8: Kraftkurve in Abhängigkeit des Dehnungsgrades der Muskulatur (Freiwald, 2013, S.45)

Basierend auf Arefi (2014) führt eine Krafteinwirkung auf eine Struktur oder einen Körper entweder zu einer Bewegung oder zu einer Formveränderung. Wenn diese Veränderungen nach Abnahme der Krafteinwirkung in ihre Ausgangslage zurückkehren, spricht man von Elastizität. Bei Zunahme der einwirkenden Kräfte entsteht eine bleibende Verformung, die als Plastizität bezeichnet wird. Bei noch weiterer Krafteinwirkung über die Elastizitäts- und Plastizitätsgrenze hinaus kommt es zum Zerreißen der Strukturen.

Der in Abbildung 8 gezeigte experimentelle Dehnungsgrad ist nur in Tierexperimenten untersucht worden und tritt bei Menschen nur nach schweren Traumen (Luxationen der Gelenke) auf. Für den sportlichen und therapeutischen Dehnbereich ist er daher nicht aussagekräftig. Die durch Tierexperimente gewonnenen Erkenntnisse sind nur mit Vorsicht auf den Menschen übertragbar und sind nur begrenzt als Erklärungsmodelle für Dehnungen und Dehnungstechniken anwendbar (Freiwald, 2013).

Ein wichtiger Dehneffekt wird durch die viskoelastischen Eigenschaften des Bindegewebes begründet. Durch anhaltende mechanische Belastung reagiert es dadurch mit Verlängerung. Dieses Verhalten wird als Creep (Kriechen) bezeichnet. Der Effekt tritt aber erst nach langer Belastung – in der Literatur werden dafür Zeiten von ca. 16 Stunden erwähnt – ein, daher erscheint es fraglich, ob es für Sport und Therapie von Bedeutung ist (van den Berg et al., 2001; Arefi, 2014).

Für die sportliche Praxis betont Freiwald (2013), dass es wichtig ist zu wissen, wann gedehntes Gewebe nach einer Längenveränderung in den ursprünglichen Zustand zurückkehrt. Leider gibt es dazu keine ausreichenden Studienergebnisse, da wesentliche Faktoren noch nicht eindeutig erforscht sind. Er weist aber darauf hin, dass nach wiederholt passiv-statischen Dehnungen die Veränderung nach 30-60 Minuten nicht mehr feststellbar ist.

Ein weiterer Effekt entsteht dadurch, dass der Kraftaufwand, der für die Verformung von Muskel-Sehnengewebe notwendig ist, mit der Zeit abnimmt. Dieser Vorgang wird im englischen Sprachraum als Stress-Relaxation bezeichnet. Auch Schönthaler und Ohlendorf (2002) und Arefi (2014) bestätigen diese Aussage und halten fest, dass der Kraftaufwand für die Dehnung kurzzeitig geringer ist. Freiwald (2013) hält auch fest, dass es eine große Schwankungsbreite bezüglich des Ausmaßes der dehnungsbedingten Stress-Relaxation gibt, da gedehnte Muskeln und Sehnen sowie Dehnmethoden sehr unterschiedlich sind.

Unter Hysterese beschreibt Freiwald (2013) das Verhältnis, in dem Dehnungs- und Entdehnungskurve zueinander stehen. Die Entdehnungskurve liegt immer unterhalb der Dehnungskurve und den dazwischen liegenden Bereich nennt man Hysterese. Dieses Phänomen wird durch Energieverluste während des Dehnens verursacht. Höss-Jelten(2004) hält fest, dass der Muskel-Sehnenkomplex nicht mehr auf seine ursprüngliche Länge zurückkehrt.

Auch von Arefi (2014) wird dieses Phänomen beschrieben. Er erläutert, dass sich bei Dehnung von biologischem Material ein Längengewinn ergibt. Erfolgt jedoch keine weitere Dehnung, so kehrt das Gewebe in den Ausgangszustand zurück.

Freiwald (1994) beschreibt einen Dehnungsrückstand, der dadurch entsteht, weil der Muskel nach der Dehnung nicht vollständig in die ursprüngliche Position zurückkehrt. Er begründet dies dadurch, dass der Muskel während der Dehnung dem Dehnreiz eine zunehmend größere Spannung entgegensetzt. Dieser Zustand beruht einerseits auf der plastischen Verformung der kollagenen Fasern des Bindegewebes und andererseits durch eine herabgesetzte muskuläre Grundspannung.

Der monosynaptische Dehnungsreflex beschreibt eine zu rasche Dehnung der Muskelspindel, wodurch es zur Erregung der 1a-Affärenzen kommt. Dieser Reiz wird direkt vom Hinterhorn zum Vorderhorn geleitet und in Folge werden die Alpha-Motoneurone desselben Muskels aktiviert. Dieser als monosynaptischer Eigenreflex bezeichnete Vorgang verläuft sehr schnell. Zwischen dem Reiz und der darauffolgenden Antwort liegen ca. 30 Millisekunden. Daraus ergibt sich die Konsequenz, dass Muskeldehnungen langsam ausgeführt werden müssen, weil ansonsten dieser Dehnreflex die Verlängerung des Muskels verhindert (Lindel, 2010).

3.5. Teilleistungen der Kraft

Da im folgenden Forschungsteil der Einfluss von unterschiedlichen Stretching-Techniken auf die Leistungsfähigkeit erarbeitet wird, werden zunächst die unterschiedlichen Teilleistungen beschrieben und definiert.

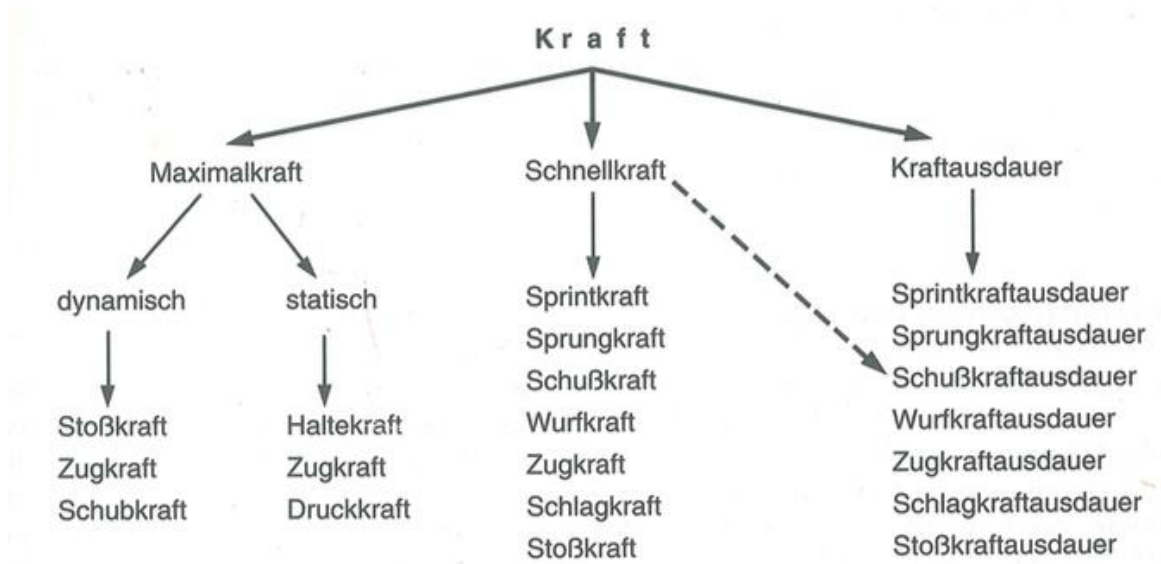


Abbildung 9: Die Kraft und ihre verschiedenen Kraftfähigkeiten und Erscheinungsweisen (Weineck, 2000, S.237 zitiert nach Letzelter u Letzelter, 1986, S.66)

3.5.1. Maximalkraft

Van den Berg et al. (2001, S.103) definieren die Maximalkraft „als die Fähigkeit des neuromuskulären Systems gegen einen Widerstand willkürlich die größtmögliche Kraft aufzuwenden.“

Es wird zwischen einer isometrischen (statischen), konzentrischen und exzentrischen Maximalkraft unterschieden (van den Berg et al., 2001). Auch Martin, Carl und Lehnertz (1991) unterteilen die Maximalkraft in diese drei Parameter.

„Häufig wird umgangssprachlich mit Maximalkraft das Gewicht bezeichnet, welches gerade noch einmal konzentrisch bewältigt werden kann“ (van den Berg et al., 2001, S.103).

Laut Wilmore und Costill (1994) wird dies im angloamerikanischen Sprachraum als one repetition maximum (1 RM) bezeichnet.

Beim one repetition maximum wird das Gewicht so gewählt, dass nur eine Wiederholung möglich ist. Mit Hilfe von Kraftmessstühlen oder isokinetischen Messsystemen ist es möglich, die Maximalkraft zu messen, dies kann sowohl statisch, konzentrisch und exzentrisch erfolgen (van den Berg et al., 2001).

Auch Detjen und Speckmann (1999) unterteilen die Maximalkraft in eine statische und dynamische Kraft, wobei die statische die dynamische immer übertrifft. Im Wesentlichen

wird sie vom physiologischen Muskelquerschnitt und dem Ausmaß der inter- und intramuskulären Koordination beeinflusst.

3.5.2. Schnellkraft

„Schnellkraft wird als die Fähigkeit des neuromuskulären Systems definiert, in der zur Verfügung stehenden Zeit einen möglichst großen Impuls zu erzeugen“ (Grosser, Starischka und Zimmermann 2004, S.43).

Martin et al. (1991, S.106) definieren die Schnellkraft als „die Fähigkeit, optimal schnell Kraft zu bilden.“

Bei allen reaktionsabhängigen Sportarten, wie z.B. beim Boxen und Sprinten, ist die Zeit sehr kurz um einen Impuls zu erzeugen (<250 ms). Bei solchen Sportarten sind die Höhe der Startkraft und die Größe des Kraftanstiegs wichtig. Beim Kugelstoßen, Speerwerfen oder auch bei Sprüngen hat der Sportler/die Sportlerin mehr Zeit, um einen Impuls zu erzeugen. Wichtig ist, einem Gegenstand ohne Zeitlimit eine möglichst hohe Endgeschwindigkeit zu verleihen, dafür ist die muskuläre Leistungsfähigkeit ein bestimmender Faktor (Grosser et al., 2004). Van den Berg et al. (2001, S.106) halten dazu fest, dass im Sport eine gute Schnellkraftfähigkeit bedeutet, „innerhalb einer zur Verfügung stehenden Zeit eine Masse (Sportgerät, Körpergewicht oder Teile des Körpergewichtes) durch einen möglichst hohen Impuls zu beschleunigen und der Masse somit eine hohe Geschwindigkeit zu verleihen.“

Weineck (2000) unterteilt die Schnellkraft in die Startkraft und die Explosivkraft. Den hohen Kraftanstieg zu Beginn einer muskulären Aktivität sowie die Fähigkeit, schnell, möglichst viele motorische Einheiten zu aktivieren, bezeichnet er als Startkraft. Bei der Explosivkraft muss ein steiler Kraftanstiegsverlauf gewährleistet werden, hierbei ist der Kraftzuwachs während einer Zeiteinheit von Bedeutung.

Nach Auffassung von Martin et al. (1991) haben Schnellkraftleistungen im Sport das Ziel, eine maximale Endgeschwindigkeit auf einem vorgegeben Beschleunigungsweg zu erreichen. Je kürzer der Weg ist, desto höher ist die Abhängigkeit von der Start- und Explosivkraft. Je länger der Weg ist, umso mehr Bedeutung hat ein langsamer und kontinuierlicher Kraftanstieg.

3.5.3. Reaktivkraft

Grosser et al. (2004, S.44) definieren die Reaktivkraft folgendermaßen: „die exzentrisch-konzentrische Schnellkraft bei kürzest möglicher Kopplung (< 200 ms) beider Arbeitsphasen, also in einem Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus.“

Basierend auf Martin et al. (1991, S.107) ist die Reaktivkraft „jene Muskelleistung, die innerhalb eines Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus einen erhöhten Kraftstoß generiert. Sie ist abhängig von Maximalkraft, Kraftbildungsgeschwindigkeit und reaktiver Spannungsfähigkeit.“

Wenn bei Sportarten in einem extrem kurzen Zeitrahmen auf eine abbremsende/exzentrische Bewegung eine verkürzende/konzentrische folgt, so spricht man vom Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Es wird dabei die exzentrische Muskelaktivität zur Verstärkung der konzentrischen Muskularbeit genutzt, dies wird als Reaktivkraft bezeichnet. Sportarten, in denen die Reaktivkraft von Bedeutung ist, sind z.B. Basketball, Volleyball, Tischtennis und Handball (Friedrich, 2016). Kennzeichen dieser Sportarten sind laut Grosser et al. (2004) Niedersprünge, Absprünge mit Anlauf und schnelle Laufschriffe. Er beschreibt außerdem die Reaktivkraft als einen Teil der Schnellkraft.

Auch Martin et al. (1991) schreiben dem Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus, der Kombination von exzentrischer und konzentrischer Aktivität, einen Leistungszuwachs der konzentrischen Muskularbeit zu. Verantwortlich dafür ist ihrer Meinung nach die Elastizität der Muskulatur während und nach exzentrischer Muskularbeit. So wird beispielsweise bei einem Tief-Hochsprung bei der Landung durch die abbremsende Wirkung die Muskulatur für den anschließenden Absprung vorbereitet. Sie wirkt wie Gummibänder.

3.5.4. Kraftausdauer

„Die Kraftausdauer stellt die Ermüdungswiderstandsfähigkeit der Muskulatur bei lang andauernden oder sich wiederholenden Kraftleistungen dar. Sie kann mehr zur Ausdauer oder mehr zur Kraft hin tendieren“ (Friedrich, 2016, S.170).

Die Basis dieser Leistung wird durch die Kraftkomponente bereitgestellt, wobei die Maximalkraftfähigkeit ihre Basiskomponente ist. Je länger die Belastung dauert, umso

mehr nimmt die Maximalkraft ab. Belastungsdauer, Bewegungsfrequenz und sportartspezifische Merkmale bestimmen die Ausdauerkomponente (Friedrich, 2016).

Bant, Haas, Ophey & Steverding (2011) beschreiben die Kraftausdauer als eine Aneinanderreihung von zyklischen oder azyklischen Bewegungsfolgen. Je länger der Ablauf dauert, umso mehr wird die Impulsgebung durch den Ermüdungsfaktor limitiert. Des Weiteren beschreiben sie die Stoffwechsellage während einer Kraftausdauerleistung als überwiegend anaerob. Bei einer durchgehenden Aktivität ist dies bis zu zwei Minuten möglich. Zusätzlich müssen die zu bewältigenden Widerstände eine Intensität von mindestens 60% des 1 RM betragen. Durch die Verbesserung der Start-, Explosiv- und Maximalkraft, aber auch durch Erhöhung der Ermüdungswiderstandsfähigkeit, ist die Kraftausdauer gut trainierbar.

Nach Grosser et al. (2004) wird die Kraftausdauer in eine dynamische und statische Kraftausdauer unterteilt.

Martin et al. (1991, S.109) definieren die dynamische Kraftausdauer als „die Fähigkeit bei einer bestimmten Wiederholungszahl von Kraftstößen innerhalb eines definierten Zeitraumes die Verringerung der Kraftstoßhöhen möglichst geringzuhalten.“

Die statische Kraftausdauer wird von Grosser et al. (2004, S.44) definiert als „die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, einen bestimmten Kraftwert über eine definierte Anspannungszeit möglichst ohne Spannungsverlust zu halten.“

Grosser et al. (2004, S.44) unterscheiden aus trainingsmethodischen Gründen und in Anlehnung an die Größe des Krafteinsatzes in Maximalkraftausdauer („über 75% der Maximalkraft bei statischer und dynamischer Arbeitsweise“), submaximale Kraftausdauer („75-50% der Maximalkraft bei dynamischer Arbeit, bis 30% bei statischer Arbeitsweise“) und aerobe Kraftausdauer („50-30% der Maximalkraft bei dynamischer Arbeitsweise“)

4. Methodik

Zur Bearbeitung meiner Forschungsfragen bediene ich mich der Vorgehensweise eines systematischen Reviews.

„Ein systematischer Review ist ein wissenschaftlicher Artikel, in dem relevante Studien identifiziert, ihre Qualität bewertet und ihre Ergebnisse nach wissenschaftlichen Methoden zusammengefasst werden“ (Khan et al., 2004, S.2).

Khan et al. (2004) beschreiben diese Vorgehensweise als eigenständige Forschungsarbeit, welche wichtige Studien identifiziert, die Qualität der eingeschlossenen Studien bewertet und die Ergebnisse mit Hilfe wissenschaftlicher Methoden zusammenfasst. Einen wesentlichen Anteil daran haben auch die Schlussfolgerungen, welche auf den gesammelten Fakten beruhen und keine persönlichen Meinungen wiedergeben. Zur Erstellung eines systematischen Reviews empfiehlt er, zunächst Fragen zu formulieren, die relevante Literatur dazu zu identifizieren, deren Qualität zu bewerten, ihre Evidenz zusammenzufassen und die Ergebnisse zu interpretieren.

Laut Cochrane (o.J.) ist eine klar formulierte Fragestellung die Voraussetzung für ein systematisches Review. Für die Beantwortung dieser werden alle primären Forschungsarbeiten, die bestimmte Kriterien erfüllen müssen, gesucht. Laut ihnen ist es auch wichtig, die Ergebnisse regelmäßig zu aktualisieren, um den neuesten Stand der Forschungsergebnisse zu repräsentieren.

4.1. Ein- und Ausschlusskriterien für die Auswahl der Studien

Für die Auswahl der Studien, die ich in meiner Diplomarbeit behandeln möchte, habe ich in einem ersten Schritt, um eine repräsentative Aussage machen zu können, Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt. Das Hauptaugenmerk der Studien muss auf Stretching im Zuge eines Aufwärmprogrammes und in Bezug auf die sportliche Leistungsfähigkeit liegen. Ein nächster wichtiger Faktor, um qualitativ hochwertige Studien herauszufiltern, war die Entscheidung, nur randomisierte Studien mit einer Kontrollgruppe auszuwählen. In meiner Recherche verwende ich nur englischsprachige Studien. Studien in anderen Sprachen (Spanisch, Portugiesisch) wurden ausgeschlossen.

4.1.1. Zeitrahmen der Studie

Schon seit den 80er-Jahren gibt es Studien, die sich auf die Effektivität der verschiedenen Stretchingtechniken konzentrieren. Um die neuesten Entwicklungen und Ergebnisse der

verschiedenen Einzelstudien zu erfassen, wurden nur Studien in die Auswahl aufgenommen, die im Zeitraum von 2008 bis 2019 erstellt worden sind. Aus dem Diagramm lässt sich ablesen, dass in diesem Zeitraum das Thema intensiv erforscht wird.

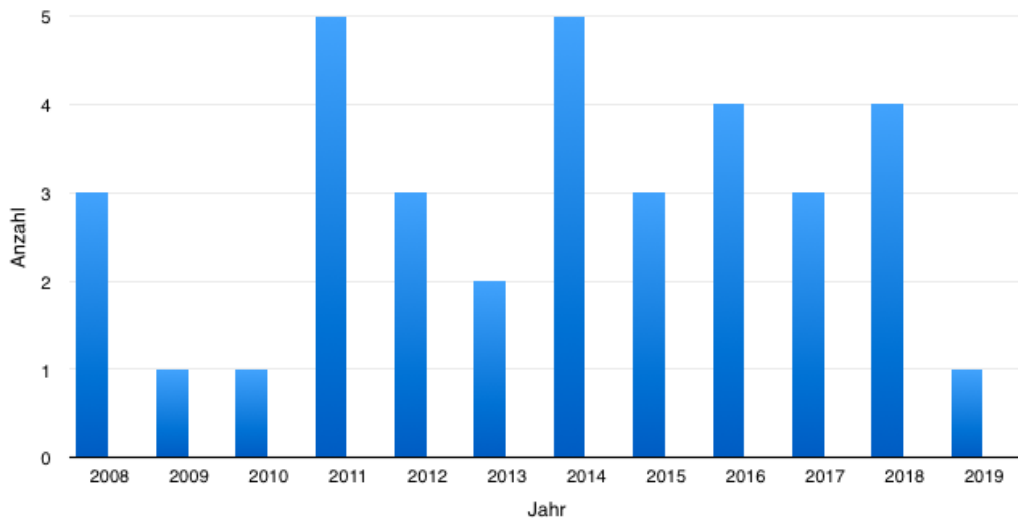


Abbildung 10: Anzahl an Studien nach dem Jahr der Veröffentlichung

4.1.2. Auswahl der Teilnehmer/Teilnehmerinnen

Bei Durchsicht der Abstracts fiel auf, dass ein großer Teil der Studien mit Teilnehmern und Teilnehmerinnen in einem Alter zwischen 18 und 35 Jahren durchgeführt wurden. In den Studien wurde darauf hingewiesen, dass ausnahmslos Probanden und Probandinnen ohne akute oder chronische Beschwerden/Verletzungen eingeschlossen wurden, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen.

Bewusst wurden Studien sowohl mit Amateursportlern und Amateursportlerinnen als auch Leistungssportlern und Leistungssportlerinnen dazu genommen. Grund dafür ist die sonst zu geringe Anzahl an repräsentativen Arbeiten. Geachtet wurde allerdings auf einen sehr guten Allgemeinzustand der Teilnehmer und Teilnehmerinnen und regelmäßig durchgeführte Trainingseinheiten.

Auch in Hinblick auf das Geschlecht wurde aus Gründen einer ausreichend großen Probanden- und Probandinnenzahl beide Geschlechter eingeschlossen, wohlwissend, dass es gerade beim Thema Stretching geschlechtsspezifische Unterschiede gibt, die sich auch

bei einigen Studien in den Ergebnissen wiederfinden. Auf diese Thematik wird im Rahmen der Studien und der Forschungsfragen näher eingegangen.

Vorrangig wurde darauf geachtet, dass in der Studie eine hohe Anzahl an Teilnehmern und Teilnehmerinnen beteiligt war. Nach Durchsicht der Abstracts ging hervor, dass eine Vielzahl der Studien mit einer eher niedrigen Teilnehmer/innenzahl durchgeführt wurde, woraufhin eine Festlegung der Mindestanzahl an Probanden und Probandinnen auf 10 notwendig war.

Da im Zuge der Arbeit die Auswirkung von Stretching auf die sportliche Leistungsfähigkeit erforscht wird, wurden Studien mit Teilnehmern und Teilnehmerinnen aus den verschiedensten Sportarten eingeschlossen. Dies ermöglicht den Effekt von Stretching auf verschiedene Teilleistungen der Kraft zu beleuchten.

4.1.3. Ausschlussfaktoren

Viele Studien beschäftigten sich mit Stretching als Langzeitprogramm und nicht in Verbindung mit einem Aufwärmprogramm als Vorbereitung auf Training und Wettkampf. Diese Langzeitmaßnahmen wurden von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen. In vielen Studien ging es auch darum, die Anwendung von Stretching in Zusammenhang mit weiteren Therapie und Rehabilitationsmaßnahmen zu erforschen.

Eine große Anzahl der Studien beschäftigt sich mit Stretching bei Patienten mit neurologischen Erkrankungen und auch mit Stretching im Behindertensport. Auch diese wurden, da diese Themen nicht Inhalt meiner Forschungsfragen sind, nicht weiterverwendet.

Ein Teil der Studien beschäftigen sich mit der Auswirkung von Stretching auf die Bewegungsreichweite bei älteren Personen. Da in dieser Altersgruppe schon viele Teilnehmer und Teilnehmerinnen an degenerativen Veränderungen des Bewegungsapparates leiden, sind diese Ergebnisse für diese Arbeit nicht repräsentativ.

Des Weiteren wurden über die Eingabe derselben keywords vergleichende Studien mit Faszienrollen und Vibrationsplattformen und deren Einfluss auf die sportliche

Leistungsfähigkeit als Ergebnisse von der Datenbank geliefert, welchen wegen fehlender Relevanz für mein Thema keine weitere Beachtung geschenkt wurde.

Nach der Festlegung des Themas „Die Auswirkung von unterschiedlichen Stretching – Techniken im Rahmen des Aufwärmprogrammes auf die sportliche Leistung und Leistungsfähigkeit“ und der anschließenden Fixierung der Ein- und Ausschlusskriterien entschied ich mich, die Datenbanken „Web of Science“ und „PubMed“ für meine Literaturrecherche zu verwenden. Bei beiden handelt es sich um wissenschaftliche Online-Literaturdatenbanken, über die man durch die Eingabe von spezifischen „keywords“, Zugang zu relevanten Studien erlangen kann.

Die für mein Thema relevanten „keywords“ lauteten:

„warm up“ AND „performance“ AND „sport“, „warm up“ AND „stretching“ AND „performance“, „stretching“ AND „sport“, „warm up“ AND „stretching“ AND „performance“ AND „sport“, „static“ AND „dynamic“ AND „stretching“ AND „sport“, „static“ AND „dynamic“ AND „stretching“ AND „performance“ AND „sport“, „static stretching“ AND „performance“ AND „sport“, „dynamic stretching“ AND „performance“ AND „sport“, „dynamic and static stretching“ AND „performance“ AND „sport“, „stretching“ AND „competition“ AND „performance“, „stretching“ AND „competition“ AND „performance“ AND „sport“, „stretching“ AND „agility“ AND „sport“, „stretching“ AND „speed“ AND „sport“, „stretching“ AND „range of movement“ AND „sport“, „stretching“ AND „range of movement“ AND „sport“ AND „performance“, „stretching“ AND „explosive strength“ AND „sport“ AND „performance“, „stretching“ AND „strength endurance“ AND „sport“ AND „performance“, „stretching“ AND „jumping ability“ AND „sport“ AND „performance“, „stretching“ AND „reaction“ AND „sport“ AND „performance“

Nach den Suchläufen mit den oben genannten „keywords“ wurden in der Datenbank „Web of Science“ 1794 Dokumente gefunden. In einem weiteren Schritt wurden diese auf Duplikate kontrolliert und nach deren Entfernung verblieben noch 1333 Dokumente für die weitere Verarbeitung.

Die Recherche in der Datenbank „PubMed“ ergab 4250 Datensätze. Auch hier wurden in weiterer Folge die Duplikate herausgefiltert, wobei sich die Anzahl dadurch auf 1708 reduzierte.

Im Anschluss wurden die Dokumente beider Datenbanken zusammengefasst, dies ergab 3041 Arbeiten. In einem weiteren Schritt wurden wiederum doppelt auftretende Datensätze entfernt. Die Anzahl für die weitere Bearbeitung belief sich danach auf 2495 Datensätze. In einem nächsten Arbeitsschritt wurden die Titel nach Thema und Relevanz durchleuchtet und 1996 Arbeiten ausgeschlossen. Schon beim Lesen der Überschriften war erkennbar, dass sich die Inhalte der Arbeiten beispielsweise auf Rehabilitation, Behindertensport, Tiere, Kleidung oder Biochemie bezogen. Nach Ausschluss dieser nicht relevanten Arbeiten verblieben 499 zur Durchsicht der Abstracts.

Nach diesem Ausleseverfahren verbleiben für die Bearbeitung meiner Forschungsfragen im Zuge der Diplomarbeit 35 Studien.

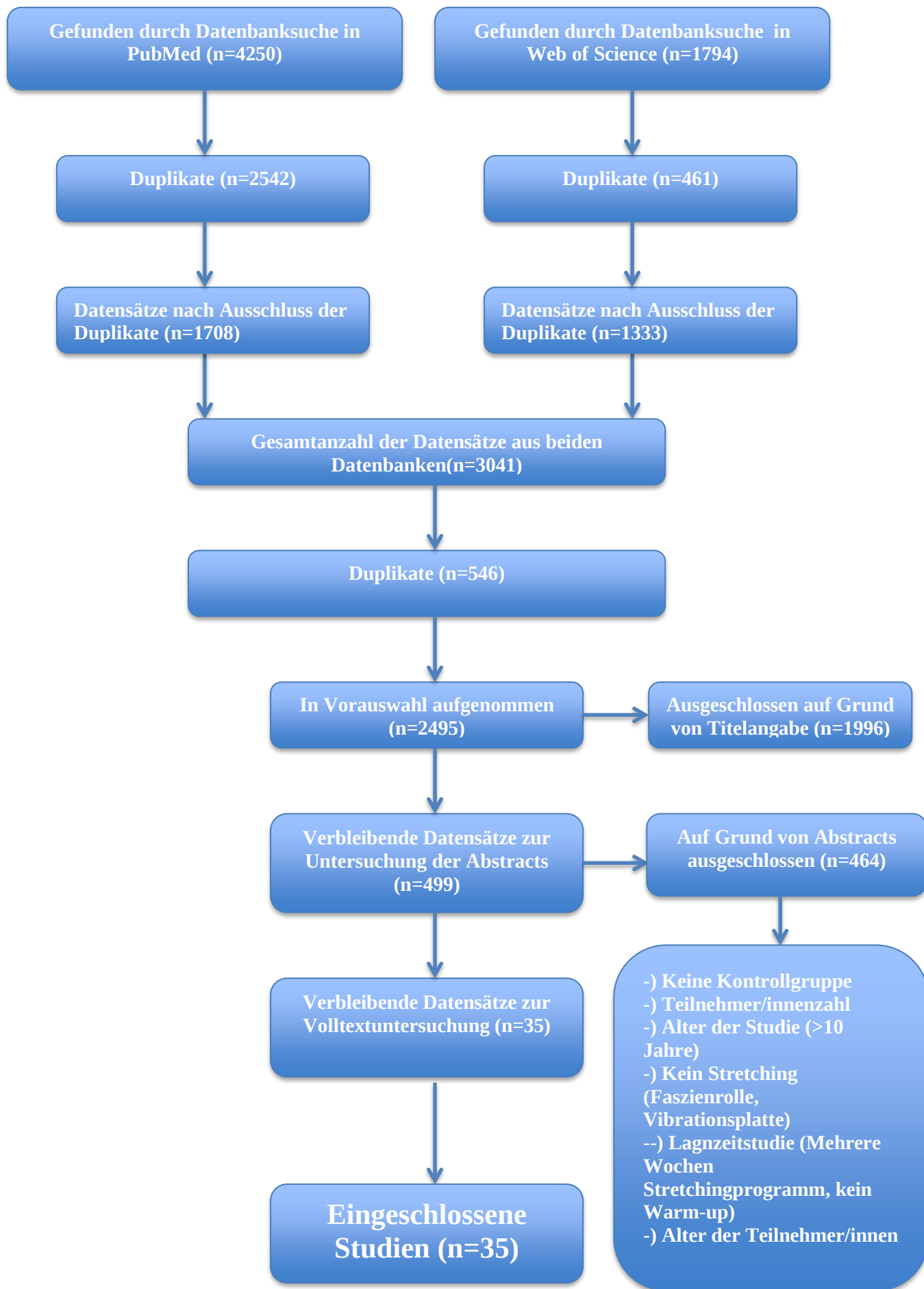


Abbildung 11: Flussdiagramm der ein- und ausgeschlossenen Studien

5. Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden zunächst die Teilnehmer/innenzahlen, Geschlechterverteilung und Verteilung in Bezug auf Freizeit – und Leistungssportler/innen präsentiert. In Folge werden die Ergebnisse in einer Tabelle alphabetisch dargestellt und anschließend die Auswirkung auf ROM, Sprung, Sprint – und Agility, sowie Kraft genauer betrachtet und analysiert.

Um repräsentative Ergebnisse zu erzielen, wurde, wie schon im Kapitel „Ein- und Ausschlusskriterien“ erwähnt, auf eine ausreichend große Teilnehmer/innenzahl Wert gelegt. Die Mindestzahl musste auf zehn herabgesetzt werden, da in diesem Bereich die Mehrheit der Studien vorhanden sind. Wie aus dem Diagramm ersichtlich ist, schließen fast die Hälfte der Studien 10-20 Proband/innen ein. Nur fünf Studien hatten mehr als 30 teilnehmende Personen. Krcmar et al. (2018) sehen die Teilnehmer/innenzahl von 13 als einen limitierenden Faktor für ihre Studie und erwähnen, dass es eine Reihe von Studien (Costa et al., 2013; Sekir et al., 2010; Winke et al., 2010) mit ähnlicher Proband/innenzahl gibt. Auch Curry et al. (2009) sind der Meinung, dass eine größere Teilnehmerinnen/zahl eine bessere Möglichkeit bietet, signifikante Unterschiede zu ermitteln. Die Studie von Loughran et al. (2017) war ursprünglich auf 30 Personen ausgelegt. Auf Grund unterschiedlicher Faktoren (Verletzungen, fehlende Anforderungsprofile) wurde die Zahl auf 17 reduziert, was von ihnen auch als limitierender Faktor beschrieben wird. Laut Keil (2007) sind Studien mit einer niedrigen Proband/innenzahl oft nicht allgemein übertragbar.

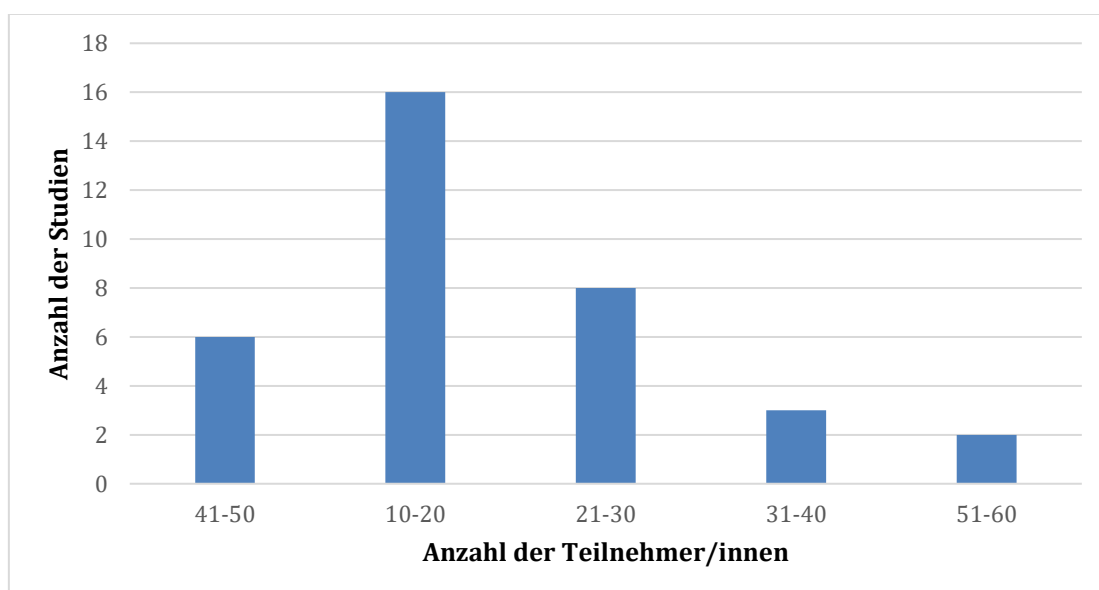


Abbildung 12: Anzahl an Studien nach Teilnehmer/innenzahl

Die Mehrheit der Studien wurde mit männlichen Probanden durchgeführt (28). Bei 14 Studien gab es ausschließlich weibliche Teilnehmerinnen und sieben Autoren führten Studien an beiden Geschlechtern durch. Wilson et al. (2010) sehen es als Nachteil, dass einzig Männer in ihre Studie inkludiert wurden. Basierend auf Beaudoin et al. (2005) gibt es bei Männern einen negativen Zusammenhang zwischen Energieaufwand und Flexibilität, welcher bei Frauen anscheinend nicht auftritt. Auch Mojock et al. (2011) berichten über genderspezifische Unterschiede. Granata et al. (2002) und Kubo et al. (2003) weisen auf unterschiedliche viskoelastische Eigenschaften der Muskel-Sehnen-Einheiten zwischen Männern und Frauen hin. Mojock et al. (2011) empfehlen daher, weitere Untersuchungen mit einer großen Teilnehmer/innenzahl an trainierten Läufer/innen durchzuführen um so geschlechtsspezifische Effekte auf Laufökonomie und Leistung herauszufinden. Auf Grundlage von Siatras et al. (2008) sollte der Einfluss unterschiedlicher Stretching – Dauern auf die Leistung bei Frauen untersucht werden.

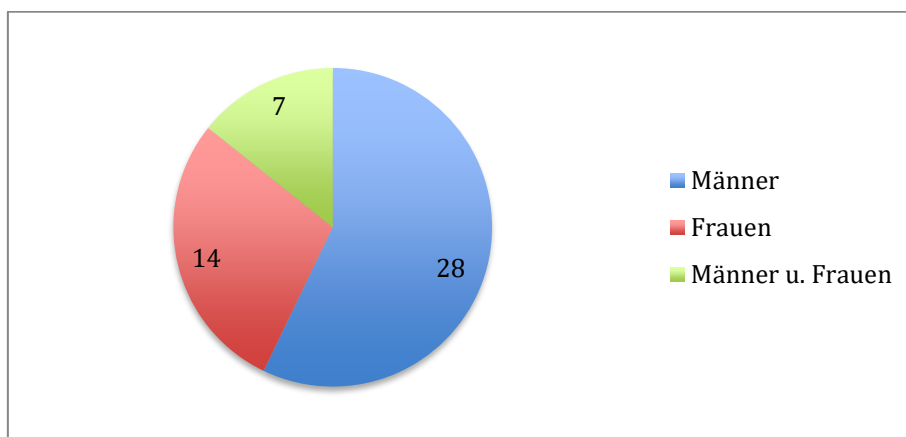


Abbildung 13: Anzahl an Studien nach Geschlecht

Es lässt sich eine annähernd ausgeglichene Verteilung zwischen Freizeit- (20) und Leistungssportler/innen (15), welche an den Studien teilnahmen, feststellen. Bogdanis et al. (2019) weisen darauf hin, das Ergebnis ihrer Studie nicht auf die Allgemeinheit zu übertragen, da sie nur mit Leistungssportlern durchgeführt wurde und diese an lange Stretching-Maßnahmen gewöhnt sind. Siatras et al. (2008) schließen sich im wesentlichen dieser Meinung an und betonen, dass ihre Ergebnisse mit Sportstudenten nicht auf Leistungssportler übertragbar sind. Laut Chaouachi et al. (2010) gibt es Hinweise dafür, dass stretch-induzierte Defizite bei Leistungssportler/innen weniger häufig auftreten. Ribeiro et al. (2014) weisen darauf hin, dass die unterschiedlichen Trainingszustände der Proband/innen die Vergleichbarkeit der Studien erschweren.

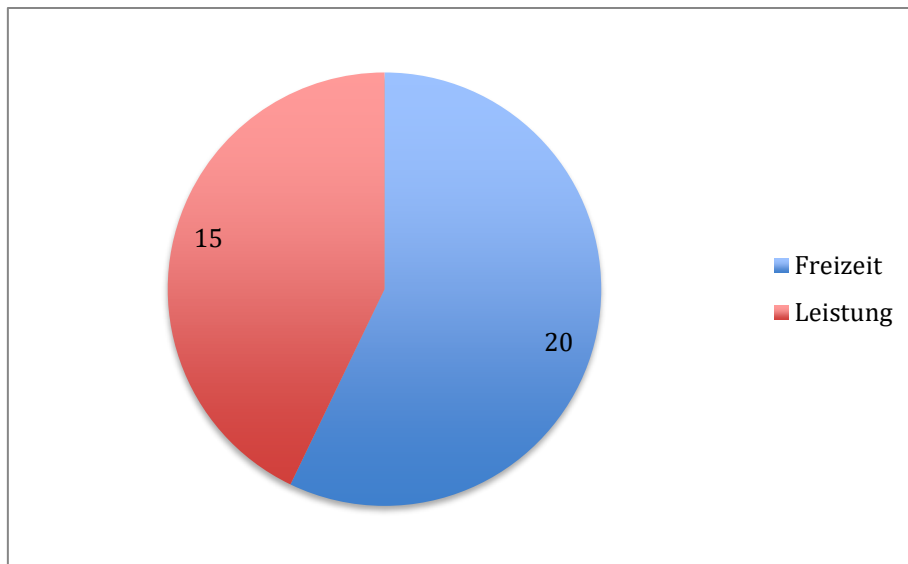


Abbildung 14: Anzahl an Studien mit Freizeit- und Leistungssportler/innen

5.1. Ergebnisse in Bezug auf die getesteten Parameter

Von den 35 eingeschlossenen Studien wurden in 14 Studien (Aguilar et al., 2012; Blazeovich et al., 2018; Bogdanis et al., 2019; Cesar et al., 2016; Curry et al., 2009; Hammer et al., 2017; Lowery et al., 2014; Marchetti et al., 2014; Mojock et al., 2011; Nuri et al., 2013; Reid et al., 2018; Ryan et al., 2014; Siatras et al., 2008; Wilson et al., 2010) die Auswirkung von Stretching – Maßnahmen auf das Bewegungsausmaß (ROM) untersucht. Von 14 Autoren (Aguilar et al., 2012; Bishop und Middleton, 2013; Blazeovich et al., 2018; Bogdanis et al., 2019; Curry et al., 2009; de Oliveira und Rama, 2016; Kruse et al., 2015; Loughran et al., 2017; Marchetti et al., 2014; Pacheco et al., 2011; Pearce et al., 2012; Reid et al., 2018; Ryan et al., 2014; Werstein und Lund, 2012) wurde der Effekt auf die Sprungleistung überprüft. Insgesamt 12 beschäftigten sich mit der Wirkung auf Sprint und Agilität (Avloniti et al., 2016; Avloniti et al., 2016; Bishop und Middleton, 2013; Blazeovich et al., 2018; Costa e Silva et al., 2014; de Oliveira und Rama, 2016; Harmanci und Karavelioglou, 2017; Loughran et al., 2017; Pearce et al., 2012; Sayers et al., 2008; van Gelder und Bartz, 2011; Wallmann et al., 2012). 11 Studien (Ayala et al., 2015; Beedle et al., 2008; Cesar et al., 2016; Curry et al., 2009; da Silveira et al., 2011; Hammer et al., 2017; Krcmar et al., 2018; Marchetti et al., 2014; Reid et al., 2018; Ribeiro et al., 2014; Ryan et al., 2014) setzten sich zum Ziel den Einfluss von Stretching auf die Kraft zu erforschen. Nur einen geringen Teil nehmen die Untersuchungen auf Ausdauer (Lowery et al., 2014; Mojock et al., 2011; Wilson et al., 2010), Drehmoment (Aguilar et

al., 2012; Ayala et al., 2015; Siatras et al., 2008) und Balance/Propriozeption (Amiri-Khorasani, 2015; Romero-Franco et al., 2018) ein.

Aus diesen Zahlen lässt sich ableiten, dass in einer Studie oft mehr als ein Parameter getestet wurde. Im Anschluss an die tabellarische Auflistung der Ergebnisse wird zu den einzelnen Parametern Stellung bezogen.

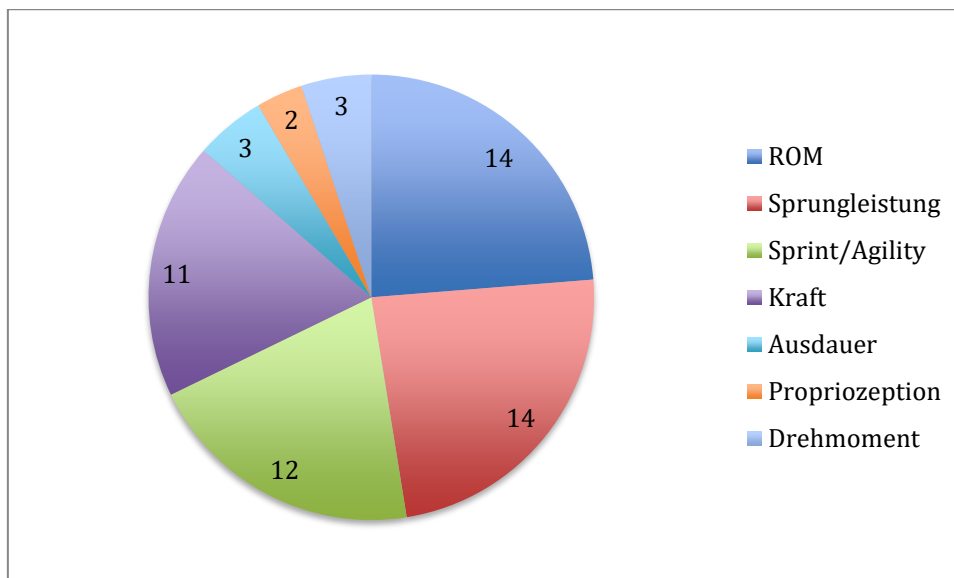


Abbildung 15: Anzahl an Studien nach den getesteten Parametern

5.2. Ergebnisse in Bezug auf Dehndauer und Dehnintensität

In der folgenden Tabelle sind Richtwerte von den Autoren der in der Diplomarbeit eingeschlossenen Studien im Hinblick auf diese Faktoren zusammengefasst. Wie bereits im Kapitel 3.2.4. Dehndauer und Dehnintensität erwähnt, gibt es eine große Bandbreite in der Ausführung dieser beiden Faktoren, was sich bei der Durchsicht der eingeschlossenen Studien bestätigt hat und die Vergleichbarkeit erschwert.

Tabelle 1: Dehndauer und Intensitäten

Autor	Dauer der Dehnphase	Dehnintensität
Wallmann et al. (2012)	15 s	„Punkt vor Unbehagen“
Siatras et al. (2008)	10-60 s	„bis max. ROM“
Bogdanis et al. (2019)	30 s	„90% des Punkt des Unbehagens“
Ryan et al. (2014)	Gesamtdauer: 6 min und 12 min	„niedrige bis hohe Intensität“

Pearce et al. (2012)	30 s	Keine Angabe
Bishop und Middleton (2013)	20 s	„Punkt des Unbehagens“
Werstein und Lund (2012)	30 s	„Punkt des leichten Unbehagens“
Romero-Franko et al. (2018)	20 s	„leichte Intensität, unter dem Punkt des Unbehagens“
Avloniti et al. (2016)	10-60 s	„Punkt des Unbehagens“
Ayala et al. (2015)	30 s	„selbst gewählte Intensität, mildes Unbehagen, kein Schmerz“
Reid et al. (2018)	30-120 s	Keine Angabe
Krcmar et al. (2018)	15-60 s	„selbst gewählte Intensität“
Blazevich et al. (2018)	30 s	„Punkt des Unbehagens“
Van Gelder und Bartz (2011)	30 s	Keine Angabe
da Silveira et al. (2011)	10-40 s	„bis 10% des 1 RM“
Nuri et al. (2013)	30 s	Keine Angabe
Ribeiro et al. (2014)	30 s	„Punkt des Unbehagens“
Mojock et al. (2011)	10-15 s	„Maximales Dehngefühl“
Hammer et al. (2017)	60 s	„Punkt des Unbehagens“
Cesar et al. (2016)	30 s	„Bis zum größten Unbehagen“
Aguilar et al. (2012)	20 s	„Punkt des Unbehagens“
Curry et al. (2009)	12 s	„bis zum Punkt der maximalen Toleranz“
Wilson et al. (2010)	30 s	„bis zum Punkt des leichten Unbehagens“
Kruse et al. (2015)	30 s	„bis zum Punkt des leichten Unbehagens“
Marchetti et al. (2014)	30 s	70-90% vom Punkt des Unbehagens

De Oliveira und Rama (2016)	30 s	„bis zum Punkt des leichten Unbehagens“
Beedle et al. (2008)	15 s	„volles ROM“
Costa e Silva et al. (2014)	30 s	„Punkt des maximalen Unbehagens“
Pacheco et al. (2011)	≤ 30 s	Keine Angabe
Harmanci und Karavelioglu (2017)	15 s	„Punkt des leichten Unbehagens“
Sayers et al. (2008)	30 s	„85% der individuellen maximalen Kapazität“
Avloniti et al. (2016)	20-60 s	„Punkt des Unbehagens“
Amiri-Khorasani (2015)	15 s	Keine Angabe
Lowery et al. (2014)	30 s	Keine Angabe
Loughran et al. (2017)	30 s	Keine Angabe

Tabelle 2: Ergebnisse der Studien

Autor(en) / Jahr	n	Gedehnte Muskulatur	Dehnprotokoll	Leistungsparameter	Prozentuelle Veränderung	Effektgröße	P-Wert
Aguilar et al. (2012)	45	quad; ham; hip ext; hip flex; hip add; hip abd; plant flex	SS: 4 Übungen zu je 20 s; 2 Sätze – 10 min DW: 20 dynamische Übungen – 10 min	Flexibilität ham	SS: + 10,23% DW: + 35,98% NS: - 0,5%	0,19 0,71 0,01	>0,05 <0,0001 >0,05
				Flexibilität quad	SS: + 0,16% DW: + 0,56% NS: - 1,41%	0,03 0,08 0,20	>0,05 >0,05 >0,05
				Flexibilität hip flex	SS: + 4,46% DW: + 6,95% NS: + 1,12%	0,15 0,27 0,08	>0,05 >0,05 >0,05
				Flexibilität rect fem	SS: + 1,52% DW: + 4,57% NS: - 2,26%	0,10 0,25 0,15	>0,05 >0,05 >0,05
				DM quad exzentrisch	SS: - 3,33% DW: + 10,43% NS: + 3,37%	0,13 0,39 0,12	>0,05 =0,012 >0,05
				DM quad konzentrisch	SS: -3,35% DW: + 6,48% NS: + 1,24%	0,15 0,38 0,06	>0,05 >0,05 >0,05
				DM ham exzentrisch	SS: -0,44% DW: + 3,1% NS: + 1,83%	0,02 0,19 0,09	>0,05 >0,05 >0,05

				DM ham konzentrisch	SS: -2,22% DW: + 6,72% NS: + 3,1%	0,09 0,36 0,16	>0,05 >0,05 >0,05
				VJ Sprung- höhe	SS: + 0,8% DW: + 2,64% NS: - 4,62%	0,02 0,10 0,20	>0,05 >0,05 >0,05
				VJ Leistung	SS: + 0,47% DW: + 1,83% NS: - 3,14%	0,01 0,06 0,09	>0,05 >0,05 >0,05
Amiri- Khorasani (2015)	24	hip ext; hip flex; hip add; ham; quad; gast	SS: 6 Übungen zu je 15 s DS: 5 x 5 Übungen ohne Wippen (langsam, moderat, schnell) SS+DS: Kombination beider Interventionen (SS vor DS)	Stat. Balance	DS>SS	0,76	<0,05
					DS > SS+DS	0,35	=0,05
					SS = SS+DS	0,35	>0,05
				Dyn. Balance	DS>SS SS+DS>SS	0,43	<0,05 <0,05
					DS = SS+DS	0,24	>0,05
Avloniti et al. (2016)	50	hip ext; hip add; knee ext; knee flex; plant flex	SS: 1 x 10 s, 1 x 15 s, 1 x 20s, 1 x 30 s, 1 x 40 s, 1 x 60 s	Sprint Zeit 10 m	SS _{15s} (-2,8%) <NS:	0,12	<0,001
				Sprint Zeit 20 m	SS _{15s} (-3,2%) <NS:	0,11	<0,001

Avloniti et al. (2016)	40	hip ext; hip add; knee ext; knee flex; plantar flex	SSS: 1 x 20 s, 1 x 30 s, 1 x 40 s, 1 x 60 s MSS: 2 x 10 s, 3 x 10 s, 4 x 10 s, 6 x 10 s	Sprint Zeit 10 m	SSS 20 s: -2,2%	0,26	<0,05
					MSS 2 x 10 s: -2,8%	0,26	<0,05
				Agility Zeit	unverändert in allen Konditionen	-	>0,05
Ayala et al. (2015)	49	glut; illiopsoas; hip add; ham; quad	SS: 5 Übungen zu je 30 s; 2 Sätze; beide Beine DS: 15 Übungen; 2 Sätze	Max. DM konzentrische Knieflexion bei 60°/s	DS(+ 4,8%)=SS	0,14	>0,05
				Durchschn. Kraft kon- zentrische Knieflexion bei 60°/s	DS(+ 6,7%)=SS	0,19	>0,05
				Max. DM exzentrische Knieflexion bei 180°/s	DS(+ 5,3%)=SS	0,16	>0,05
				Durchschn. Kraft exzentrische Knieflexion bei 180°/s	DS(+ 8,8%)=SS	0,24	>0,05

Beedle et al. (2008)	51	chest; shoulder; tric; quad; ham	DS: 2 Übungen zu je 2 s; 15 Wiederholungen; 3 Sets SS: 2 Übungen zu je 15 s; 3 Sets	Bankdrücken 1 RM	DS=NS (+ 0,66%)	-	>0,05
					SS=DS (+0,15%)	-	>0,05
					SS=NS (+ 0,52%)	-	>0,05
				Beinpresse 1 RM	DS(+ 0,49%) =NS	-	>0,05
					SS=DS (+ 1,84 %)	-	>0,05
					SS(+1,35%) =NS	-	>0,05
Bishop u. Middleton (2013)	25	quad; ham; glut; hip add; hip flex; gast; soleus	SS: 7 Übungen zu je 20 s	Sprint Zeit 20 m	NS=SS (+ 0.95%)	0,21	>0,05
				Agility Zeit	NS=SS (+ 0,06 %)	0,03	>0,05
				CMJ Sprunghöhe	NS=SS (- 3,6 %)	0,26	>0,05
Blazevich et al. (2018)	20	calv; quad; ham; hip flex; hip add; ankles; glut; shoulder; upper back	SS1: 9 Übungen zu je 5 s SS2: 9 Übungen; 3 x 10 s DS: 5 Wiederholungen pro Muskelgruppe	ROM	SS1=SS2=DS= NS	-	>0,05
				VJ, SJ, CMJ, DJ Höhe	SS1=SS2=DS= NS	-	>0,05

				Agility Zeit	SS1=SS2=DS=NS	-	>0,05
				Sprint Zeit 20 m	SS1=SS2=DS=NS	-	>0,05
Bogdanis et al. (2019)	16	quad	SS1: 3 x 30 s; ein Bein SS2: 1 x 90 s; ein Bein NS: zweites Bein Messungen: sofort, 1, 2, 3, 4, 6, 8 und 10 Minuten nach Intervention	Einbeiniger CMJ Sprunghöhe	SS1 _{4min} : + 8,1%	1,3	=0,0001
					SS2 _{sofort} : - 17,5%	0,9	=0,0001
					SS2 _{1min} : - 12%	0,5	<0,05
					SS2 _{6min} : Zunahme	0,6	=0,001
					NS _{4min} : Zunahme	0,6	=0,001
					SS1 _{4min} (+ 8,1 ± 2,0%) > NS _{4min}	0,7	=0,001
					SS2 _{sofort} (- 12 ± 2,7%) < NS _{sofort}	0,9	=0,001
					SS2 _{1min} (-17,5 ± 3,3%) < NS _{1min}	0,8	=0,001
				ROM Hüftgelenk	SS1 _{sofort} : Zunahme	2,8	=0,001

				ROM Kniegelenk	SS2 _{sofort} : Zunahme	2,4	=0,001
					SS1 _{sofort} : Zunahme	0,85	=0,001
					SS2 _{sofort} : Zunahme	0,87	=0,001
Cesar et al. (2016)	15	Finger- und Handgelenks- flexoren	SS: 3 x 30 s; passiv; rechts und links Messungen: pre, post, 24h, 48h	ROM	SS _{post} (+ 5%) >SS _{pre}	-	<0,05
					SS _{48h} (- 5%) <SS _{post} :	-	<0,05
				Griffkraft	SS _{post} (- 8% <SS _{pre})	-	<0,05
					SS _{24h} (- 10% <SS _{pre})	-	<0,05
					SS _{48h} (- 9% <SS _{pre})	-	<0,05
					NS _{post} <NS _{48h} : k. A.	-	<0,05
				Dyn. und isometr. Griffkraft	keine Veränderungen feststellbar	-	>0,05

Costa e Silva et al. (2014)	13	quad; pect	SS: 2 Übungen zu je 30 s; beide Seiten PNF: 2 Übungen zu je 30 s; beide Seiten	Sprint Zeit	NS<SS (+ 2,49%)	0,29	<0,05
					NS<PNF (+4,36 %)	0,47	<0,05
					SS=PNF(+1,82 %)	0,21	>0,05
Curry et al. (2009)	24	glut; ham: quad; hip flex; gast; soleus	SS: 6 Übungen zu je 12 s; 3 Sätze – 10 min DS: 9 Übungen; 10 Wiederholungen; 2 Sätze – 10 min	ROM quad	SS _{pre} <SS _{5min} (+ 5,35 %)	0,36	<0,05
					DS _{pre} <DS _{5min} (+ 6,4 %)	0,46	<0,05
					NS _{pre} <NS _{5min} (+ 3,93 %)	0,28	<0,05
				CMJ Sprunghöhe	SS _{pre} = SS _{5min} (-2,94 %)	0,18	>0,05
					DS _{pre} =DS _{5min} (+ 1,93 %)	0,13	>0,05
					NS _{pre} =NS _{5min} (- 3,18 %)	0,18	>0,05
				TPF	SS _{pre} = SS _{5min}	0,00	>0,05
					DS _{pre} = DS _{5min} (- 27 %)	0,59	>0,05

					NS _{pre} = NS5 _{min} (- 11,11 %)	0,22	>0,05
da Silveira et al. (2011)	20	pect	SS1: 10 s SS2: 20 s SS3: 30 s SS4: 40 s	1 RM (Bank- drücken)	SS1: -0,01% SS2: -16,08% SS3: - 19,62% SS4: - 17,28%	0,00 0,48 0,29 0,42	>0,05 >0,05 >0,05 >0,05
				EMG	SS1: +7,15% SS2: -2,5% SS3: -0,58% SS4: +16,61%	0,23 0,05 0,01 0,26	>0,05 >0,05 >0,05 >0,05
de Oliveira u. Rama (2016)	22	quad lumb; glut; ham; quad; tric surae	SS: 5 Übungen zu je 30 s	CMJ Sprunghöhe	SS(+ 0,95%) =NS	0,06	>0,05
				Sprint Geschwindig- keit	SS(+0,66%) =NS	0,12	>0,05
Hammer et al. (2017)	40	hip add	SS1: 60 s; modifizierter Lunge SS2: 60 s, multidirektional SS3: 60 s; passive Mobilisation SS4: 60 s; passives Stretching (CAAM)	ROM	SS1: Zunahme SS2: Zunahme SS3: Zunahme SS4: Zunahme SS2>NS (- 64,71%)	- - - - -	<0,05 <0,05 <0,05 <0,05 <0,05
				MVC	SS1, SS2, SS3, SS4, NS = keine Veränderung	-	>0,05

Harmanci u. Karavelioglu (2017)	44	hip add; hip rot; ham; quad; gast	SS: 6 Übungen je 15 s PAP: 5 back squats mit 90% des 1 RM	RAST			
				Peak power (Maximal-kraft)	SS: - 6,15% PAP: + 6,53% NS: - 0,99%	0,35 0,35 0,05	<0,05 <0,05 >0,05
				Durchschnitts-kraft	SS: - 9,06% PAP: + 6,23% NS: - 1,38%	0,46 0,38 0,07	<0,05 <0,05 >0,05
Krcmar et al. (2018)	13	glut; quad; ham; gast	SS: SS1: 1 x 15 s; beide Beine SS2: 1 x 30 s; beide Beine SS3: 1 x 60 s; beide Beine	Max. Kraft isokinetisch, exzentrisch	200mm/s: NS=SS1 (+ 2,26%) NS=SS2 (+ 1,12%) NS=SS3 (- 1,65%) 400mm/s: NS=SS1 (+ 1,11%) NS=SS2 (- 1,11%) NS=SS3 (- 1,71%)	0,09 0,04 0,06 0,04 0,04 0,05	>0,05 >0,05 >0,05 >0,05 >0,05 >0,05

				Max. Leistung	200mm/s: NS=SS1 (+ 1,85%) NS=SS2 (- 0,53%) NS=SS3 (- 2,39%) 400mm/s: NS=SS1 (+ 5,51%) NS=SS2 (- 3,13%) NS=SS3 (+ 0,32%)	0,07 0,02 0,08 0,19 0,10 0,01	>0,05 >0,05 >0,05 >0,05 >0,05 >0,05
Kruse et al. (2015)	10	knee flex; hip flex; ham; quad; soleus; gast	SS: 7 Übungen je 30 s; beide Beine – 7 min DS: 14 Übungen je 30s; beide Beine – 7 min NS: kein Stretching	CMJ: Max. Kraft (1 min, 15 min) RFD	1 min: DS>SS 15 min: DS=SS=NS 1 min: DS>NS 1 min: DS>SS 15 min: DS=SS= NS	0,61 0,36 0,58	<0,05 >0,05 <0,05 <0,05 >0,05

				TTT	1 min: DS<SS	0,66	<0,05
					15 min: DS=SS= NS		>0,05
Loughran et al. (2017)	17	gast; ham; hip flex; quad; glut	SS: 5 Übungen zu je 30 s SS+DS: SS + 10 Übungen zu je 30 s; 2 Sätze – 10 min 3 Messungen (Baseline, Inter, Final)	Sprint Zeit 10 m	Final: SS+DS<SS (+ 1,64%) SS+DS<NS (+ 1,09%) SS _{Baseline} =SS _{Final} (+ 1,1%)	0,33 0,22 0,00	<0,05 <0,05 >0,05
				Sprint Zeit 20 m	SS+DS _{Baseline} =S S+DS _{Final} (- 1,0%) Final: SS+DS<SS (+ 1,93%) SS+DS<NS (+ 1,61%)	0,11 0,60 0,48	>0,05 <0,05 <0,05
				Sprint Zeit 40 m	SS _{Baseline} =SS _{Final} (+ 1,1%) SS+DS _{Baseline} =S S+DS _{Final} (+ 0,7%)	0,44 0,00	>0,05 >0,05

					Final: SS+DS<SS (+ 2,19%)	0,77	<0,05
					SS+DS<NS (+ 2,01%)	0,71	<0,05
					SS _{Baseline} <SS _{Inter} (+ 1,09%)	0,40	<0,05
					SS _{Inter} <SS _{Final} (+ 0,90%)	0,32	<0,05
					NS _{Baseline} < NS _{Inter} (+ 0,73%)	0,28	<0,05
					NS _{Final} >NS _{Inter} (+ 1,09%)	0,40	<0,05
					SS _{Baseline} <SS _{Final} (+ 1,1%)	0,76	<0,05
					SS+DS _{Baseline} = SS+DS _{Final} (- 0,7 %)	0,13	>0,05
				CMJ Sprung- höhe	SS _{Baseline} >SS _{Final} (- 10,6%)	0,96	<0,05
					NS _{Baseline} > NS _{Final} (- 7,32%)	0,55	<0,05

				CMJ Sprungkraft	$SS+DS_{Baseline}=SS+DS_{Final}$ (+ 8,7%) $SS_{Baseline}>SS_{Final}$ (- 7,4%) $NS_{Baseline}>NS_{Final}$ (- 5,67%) $SS+DS_{Baseline}=SS+DS_{Final}$ (+ 6,8 %)	0,17 1,01 0,65 0,08	>0,05 <0,05 <0,05 >0,05
Lowery et al. (2014)	10	hip abd; hip flex; knee ext; knee flex; ham; plantar flex	SS: 6 Übungen zu je 30 s; 3 Sätze	„1-Mile Uphill Run“ Zeit Muskel- aktivierung GCT Flexibilität	$NS<SS$ (+ 8,14%) $NS: + 0,99\%$ $SS: + 15,71\%$ $NS: + 0,52\%$ $SS: + 12,58\%$ $NS: + 5,07\%$ $SS: + 17,22\%$	1,76 0,07 1,16 0,05 1,26 0,85 2,85	<0,05 >0,05 <0,05 >0,05 <0,05 >0,05 <0,05

Marchetti et al. (2014)	25	Schultergelenk SS – Protokoll; vast lat; gast lat	SS: 10 Übungen zu je 30 s	Passiver ROM im Schulter- gelenk	SS: + 5,93% NS: + 2,96%	0,54 0,31	<0,05 >0,05
				Maximal- kraft	SS: - 25% NS(+ 28,4%) >SS	1,41 1,38	<0,05 <0,05
				Antriebs- dauer	SS: + 23,6%	1,32	<0,05
Mojock et al. (2011)	12	rect fem; plantar flex; illiopsoas; glut	SS: 5 Übungen; 4 Sätze – ca. 18 min	ROM	NS: + 2,28%	0,09	>0,05
					SS _{baseline} <SS _{poststretch} (+ 11,07%)	0,40	<0,05
					SS _{baseline} = SS _{postrun} (+ 7,38%)	0,26	>0,05
				Distanz	NS=SS (- 0,18%)	0,02	>0,05
				Geschwindig- keit	NS=SS	0,00	>0,05
				HR _{max}	NS=SS (+ 0,53%)	0,13	>0,05

				HR Durchschnitt	NS=NS (+ 1,14%)	0,26	>0,05
				RPE _{max}	NS=SS	0,00	>0,05
				RPE Durchschnitt	NS=SS	0,00	>0,05
				Energie- verbrauch (Kcal)	NS=SS	0,00	>0,05
				65% VO ₂	NS=SS (+ 0,30%)	0,04	>0,05
Nuri et al., (2013)	30	plantar flex	SS: 1 Übung zu 30 s; 3 Sätze AWU: 10 min Joggen, aktive Bewegungen PWU: Ultraschall plantar flex	aktives und passives ROM Sprunggelenk	SS: + 13,63% AWU: + 0,5% PWU: + 1,57%	0,66 0,04 0,07	<0,05 >0,05 >0,05
Pacheco et al. (2011)	49	quad; ham; tric surae	Statisches passives Stretching(P): 30 s PNF – Stretching: 20 s Stat. aktives Stretching mit passiver Spannung (PT): Antagonist kontrahiert 6 s Stat. aktives Stretching mit aktiver Spannung (AT): Agonist kontrahiert 4 s	SJ Sprunghöhe	NS: + 1,98% P: + 6,20% PT: + 4,69% PNF: + 5,43% AT: + 7,72%	0,11 0,34 0,25 0,31 0,50	>0,05 <0,05 <0,05 <0,05 <0,05

				CMJ Sprunghöhe	NS: - 0,92% P: + 3,76% PT: + 4,48% PNF: + 4,83% AT: + 7,97%	0,04 0,21 0,23 0,27 0,54	>0,05 <0,05 <0,05 <0,05 <0,05
				DJ Sprunghöhe	NS: + 2,11% P: + 3,99 % PT: + 2,31% PNF: + 2,68% AT: + 5,59%	0,11 0,21 0,12 0,16 0,37	>0,05 <0,05 >0,05 <0,05 <0,05
				EI	NS: - 36,37% P: - 47,30% PT: + 4,26% PNF: - 12,73% AT: -1,61%	0,27 0,44 0,03 0,09 0,01	>0,05 <0,05 >0,05 >0,05 >0,05
Pearce et al. (2012)	15	ham; gast; glut; hip flex; quad	SS: 5 Übungen zu je 30 s; 2 – 4 Sätze; 12 – 15 min DS: 5 Übungen; 10 Wiederholungen; 2 - 4 Sätze; 12 – 15 min	HR	SS<DS SS<NS DS=NS	- - -	<0,001 <0,001 >0,05
				VJ (1x) Sprunghöhe: nach Dehnen	SS: - 7% DS: + 5% NS: + 3,9%	- - -	<0,05 <0,05 <0,05
				VJ (1x) Sprunghöhe: nach spezif. Aufwärmen	SS: baseline DS: + 2,0% NS: + 0,9%	- - -	>0,05 >0,05 >0,05

				VJ (5x) Sprunghöhe: nach Dehnen	SS: - 6,2% DS: + 6,7% NS: + 7,5%	- - -	<0,05 <0,05 <0,05
				VJ (5x) Sprunghöhe: nach spezif. Aufwärmen	SS: baseline DS: + 3,2% NS: + 2,2%	- - -	>0,05 <0,05 <0,05
				Agility Zeit: nach spez.Aufwärmen; dominantes Bein	DS: - 2,48% NS: - 2,45%	- -	<0,05 <0,05
				nicht dominantes Bein	DS: - 2,47% NS: - 3,67%	- -	<0,05 <0,05
				20 m Sprint Zeit	SS=DS=NS	-	>0,05
Reid et al. (2018)	16	quad; ham	SS1: 30 s – 5,30 min SS2: 60 s – 5,30 min SS3: 120 s – 5,30 min DS/DW: 60 s pro Übung – 6,30 min	ROM hip flex ham	SS1 _{pre} <SS1 _{post} : 2,6 – 11,2% SS2 _{pre} <SS2 _{post} : 3,4 – 11,6% SS3 _{pre} <SS3 _{post} : 4,7 – 13,2%	- - -	<0,001 <0,05 <0,001

					NS _{pre} <NS _{post} : 4,5 – 10,6%	-	<0,05
				ROM knee flex quad	SS1 _{pre} <SS1 _{post} : 9,2 – 18,2%	-	<0,05
					SS2 _{pre} <SS2 _{post} : 7,1 – 15,2%	-	<0,05
					SS3 _{pre} <SS3 _{post} : 6,4 – 16,6%	-	<0,05
					NS _{pre} <NS _{post} : 6,2 – 12,6%	-	<0,05
				MVIC quad	SS3 _{pre} =SS3 _{post} (- 7,2%)	0,3	>0,05
				F100 quad	SS3 _{pre} =SS3 _{post} (- 28,7%)	0,75	>0,05
				VJ Sprunghöhe	SS1 _{pre} <SS1 _{post} (+ 3,5%)	-	<0,001
					SS2 _{pre} <SS2 _{post} (+ 11,8%)	-	<0,001
					NS _{pre} <NS _{post} (+ 6,2%)	-	<0,001

Ribeiro et al. (2014)	15	pect; tric brach	SS: 2 Übungen zu je 30 s	1 RM Bankdrücken Wiederholungen	NS=SS (+ 3,90%)	1,19	>0,05
				FI	NS=SS (+ 3,14%)	1,41	>0,05
Romero-Franco et al. (2018)	32	gast; ham; quad	SS: 3 Übungen zu je 20 s DS: 20 Wiederholungen pro Muskelgruppe (Kadenz 1 s)	JPS	SS=DS=NS	-	>0,05
				CoP links und rechts	SS DS NS: keine Veränderung	1,24 0,49 -	=0,005 =0,042 >0,05
Ryan et al. (2014)	26	quad; ham; glut; hip ext; hip flex, hip add, plant flex	DS1: 11 Übungen – 6 min DS2: 11 Übungen; 2 Sätze - 12 min	VJ Sprunghöhe	DS1: + 6,2% DS2: + 5,6%	0,41 0,37	<0,001 <0,001
				Geschwindigkeit	DS1: + 6,1% DS2: + 4,8%	0,58 0,45	<0,001 <0,001
				Flexibilität	NS: + 6% DS1: + 10,7% DS2: + 8,2%	0,20 0,41 0,35	=0,001 <0,001 <0,001
				Muskelausdauer Wiederholungszahl	DS2(- 15,6%) <NS	-	=0,010
					DS2(- 10,71%) <DS1	-	=0,009

					DS1(- 5,49%) = NS	-	>0,05
Sayers et al. (2008)	20	ham; quad; gast	SS: Je 30 s; 3 Sätze	Sprint			
				Zeit Beschleunigungsphase (0-10 m)	SS(+ 2,08%) >NS	0,36	<0,05
				Zeit Max.geschwindigkeit-Phase (10-30 m)	SS(+ 2,66%) >NS	0,44	<0,05
				Gesamtzeit	SS(+ 2,40%) >NS	0,36	<0,05
Siatras et al. (2008)	50	quad	SS1: 10 s SS2: 20 s SS3: 30 s SS4: 60 s	ROM Kniegelenk	SS3 und SS4: Zunahme SS3: + 8,5% SS4: + 16%	- - -	<0,05 <0,05 <0,05
				DM quadriceps isometrisch	Bei 60°/s: SS3: - 5,5% SS4: - 11,6%	- - -	<0,05 <0,05
				DM quadriceps isokinetisch	Bei 180°/s: SS3: - 5,8% SS4: - 10%	- - -	<0,05 <0,05

Van Gelder u. Bartz (2011)	60	glut; hip flex; hip add; hip abd; quad; ham; gast	SS: 10 Übungen; 30 s pro Muskelgruppe - 8,30 min DS: 14 Übungen im aktiven ROM – 8,30 min	Agility Zeit	DS<SS (+ 4,95%) DS<NS (+ 4,50%) SS(+ 0,43%) =NS	0,81 0,83 0,07	<0,05 <0,05 >0,05
Wallmann et al. (2012)	25	Illiopsoas	SS: 1 Übung; 30 s halten; jedes Bein DS: 1 Übung zu 15 s; 2 Sätze; jedes Bein BS: 1 Übung zu 15 s; 2 Sätze; jedes Bein	Sprint Zeit	NS: - 1,89% SS: + 0,17% DS: + 0,87% BS: - 0,34%	0,21 0,02 0,097 0,04	<0,05 >0,05 >0,05 >0,05
Werstein u. Lund (2012)	15	glut; quad; ham; gast	SS: 4 Übungen je 30 s; 3 Sätze DS: 4 Übungen mit 10 Wiederholungen; 3 Sätze	RSI (FT/CT)	FT: DS>NS DS>SS CT: DS=SS=NS RSI: DS>NS DS>SS	- - - - -	<0,0167 <0,0167 >0,0167 <0,0167 <0,0167
Wilson et al. (2010)	10	hip ext; hip flex; knee ext; knee flex; plantar flex	SS: 5 Übungen zu je 30 s; 4 Sätze – 16 min	ROM Distanz Energieverbrauch (Kcal)	SS: + 10,12% NS: + 1,19% NS(+ 3,4%)=SS SS(+ 4,94%) >NS	0,17 0,02 0,19 0,37	<0,05 >0,05 >0,05 <0,05

				HR	SS: + 13,53%	6,04	<0,05
					NS: + 12,57%	4,12	<0,05
				RPE	SS: + 50%	6,00	<0,05
					NS: + 41,66%	5,00	<0,05

NS: kein Stretching, **SS:** statisches Stretching, **DS:** dynamisches Stretching, **BS:** ballistisches Stretching, **PNF:** Proprioceptive Neuromuscular Facilitation – Propriozeptive Neuromuskuläre Fazilitation, **DW:** dynamisches Aufwärmen, **AWU:** aktives Aufwärmen, **PWU:** passives Aufwärmen, **SSS:** einmaliges SS, **MSS:** multiples SS, **DM:** Drehmoment, **CMJ:** countermovement jump, **VJ:** vertical jump, **DJ:** drop jump, **ROM:** range of motion - Bewegungsausmaß, **FT:** flight time - Flugzeit, **CT:** contact time - Kontaktzeit, **RSI:** reactive strenght index – Reaktivkraftindex, **TPF:** time to peak force – Zeit bis zur maximalen Kraft, **MVC:** maximal voluntary contraction – maximale freiwillige Kontraktion, **RAST:** running - based aerobic sprint test – Laufbasierender aerober Sprinttest, **PAP:** post activation potentiation, **RFD:** rate of force developement - initiale Kraftanstieg nach Beginn der Muskelaktion, **TTT:** time-to-takeoff - Startkraft, **RM:** repetition maximum – Wiederholungsmaximum, **GCT:** ground contact time – Bodenkontaktzeit, **RPE:** rating of perceived exertion - Belastungsempfinden, **HR:** heart rate – Pulsfrequenz, **JPS:** joint position sense - Gelenkpositions-wahrnehmung, **CoP:** Center of pressure – Zentrum des Drucks (Druckpunkt), **FI:** fatigue index - Ermüdungsindex, **EI:** Elastizitätsindex, **F100:** Kraftproduktion in den ersten 100ms

5.3. Effekte von Stretching auf ROM

In der Sportmedizin und im Training ist das primäre Ziel von Stretching die Vergrößerung des Bewegungsausmaßes (Opplert und Babault, 2018).

Dieser positive Effekt auf das Bewegungsausmaß konnte, sowohl nach statischem als auch dynamischem Dehnen, durch 12 Studien mittels einer signifikanten Verbesserung belegt werden. Bei Bogdanis et al. (2019) zeigte sich eine signifikante Verbesserung des Bewegungsausmaßes sowohl nach 30 Sekunden als auch nach 90 Sekunden in Hüftgelenk ($+2,9^{\circ} \pm 0,8^{\circ}$; $+3,6^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$) und Kniegelenk ($+5,91^{\circ} \pm 1,9,8^{\circ}$; $+6,4^{\circ} \pm 1,0^{\circ}$) nach statischem Stretching. Auch Cesar et al. (2016) stellten eine signifikante Zunahme (+5%) nach 30 Sekunden statischem Stretching fest. Curry et al. (2009) beschrieben eine signifikante Zunahme sowohl nach 12 Sekunden (+5,5%) statischem Stretching als auch nach einem dynamischem Stretching-Protokoll (+6,4%). Bei Hammer et al. (2017) wurde eine Vergrößerung im ROM auf Grund von 60 Sekunden statischem Stretching erzielt. Lowery et al. (2014), Marchetti et al. (2014), Nuri et al. (2013) und Wilson et al. (2010) vermerkten eine signifikante Zunahme (+17,22%; +5,93%; +13,63%; +10,12%) nach 30 Sekunden statischem Stretching. Verbesserungen wurden auch von Siatras et al. (2008) nach 30 und 60 Sekunden statischem Stretching festgehalten. Die größten positiven Effekte zeigten sich bei Reid et al. (2018) bei der Hüftflexion durch 120 Sekunden Dehnung (4,7-13,2%) und bei der Knieflexion nach 30 Sekunden (9,2-18,2%) statischem Dehnen.

Eine weitere signifikante Verbesserung zeigte sich bei Ryan et al. (2014) in Folge von dynamischen Stretching-Einheiten von sechs Minuten (+10,7%) und 12 Minuten (+8,2%). Blazeovich et al. (2018) stellten Verbesserungen im Bewegungsausmaß nach allen Interventionen (statisches und dynamisches Stretching) fest, im Gruppenvergleich gab es keine signifikanten Unterschiede.

Aguilar et al. (2012) zeigten signifikante Verbesserungen nur nach einem dynamischem Aufwärmprogramm, die Verbesserungen nach 20 Sekunden statischem Stretching waren nicht signifikant. In der Kontrollgruppe gab es eine nicht signifikante Abnahme im Bewegungsausmaß. Dies ist auch bei Lowery et al. (2014) der Fall.

Wie in Tabelle 1 ersichtlich, wurden in den einzelnen Studien unterschiedliche Dehndauern und Dehnintensitäten angewendet. Auffallend ist hierbei, dass sowohl nach kurzer als auch langer Dehndauer positive Effekte in Bezug auf das Bewegungsausmaß nachgewiesen wurden.

5.4. Effekte von Stretching auf Sprungleistung

14 Studien beschäftigen sich mit der Auswirkung von verschiedenen Stretching-Techniken auf die Sprungleistung, wobei in neun dieser Studien signifikante Veränderungen feststellbar sind. Getestet wurden folgende Parameter: CMJ Sprunghöhe und Maximalkraft, VJ Sprunghöhe und Antriebsdauer, SJ und DJ Sprunghöhe.

Laut Ryan et al. (2014) gab es eine signifikante Zunahme der VJ Höhe nach einem sechs minütigen dynamischen Stretching um 6,2% und nach einem dynamischen Stretching von 12 Minuten eine Zunahme von 5,6%. Reid et al. (2018) zeigten signifikante Verbesserungen der VJ Sprunghöhe nach einer statischen Stretching-Intervention von 30 Sekunden (+3,5%) im Vergleich vom Vor- zum Nachtest. Nach einem statischen Stretching von 60 Sekunden verbesserte sich die Sprunghöhe um 11,8%. Auch die Kontrollgruppe, die keine Stretching-Maßnahmen setzte, verbesserte sich signifikant um 6,2%. Pearce et al. (2012) hingegen stellten eine signifikante Abnahme der Sprunghöhe im VJ nach einem statischen Stretching von 30 Sekunden (-7%) fest. Einen signifikanten Zuwachs an der VJ Sprunghöhe gab es nach dynamischem Stretching (+5%) und auch in der Kontrollgruppe (+3,9%). Nach Absolvierung eines spezifischen Aufwärmens kehrte die Sprunghöhe in der SS-Gruppe zum Ausgangswert zurück, in der DS-Gruppe war eine weitere Verbesserung um 2% und in der Kontrollgruppe um 0,9% feststellbar. Bei fünfmaliger Durchführung des VJ, zeigten sich die gleichen Veränderungen wie bei einmaliger Durchführung (siehe Tabelle 2). Von Kruse et al. (2015) wurde die Maximalkraft beim CMJ mit Hilfe einer Kraftmessplatte getestet. Das Ergebnis der Studie zeigte eine signifikante Zunahme der Kraft in der DS-Gruppe im Vergleich zur SS-Gruppe eine Minute nach den Stretching-Interventionen. Nach 15 Minuten erzielten SS-, DS- und Kontrollgruppe vergleichbare Ergebnisse, welche keine signifikanten Unterschiede im Vergleich aufwiesen. Auch Marchetti et al. (2014) untersuchten die Maximalkraft im VJ und zeigten eine signifikante Abnahme nach 30 Sekunden statischem Stretching von -25%. Gleichzeitig gab es eine signifikante Zunahme der Maximalkraft in der Kontrollgruppe um 28,4%. Die in der Studie getestete Antriebsdauer verzögerte sich in Folge von statischem Stretching signifikant um 23,6%. Bogdanis et al. (2019) ermittelten die einbeinige CMJ Sprunghöhe nach 30 und 90 Sekunden statischem Stretching. 30 Sekunden Stretching erhöhte den CMJ signifikant um 8,1% im Vergleich zum nicht gedehnten Bein vier Minuten nach der Stretching-Intervention. 90 Sekunden führen zu einer signifikanten Abnahme von 17,5% unmittelbar im Anschluss an die Intervention. Diese

Verschlechterung zeigte sich auch noch nach einer Minute (-12%). Erst nach sechs Minuten kehrten die Werte auf das Ausgangsniveau zurück. Loughran et al. (2017) halten eine signifikante Abnahme der CMJ Sprunghöhe von 10,6% nach 30 Sekunden statischem Stretching fest. Diese signifikante Abnahme spiegelte sich auch in der Sprungkraft mit einer Reduktion von 7,4% wider. Auch in der Kontrollgruppe gab es eine signifikante Verringerung sowohl in der Sprunghöhe (-7,32%) als auch in der Sprungkraft (-5,67%). In der Gruppe, in der statisches und dynamisches Stretching kombiniert wurde, zeigten sich keine signifikanten Veränderungen im Vergleich vom Vor- zum Nachtest, die finalen Werte sind jedoch signifikant besser als die Werte der SS- und Kontrollgruppe. Der RSI (reactive strength index - Explosivkraftindex), Quotient aus Flugzeit und Kontaktzeit, wurde von Werstein und Lund (2012) getestet. Flugzeit und in Folge auch der RSI ergaben eine signifikante Verbesserung in der DS-Gruppe im Vergleich zur SS- und Kontrollgruppe. Bei den Kontaktzeiten gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Bei Pacheco et al. (2011) gab es signifikante Verbesserungen in der SJ-, CMJ- und DJ Sprunghöhe sowohl nach aktivem und passivem statischem Stretching als auch nach PNF-Stretching.

Keine signifikanten Veränderungen in der Sprunghöhe und -leistung stellten Aguilar et al. (2012) nach statischem Stretching mit 20 Sekunden Dauer und dynamischen Aufwärmen fest. Auch Bishop und Middleton (2013) erzielten keine signifikanten Ergebnisse in Bezug auf die CMJ Höhe nach einem dynamischen Aufwärmen in Kombination mit statischem Stretching (20 Sekunden). Von Blazeovich et al. (2018) wurden die Auswirkungen von 5 und 10 Sekunden statischem Stretching und einem dynamischen Stretching-Programm auf CMJ, DJ, SJ und VJ Höhe getestet, wobei keine signifikanten Unterschiede in den Leistungen zwischen den Gruppen erkennbar waren. Curry et al. (2009) konnten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich von Vor- zum Nachtest in CMJ Sprunghöhe nach statischem (12 Sekunden) und dynamischem Stretching feststellen. De Oliveria und Rama (2016) konnten keinen signifikanten Unterschied auf die CMJ Höhe nach statischem Stretching im Vergleich zur Kontrollgruppe nachweisen.

Bei den Studien, welche sich auf die Effekte von Stretching auf Sprungleistungen festgelegt haben, zeigt sich ein deutlicher Trend hin zu dynamischen Stretching-Maßnahmen. Diese führten auch bei vier Studien zu signifikant besseren Ergebnissen und zeigten in keiner der Studien eine negative Auswirkung auf die Sprungleistung.

5.5. Effekte von Stretching auf Sprint- und Agility

Zwölf Studien wurden in Hinblick auf Sprint – und Agilityleistung durchgeführt. Von diesen zwölf Studien erzielten neun signifikante Ergebnisse.

Avloniti et al. (2016) testeten die Auswirkung von unterschiedlichen Stretching-Zeiteinheiten (10, 15, 20, 30, 40, 60 Sekunden) auf 10- und 20 Meter Sprintleistung. 15 Sekunden statisches Stretching brachte im Vergleich zur Kontrollgruppe eine signifikante Verbesserung in der 10 Meter- (-2,8%) und 20 Meter Sprintzeit (-3,2%).

Laut Avloniti et al. (2016) bewirkt sowohl eine einmalige statische Stretching-Einheit von 20 Sekunden (-2,2%) als auch eine wiederholte statische Stretching-Einheit von zwei mal zehn Sekunden (-2,8%) eine signifikante Verbesserung in der 10 Meter Sprintzeit. Die Agilitätsleistung blieb in allen getesteten Konditionen (20, 30, 40, 60 Sekunden statisches Stretching) unverändert.

Statisches Stretching (30 Sekunden) und PNF-Stretching (30 Sekunden) wurden im Vergleich zur Kontrollgruppe von Costa e Silva et al. (2014) in Bezug auf die Sprintleistung getestet. Die Kontrollgruppe erzielte signifikante Verbesserungen im Vergleich zur SS-Gruppe (+2,49%) und zur PNF-Gruppe (+4,36%). Zwischen der SS- und PNF-Gruppe gab es keine signifikanten Unterschiede.

Harmanci und Karavelioglu (2017) wiesen in ihrer Studie eine signifikante Abnahme der Maximalkraft (-6,15%) und der Durchschnittskraft (-9,06%) nach statischem Stretching (15 Sekunden) nach. In Folge von PAP (Post activation potentiation) wurde eine signifikante Verbesserung der Maximalkraft (+6,53%) und Durchschnittskraft (+6,23%) gemessen.

Das Ergebnis von Loughran et al. (2017) zeigt signifikant bessere Zeiten durch eine Kombination von statischem und dynamischem Stretching im 10-, 20- und 40 Meter Sprint im Vergleich mit statischem Stretching und der Kontrollgruppe.

Pearce et al. (2012) halten fest, dass sowohl dynamisches Stretching gefolgt von einem spezifischen Aufwärmen als auch die Kontrollgruppe mit zusätzlichem spezifischem Aufwärmen signifikant bessere Agilitätsleistungen im dominanten und nicht dominanten Bein zur Folge hatten. In der 20 Meter Sprintzeit gab es keine signifikanten Unterschiede im Gruppenvergleich (statisches und dynamisches Dehnen).

Von Sayers et al. (2008) wurde die Sprintzeit in der Beschleunigungsphase (0-10 Meter), Maximalgeschwindigkeitsphase (10-30 Meter) und Gesamtsprintzeit erfasst. In allen drei Phasen wirkte sich 30 Sekunden statisches Stretching signifikant negativ auf die Zeit aus.

Dynamisches Stretching führt laut van Gelder und Bartz (2011) zu signifikant besseren Agilitätszeiten im Vergleich zu 30 Sekunden statischem Stretching (+4,95%) und der Kontrollgruppe (+4,50%). Vergleicht man SS- und Kontrollgruppe, so finden sich keine signifikanten Unterschiede.

Basierend auf Wallmann et al. (2012) ist nur in der Kontrollgruppe eine signifikante Verbesserung der Sprintzeit (-1,89%) zu verzeichnen. In der SS-, DS- und BS- Gruppe zeigen sich keine signifikanten Veränderungen im Vergleich vom Vor- zum Nachtest.

Auch von Bishop und Middleton (2013) konnten keine signifikanten Unterschiede in der 20 Meter Sprintzeit und Agilitätszeit im Vergleich von 20 Sekunden statischem Stretching zur Kontrollgruppe festgestellt werden. Dies deckt sich mit der Studie von Blazeovich et al. (2018) welche die Auswirkung von statischem Stretching (5 Sekunden, 10 Sekunden) und dynamischem Stretching auf 20 Meter Sprint- und Agilitätszeit testete.

Des Weiteren fanden de Oliveira und Rama (2016) keine signifikanten Unterschiede zwischen statischem Stretching (30 Sekunde) und der Kontrollgruppe in Hinblick auf die Sprintgeschwindigkeit.

Auch bei Sprint- und Agilität ist auffallend, dass mehrfach auf dynamische Stretching-Methoden zurückgegriffen wurde. Grund dafür könnte sein, dass bereits frühere Studien positive Effekte von dynamischem Stretching auf Sprint- und Agilitätsleistungen festgestellt haben.

5.6. Effekte von Stretching auf Kraft

In elf Studien wurde der Einfluss von Stretching auf die Kraftproduktion untersucht. Nur drei der eingeschlossenen Studien erbrachten signifikante Ergebnisse.

Cesar et al. (2016) untersuchten die Griffkraft von Jiu-Jitsu Athleten und kam zu dem Ergebnis, dass 30 Sekunden statisches Stretching zu einer signifikanten Abnahme der Griffkraft im Vergleich vom Vor- zum Nachtest (-8%) führt. Diese Kraftreduktion ist auch noch nach 24 Stunden (-10%) und 48 Stunden (-9%) nachweisbar.

Marchetti et al. (2014) stellten fest, dass statisches Stretching (30 Sekunden) zu einer signifikanten Minderung der Maximalkraft (-25%) führt. Im Vergleich erzielte die Kontrollgruppe signifikant bessere Ergebnisse (+28,4%) als die SS-Gruppe.

Die Auswirkung auf die Muskelausdauer/Wiederholungszahl wurde von Ryan et al. (2014) festgehalten, wobei ein dynamisches Stretching-Programm von 12 Minuten signifikant schlechtere Werte erzielte als die Kontrollgruppe (+15,6%) und ein dynamisches

Stretching-Programm von sechs Minuten (+10,71%). Zwischen der Kontrollgruppe und der kürzeren dynamischen Stretching-Maßnahme gab es keine signifikanten Unterschiede. In den weiteren Studien wurden keinerlei signifikante Ergebnisse verzeichnet. So zeigten Ayala et al. (2015), dass es keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Durchschnittskraft der konzentrischen Knieflexion bei 60°/s und der exzentrischen Knieflexion bei 180°/s zwischen statischem Stretching (30 Sekunden) und dynamischem Stretching gibt. Von Beedle et al. (2008) konnten keine signifikanten Abweichungen in den Ergebnissen des 1 RM (Bankdrücken, Beinpresse) zwischen 15 Sekunden statischem Stretching, dynamischem Stretching und der Kontrollgruppe festgestellt werden. Curry et al. (2009) testeten die Zeit bis zur maximalen Kraftentwicklung (TPF – time to peak force). Auch hierbei kam es im Vergleich zwischen statischem Stretching (12 Sekunden), dynamischem Stretching und der Kontrollgruppe zu keinen signifikanten Abweichungen in der Zeit bis zum Erreichen der maximalen Kraft. Auf Grundlage von da Silveira et al. (2011) gab es keine signifikanten Verbesserungen im 1 RM nach 10, 20, 30 und 40 Sekunden statischem Stretching. Es zeigt sich eine geringe negative Tendenz in der Wirkung von statischem Stretching auf das 1 RM. Auch Ribeiro et al. (2014) sehen keinen signifikanten Unterschied im Vergleich zwischen statischem Stretching (30 Sekunden) und keinem Stretching auf die Leistung des 1 RM. Der zusätzlich ermittelte Ermüdungsindex zeigt ebenfalls keine signifikanten Abweichungen zwischen den zwei Gruppen. Sowohl Reid et al. (2018) als auch Hammer et al. (2017) konnten keine signifikanten Auswirkungen von 60 und 120 Sekunden statischem Stretching auf MVC bzw. MVIC nachweisen.

Im Gegensatz zu den vorherigen Ergebnissen kann nur in wenigen Studien eine signifikante Auswirkung von Stretching auf die Kraftleistung nachgewiesen werden. Bei diesen handelt es sich ausnahmslos um negative Effekte.

5.7. Effekte von Stretching auf Ausdauer, Drehmoment und Balance

Acht der eingeschlossenen Studien beschäftigen sich zusätzlich mit der Auswirkung auf Ausdauer (Mojock et al., 2011; Lowery et al., 2014; Wilson et al., 2010), Drehmoment (Aguilar et al., 2012; Ayala et al., 2015; Siatras et al., 2008) oder Balance (Amiri-Khorasan, 2015; Romero-Franco et al., 2018). Da es innerhalb der Diplomarbeit zu diesen Parametern nur geringe Vergleichsmöglichkeiten gibt, werden die Resultate beschrieben, aber in weiterer Folge nicht diskutiert und analysiert.

Lowery et al. (2014) und Wilson et al. (2010) haben signifikante Ergebnisse in Bezug auf die Ausdauerleistung festgestellt. Laut Lowery et al. (2014) benötigt die Kontrollgruppe signifikant weniger Zeit für die Absolvierung einer Laufstrecke als die SS-Gruppe (+8,14%) mit einer Dehndauer von 30 Sekunden. Auch in der Muskelaktivierung und Bodenkontaktzeit gab es in der SS-Gruppe signifikante Verschlechterungen im Vergleich vom Vor- zum Nachtest.

Basierend auf Wilson et al. (2010) zeigt sich ein signifikant niedrigerer Energieverbrauch in der Kontrollgruppe im Vergleich zur Gruppe mit einer statischen Stretching-Intervention von 30 Sekunden. (+4,94%). Eine signifikante Erhöhung der Belastungsempfindung war sowohl in der Kontrollgruppe (+41,66%) als auch in der SS-Gruppe (+50%) zu beobachten.

Bei Mojok et al. (2011) gab es keine signifikanten Ergebnisse in Hinblick auf Distanz, Geschwindigkeit, Herzfrequenz, Belastungsempfinden und Energieverbrauch im Vergleich von Kontrollgruppe und SS-Gruppe.

Obwohl es nur eine geringe Anzahl an Studien zu dieser Thematik gibt, lässt sich doch ein negativer Trend von statischem Stretching auf die Ausdauerleistung ableiten.

Aguilar et al. (2012) befassten sich mit der Auswirkung von statischem Stretching (20 Sekunden) auf das Drehmoment von quadriceps und hamstrings. Die statische Stretching-Intervention zeigte keine signifikante Auswirkung auf das Drehmoment. Ein dynamisches Aufwärmen brachte eine signifikante Verbesserung des exzentrischen Drehmoments des quadriceps. Siatras et al. (2008) untersuchten den Effekt von 10, 20, 30 und 60 Sekunden statischem Stretching auf das isometrische und isokinetische Drehmoment des quadriceps und stellte eine signifikante Abnahme bei einer Stretching-Dauer von 30 und 60 Sekunden fest. Laut Ayala et al. (2015) gibt es keine signifikanten Unterschiede im maximalen Drehmoment der konzentrischen und exzentrischen Knieflexion im Vergleich von statischem Stretching (30 Sekunden) und dynamischem Stretching.

Auch in Hinblick auf das Drehmoment ist eine negative Auswirkung von statischem Stretching auf die Leistung erkennbar.

Amiri-Khorasani (2015) und Romero-Franco et al. (2018) haben den Einfluss von Stretching auf Balance bzw. Propriozeption untersucht. Das Ergebnis von Amiri-Khorasani (2015) zeigt eine signifikant bessere statische und dynamische Balance nach dynamischem Stretching im Vergleich zu 15 Sekunden statischem Stretching. Nach Romero-Franco et al.

(2018) ergibt sowohl statisches (20 Sekunden) als auch dynamisches Stretching eine zentralisiertere Druckverteilung im Einbeinstand.

6. Diskussion

Ziel dieser systematischen Übersichtsarbeit ist es, die Auswirkung von unterschiedlichen Stretching-Techniken im Rahmen eines Aufwärmprogrammes auf die sportliche Leistungsfähigkeit zu untersuchen. Zu Beginn der Arbeit wurden vier Forschungsfragen definiert, welche nun anhand der aufgelisteten Ergebnisse beantwortet werden.

Welche unterschiedlichen Stretching – Methoden werden im Zuge eines Aufwärmens vorwiegend verwendet?

Eine grundlegende Frage stellt sich in Hinblick auf die unterschiedlichen Stretching-Methoden, die im Zuge eines Aufwärmprogrammes überwiegend verwendet werden. Nach Durchsicht der eingeschlossenen Studien, kommt man zu dem Schluss, dass vor allem statisches und dynamisches Dehnen in der Praxis Anwendung findet. In nur einer Studie (Wallmann et al., 2012) wurde ballistisches Stretching angewendet. Begründung dafür könnte sein, dass, wie schon im einführenden Teil erwähnt wird, es keine klaren Richtlinien für die Ausführung gibt. Die Grenze zwischen ballistischem und dynamischem Stretching ist sowohl in der Praxis als auch in den Studien nicht klar definiert und es geht nicht immer deutlich hervor welche der beiden Techniken tatsächlich zum Einsatz kommt. Auch die PNF-Technik findet in nur zwei Studien (Pacheco et al., 2011; Costa e Silva et al., 2014) Anwendung. Ein möglicher Grund dafür ist sicher die Komplexität dieser Technik, die in Abbildung 1 anhand der Dehnung der ischiocruralen Muskulatur dargestellt wird. Ein weiterer Faktor liegt in der Notwendigkeit einer Hilfsperson, die für die exakte Durchführung dieser Technik maßgeblich verantwortlich ist.

Wenn die Vergrößerung des Bewegungsausmaßes Ziel des Stretchings ist, werden statische Stretching-Maßnahmen bevorzugt verwendet. In 12 (Lowery et al., 2014; Marchetti et al., 2014; Mojock et al., 2011; Nuri et al., 2013; Siatras et al., 2008; Wilson et al., 2010; Reid et al., 2018; Aguilar et al., 2012; Bogdanis et al., 2019; Cesar et al., 2016; Hammer et al., 2017) von den 14 Studien, die diesen Effekt untersuchen, kommt ausschließlich statisches Stretching zum Einsatz. Von Ryan et al. (2014) wird die Auswirkung von dynamischem Stretching mit einer Kontrollgruppe verglichen und von

Blazevich et al. (2018) und Curry et al. (2009) die Auswirkungen von statischem und dynamischem Stretching untersucht.

Bei Durchsicht der Studien, die sich mit der Sprungleistung beschäftigen fällt auf, dass hierbei auch vermehrt auf dynamisches Stretching zurückgegriffen wird. Blazevich et al. (2018), Curry et al. (2009), Kruse et al. (2015), Loughran et al. (2017), Pearce et al. (2012), Reid et al. (2018), Werstein und Lund (2012) haben sowohl den Effekt von dynamischem als auch statischem Stretching auf die Sprungleistung untersucht. In fünf der Studien (Aguilar et al., 2012; Bishop und Middleton, 2013; Bogdanis et al., 2019; de Oliveira und Rama, 2016; Marchetti et al., 2014) kam nur statisches Stretching zur Anwendung. Einzig von Ryan et al. (2014) wurde die Auswirkung von dynamischem Stretching auf die VJ-Sprunghöhe und -geschwindigkeit getestet. Von Pacheco et al. (2011) wurde die PNF-Technik und ihre Auswirkung auf SJ-, CMJ- und DJ-Höhe untersucht.

Geht es um den Einfluss auf Sprint- und Agilitätsleistung, so wird in sechs Studien (Avloniti et al., 2016; Avloniti et al., 2016; Bishop und Middleton, 2013; de Oliveira und Rama, 2016; Sayers et al., 2008; Harmanci und Karavelioglu, 2017) statisches Stretching angewandt, in sieben weiteren kommen auch andere Dehntechniken zum Einsatz. Zusätzlich zum statischen kommt bei Blazevich et al. (2018), Loughran et al. (2017), Pearce et al. (2012), van Gelder und Bartz (2011) auch dynamisches Stretching zur Anwendung. Ein Vergleich zwischen statischem Stretching und PNF-Stretching wird von Costa e Silva et al. (2014) vorgenommen. Wallmann et al. (2012) untersuchen die Auswirkungen von statischem, dynamischem und ballistischem Stretching auf die Sprintzeit.

Steht die Kraftleistung im Vordergrund, so beschäftigen sich sieben (Cesar et al., 2016; da Silveira et al., 2011; Hammer et al., 2017; Krcmar et al., 2018; Marchetti et al., 2014; Reid et al., 2018; Ribeiro et al., 2014) der elf Studien mit dem Effekt von statischem Stretching. Drei Autoren (Ayala et al., 2015; Beedle et al., 2008; Curry et al., 2009) untersuchen die Auswirkungen von statischem und dynamischem Stretching und in einer Studie (Ryan et al., 2014) wird nur dynamisch gedehnt.

Diese Auflistung belegt, dass statisches und dynamisches Stretching die in dieser Übersichtsarbeit am häufigsten angewendeten Dehntechniken sind. In nur drei Studien wurden sie durch PNF und ballistisches Stretching ergänzt. Erwähnenswert ist zusätzlich, dass beim Ziel der Vergrößerung des Bewegungsausmaßes die Tendenz deutlicher hin zu

statischem Stretching geht, während bei Sprint-, Sprung- und Kraftleistungen auch vermehrt dynamisches Stretching zur Anwendung kommt.

Gibt es evidenzbasierte Einflüsse von Stretching – Methoden auf die Leistungsfähigkeit?

In Folge wird analysiert, ob es evidenzbasierte Auswirkungen der unterschiedlichen Stretching-Methoden auf Bewegungsausmaß, Sprung-, Kraft-, Sprint- und Agilitätsleistungen gibt. In Hinblick auf die Vergrößerung des Bewegungsausmaßes gibt es eine eindeutig positive Auswirkung von statischem Stretching. In 12 Studien (Bogdanis et al., 2019; Cesar et al., 2016; Curry et al., 2009; Hammer et al., 2017; Lowery et al., 2014; Marchetti et al., 2014; Mojock et al., 2011; Nuri et al., 2013; Siatras et al., 2008; Wilson et al., 2010; Reid et al., 2018) liegen signifikante Verbesserungen nach einer statischen Stretching-Intervention vor. Dieser Effekt ist sowohl nach einer sehr kurzen (12 Sekunden) als auch langen (120 Sekunden) Dehnung erkennbar. Auch Aguilar et al. (2012) wiesen Verbesserungen des Bewegungsausmaßes nach, diese waren jedoch nicht signifikant. Obwohl dynamisches Stretching in den Studien zur Verbesserung des Bewegungsausmaßes nur selten zum Einsatz kam, wurde in zwei (Curry et al., 2009; Ryan et al., 2014) von den drei Fällen eine signifikante Verbesserung nach dynamischem Dehnen erreicht. Blazeovich et al. (2018) stellten einen Vergleich zwischen statischem, dynamischem und einer Kontrollgruppe auf. Dieser zeigte keine signifikanten Unterschiede in den Leistungen der drei Gruppen. Er verweist in Folge darauf, dass statisches oder dynamisches Stretching zu einem frühen Zeitpunkt innerhalb des Aufwärmens die Flexibilität nicht mehr verbessert als ein Aufwärmen ohne Stretching. Dies wurde anhand eines sit-and-reach Tests in dieser Studie nachgewiesen. Laut Apostolopoulos et al. (2015) spielen Muskelspannung, Muskel-Sehnen-Einheit, Viskoelastizität und das propriozeptive Gewebe (Muskelspindel, Sehnen-spindel) eine wichtige Rolle bei der Auswirkung von Stretching auf die Flexibilität bzw. das Bewegungsausmaß. Von Marschall (1999) und Wyon et al. (2009) werden vier Parameter genannt, die Einfluss auf die Flexibilität haben: Intensität, Dauer, Frequenz und Stretch-Position.

Bei der Untersuchung der Sprungleistung wurden die Parameter Höhe, Geschwindigkeit, Sprungkraft, Antriebsdauer und der RSI-Faktor, welcher aus Kontaktzeit und Flugzeit ermittelt wird, getestet.

Bogdanis et al. (2019) kamen zu dem Ergebnis, dass ein statisches Stretching von drei Mal 30 Sekunden, vier Minuten nach der Intervention, zu einem signifikanten Anstieg (+8,1%) der Sprunghöhe führt. 90 Sekunden kontinuierliches statisches Stretching führt hingegen zu einer signifikanten Abnahme der Sprunghöhe (-17,5%) sofort im Anschluss. Eine Minute nach der Intervention liegt noch immer eine signifikante Verschlechterung vor (-12%). Bei der Testung der CMJ-Höhe und der Sprungkraft hielten Loughran et al. (2017) fest, dass es in beiden Fällen nach 30 Sekunden statischem Stretching zu einer signifikanten Abnahme der Leistung vom Vor- zum Nachtest kam. Interessanterweise zeigt sich auch in der Kontrollgruppe eine signifikante Verschlechterung beider Parameter. Im Gegensatz dazu stellten Pacheco et al. (2011) fest, dass sich PNF-Stretching signifikant positiv auf SJ-, CMJ- und DJ-Höhe auswirkt. Auch Pearce et al. (2012) erhielten signifikante Verbesserungen der VJ-Höhe nach dynamischem Stretching, statisches Stretching führte hingegen zu einer signifikanten Abnahme der Sprunghöhe. Zu einem gegenteiligen Ergebnis kamen Reid et al. (2018), sie stellten fest, dass 30 und 60 Sekunden statisches Stretching eine signifikante Zunahme der Sprunghöhe zur Folge haben. Allein nach 120 Sekunden statischem Stretching kam es zu einer Abnahme der Sprunghöhe, die sich jedoch nicht signifikant zeigte. Genau wie Pearce et al. (2012) zeigen Ryan et al. (2014) eine signifikante Verbesserung der VJ-Sprunghöhe nach dynamischem Stretching. Einen weiteren signifikant positiven Effekt stellte er hinsichtlich der Geschwindigkeit fest. Basierend auf Marchetti et al. (2014) führt 30 Sekunden statisches Stretching zu einer signifikanten Abnahme der Maximalsprungkraft. Des Weiteren kommt es zu einer signifikanten Zunahme der Antriebsdauer. Kruse et al. (2015) zeigen, dass sich dynamisches Stretching signifikant besser auf die Sprungkraft auswirkt als statisches Stretching. Auch Werstein und Lund (2012) verglichen statisches und dynamisches Stretching und kamen zu dem Schluss, dass dynamisches Stretching im Gegensatz zu statischem Stretching zu signifikant besseren Flugzeiten führt. Diese Auswirkung bedingt in weiterer Folge, dass sich dynamisches Stretching signifikant positiver auf die Reaktivkraft auswirkt (RSI-Faktor). In den Studien von Aguilar et al. (2012), Bishop und Middleton (2013), Blazeovich et al. (2018), Curry et al. (2009) und de Oliveira und Rama (2016), in welchen ≤ 30 Sekunden gedehnt wurde, wurden keine signifikanten Veränderungen in Hinblick auf Sprunghöhe und -leistung erzielt. Beim Vergleich der Ergebnisse kommt man zu dem Schluss, dass sich statisches Stretching tendenziell negativ auf die Sprungleistung auswirkt, dynamisches Stretching jedoch Vorteile bringt. In fast allen Studien, in denen statisches Stretching verwendet wurde, war die Stretching-Dauer $\leq$

30 Sekunden. Es scheint, dass dieses Intervall zu keinen Änderungen in den viskoelastischen Eigenschaften der Muskel-Sehnen-Einheit führt und somit keinen eindeutig negativen Einfluss auf die Sprungleistung zur Folge hat. Kurze Stretch-Intervalle werden üblicherweise auch im Zuge eines Aufwärmprogrammes angewendet. Auch laut Blazeovich et al. (2018) führen kurze Interventionen von statischem oder dynamischem Stretching als Teil des Aufwärmprogrammes zu keinem negativen Effekt auf die Sprungleistung. Zwei Studien (Reid et al., 2018; Bogdanis et al., 2019) untersuchten die Auswirkung von längeren Dehnintervallen (60, 90 und 120 Sekunden). Reid et al. (2018) zur Folge führen längere Intervalle zur Änderung der Muskel-Sehnen-Steifheit und dies reduziert die Fähigkeit, Energie vom SSC zu generieren. Dies wirkt sich negativ auf die Sprunghöhe aus. Mögliche Gründe für den Anstieg der Leistung nach einer dynamischen Stretching-Intervention sind post activation potentiation (PAP), eine gesteigerte Körper- und Muskeltemperatur, eine gesteigerte Herzfrequenz und das Trainieren von Bewegungsabfolgen (Fletcher und Jones, 2004; Fletcher und Anness, 2007; Herda et al., 2008; Fletcher, 2010; Fletcher und Monte-Colombo, 2010).

Von den 12 Studien, welche sich mit Sprint- und Agilitätsleistung beschäftigen, zeigten sieben (Avloniti et al., 2016; Avloniti et al., 2016; Costa e Silva et al., 2014; Loughran et al., 2017; Harmanci und Karavelioglou, 2017; Sayers et al., 2008; van Gelder und Bartz, 2011) signifikante Ergebnisse in Bezug auf die Sprintleistung und zwei Studien (Pearce et al., 2012; van Gelder und Bartz, 2011) signifikante Ergebnisse auf die Agilitätsleistung. Avloniti et al. (2016) untersuchten die 10- und 20-Meter-Sprintzeit. Bei einer statischen Stretching-Intervention von 15 Sekunden absolvierte die Stretching-Gruppe sowohl die 10 Meter als auch die 20 Meter Strecke signifikant schneller als die Kontrollgruppe. Im Vergleich vom Vor- zum Nachtest zeigten Avloniti et al. (2016) eine signifikante Verbesserung der Sprintzeit nach einer kontinuierlichen statischen Stretching-Maßnahme von 20 Sekunden und einer intermittierenden Stretching-Einheit von zwei Mal 10 Sekunden. In Bezug auf die Agilitätsleistung konnten keine signifikanten Ergebnisse erzielt werden. Costa e Silva et al. (2014) testeten die Auswirkung von 30 Sekunden statischem Stretching und 30 Sekunden PNF-Stretching auf die 10-Meter-Sprintzeit und stellten fest, dass sowohl die Gruppe mit statischem als auch die mit PNF-Stretching der Kontrollgruppe signifikant unterlegen waren. Im Vergleich zwischen statischem und PNF-Stretching gab es keinen signifikanten Unterschied. Loughran et al. (2017) halten fest, dass eine Kombination von statischem und dynamischem Stretching sowohl im 10-, 20- und 40-

Meter Sprint signifikant schnellere Zeiten liefert als alleiniges statisches Stretching oder gar kein Stretching. Im Gegensatz dazu gab es bei Pearce et al. (2012) keine signifikanten Unterschiede in der Sprintzeit zwischen statischem Stretching, dynamischem Stretching und der Kontrollgruppe. In Hinblick auf die Agilitätsleistung kam es durch die Kombination von dynamischem Stretching und einem anschließenden spezifischen Aufwärmen zu einer signifikanten Verbesserung im dominanten und nicht dominanten Bein. Sayers et al. (2008) haben die Auswirkung von 30 Sekunden statischem Stretching auf die Beschleunigungs- (0-10 Meter), Maximalgeschwindigkeitsphase (10-30 Meter) und die Gesamtzeit im Sprint untersucht. In allen drei getesteten Abschnitten erzielte die statische Stretching-Gruppe signifikant schlechtere Zeiten. Basierend auf van Gelder und Bartz (2011) kommt es infolge von dynamischem Stretching zu signifikant schnelleren Agilitätszeiten im Gegensatz zu 30 Sekunden statischem Stretching und der Kontrollgruppe. Harman und Karavelioglu (2017) kamen zu dem Ergebnis, dass 15 Sekunden statisches Stretching die Maximal- und Durchschnittskraft signifikant reduziert, während PAP sie signifikant verbessert. Keinen signifikanten Unterschied konnten Bishop und Middleton (2013) zwischen statischem Stretching (20 Sekunden) und der Kontrollgruppe bei Sprint- und Agilitätsleistung feststellen. Auch Blazeovich et al. (2018) konnten keine signifikanten Änderungen in der Sprint- und Agilitätsleistung zwischen 5 Sekunden, drei Mal 10 Sekunden und dynamischem Stretching zeigen. Wallmann et al. (2012) wiesen ausschließlich in der Kontrollgruppe eine signifikante Verbesserung der Sprintzeit nach, 30 Sekunden statisches-, dynamisches- und ballistisches Stretching zeigten keine signifikanten Zu- bzw. Abnahmen.

Auch hier fällt auf, dass die verwendeten statischen Stretching-Interventionen ≤ 30 Sekunden betrugen. Verbesserungen durch statisches Stretching erzielten nur diejenigen Studien, die eine Stretching-Intervention von 5 und 20 Sekunden wählten. Basierend auf Avloniti et al. (2016) sind Sprint- und Agilitätsleistung abhängig von der Dehndauer. Kurzzeitiges Dehnen (≤ 20 Sekunden) führt zu Verbesserung dieser Leistungen, während längeres Dehnen Sprint- und Agilität zwischen 10 und 60 Minuten nach der Intervention negativ beeinflusst (Costa et al., 2009; Costa et al., 2010; Magnusson et al., 1996; Ryan et al., 2008). Avloniti et al. (2016) begründeten dies damit, dass die kurze Dehndauer zu keinen Veränderungen der musklotendinösen Eigenschaften führt. Dieser dauerabhängige Einfluss auf die Ergebnisse wird auch von Kay und Blazeovich (2012) bestätigt. Auch sie beschreiben eine Zunahme des negativen Einflusses bei einer Stretching-Dauer von mehr als 60 Sekunden. Aus diesem Grund empfehlen sie kurze Stretching-Interventionen (≤ 30

Sekunden) im Zuge des Aufwärmens. Ausgehend vom Studienergebnis, in dem einzig die Kontrollgruppe eine signifikante Verbesserung erzielte, empfehlen Wallmann et al. (2012) sogar, Stretching im Zuge eines Aufwärmprogrammes vor Sprintleistungen ganz wegzulassen. Sayers et al. (2008) schreiben die Ursache in der Leistungsabnahme infolge von statischem Stretching der reduzierten Steifheit der Muskel-Sehnen-Einheit zu. Sie beschreiben auch eine Veränderung der Sehnenstruktur, woraus eine reduzierte Kraftproduktion und verzögerte Muskelaktivierung resultiert. Die Erhöhung der Muskeltemperatur scheint eine entscheidende Rolle in der Verbesserung der Sprint- und Agilitätsleistung zu spielen. Da es sich bei statischem Stretching um eine eher passive Aktivität handelt, ist dieser positive Effekt beim statischen im Vergleich zum dynamischen Stretching deutlich weniger ausgeprägt (van Gelder und Bartz, 2011). Sie weisen außerdem darauf hin, dass in der aktuellen Literatur weniger die positiven Effekte des dynamischen Stretchings auf die Leistung beachtet werden, sondern der Fokus mehr auf die Kraftverluste, die durch statisches Stretching entstehen, gerichtet ist. Blazeovich et al. (2018) geben weder dem statischen noch dem dynamischen Stretching den Vorzug, sondern schreiben den Leistungszuwachs der durch das Stretching gewonnenen mentalen Stärkung zu.

In Hinblick auf die Kraftleistung kamen Cesar et al. (2016) zu dem Ergebnis, dass sich 30 Sekunden statisches Stretching signifikant negativ auf die Griffkraft im Vergleich vom Vor-zum Nachtest auswirkt. Diese Verschlechterung hielt bis zu 48 Stunden nach der Intervention an. Auch laut Marchetti et al. (2014) nimmt die Maximalkraft nach statischem Stretching (30 Sekunden) signifikant ab. Ryan et al. (2014) verglichen die Auswirkung von 12 Minuten dynamischem Stretching und keinem Stretching auf die Kraftleistung. Hierbei stellten sie fest, dass die Leistung infolge von dynamischem Stretching ein signifikant schlechteres Ergebnis brachte. Ein sechsminütiges dynamisches Stretching-Programm lieferte keine signifikanten Unterschiede zur Kontrollgruppe. In allen anderen Studien konnten keine signifikanten Ergebnisse erzielt werden. Auf Grundlage von Beedle et al. (2008) gibt es keine signifikanten Unterschiede des 1 RM beim Bankdrücken und der Beinpresse zwischen statischem Stretching (15 Sekunden), dynamischem und keinem Stretching. Auch Ribeiro et al. (2014) konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen 30 Sekunden statischem Stretching und der Kontrollgruppe beim Test des 1 RM feststellen. Der von ihnen zusätzlich getestete Ermüdungsindex brachte ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Da Silveira et al. (2011) untersuchten die Auswirkung von statischen Stretching-Interventionen von 10, 20, 30 und

40 Sekunden auf das 1 RM und konnte keine signifikanten Veränderungen in der Kraftleistung feststellen. Laut Ayala et al. (2015) gibt es keinen signifikanten Unterschied in Hinblick auf die durchschnittliche konzentrische (bei 60°/s) und exzentrische (bei 180°/s) Kraft der Knieflexoren zwischen 30 Sekunden statischem Stretching und dynamischem Stretching. Bei der Messung der MVC wurde von Hammer et al. (2017) keine signifikante Veränderung durch eine statische Stretching-Intervention von 60 Sekunden erzielt. Die Auswirkung von 15, 30 und 60 Sekunden andauernden statischen Stretching-Maßnahmen auf die maximale isokinetisch exzentrische Kraft bei 200mm/s und 400mm/s brachte bei Krcmar et al. (2018) keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Stretching-Gruppen und der Kontrollgruppe. 30, 60 und 120 Sekunden statisches Stretching führt laut Reid et al. (2018) zu keiner signifikanten Zu- oder Abnahme der MVIC im quadriceps. Zusätzlich untersuchten sie auch die Kraftproduktion in den ersten 100 Millisekunden und konnten hierbei auch keine signifikanten Unterschiede im Vergleich vom Vor- zum Nachtest nachweisen. Die Mehrheit der Studien führt zu der Annahme, dass kurzzeitiges statisches und dynamisches Stretching zu keinen signifikanten Veränderungen in Bezug auf die Kraftproduktion führt. Die drei signifikanten Ergebnisse, die nach Einsatz von statischem Stretching (Cesar et al., 2016; Marchetti et al., 2014) und dynamischem Stretching (Ryan et al., 2014) erzielt wurden, brachten Einbußen in der Kraftproduktion. Ryan et al. (2014) erwarteten eine Verbesserung der Muskelausdauerleistung nach dynamischem Stretching. Ein dynamisches Dehnprogramm von 12 Minuten führte jedoch zu einer signifikanten Reduzierung dieser Leistung. Sie begründeten es damit, dass dynamisches Stretching zu einer verminderten Bereitstellung von anaerober Energie und zu veränderten kontraktilen Eigenschaften führt. Auch Bishop erklärte bereits 2003, dass eine zu hohe Intensität des Aufwärmprogramms die Verfügbarkeit energiereicher Phosphate reduziert und somit die Kraftleistung vermindert. Morse et al. (2008) und Ryan et al. (2008) schreiben von einem schädlichen Effekt von statischem Stretching auf dynamische- und isometrische Kraft und Kraftausdauer. Dies wird von Beedle et al. (2008) widerlegt. Cesar et al. (2016) und Ribeiro et al. (2014) führen diese Diskrepanz auf methodologische Einflüsse wie Dehndauer, Kontraktionstypus (dynamisch oder isometrisch) und die charakteristischen Eigenschaften des gedehnten Muskels zurück.

Gibt es Stretching – Methoden, die eine höhere Relevanz auf die körperliche bzw. sportliche Leistungsfähigkeit besitzen?

Bei der Wahl der Stretching-Methode muss in erster Linie berücksichtigt werden, welche Leistungen in der jeweiligen Sportart vorausgesetzt werden. Basierend auf Wiemann und Klee (2000) ist ein intensives statisches Dehnen auf Grund einer hohen Spannungsbelastung der Muskeln nur sehr vorsichtig anzuwenden. Wird in sportlichen Disziplinen jedoch eine überdurchschnittliche Dehnfähigkeit verlangt, wie zum Beispiel beim Kunstturnen oder beim Hürdenlauf, so kann intensives statisches Dehnen Vorteile bringen. Gleichzeitig verweisen sie aber auch auf den negativen Einfluss von statischem Stretching auf Schnellkraftleistungen und darauf, dass dieser Einfluss auch über eine gewisse Zeitspanne nach der Intervention bestehen bleibt. Loughran et al. (2016) halten fest, dass ein dynamisches Aufwärmen infolge von statischem Stretching Sprint- und Sprungleistung zu einer Verbesserung der Sprint- und Sprungleistung führt. Laut Werstein und Lund (2012) ist dynamisches Stretching die bevorzugte Maßnahme bei Sportarten, bei denen Sprungleistung verlangt wird. Opplert und Babault (2018) verbinden ein größeres Bewegungsausmaß mit der Abnahme der Steifheit in der Muskel-Sehnen-Einheit, während eine verbesserte muskuläre Leistung auf den Anstieg der Körper- und Muskeltemperatur und verbesserter Kontraktionsfähigkeit zurückzuführen ist. Diese Kombination von Zunahme im Bewegungsausmaß und Leistungsverbesserung kann durch dynamisches Stretching eher erreicht werden. Behm und Sale (1993) beschreiben auch die enge Verbindung zwischen dynamischem Stretching und den Bewegungsmustern als Vorteil dieser Dehnmaßnahme. Die Erhöhung der Körpertemperatur wird auch von Fletcher und Jones (2004) genannt, sie führt zu einer Erhöhung der Nervenverbindungsgeschwindigkeit, verbesserter Zusammenarbeit der Muskulatur und Beschleunigung in der Energieproduktion.

Die Ergebnisse dieser systematischen Übersichtsarbeit zeigen Zunahmen (Avloniti et al., 2016; Bogdanis et al., 2019), keine Veränderungen (Wallmann et al., 2012) und auch Abnahmen (Loughran et al., 2017; Marchetti et al., 2014) der verschiedenen sportlichen Leistungsfähigkeiten sowohl nach statischen als auch dynamischen Stretching-Maßnahmen. Dies zeigt, dass nicht nur die Methode alleine einen wesentlichen Faktor für Verbesserung darstellt, sondern auch die Ausführung (Dauer, Intensität, Frequenz) der Dehnintervention Relevanz hat. In den Studien werden unterschiedliche Intensitäten, wie zum Beispiel „Punkt des leichten Unbehagens“, „Punkt vor Unbehagen“, „Punkt des

größten Unbehagens“, „70-90% vor dem Punkt des Unbehagens“, „bis Punkt der maximalen Toleranz“, „bis maximales ROM“, „selbstgewählte Intensität“ (siehe Tabelle 1) für die Stretch-Intervention von den Studienautoren vorgegeben. Die Ausführung dieser Vorgaben erfolgt subjektiv nach der Wahrnehmung der einzelnen Studienteilnehmer/innen. Laut Freitas et al. (2018) können die verschiedenen Stretching-Intensitäten unterschiedliche mechanische Effekte hervorrufen und er erklärt unter anderem damit die Heterogenität der Ergebnisse in den verschiedenen Studien. Bogdanis et al. (2019), Avloniti et al. (2016) und de Oliveira und Rama (2016) sehen in kurzer bis mittlerer Dehndauer (≤ 60 Sekunden) keine negativen Auswirkungen auf Sprint- und Sprungleistungen. Auch Behm und Chaouachi (2011) sind der Meinung, dass Stretching von weniger als 30 Sekunden Dauer keinen Einfluss auf die Leistung von trainierten Personen hat. Diese Zeiteinheiten haben keine Änderungen der viskoelastischen Eigenschaften, der Steifheit der Muskel-Sehnen-Einheit und der Rekrutierung von motorischen Einheiten zur Folge. Eine längere Dauer (≥ 60 Sekunden) bringt diese Veränderungen mit sich und kann sich dadurch negativ auf die Leistungsfähigkeit auswirken (Avloniti et al., 2016). Kay und Blazeovich (2012) halten in ihrem Review auch fest, dass negative Effekte von statischem Stretching nur bei längerer Dauer (60 Sekunden) auftreten. Kürzere Stretching-Intervalle können in ein Aufwärmprogramm integriert werden, ohne die Muskelleistung negativ zu beeinflussen. Basierend auf Avloniti et al. (2016) sind die Effekte von statischem Stretching auf Geschwindigkeit und Agility nicht von der Anzahl an Wiederholungen, sondern von der Gesamtdauer der Intervention abhängig.

Ein Vergleich der Stretching-Methoden und die Feststellung ihrer Relevanz für die sportliche Leistungsfähigkeit, wird nicht nur durch die verschiedenen Techniken und den Unterschieden in Dauer und Intensität erschwert, sondern auch durch die Verwendung unterschiedlicher Studiendesigns. Einige der eingeschlossenen Studien führten randomisierte Cross-over-Studien, in denen die Wirksamkeit mehrerer Dehn- bzw. Aufwärmtechniken miteinander verglichen werden, durch. In anderen Studien wurden Pre- und Posttestungen durchgeführt, um die Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit zu evaluieren.

Haben die in den letzten 10 Jahren gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse den Einsatz, die Art und die Dauer der in der Trainingspraxis verwendeten Stretching – Methoden beeinflusst?

Laut Behm et al. (2016) gibt es in den letzten Jahren einen Trend vom statischen und PNF-Stretching hin zum dynamischen Stretching. Eine Umfrage von Blazeovich et al. (2018) ergab, dass 18 von 20 Teilnehmer/innen dynamisches Stretching als die effektivste Stretching-Methode innerhalb eines Aufwärmprogrammes empfinden. Auch nach Durchsicht der eingeschlossenen Studien zeigt sich eine Tendenz hin zu dynamischem Stretching, insbesondere wenn Sprint-, Agilitäts- und Sprungleistung gefragt sind. Klar erkennbar ist auch, dass in den Studien größtenteils kurze statische Dehnintervalle (≤ 30 Sekunden) Anwendung finden und diese sich in einem hohen Maß positiv auf das Bewegungsausmaß auswirken (Bogdanis et al., 2019; Cesar et al., 2016; Curry et al., 2009; Hammer et al., 2017; Lowery et al., 2014; Marchetti et al., 2014; Mojock et al., 2011; Nuri et al., 2013; Reid et al., 2018; Siatras et al., 2008; Wilson et al., 2010). Ein negativer Effekt lässt sich bei Sprint-, Agilitäts- und Ausdauerleistungen feststellen (Cesar et al., 2016; Marchetti et al., 2014; Lowery et al., 2014; Costa e Silva et al., 2014; Harmanci und Karavelioglu, 2017). Bei annähernd gleicher Studienanzahl zeigen sich aber weder positive noch negative Auswirkungen auf die vorher genannten Leistungen (Avloniti et al., 2016; de Oliveira und Rama, 2016; Ayala et al., 2015; Ribeiro et al., 2014; Krcmar et al., 2018; da Silveira et al., 2011). Loughran et al. (2017) halten fest, dass ein dynamisches Aufwärmprogramm im Anschluss an das statische Stretching Sprint- und Sprungleistung verbessert. Pearce et al. (2012) hingegen stellen fest, dass ein sekundäres Warm-Up die durch das statische Stretching verursachten Defizite nicht auslöschen kann. Eindeutig erkennbar ist, dass statische Stretching-Einheiten (> 60 Sekunden) Leistungseinbußen zur Folge haben und daher im Rahmen eines Aufwärmprogrammes nicht empfohlen werden. Laut Werstein und Lund (2012) sollte prolongiertes statisches Stretching nur im Rahmen eines Cool-downs stattfinden. Viele Autoren raten zu dynamischem Stretching im Zuge des Aufwärmens, wenn in der Folge Sprint-, (Amiri-Khorasani, 2015; Werstein und Lund, 2012; van Gelder und Bartz, 2011) Sprung- (Curry et al., 2009; Kruse et al., 2015) und Kraftleistungen (Ayala et al., 2015) verlangt werden.

7. Ausblick

Als Basis für weitere Forschungsarbeiten zu diesem Thema werden die limitierenden Faktoren, welche in der vorangegangenen Diskussion genannte wurden, berücksichtigt. Dazu gehört der Aufbau des Studiendesigns. Bei einigen der eingeschlossenen Studien handelte es sich um ein Cross-over-Design, andere hingegen nahmen Pre- und Posttestungen vor. Um die Vergleichbarkeit der Studien und ihre Aussagekraft zu verstärken, braucht es eine einheitliche methodische Vorgehensweise. Wichtig dafür sind klare Aussagen über die Dauer der Stretching-Intervention. Vor allem bei dynamischen Stretching-Maßnahmen wird oft nur eine Gesamtdauer des Programmes angegeben. Dieselben Defizite zeigen sich bei Angaben zur Intensität. Hier reichen die Vorgaben von „selbstgewählter Intensität“ über „leichtes Unbehagen“ bis hin zu „90% vom Punkt des Unbehagens“. Da diese Faktoren sehr subjektiv und von der Wahrnehmung einzelner Teilnehmer abhängig sind, erschweren sie die Messbarkeit. Dies beeinträchtigt in Folge auch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Auch eine Vereinheitlichung der Messmethoden zu den einzelnen Leistungsparametern würde mehr Klarheit und Transparenz der Ergebnisse mit sich bringen. Um aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen, wäre auch eine höhere Probanden/innenzahl von Vorteil. Zusätzlich lassen sich viele Ergebnisse nicht gänzlich von Profisportler/innen auf Hobbysportler/innen und umgekehrt übertragen. Somit sollte in den Studien ein gleichwertiges Aktivitätsniveau angestrebt werden. Da in den vorliegenden Studien größtenteils negative Auswirkungen von statischem Stretching auf Sprint- und Ausdauerleistung nachgewiesen wurden, sollten weitere Forschungen hinsichtlich der Auswirkungen von dynamischem Stretching auf diese erfolgen.

Diese Vorgehensweise könnte die Möglichkeit bieten, die Ursachen für die positiven oder negativen Effekte auf die Leistungsfähigkeit zuzuordnen, um so zu erkennen, ob die Stretching-Methode, die Dauer oder die Intensität den Grund für die Veränderung darstellt.

8. Referenzen

- Albrecht, K. & Meyer S. (2005). Stretching und Beweglichkeit. Das neue Expertenhandbuch. Stuttgart: Karl F. Haug Verlag in MVS Medizinverlage.
- Albrecht, K., Meyer, S. & Zahner, L. (1997). Stretching. Das Expertenhandbuch. Grundlagen für Trainer und Sportler. Heidelberg: Karl F. Haug Verlag.
- Alter, M.J. (1996). Science of Flexibility. (2. Auflage). Champagne (IL): Human Kinetics.
- Anderson, B. (1980). Stretching. Bolinias: Shelter.
- Anderson, J. (2005). Stretching Before and After Exercise: Effect on Muscle Soreness and Injury Risk. J Athl Train, 40, 218-220.
- Apostolopoulos, N., Metsios, G.S., Flouris, A.D., Koutedakis, Y. & Wyon, M.A. (2015). The Relevance of Stretch Intensity and Position – A Systematic Review. Front Psychol, 6, 1128.
- Arefi, M. (2014). Was man über das Dehnen wissen sollte! Praktische Tipps zum Dehnen. Pölfing-Brunn: Markus Arefi.
- Arvinen-Barrow, M, Weigand, D.A., Thomas, S., et al. (2007). Elite and Novice Athletes' Imagery Use in Open and Closed Sports. J Appl Sport Psychol, 19 (1), 93-104.
- Asmussen E. & Boje, O. (1945). Body Temperatur and Capacity for Work. Acta Physiol Scand, 10 (1), 1-22.
- Bant, H., Haas, H.-J., Ophey, M. & Steverding, M. (2011). Sportphysiotherapie. Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag KG.
- Baxter, C., Mc Naughton, L.R., Sparks, A., Norton, L. & Bentley, D. (2017). Impact of Stretching on the Performance and Injury Risk of Long-Distance Runners. Research in Sports Medicine, 25 (1), 78-90.

- Beaudoin, C.M. & Whatley Blum, J. (2005). Flexibility and Running Economy in Female Collegiate Track Athletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 45, 295-300.
- Begert, B. & Hillebrecht, M. (2003). Einfluss unterschiedlicher Dehntechniken auf die reaktive Leistungsfähigkeit. *Spectrum der Sportwissenschaften*, 15, 6-25. [SEP]
- Behm, D.G. & Chaouachi, A. (2011). A Review of the Acute Effects of Static and Dynamic Stretching on Performance. *Eur J Appl Physiol*, 111, 2633-2651.
- Behm, D.G. & Sale, D.G. (1993). Velocity Specificity of Resistance Training. *Sports Med*, 15, 374-388.
- Behm, D.G., Bambury, D., Cahill, F. & Power, K. (2004). Effect of Acute Static Stretching on Force, Balance, Reaction Time, and Movement Time. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 1397-1402.
- Behm, D.G., Blazevich, A.J., Kay, A.D. & McHough, M. (2016). Acute Effects of Stretching on Physical Performance, Range of Motion, and Injury Incidence in Healthy Active Individuals: A Systematic Review. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 41, 1-11.
- Behm, D.G., Bradbury, E.E., Haynes, A.T., Hodder, J.N., Leonard, A.M. & Paddock, N.R. (2006). Flexibility is Not Related to Stretch-Induced Deficits in Force or Power. *J Sports Sci Med*, 5, 33-42.
- Behm, D.G., Button, D. & Butt, J. (2001). Factors Affecting Force Loss With Stretching. *Can J Appl Physiol*, 26, 262-272.
- Bergh, U. & Ekblom, B. (1979). Influence of Muscle Temperature on Maximal Muscle Strength and Output in Human Skeletal Muscles. *Acta Physiol Scand*, 107 (1), 33-7.
- Billeter, R. & Hoppeler, H. (1994). Grundlagen der Muskelkontraktion. *Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 1994 (2): 6-20.

- Bishop, D. (2003). Warm Up II: Performance Changes Following Active Warm Up and How to Structure the Warm Up. *Sports Med*, 33, 483-498.
- Bradley, P.S., Olsen, P.D. & Portas, M.D. (2007). The Effect of Static, Ballistic, and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching on Vertical Jump Performance. *J Strength Cond Res / Natl Str Cond Assoc J*, 21 (1), 223-226.
- Brukner, P., Khan, K. & Bahr, R. (2012). *Principles of Injury Prevention*. Sidney: McGraw-Hill.
- Burnley, M. & Jones, A.M. (2007). Oxygen Uptake Kinetics As a Determinant of Sports Performance. *Eur J Sport Sci*, 7 (2), 63-79.
- Caplan, N., Rogers, R., Parr, M.K. & Hayes, P.R. (2009). The Effect of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation and Static Stretch Training on Running Mechanics. *J Strength Cond Res*, 23, 1175-1180.
- Chaouachi, A., Castagna, C., Chtara, M., Brughelli, M., Turki, O., Galy, O., Chamari, K. & Behm, D.G. (2010). Effect of Warm-Ups Involving Static or Dynamic Stretching on Agility, Sprinting, and Jumping Performance in Trained Individuals. *J Strength Cond Res*, 24, 2001-2011.
- Cornwell, A., Nelson, A.G. & Sidaway, B. (2002). Acute Effects of Stretching on the Neuromechanical Properties of the Triceps Suræ Muscle Complex. *Eur J Appl Physiol*, 86, 428-34.
- Costa, P.B., Graves, B.S., Whitehurst, M. & Jacobs P.L. (2009). The Acute Effects of Different Durations of Static Stretching on Dynamic Balance Performance. *J Strength Cond Res*, 23, 141-147.
- Costa, P.B., Ryan, E.D., Herda, T.J., Walter, A.A., Defreitas, J.M., Stout, J.R., et al. (2013). Acute Effects of Static Stretching on Peak Force and The Hamstrings-to-Quadriceps Conventional and Functional Ratios. *Scand J Med Sci Sports*, 23 (1), 38-45.

- Costa, P.B., Ryan, E.D., Herda, T.J., Walter, A.A., Hoge, K.M. & Cramer, J.T. (2010). Acute Effects of Passive Stretching on the Electromechanical Delay and Evoked Twitch Properties. *Eur J Appl Physiol*, 108, 301-310.
- Cramer, J.T., Housch, 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. *J Strength Cond Res*, 18, 236-241.
- Cutton, D.M. & Landin, D. (2007). The Effects of Self-Talk and Augmented Feedback on Learning the Tennis Forehand. *J Appl Sport Psychol*, 19 (3), 288-303.
- Deetjen, P. & Speckmann E.J. (1999). *Physiologie* (3. Auflage). München/Stuttgart/Jena/Lübeck/Ulm: Urban & Fischer Verlag.
- Draper, D.O., Castel, J.C. & Caste, D. (1995). Rate of temperature increases in human muscle during 1 MHz and 3 MHz continuous ultrasound. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 22 (4), 142-150.
- Evjenth, O. & Hamberg, J. (1990). *Autostretching. Selber Dehnen. Ein vollständiges Handbuch über das Dehnen der Muskeln*. Alfta: Rehab Förlag.
- Faigenbaum, A.D., Bellucci, M., Bernieri, A., Bakker, B. & Hoorens, K. (2005). Acute Effects of Different Warm-Up Protocols on Fitness Performance in Children. *J Strength Cond Res*, 19, 376-381.
- Faigenbaum, A.D., McFarland, J.E., Scherdtmann, J.A., Ratamess, N.A., Kang, J. & Hoffmann, J.R. (2006). Dynamic Warm-Up Protocols, With and Without a Weighted Vest, and Fitness Performance in High School Female Athletes. *J Athl Train*, 41, 357-363.
- Faulkner, S.H., Ferguson, R.A., Gerrett, N., et al. (2013). Reducing Muscle Temperature Drop Post Warm-Up Improves Sprint Cycling Performance. *Med Sci Sports Exerc*, 45 (2), 359-65.

- Fletcher, I.M. (2010). The Effect of Different Dynamic Stretch Velocities on Jump Performance. *Eur J Appl Physiol*, 109, 491-498.
- Fletcher, I.M. & Amness, R. (2007). The Acute Effects of Combined Static and Dynamic Stretch Protocols on Fifty-Meter Sprint Performance in Track-and-Field Athletes. *J Strength Cond Res*, 21, 784-787.
- Fletcher, I.M. & Jones, B. (2004). The Effect of Different Warm-Up Stretch Protocols on 20-Meter Sprint Performance in Trained Rugby Union Players. *J Strength Cond Res*, 18, 885-888.
- Fletcher, I.M. & Monte-Colombe, M.M. (2010). An Investigation Into The Possible Physiological Mechanisms Associated With Changes in Performance Related to Acute Responses to Different Preactivity Stretch Modalities. *Appl Physiol Nutr Metab*, 35, 27-34.
- Fletcher, I.M. & Monte-Colombo, M.M. (2010). An Investigation Into the Effects of Different Warm-Up Modalities on Specific Motor Skills Related to Soccer Performance. *J Strength Cond Res*, 24, 2096-2101.
- Fowles, J.R., Sale, D. & MacDougall, J.D. (2000). Reduced Strength After Passive Stretch of Human Plantar Flexors. *J Appl Physiol*, 89, 1179-1188.
- Fradkin, A.J., Zazryn, T.R. & Smoliga, J.M. (2010). Effects of Warming-Up on Physical Performance: A Sytematic Review with Meta-Analysis. *J Strength Cond Res*, 24 (1), 140-148.
- Freitas, S., Mendes, B., Le Sant, G. & Andrade, R.J. (2018). Can Chronic Stretching Change the Muscle-Tendon Mechanical Properties? A Systematic Review. *Scand J Med Sci Sports*, 28(3), 794-806.
- Freitas, S., Vaz, J., Gomes, L. et al. (2015). A New Tool to Assess the Perception of Stretching Intensity. *J Strength Cond Res*, 29 (9), 2666-2678.

- Freiwald, J. (1994). Aufwärmen im Sport. Übungen für Vorbereitung und Cool-Down. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH.
- Freiwald, J. (2007). Dehnen. Ein Thema-fünf Perspektiven. Dehnen kann nutzen und schaden. Physiopraxis–Die Fachzeitschrift für Physiotherapie, 5 (10), 29-30.
- Freiwald, J. (2013). Optimales Dehnen. Sport-Prävention-Rehabilitation (2., überarbeitete Auflage). Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Freiwald, J., Engelhardt, M., Konrad, P. et al. (1999). Dehnen. Neuere Forschungsergebnisse und deren praktische Umsetzung. Manuelle Medizin, 37, 3-10.
- Friedrich, W. (2014). Optimales Trainerwissen. Sporttheorie und Sportpraxis für Trainer und Übungsleiter. Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Friedrich, W. (2016). Optimales Sportwissen. Grundlagen der Sporttheorie und Sportpraxis (3., überarbeitete und erweiterte Auflage). Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Funk, D.C., Swank, A.M., Mikla, B.M., Fagen, T.A., & Farr, B.K. (2003). Impact of Prior Exercise on Hamstring Flexibility: A Compariosn of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation and Static Stretching. Natl Str Cond Assoc J, 17 (3), 489-492.
- Gelen, E. (2010). Acute Effects of Different Warm-Up Methods on Sprint, Slalom Dribbling, and Penalty Kick Performance in Soccer Players. J Strength Cond Res, 24, 950-956.
- Gottschalk, S. (1989). Fakten zum Aufwärmen. In Deutscher Sportlehrerverband e.V. (Hrsg.), Sportunterricht, Lehrhilfen (6). Schorndorf: Hofmann.
- Granata, K.P., Padua, D.A. & Wilson, S.E. (2002). Gender Differences in Active Musculoskeletal Stiffness. Part II. Quantification of Leg Stiffness During Functional Hopping Tasks. J Elektromyography Kinesiology 12, 127-135.

- Gray, S.R., Soderlund, K., Watson, M., et al. (2011). Skeletal Muscle ATP Turnover and Single Fibre ATP and PCr Content During Intense Exercise at Different Muscle Temperatures in Humans. *Pflügers Arch*, 462 (6), 885-93.
- Grosser, M., Starischka, S. & Zimmermann, E. (2004). *Das neue Konditionstraining für alle Sportarten, für Kinder, Jugendliche und Aktive* (9., überarbeitete Auflage). München: BLV Verlagsgesellschaft mbH.
- Guissard, N. & Duchateau, J. (2004). Effect of Static Stretch Training on Neural and Mechanical Properties of The Human Plantar-Flexor Muscles. *Muscle Nerve*, 29, 248-255.
- Hadala, M. & Barrios, C. (2009). Different Strategies for Sport Injury Prevention in an America's Cup Yachting Crew. *Med Sci Sports Exerc*, 41 (8), 1587-96.
- Hatzigeorgiadis, A. Theodorakis, Y. & Zourbanos, N. (2004). Self-Talk in the Swimming Pool: the Effects of Self-Talk on Thought Content and Performance on Water-Polo Task. *J Appl Sport Psychol*, 16 (2), 138-50.
- Herbert, R., de Noronha, M. & Kamper, S. (2011). Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise (Review). *The Cochrane Collaboration*, 7, 1-50.
- Herda, T.J., Cramer, J., Ryan, E. & McHugh, M.P. (2008). Acute Effects of Static Versus Dynamic Stretching on Isometric Peak Torque, Electromyography, and Mechanomyography of the Biceps Femoris Muscle. *J Strength Cond Res*, 22, 809-817.
- Herda, T.J., Herda, N.D., Costa, P.B., Walter-Herda, A.A., Valdez, A.M. & Cramer, J.T. (2012). The Effects of Dynamic Stretching on the Passive Properties of the Muscle Tendon Unit. *J Sports Sci*, 31, 479-87.
- Hindle, K.B., Whitcomb, T.J., Briggs, W.O. & Hong, J. (2012). Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF): Its Mechanisms and Effects on Range of Motion and Muscular Function. *J Hum Kinet*, 31 (3), 105-113.

- Höss-Jelten, C. (2004). Untersuchungen zu den unmittelbaren Wirkungen von verschiedener Dehnmethoden auf ausgewählte Kraftparameter. München: Technische Universität München, Fakultät für Sportwissenschaft.
- Hoster, M. (1987). Zur Bedeutung verschiedener Dehnungsarten bzw. Dehnungstechniken in der Sportpraxis. *Die Lehre der Leichtathletik*, 26 (31), 1523-1526.
- Hough, P.A., Ross, E.Z. & Howatson G. (2009). Effects of Dynamic and Static Stretching on Vertical Jump Performance and Electromyographic Activity. *J Strength Cond Res*, 23 (2), 507-512.
- Jacobs, C.A. & Sciascia, A. D. (2011). Factors That Influence The Efficacy of Stretching Programmes for Patients With Hypomobility, *Sports Health*, 3 (6), 520-523.
- Johnson, J.J., Hrycaiko D.W., Johnson G.V., et al. (2004). Self-Talk and Female Youth Soccer Performance. *Sport Psychol*, 18 (1), 44-59.
- Kay, A.D. & Blazeovich, A.J. (2008) Reductions in Active Plantar Flexor Moment are Significantly Correlated with Static Stretch Duration. *Eur J Sport Sci*, 8, 41-46.
- Kay, A.D. & Blazeovich, A.J. (2012). Effect of Acute Static Stretch on Maximal Muscle Performance: A Systematic Review. *Med Sci Sports Exerc*, 44 (1), 154-164.
- Keil, C. (2007). Dehnen. Ein Thema-fünf Perspektiven. Dehnen verbessert die Beweglichkeit. *Physiopraxis–Die Fachzeitschrift für Physiotherapie*, 5 (10), 28-29.
- Khan, K.S., Kunz, R. Kleijnen, J. & Antes, G. (2004). Systematische Übersichten und Meta-Analysen. Ein Handbuch für Ärzte in Klinik und Praxis sowie Experten im Gesundheitswesen. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Klee, A. (2003). Methoden und Wirkungen des Dehnungstrainings. Die Ruhespannungs-Dehnungskurve-ihre Erhebung beim M. rectus femoris und ihre Veränderung im Rahmen kurzfristiger Treatments. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann.

- Klee, A. (o.J.). Neue Erkenntnisse aus der Trainingslehre erfahrbar machen. Verschiedene Dehnungsmethoden im Vergleich. Wuppertal: Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal, Fakultät für Sportwissenschaft.
- Klee, A. & Wiemann, K. (o.J.) Methoden und Wirkungen des Dehnungstrainings. Wuppertal: Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal, Fakultät für Sportwissenschaft.
- Knebel K.-P. (1985). Funktionsgymnasik. Reinbek: Rowohlt.
- Knudson, D. & Noffal, G. (2005) Time Course of Stretch-Induced Isometric Strength Deficits. *Eur J Appl Physiol*, 94, 348-451.
- Kokkonen, J., Nelson, A.G. & Cornwell, A. (1998). Acute Muscle Stretching Inhibits Maximal Strength Performance. *Res Q Exerc Sport*, 69 (4), 411-415.
- Konrad, A., Stafilidis, S. & Tilp, M. (2016) Effects of Acute Static, Ballistic, and PNF Stretching Exercise on the Muscle and Tendon Tissue Properties. *Scand J Med Sci Sports*, 27, 1070-80.
- Kubo, K., Kanehisa, H. & Fukunaga, T. (2003). Gender Differences in the Viscoelastic Properties of Tendon Structures. *Eur J Appl Physiol*, 88, 520-526.
- Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y. & Fukunaga, T. (2001). Influence of Static Stretching on Viscoelastic Properties of Human Tendon Structures in Vivo. *J Appl Physiol*, 90, 520-527.
- Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y. & Fukunaga, T. (2001). Is Passive Stiffness in Human Muscles Related to the Elasticity of Tendon Structures? *Eur J Appl Physiol*, 85, 226-232.
- Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y. & Fukunaga, T. (2002). Effect of Stretching Training on The Viscoelastic Properties of Human Tendon Structures in Vivo. *J Appl Physiol*, 92, 595-601.

- Letzelter, H. & Letzelter M. (1986). Krafttraining. Reinbeck: Rowohlt Verlag.
- Lindel, K. (2010). Muskeldehnung. Grundlagen, Differenzialdiagnostik, Therapeutische Dehnungen, Eigendehnungen (2., überarbeitete Auflage). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Little, T. & Williams, A.G. (2006). Effects of Different Stretching Protocols During Warm – Ups on High Speed Motor Capacities in Professional Soccer Players. J Strength Cond Res, 20, 203-207.
- Maeda, N., Urabe, Y., Fujii, E., Moriyama, N., Iwata, S. & Sasadai, J. (2016). The Effect of Different Stretching Techniques on Ankle Joint Range of Motion and Dynamic Postural Stability After Landing. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 56 (6), 692–98.
- Maenhout, A., Van Essel, V., Van Dyck, L., Vanraes, A. & Cools, A. (2012). Quantifying Acromioclavicular Distance in Overhead Athletes With Glenohumeral Internal Rotations Loss and the Influence of a Stretching Program. Am J Sports Med, 40, 2105-2112.
- Magnusson S.P., Simonsen, S.B., Aagaard, P., Sorensen, H. & Kjaer, M. (1996). A Mechanism for Altered Flexibility in Human Skeletal Muscle. J Physiol, 497 (1), 291-298.
- Magnusson, S.P., Simonsen, E. B, Aagaard, P., Dyhre-Poulsen, P., McHugh, M. P. & Kjaer, M. (1996). Mechanical and Physical Responses to Stretching With and Without Preisometric Contraction in Human Skeletal Muscle. Arch Phys Med Rehabil, 77(4), 373–378.
- Marschall, F. (1999). Wie beeinflussen unterschiedliche Dehnintensitäten kurzfristig die Veränderung der Bewegungsreichweite? Effects of Different Stretch-Intensity on the Acute Change of Range of Motion. Dtsch Z Sportmed, 50, 5-9.

- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (1991) Handbuch Trainingslehre. Schorndorf: Hofmann.
- McCrary, J.M., Ackermann, B.J. & Halaki, M. (2015). A Systematic Review of the Effects of Upper Body Warm-Up on Performance and Injury. *Br j Sports Med*, 1-9.
- McGowan, C.J., Pyne, D.B., Thompson, B.R. (2015). Warm-Up Strategies for Sport and Exercise: Mechanisms and Applications. *Sports Med*, 45, 1523-1546.
- McHugh, M. P., & Cosgrave, C. H. (2010). To Stretch Or Not to Stretch: The Role of Stretching in Injury Prevention and Performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20 (2), 169-181.
- McMillian, D.J., Moore, J., Hatler, B.S., & Taylor, D.C. (2006). Dynamic vs. Static Stretching Warm up: The Effect on Power and Agility Performance. *J Strength Cond Res*, 20, 492-499.
- Mellalieu, S. & Hanton, S. (2008). *Advances in applied sport psychology: a review*. Abingdon, UK: Routledge.
- Meng, J. (2002). Aufwärmen. Allgemeine Grundlagen des Aufwärmens. In Bayerische Landesstelle für den Schulsport (Hrsg.), *Auf- und Abwärmen ... aber richtig!* (2. aktualisierte Auflage, S.10-14). Donauwörth: Auer Verlag GmbH.
- Mizuno, T. (2017) Changes in Joint Range of Motion and Muscle-Tendon Unit Stiffness After Varying Amounts of Dynamic Stretching. *J Sports Sci Routledge*, 35, 2157-63.
- Molacek, Z.D., Conley, D.S., Evetovich, T.K. et al. (2010). Effects of Low- and High-Volume Stretching on Bench Press Performance in Collegiate Football Players. *J Strength Cond Res*, 24 (3), 711-6.

- Morse, C.I., Degens, H., Seynners, O.R. et al. (2008). The Acute Effect of Static Stretching on the Passive Stiffness of the Human Gastrocnemius Muscle Tendon Unit. *J Physiol*, 586 (1), 97-106.
- Nelson, A.G., Driscoll, N.M., Landin, D.K., et al. (2005). Acute Effects of Passive Muscle Stretching on Sprint Performance. *J Sports Sci*, 23 (5), 449-454.
- Opplert, J. & Babault, N. (2018). Acute Effects of Dynamic Stretching on Muscle Flexibility and Performance: An Analysis of the Current Literature. *Sports Med*, 48 (2), 299-325.
- Opplert, J., Genty, J.B. & Babault, N. (2016). Do Stretch Durations Affect Muscle Mechanical and Neurophysiological Properties? *Int J Sports Med*, 37, 673-679.
- Paradisis, G.P., Theodorou, A.S.A., Pappas, P.T., Zacharogiannis, E.G., Skordilis, E.K. & Smirniotou, A.S. (2014). Effects of Static and Dynamic Stretching on Sprint and Jump Performance in Boys and Girls. *J Strength Cond Res*, 28, 154-60.
- Pearce, A.J., Kidgell, D.J., Zois, J. & Carlson, J.S. (2009). Effect of Secondary Warm Up Following Stretching. *European J Appl Physio*, 105, 175-183.
- 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, 271-277.
- Racinais, S. & Oksa, J. (2010). Temperature and Neuromuscular Function. *Scand J Med Sci Sports*, 20 (3), 1-18.
- Ryan, E.D., Beck, T.W. Herda, T.J. et al. (2008). Do Practical Durations of Stretching Alter Muscle Strength. A Dose-Response Study. *Med Sci Sports Exerc*, 40 (8), 1529-1537.

- Ryan, E.D., Beck, T.W., Herda, T.J., Hull, H.R., Hartmann, M.J., Costa, P.B., Defreitas, J.M., Stout, J.R. & Cramer, J.T. (2008). The Time Course of Musculotendinous Stiffness Responses Following Different Durations of Passive Stretching. *J Orthop Sports Phys Ther*, 38, 632-639.
- Samuel M.N., Holcomb W.R., Guadagnoli M.A., Rubley M.D. & Wallmann H. (2008). Acute Effects of Static Stretching and Ballistic Stretching on Measures of Strength and Power. *J Strength Cond Res*, 22 (5), 1422-1428.
- Schnabel, G. & Thieß, G. (1993). *Lexikon Sportwissenschaft. Leistung-Training-Wettkampf. Band 1. A bis K.* Berlin: Sport und Gesundheit Verlag GmbH.
- Schönthaler, S., & Ohlendorf, K.(2002). Biomechanische und neurophysiologische Veränderungen nach ein-und mehrfach seriell passiv-statischem Beweglichkeitstraining (Vol. 3). Köln: Sport & Buch Strauß.
- Sekir, U., Arabaci, R., Akova, B. & Kadagan, S.M. (2010). Acute Effects of Static and Dynamic Stretching on Leg Flexor and Extensor Isokinetic Strength in Elite Woman Athletes. *Scand J Med Sci Sports*, 20 (2), 268-281.
- Shrier, I. (2004). Does Stretching Improve Performance? *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14 (5), 267-273.
- Silveira, G., Sayers, M. & Waddington, G. (2011). Effect of Dynamic Versus Static Stretching in the Warm-Up on Hamstring Flexibility. *Sport J*, 14, 1-8.
- Simic, L., Sarabon, N., & Markovic, G. (2013). Does Pre-Exercise Static Stretching Inhibit Maximal Muscular Performance? A Meta-Analytical Review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 23 (2), 131-48.
- Smith, C.A. (2004). The Warm-Up Procedure: To Stretch or Not to Stretch. A Brief Review. *J Ortop Sports Phys Ther*, 19, 12-17.

- Sölveborn, S.A. (1983). Das Buch vom Stretching. Beweglichkeitstraining durch Dehnen und Strecken. München: Mosaik Verlag GmbH.
- Sternad, D. (2000). Richtig Stretching (8., neu bearbeitete Auflage). München: BLV Verlagsgesellschaft mbH.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C. & Wisloff, U. (2005). Physiology of Soccer: an Update. Sports Med, 35, 501-536.
- 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, 371-378.
- Tod, D.A., Iredale, K.F., McGuigan, M.R., et al. (2005). „Psyching-Up“ Enhances Force Production During the Bench Press Exercise. J Strength Cond Res, 19 (3), 599-603.
- Trehearn, T. & Buresh, R. (2009). Sit-and-Reach Flexibility and Running Economy of Men and Women Collegiate Distance Runners. J Strength Cond Res, 23 (1), 158-162.
- Tsolakis, C., Douvis, A., Tsigganos, G., Zacharaogiannis, E. & Smirniotou, A. (2010). Acute Effects of Stretching on Flexibility, Power and Sport Specific Performance in Fencers. J Hum Kinet, 26, 105.114.
- Van den Berg, F., Cabri, J., Elvey, B., Gosselink, R., Haas, H.J., Heesen, G., Horst, R., Van Kampen, M., Oettmeier, R., Reybrouck T., Schöttker-Königer, T., Sinz, H., Slater, H., Steverding, M., Thacker, M.A., Watson, T. & Wilke, M. (2001). Angewandte Physiologie. 3 Therapie, Training, Tests. Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag.
- Vetter, R.E. (2007). Effects of Six Warm-Up Protocols on Sprint and Jump Performance. J Strength Cond Res, 21, 819-823.

- Weinberg, R.S. & Gould, D. (2011). Foundations of sport and exercise psychology. (5. Auflage). Champaign: Human Kinetics.
- Weineck, J. (2000). Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings (11. Auflage). Balingen: Spitta Verlag GmbH.
- Wiemann, K. (1991). Beeinflussung muskulärer Parameter durch ein zehnwöchiges Dehnungstraining. Sportwissenschaft, 21 (3), 295-306.
- Wiemann, K. (1994). Beeinflussung muskulärer Parameter durch unterschiedliche Dehnverfahren. In M. Hoster & H.-U. Nepper (Hrsg.), Dehnen und Mobilisieren (S.40-71). Waldenburger: Sport Consult.
- Wiemann, K. & Klee, A. (2000). Die Bedeutung von Dehnen und Stretching in der Aufwärmphase vor Höchstleistungen. Leistungssport, 30 (4), 5-9.
- Wiemeyer, J. (2002). Stretching-eine sinnvolle Vorbereitungsmaßnahme im Sport? Kritische Diskussion kurz-, mittel- und langfristiger Effekte statischen Dehnens. Spectrum der Sportwissenschaften, 14 (1), 53-80.
- Wilmore, J.H. & Costill, D.L. (1994). Physiology of Sport and Exercise. Champaign: Human Kinetics.
- Wilson, G.J., Murphy, A.J. & Pryor, J.F. (1994). Musculotendinous Stiffness: Its Relationship to Eccentric, Isometric, and Concentric Performance. J Appl Physiol, 76 (6), 2714-2719.
- Winchester, J.B., Nelson, A.G., Landin, D., Young, M.A. & Schexnayder, I.C. (2008). Static Stretching Impairs Sprint Performance in Collegiate Track and Field Athletes. J Strength Cond Res, 22 (1), 13-19.
- Winke, M.R., Jones, N.B., Berger, C.G. & Yates, J.W. (2010). Moderate Static Stretching and Torque Production of the Knee Flexors. J Strength Cond Res, 24 (3), 706-710.

- Woods, K., Bishop, P. & Jones, E. (2007). Warm-up and Stretching in the Prevention of Muscular Injury. *Sports Medicine*, 37 (12), 1089-1099.
- Wydra, G. (1993). Muskeldehnung-aktueller Stand der Forschung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 44 (3), 104-111.
- Wydra, G., Bös, K. & Karisch, G. (1991). Zur Effektivität verschiedener Dehntechniken. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 42 (9), 386-400.
- Wyon, M., Felton, L. & Galloway, S. (2009). A Comparison of 2 Stretching Modalities on Lower-Limb Range of Motion Measurements in Recreational Dancers. *J Strength Cond Res*, 23, 2144-2148.
- Yamaguchi, T & Ishii, K. (2005). Effects of Static Stretching for 30 Seconds and Dynamic Stretching on Leg Extension Power. *J Strength Cond Res*, 19, 677-683.
- Young, W.B. (2007). The Use of Static Stretching in Warm-Up for Training and Competition. *Int J Sports Physiol Perf* (2), 212-216.
- Young, W.B. & Behm, D.G. (2002). Should Static Stretching be Used During a Warm-Up for Strength and Power Activities? *Strength Cond J*, 24, 33-7.
- Young, W.B., Elias, G. & Power, J. (2006). Effects of Static Stretching Volume and Intensity on Plantar Flexor Explosive Force Production and Range of Motion. *J Sports Med Phys Fit*, 46, 403-11.

8.1. Eingeschlossene Studien

- Aguilar, A.J., DiStefano, L.J., Brown, C.N., Herman, D.C., Guskiewicz, K.M. & Padua, D.A. (2012). A Dynamic Warm-Up Model Increases Quadriceps Strength and Hamstring Flexibility. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (4), 1130-1141.

- Amiri-Khorasani, M. (2015). Acute Effects of Different Stretching Methods on Static and Dynamic Balance in Female Football Players. *International Journal of Therapy and Rehabilitation*, 22 (2), 68–73.
- Avloniti, A., Chatzinikolaou, A., Fatouros, I.G., Protoa, M., Athanailidis, I., Avloniti, C., Leontsini, D., Mavropalias, G. & Jamurtas, A.Z. (2016). The Effects of Static Stretching on Speed and Agility: One or Multiple Repetition Protocols? *European Journal of Sport Science*, 16 (4), 402-408.
- Avloniti, A., Chatzinikolaou, A., Fatouros, I.G., Avloniti, C., Protopapa, M., Draganidis, D., Stampoulis, T., et al. (2016). The Acute Effects of Static Stretching on Speed and Agility Performance Depend on Stretch Duration and Conditioning Level. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30 (10), 2767–2773.
- Ayala, F., De Ste Croix, M., Sainz de Baranda, P. & Santonja, F. (2015). Acute Effects of Two Different Stretching Techniques on Isokinetic Strength and Power. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 8 (3), 93-102.
- Beedle, B., Rytter, S.J., Healy, R.C. & Ward, T.R. (2008). Pretesting Static and Dynamic Stretching Does Not Affect Maximal Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (6), 1838-1843.
- Bishop, D. & Middleton G. (2013). Effects of Static Stretching Following a Dynamic Warm-up on Speed, Agility and Power. *Journal of Human Sport and Exercise*, 8 (2), 391-400.
- Blazevich, A.J., Gill, N.D., Kvorning, T., Kay, A.D., Goh, A.G., Hilton, B., Drinkwater, E.J. & Behm, D.G. (2018). No Effect of Muscle Stretching within a Full, Dynamic Warm-up on Athletic Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50 (6), 1258-1266.
- Bogdanis, G.C., Donti, O., Tsolakis, C., Smilios, I. & Bishop, D.J. (2019). Intermittent but Not Continuous Static Stretching Improves Subsequent Vertical Jump Performance in Flexibility-Trained Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33 (1), 203-210.

- César, E.P., da Silva, T.K., de Resende, C.S. & Rezende, Y.G.M. (2016). The Role of Static Stretching on Performance Variables and Induced Effects of Exhaustion Exercises in Brazilian Jiu-Jitsu Athletes. *Archives of Budo*, 12, 211-18.
- Costa e Silva, G., Silveira, A., Novaes, J., Di Masi, F., Conceicao, M. & Dantas, E. (2014). Acute Effects of Static and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching on Sprint Performance in Male Swimmers. *Medicina Dello Sport*, 67 (1), 119-28.
- Curry, B.S., Chengkalath, D., Crouch, G.J., Romance, M. & Manns, P.J. (2009). Acute Effects of Dynamic Stretching, Static Stretching, and Light Aerobic Activity on Muscular Performance in Women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (6), 1811-1819.
- Hammer, A.M., Hammer, R.L., Lomond, K.V. & O'Connor, P. (2017). Acute Changes of Hip Joint Range of Motion Using Selected Clinical Stretching Procedures: A Randomized Crossover Study. *Musculoskeletal Science and Practice*, 32, 70–77.
- Harmanci, H. & Karavelioglu, M.B. (2017). Effects of Different Warm-up Methods on Repeated Sprint Performance. *Biomedical Research-India*, 28 (17), 7540–7545.
- Krcmar, M., Xaverova, Z., Lehnert, M., Krcmarova, B., Simonek, J., Kanasova, J., Bogнар, G., Vanderka, M., Ruiz-Perez, I. & Ayala, F. (2018). Acute Effects of Different Durations of Static Stretching on the Eccentric Strength and Power of Leg Flexor Muscles. *Isokinetics and Exercise Science*, 26 (1), 43–52.
- Kruse, N.T., Barr, M.W., Gilders, R.M., Kushnick, M.R. & Rana, S.R. (2015). Effect of Different Stretching Strategies on the Kinetics of Vertical Jumping in Female Volleyball Athletes. *Journal of Sport and Health Science*, 4 (4), 364-370.
- Loughran, M., Glasgow, P., Bleakley, C. & McVeigh, J. (2017). The Effects of a Combined Static-Dynamic Stretching Protocol on Athletic Performance in Elite Gaelic Footballers: A Randomised Controlled Crossover Trial. *Physical Therapy in Sport*, 25, 47-54.

- Lowery, R.P., Joy, J.M., Brown, L.E., Oliveira de Souza, E., Wistocki, D.R., Davis, G.S., Naimo, M.A., Zito, G.A., & Wilson, J.M. (2014). Effects of Static Stretching on 1-Mile Uphill Run Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28 (1), 161-67.
- Marchetti, P. H., de Oliveira Silva, F.H.D., Soares, E.G., Serpa, E.P., Nardi, P.M.S., Vilela, G. & Behm, D.G. (2014). Upper Limb Static-Stretching Protocol Decreases Maximal Concentric Jump Performance. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13 (4), 945–50.
- Mojock, C.D., Kim, J.S., Eccles, D.W. & Panton, L.B. (2011). The Effects of Static Stretching on Running Economy and Endurance Performance in Female Distance Runners during Treadmill Running. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25 (8), 2170–76.
- Nuri, L., Ghotbi, N. & Faghihzadeh, S. (2013). Acute Effects of Static Stretching, Active Warm Up, or Passive Warm Up on Flexibility of the Plantar Flexor Muscles of Iranian Professional Female Taekwondo Athletes. *Journal of Musculoskeletal Pain*, 21 (3), 263–68.
- De Oliveira, F.C.L. & Rama, L. (2016). Static Stretching Does Not Reduce Variability, Jump and Speed Performance. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 11 (2), 237–46.
- Pacheco, L., Balias, R., Aliste, L., Pujol, M. & Pedret, C. (2011). The Acute Effects of Different Stretching Exercises on Jump Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25 (11), 2991–98.
- Pearce, A.J., Latella, C. & Kidgell, D.J. (2012). Secondary Warm-up Following Stretching on Vertical Jumping, Change of Direction, and Straight Line Speed. *European Journal of Sport Science*, 12 (2), 103–12.

- Reid, J.C., Greene, R., Young, J.D., Hodgson, D.D., Blazevich, A.J. & Behm, D.G. (2018). The Effects of Different Durations of Static Stretching within a Comprehensive Warm-up on Voluntary and Evoked Contractile Properties. *European Journal of Applied Physiology*, 118 (7), 1427–45.
- Ribeiro, A.S., Romanzini, M., Dias, D.F., Ohara, D., da Silva, D.R., Achour, A., Avelar, A. & Cyrino, E.S. (2014). Static Stretching and Performance in Multiple Sets in the Bench Press Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28 (4), 1158–63.
- Romero-Franco, N., Párraga-Montilla, J.A., Molina-Flores, E.M. & Jiménez-Reyes, P. (2018). Effects of Combining Running and Practical Duration Stretching on Proprioceptive Skills of National Sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Ryan, E.D., Everett, K.L., Smith, D.B., Pollner, D., Thompson, B.J., Sobolewski, E.J. & Fiddler, R.E. (2014). Acute Effects of Different Volumes of Dynamic Stretching on Vertical Jump Performance, Flexibility and Muscular Endurance. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 34 (6), 485–92.
- Sayers, A.L., Farley, R.S., Fuller, D.K., Jubenville, C.D. & Caputo, J.L. (2008). The Effect of Static Stretching on Phases of Sprint Performance in Elite Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (5), 1416–21.
- Siatras, T.A., Mittas, V.P., Mamieletzi, D.N. & Vawakoudis, E.A. (2008). The Duration of the Inhibitory Effects with Static Stretching on Quadriceps Peak Torque Production. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22 (1), 40–46.
- Silveira, Reinaldo do Nascimento da, Joni Marcio de Farias, Barbara Regina Alvarez, Ricardo Bif, und Jeferson Vieira. (2011). Acute Effect of Static Stretching in Agonist Muscle on the Levels of Activation and on Strength Performance of Trained Men. *Revista Brasileira De Medicina Do Esporte*, 17 (1), 26–30.

- Van Gelder, L.H., Bartz, S.D. (2011). The Effect of Acute Stretching on Agility Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25 (11), 3014–21.
- Wallmann, H.W., Christensen, S.D., Perry, D. & Hoover, D.L. (2012). The Acute Effects of Various Types of Stretching Static, Dynamic, Ballistic, and No Stretch of the Iliopsoas on 40-Yard Sprint Times in Recreational Runners. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 7 (5), 540–47.
- Werstein, K.M., & Lund, R.J. (2012). The Effects of Two Stretching Protocols on the Reactive Strength Index. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (6), 1564–67.
- Wilson, J.M., Hornbuckle, L.M., Kim, J.S., Ugrinowitsch, C., Lee, S.R., Zourdos, M.C., Sommer, B. & Panton, L.B. (2010). Effects of Static Stretching on Energy Cost and Running Endurance Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (9), 2274-79.

8.2. Internetquellen

- Cochrane (o.J.). Systematische Übersichtsarbeiten von Cochrane. Was ist eine systematische Übersichtsarbeit? Zugriff am 23.2.2019 unter <https://www.cochrane.de/de/systematische-uebersichtsarbeiten>
- Sampel, K., Stolz, V. & Zisch, B. (2007). Dehnübungen. Zugriff am 5.3.2019 unter [https://sport1.uibk.ac.at/lehre/lehrbeauftragte/Huber%20Reinhard/Dehnen_%DCbu ngen.pdf](https://sport1.uibk.ac.at/lehre/lehrbeauftragte/Huber%20Reinhard/Dehnen_%D0Cbu%20ngen.pdf)

9. Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: DIE 5 WICHTIGSTEN DEHNMETHODEN AM BEISPIEL DES DEHNENS DER ISCHIOCRURALEN MUSKELN (KLEE & WIEMANN, O.J., S.11)	22
ABBILDUNG 2: AUFBAU DER QUERGESTREIFTEN SKELETTMUSKULATUR (LINDEL, 2010, S.2)	29
ABBILDUNG 3: AUFBAU DES MUSKELS (EVJENTH & HAMBERG, 1990, S.242)	30
ABBILDUNG 4: MOTORISCHE EINHEIT, MUSKEL-UND SEHNENSPINDEL (EVJENTH&HAMBERG, 1990, S.243)	31
ABBILDUNG 5: BLUTVERSORGUNG (EVJENTH&HAMBERG, 1990, S.244)	31
ABBILDUNG 6: SARKOMER (VAN DEN BERG ET AL., 2001, S. 188 ZITIERT NACH BILLETER U. HOPPELER, 1994)	33
ABBILDUNG 7: SARKOMERE MIT AKTIN- UND MYOSINFILAMENTEN (LINDEL, 2010, S.3)	33
ABBILDUNG 8: KRAFTKURVE IN ABHÄNGIGKEIT DES DEHNUNGSGRADES DER MUSKULATUR (FREIWALD, 2013, S.45)	34
ABBILDUNG 9: DIE KRAFT UND IHRE VERSCHIEDENEN KRAFTFÄHIGKEITEN UND ERSCHEINUNGSWEISEN (WEINECK, 2000, S.237 ZITIERT NACH LETZELTER U LETZELTER, 1986, S.66)	37
ABBILDUNG 10: ANZAHL AN STUDIEN NACH DEM JAHR DER VERÖFFENTLICHUNG	42
ABBILDUNG 11: FLUSSDIAGRAMM DER EIN- UND AUSGESCHLOSSENEN STUDIEN	46
ABBILDUNG 12: ANZAHL AN STUDIEN NACH TEILNEHMER/INNENZAHLE	47
ABBILDUNG 13: ANZAHL AN STUDIEN NACH GESCHLECHT	48
ABBILDUNG 14: ANZAHL AN STUDIEN MIT FREIZEIT- UND LEISTUNGSSPORTLER/INNEN	49
ABBILDUNG 15: ANZAHL AN STUDIEN NACH DEN GETESTETEN PARAMETERN	50

10. Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: DEHNDAUER UND INTENSITÄTEN	50
TABELLE 2: ERGEBNISSE DER STUDIEN	53
TABELLE 3: MEILENSTEINE	116

11. Anhang

11.1. Meilensteine

Tabelle 3: Meilensteine

Datum	Meilensteine
August 2018	Erste Kontaktaufnahme bezüglich Diplomarbeitsbetreuung und Themenvorauswahl
11.12.2018	Festlegung des Themas und Besprechung der Vorgehensweise
29.01.2019	Besprechung von Ein- und Ausschlusskriterien von Studien
September 2018 – Jänner 2019	Datenbankrecherche, Lesen von Abstracts und Volltexten, Festlegung der tatsächlich verwendeten Studien
11.2. – 17.2.2019	Verfassung eines Exposés
18.2. – 24.3. 2019	Bearbeitung des Theorieteils und der Methodik
25.3. – 13.4. 2019	Tabellarische Auflistung der Ergebnisse aller Studien
April 2019 – Juni 2019	Überarbeitung diverser Anmerkungen, Präsentation der Ergebnisse, Diskussion und Ausblick

11.2. Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift