



universität
wien

Diplomarbeit / Diploma Thesis

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Die Anpassungsleistung der Dehnbarkeit der ischiocruralen
Muskulatur in Abhängigkeit des Lebensalters“:
Systematischer Review

Verfasst von / submitted by

Daniel Lehner

Angestrebter akademischer Grad / in partial fulfillment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /

UA 190 482 299

degree programme code as it appears on
the student record sheet:

Studienrichtung lt. Studienblatt /

Lehramtstudium

degree programme as it appears on
the student record sheet:

UF Bewegung und Sport

UF Psychologie und Philosophie

Betreut von / Supervisor: Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

I. DANKSAGUNG

Den größten Dank möchte ich meiner Familie, allen voran meinen Eltern widmen, die mich seit Beginn der Schulzeit stets begleitet, unterstützt und mich zum Reflektieren angeregt haben. Dies gilt auch meinen Großeltern, Sabine und Jürgen und meinem Bruder, für die erholsamen Stunden in Audorf, wenn einem in Wien der Himmel auf den Kopf zu fallen drohte.

Besonders bedanken will ich mich auch bei dem Betreuer meiner Diplomarbeit Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan für seine Hilfsbereitschaft. Sie verstehen es wirklich, durch Kompetenz und Gelassenheit auf menschlicher Ebene neue Blickwinkel zu vermitteln und wirksame Impulse zu setzen.

Von unschätzbarem Wert sind natürlich die Freundschaften, die während des Studiums geschlossen wurden sowie jene, die schon seit Ewigkeiten halten und es auch noch ewig werden. Danke Entenhausen, Schmelz Spezis, Bande und GHC für die zahllosen schönen Erfahrungen, Gespräche und auch die Ablenkungen. Nur allzu leicht kann man in manchen Lebenssituationen das Wesentliche aus den Augen verlieren, aber durch euch werde ich mir dessen immer wieder bewusst.

Ebenfalls herzlich bedanken möchte ich mich bei meiner Freundin Ricarda, die mir seit Jahren bei allen meinen Vorhaben eine Stütze ist. Viele endlos scheinende Tage in der Uni oder der Bibliothek wurden erträglich durch den Gedanken, am Abend wieder bei dir zu sein.

II. ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund: Die Beweglichkeit nimmt mit dem Alter stetig ab, wie der Flexindex von De Araújo und Claudio Gil Soares (2004) zeigt. Ein regelmäßiges Dehntraining wird als die wirkungsvollste Methode um Beweglichkeit zu verbessern beschrieben (Klee und Wiemann, 2005). Ob und gegebenenfalls wie sich die Anpassungsleistung der Muskulatur hinsichtlich des Alters verändert, wurde bislang jedoch noch kaum erforscht. Um diesen Sachverhalt soll sich in dieser systematischen Übersichtsarbeit angenommen werden. Zu vergleichen gilt es die Effekte unterschiedlicher längerfristiger Dehnintervention der ischiocruralen Muskulatur von Kindern (<18), jüngeren Erwachsenen (18 – 64) und älteren Erwachsenen (>64) sowie die physiologischen und neurologischen Eigenschaften bzw. Veränderungen im Zuge dessen.

Methodik: Dafür wurden die Referenzdatenbanken Web of Science und PubMed nach relevanten Studien durchsucht. Mithilfe von Schlagwörtern wurde die Suche eingeschränkt und mittels zuvor formulierter Ein- und Ausschlusskriterien die Anzahl der Studien auf 21 reduziert. Die Ergebnisse wurden anhand der untersuchten Parameter tabellarisch dargestellt und im Anschluss verglichen und diskutiert.

Ergebnisse: Die Resultate zeigen, dass ein längerfristiges Dehntraining einen großen Effekt auf die Anpassungsleistung der ischiocruralen Muskulatur jüngerer und älterer Erwachsener hat, auf Kinder und Jugendliche einen mittleren. Aufgrund der unterschiedlichen Studiendesigns und der Tatsache, dass für die Altersgruppe 18 – 64 weitaus mehr Arbeiten gefunden wurden als für die anderen beiden, lässt sich die Repräsentativität jedoch zumindest in Frage stellen.

Konklusion: Dehnen wirkt sich unabhängig vom Alter positiv auf die Beweglichkeit aus, dennoch herrscht auf diesem Gebiet noch großer Forschungsbedarf. Vor allem Studien, in denen der Altersgang und die einhergehenden Veränderungen berücksichtigt werden, sind kaum vorhanden. Vergleiche unterschiedlicher Dehnmethoden in dieser Hinsicht können in Zukunft für die praktische Anwendung sehr hilfreich sein.

III. ABSTRACT

Background: Mobility steadily decreases with age, as the Flexindex by De Araújo and Claudio Gil Soares (2004) shows. Regular stretching training is described as the most effective method of improving mobility (Klee and Wiemann, 2005). However, whether if and how the adaptation capacity of the musculature changes with age, has hardly been researched so far. This systematic review will deal with this issue. It is necessary to compare the effects of different long – term stretching interventions of the ischiocrural musculature of children and adolescents (<18), younger adults (18 - 64) and older adults (>64) as well as the physiological and neurological characteristics or changes in the course of this.

Methods: The reference databases Web of Science and PubMed were searched for relevant studies. Keywords were used to limit the search and the number of studies was reduced to 21 by means of previously formulated inclusion and exclusion criteria. The results were presented in tabular form based on the examined parameters and then compared and discussed.

Results: The results show that long – term stretching has a large effect on adaptation performance of the ischiocrural musculature of younger and older adults and a medium effect on children and adolescents. However, due to the different study designs and the fact that far more studies were found for the age group 18 - 64 than for the other two, the representativeness can at least be questioned.

Conclusion: Stretching has a positive effect on mobility regardless of age, but there is still a great need for research in this area. In particular, studies that take into account the age gait and the associated changes are hardly available. Comparisons of different stretching methods in this respect could be very helpful for practical application in the future.

Inhalt

1	Einleitung.....	6
2	Theoretische Grundlagen	8
2.1	Der Begriff „Beweglichkeit“	8
2.2	Grundlagen der Beweglichkeit	9
2.2.1	Anatomisch-biologische Einflussfaktoren.....	11
2.2.1.1	Sehnen	11
2.2.1.2	Viscoelastizität	12
2.2.1.3	Titin	16
2.2.1.4	Dehnungsverhalten des Muskels	16
2.2.2	Neurophysiologische Einflussfaktoren	19
2.2.2.1	Propriozeptoren	19
2.2.3	Geschlechtsbedingte Einflussfaktoren	20
2.2.4	Altersbedingte Einflussfaktoren	21
2.2.5	Bewegungsmangel	24
3	Grundlagen des Dehntrainings	26
3.1	Gestaltung eines Dehntrainings.....	27
3.1.1	Dehnmethoden.....	27
3.1.2	Dehntraining	28
3.1.2.1	Dynamische Dehnmethoden	30
3.1.2.2	Statische Dehnmethode.....	30
3.1.2.3	PNF.....	31

4	Methoden.....	33
4.1	Systematic Review	33
4.2	Datenbankrecherche	33
4.3	Ein- Ausschlusskriterien:.....	37
4.3.1	Studiendesign.....	38
4.3.2	Population	38
4.3.3	Studiendurchführung	40
4.3.4	Untersuchungsparameter	40
4.4	Bewertung der Primärstudien	41
5	Darstellung der Ergebnisse.....	44
5.1	Kinder	53
5.2	Jüngere Erwachsene	55
5.3	Ältere Erwachsene.....	60
6	Diskussion	63
7	Conclusio und Aussichten.....	70
8	Literaturverzeichnis.....	72
9	Abbildungsverzeichnis	79
10	Tabellenverzeichnis	80
11	Eidesstattliche Erklärung	81

1 Einleitung

Beweglichkeit wird weitgehend als der maximal mögliche Radius in einem Gelenk definiert und ist bei Weitem nicht nur im athletischen Kontext von Bedeutung. Die meisten alltäglichen Tätigkeiten erfordern ein gewisses Maß an Bewegung, was die Lebensqualität, falls dieses nicht vorhanden ist, stark einschränken kann. Die wohl bedeutendste Vorgehensweise um die Bewegungsamplitude zu erweitern ist das Dehnen (Weineck, 2010; Freiwald, 2013; Albrecht & Meyer, 2013).

Der genaue Grund warum Dehnen die Beweglichkeit erhöht ist nach wie vor unklar, so Cayco, Labro und Gorgon (2019) in ihrer Metaanalyse zur Dehnfähigkeit der ischiocruralen Muskulatur. Es gibt gegenwärtig eine Vielzahl an Erklärungsansätzen, zur Verminderung der Muskel- und Sehnen Steifheit durch regelmäßige Dehnübungen (Konrad, A., Stafilidis & Tilp, M., 2017). Weitere Studien belegen, dass Dehnen die Viskosität der Sehnen herabsetzt und somit die Elastizität des Bindegewebes erhöht, so z.B. jene von Kubo, Kanehisa und Fukunaga (2002). Andere Studien wiederum konnten keine Veränderung der Steifheit der Sehnen, jedoch in den Muskelfasern nachweisen (Kay, Husbands-Beasley & Blazeovich, 2015). Es wird auch angenommen, dass längerfristiges Dehnen zu strukturellen Änderungen des Muskel- und Bindegewebes führen (Harvey, Herbert & Crosbie, 2002). Auf der anderen Seite, wird häufig davon ausgegangen, dass nicht die Veränderung von Gewebe, sondern die Toleranz im Zuge einer Dehnintervention zum Zuwachs der maximalen Bewegungsreichweite führen (Kay et al., 2015).

Auch wenn es nach wie vor ein relativ uneinheitliches Bild von den mechanischen bzw. neurologischen Prozessen, welche zu einer Erweiterung bzw. zum Erhalt der Flexibilität führen, gibt, ist man sich inzwischen einig, dass regelmäßiges Dehnen einen positiven Effekt auf den altersbedingten Beweglichkeitsverlust hat (Seijas und Paidotribo, 2015). Die interzelluläre Grundsubstanz des Bindegewebes bildet in Verbindung mit Dehydration und in Folge dessen vermehrter Kollageneinlagerung die Hauptursache der Bewegungseinschränkung im Alter (Sölch, 2015). Da das Bindegewebe jedoch von äußerst druck- und spannungsempfindlichen Mechanorezeptoren durchzogen ist, sind eben solche Strukturen auch für prophylaktische und therapeutische Interventionen wie Dehnen zugänglich. Die Sportwissenschaft hat zu Beginn der 90er Jahre die Entwicklungspsychologie der Lebensspanne für sich entdeckt (Willimczik, Voelcker-Rehage & Wiertz, 2006). Forschungsprojekte wie „Motor Development Across the Life Span“ (MODALIS) oder die MoMo - Studie untersuchen die motorische Entwicklung in Abhängigkeit des Alters. Cihlar (2013) untersucht die grundsätzliche Trainierbarkeit und Plastizität von Beweglichkeit im „dritten Lebensalter“ (von 61 bis 88 Jahren) und konnte in

sämtlichen Bereichen (hauptsächlich Dehnübungen, aber auch Reaktion, Rhythmisierung, Koordination sowie Kraftübungen) mittlere bis große Fortschritte verzeichnen. Er betont mehrfach die Wichtigkeit der subjektiv wahrgenommenen Kompetenzen, mit den „actions of daily living“ (ADL) fertig zu werden. Auch wenn die Beweglichkeit bereits im Kindesalter ihren Höhepunkt erreicht und im Alter stetig abnimmt (Medeiros, Araújo und Araújo, 2013; Cech und Martin, 2012), so scheint die Wirksamkeit eines Dehntrainings vom Alter weitgehend unabhängig zu sein, so Wydra (2008, zit. n. Haab, 2017, S. 3).

Wie sich ein längerfristiges Dehnprogramm nun in Abhängigkeit auf das Lebensalter, im Speziellen auf Kinder, Erwachsene und ältere Erwachsene im Vergleich auswirkt, wurde bisher noch kaum untersucht. Des Weiteren kritisieren Hottenrott, K., Ketelhut und Hottenrott, L. (2017, S. 264), dass sich die Leitlinien der WHO für motorisches Training zwischen den Altersgruppen 5 – 17 Jahre, 18 – 64 Jahre und über 64 sich nur minimal unterscheiden und hier konkrete Angaben fehlen. In diesem Kontext ergeben sich zwei Forschungsfragen, welchen im folgenden Systematic Review auf den Grund gegangen werden soll:

- Wie unterscheiden sich die Anpassungserscheinungen der ischiocruralen Muskulatur an ein Dehntraining in Abhängigkeit des Lebensalters?
- Welche Dehnmethoden eignen sich am besten für die jeweilige Altersgruppe?

Hinsichtlich dieser Fragestellungen soll diese Arbeit eine Orientierung für die zukünftige Forschung auf diesem Gebiet sein und aufzeigen, in welche Richtung es noch intensiveren Untersuchungen bedarf. Um dies im höchstmöglichen Maß zu gewährleisten, werden im Folgenden die Studien nach strengen Ein- und Ausschlusskriterien ausgewählt und in Folge dessen auf ihre Qualität und Validität geprüft. Doch vor der Darstellung und Ausarbeitung der Primärstudien, wird in den nächsten beiden Kapiteln die Thematik theoretisch erläutert.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen der Theorie erläutert. Da es sich keineswegs um eine unumstrittene Thematik handelt wird zunächst auf das Wort „Beweglichkeit“ eingegangen, unterschiedliche Definitionen, was man in der Literatur allgemein darunter versteht und Abgrenzungen. Danach stehen Faktoren im Fokus, die Einfluss auf die Beweglichkeit des Menschen haben. In dieser Arbeit werden anatomische, neurobiologische, geschlechtsspezifische und altersbedingte Einflussfaktoren bearbeitet.

2.1 Der Begriff „Beweglichkeit“

Da im Forschungsbereich der Dehnung keine einheitliche Bezeichnung für den Begriff der Beweglichkeit vorliegt, kommen hier oft Missverständnisse auf. Albrecht und Meyer (2005) beispielsweise unterscheiden die häufig synonym auftretenden Begriffe aus der Forschung: Gelenkbeweglichkeit, Gelenkigkeit, Dehnfähigkeit, Flexibilität und Beweglichkeit.

Beweglichkeit nach Weineck (2010, S. 735) ist ein eigenständiger Aspekt der Leistungsfähigkeit im Sport, der innerhalb der motorischen Hauptbeanspruchungsformen eine Mittelstellung zwischen konditionellen und koordinativen Fähigkeiten einnimmt. Sie gilt als elementare Voraussetzung für qualitativ, sowie quantitativ gute Bewegungsausführungen (ebd., S. 737). Freiwald, J. (2009, S. 18) definiert Beweglichkeit als die maximal mögliche Amplitude in einem Gelenk. Er zählt weiter eine Vielzahl an Begriffserklärungsansätzen von Autoren des angloamerikanischen Raumes zum Terminus „Flexibility“ auf. Diese *als Freiheit, sich zu bewegen*, bezeichnen Goldthwait, Brown, Swaim und Kuhns (1941) und Metheny (1952); vom normalen Bewegungsumfang von Gelenken und Gewebe als Reaktion auf aktive oder passive Dehnung, ist bei HALVORSON (1989) die Rede. Da diese Bestimmungen jedoch durch mangelnde Präzision keine Eindeutigkeit bringen, gelten sie auch als nicht sehr hilfreich. Es bleibt vor allem die Frage offen, wie „normale Beweglichkeit“ definiert ist, oder welches Beweglichkeitslevel ein Optimum für die Gesundheit bzw. den Alltag darstellt (Medeiros, H. Baptista de Oliveira, Araújo, D. Sardinha Mendes Soares de & Araújo, C. Gil Soares de, 2013).

Meinart und Bayer (2018) stellen fest, dass Mobility und Stretching oftmals gleichgesetzt wird, da man mit Beweglichkeit auch meist Dehnen assoziiert. Jedoch müssen diese Methoden, auch wenn sie beide das Ziel haben, den Bewegungsumfang zu vergrößern, sorgfältig voneinander unterschieden werden.

2.2 Grundlagen der Beweglichkeit

Im Allgemeinen der Begriff der Beweglichkeit in zwei Unterbegriffe geteilt. Die *Dehnungsfähigkeit*, welche die Muskeln, Bänder, Sehnen, Haut und die Kapselapparate betreffen und die *Gelenkigkeit*, welche sich auf die vererbte, anatomische Struktur der Gelenke zurückführen lässt (vgl. Abb.1) (Weineck, 2010; Gärtner 2013). Aus diesem Grund lässt sich die Gelenkigkeit im Gegensatz zur Dehnungsfähigkeit nur in einem relativ begrenzten Umfang durch regelmäßiges Training verbessern (Weineck, 2010, S. 741).

Erscheinungsformen der Beweglichkeit

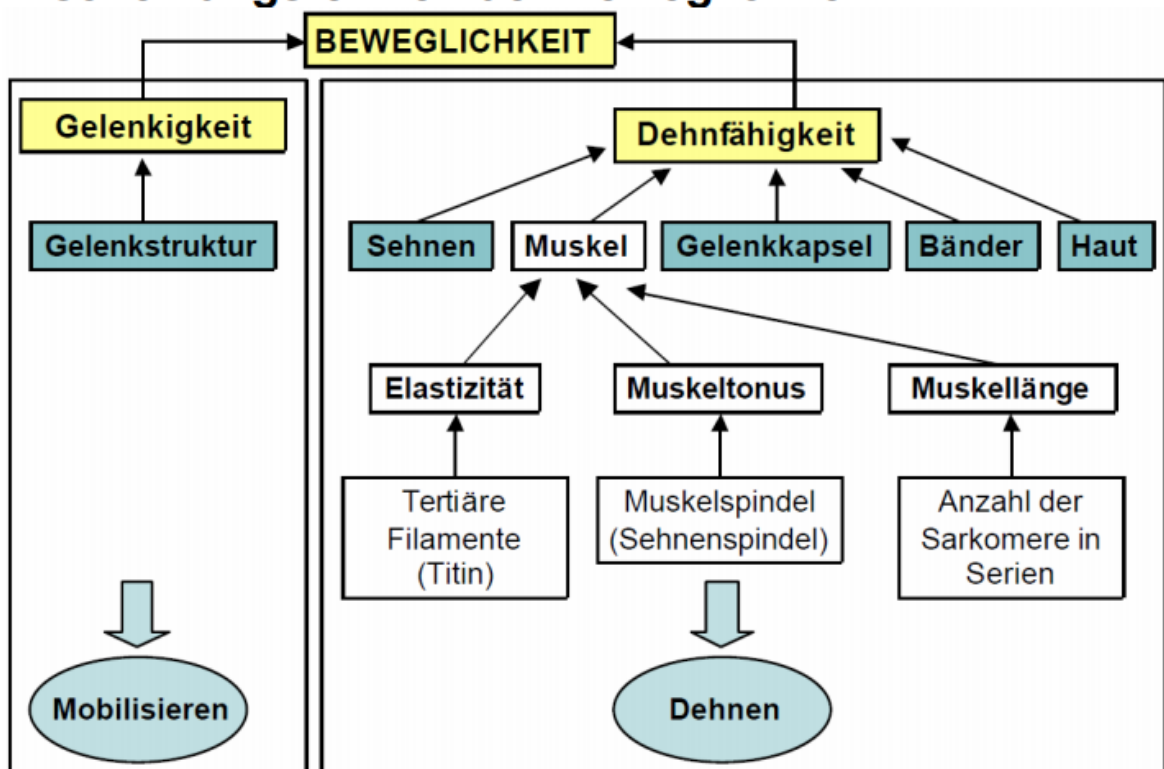


Abbildung 1: Erscheinungsformen der Beweglichkeit (Gärtner, 2013, S. 4)

Die Beweglichkeit als „die maximal mögliche Amplitude in einem Gelenk“ (Freiwald, 2013, S.18) wird in Winkelgraden [°] angegeben. Das primäre Ziel des Dehntrainings ist eine Erweiterung der „Range of Motion“ (ROM) (Haab, Martini, Baluktsian & Wydra, G., 2017). Dies kann als Bewegungsreichweite (BRW) ins Deutsche übersetzt werden (Vetter, Marschall & Haab, 2016). Vetter et. al geben als zweites vorrangiges Ziel des Beweglichkeitstrainings den Ausgleich neuro – muskulärer Dysbalancen an. Flexibilität ist notwendig für effiziente Bewegungsausführung, was bei eingeschränkter Beweglichkeit der Gelenke zu einer fehlerhaften Körperausrichtung bzw. Kompensationsmustern, chronischer

Muskelsteifheit, einem erhöhten Verletzungsrisiko führen kann (Wallmann, 2009). Da Gelenke die mechanischen Bewegungsabläufe überhaupt erst erlauben, bezieht sich die Flexibilität immer auf ein oder mehrere Gelenke. Auch der Kontext, in dem sie benötigt wird ist von Bedeutung, so unterscheiden sich die Beweglichkeitsansprüche im Sport von jenen der alltäglichen Lebensbewältigung.

Limitiert wird die Beweglichkeit von vielen Faktoren. Einerseits natürlich von der Beschaffenheit der Muskeln, Sehnen und dem umliegenden Bindegewebe, andererseits von den Knochenstrukturen, Fettgewebe, diversen Verletzungen, der Haut, Haltungsproblemen, dem Geschlecht und dem Alter (Arnheim & Prentice, 1997 zit. n. Wallmann, 2009, S. 356).

Grundsätzlich lässt sich über Beweglichkeit aussagen, dass Frauen beweglicher sind als Männer (Freiwald, 2013; Albrecht & Meyer, 2015) und dass sich mit dem Alter immer mehr Bindegewebe in den Muskeln einlagert, wodurch es zu einer Einschränkung der Beweglichkeit kommt. Tatsächlich beginnt der Verlust der Beweglichkeit schon mit der Geburt, so Seijas (2016), jedoch wird auf die unterschiedlichen Einflussfaktoren dann im nächsten Kapitel genauer eingegangen.

„Auf die Muskelspannung und Muskellänge wirken unterschiedliche physiologische Einflussgrößen, nämlich neurophysiologische, strukturelle sowie biophysikalische, welche wiederum durch vasogene, viskose und nutritive Komponenten geprägt werden. [...] Um indizierte Anpassungen durch spezifische und effektive Trainingsreize zu generieren, ist es notwendig zu wissen, welche Muskeln welche Veränderungsansprüche aufweisen, in welchem kausalen Zusammenhang die biophysikalisch und/oder neurophysiologisch determinierten Reize mit der metabolischen, strukturellen, kontraktile Adaptation stehen und welche Konsequenzen die angestrebten Veränderungen im neuromuskulären System (z.B. Haltung, Leistung, Schmerzgeschehen) sowie auf die Gelenkphysiologie haben.“
(Gisler, 2007, S. 139).

2.2.1 Anatomisch-biologische Einflussfaktoren

Die Beweglichkeit bzw. die Bewegungsreichweite eines Gelenks hängt von den Faktoren des aktiven und passiven Bewegungsapparates ab.

Unter dem *passiven Bewegungsapparat* bzw. dem Skelettsystem gehören Knochen, der sehr unelastische Bandapparat, sowie jene Strukturen, die an der Bildung des Gelenks beteiligt sind, sprich die Gelenksfläche, die Gelenkskapsel. Knochen und Bänder sind Elemente, die Lasten übertragen und bis auf minimale elastische Verformungen ihre Gestalt beibehalten (Richard & Kullmer, 2013). Gelenke sind Anordnungen von gelenkbildenden Knochen und Bändern, die eine gewisse Bewegungsmöglichkeit erlauben. Auch die bewegungshemmenden, das Gelenk umgebenden Massen zählen auch zum passiven Apparat. Es handelt sich darum vorwiegend um konstitutionelle Faktoren (Klee & Wiemann, 2005, S. 20).

Der *aktive Bewegungsapparat* oder das Muskelsystem, also der entscheidende für die Beweglichkeit in ihrer Gesamtheit, setzt sich vorwiegend aus konditionellen Faktoren zusammen. Muskeln sind in der Lage, aktiv ihre Gestalt zu ändern und über Sehnen Kräfte auf den passiven Bewegungsapparat auszuüben (Richard & Kullmer, 2013). Ein Muskel kann sich jedoch aktiv nur verkürzen, nicht verlängern. Wird ein Muskel für eine Gelenkbewegung kontrahiert, wird nicht nur das Gelenk bewegt, sondern gleichzeitig der Antagonist gedehnt. Zu den Eigenschaften zählen die Dehnfähigkeit und die Nachgiebigkeit der Muskeln, die über das jeweilige Gelenk verlaufen, die muskuläre Entspannungsfähigkeit, sowie die Fähigkeit, Dehnbelastungen auszuhalten (Klee & Wiemann, 2005, S. 20).

2.2.1.1 Sehnen

Muskeln und Sehnen bilden eine funktionelle Einheit, eine sogenannte *Muskel-Sehnen-Einheit*, oder *muscle – tissue – unit* (MTU). Sowohl bei der Kontraktion, als auch bei der Dehnung, übertragen die Sehnen die Kräfte der Muskulatur auf das Knochengewebe (Freiwald, J., 2013, S. 71). Sehnen bestehen zum Großteil aus relativ unelastischen kollagenen Bindegewebsfasern. Wird nun eine starke Krafteinwirkung entwickelt, oder sich der zugehörige Muskel gedehnt, strafft sich auch die Sehne. Diese verändert ihre Länge um etwa 1%. Ab einer Längenänderung von etwa 3% - 4% kommt es zu Mikrotraumen, d.h. bleibenden Längenänderungen, die jedoch nur bei Verletzungen vorkommen. Ab einer

Längenzunahme von etwa 8% dem „yield – point“ zerreißt die Sehne gänzlich (Freiwald, J., 2013, S. 72).

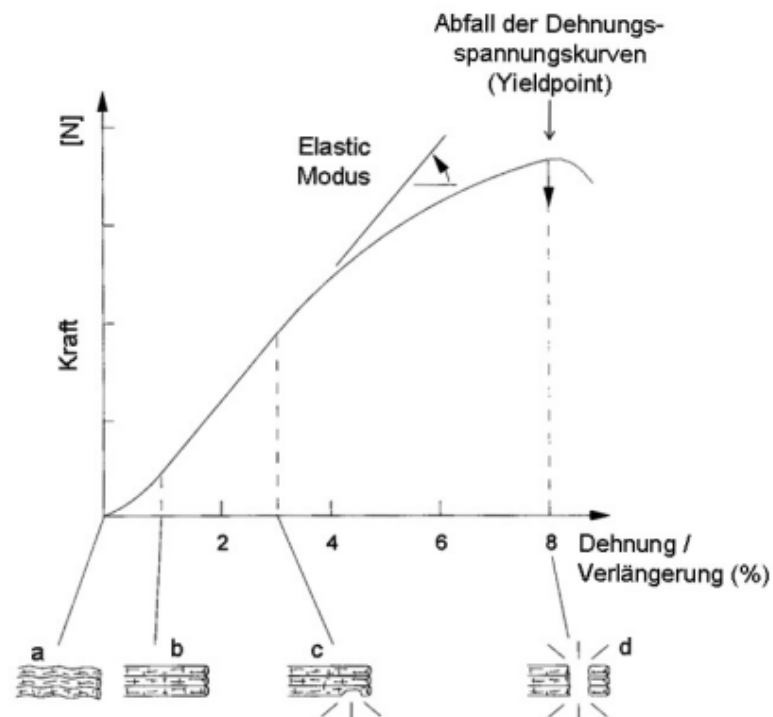


Abbildung 2: Die Beziehung der Kraft [N] mit der Dehnung von Sehnen (Kannus, Jozsa & Jozsa, 1997, S. 101)

2.2.1.2 Viscoelastizität

Die Eigenschaften des Muskels sind abhängig von dessen Hauptbestandteilen: den Muskelzellen und dem Bindegewebe (Albrecht & Meyer, 2015). Muskelzellen besitzen plastische Eigenschaften, das heißt, sie setzen einer Muskeldehnung keinen großen Widerstand entgegen (Levangie & Norkin, 2011).

Jegliches Bindegewebe jedoch ist viskoelastisches Material: Sie vereinen Eigenschaften von Elastizität und Viskosität. Elastizität beschreibt die Fähigkeit eines Körpers, nach einer Deformation wieder die Ursprungslänge zu erreichen. Dies setzt die Einwirkung einer Kraft voraus. Die Elastizität ist abhängig vom Kollagen- und Elastinhaushalt, sowie deren

Zusammenspiel, so Curwin (2005). Wenn also Kraft auf ein elastisches Material wie einen Muskel einwirkt, verlängert sich dieser und Energie wird darin gespeichert.

Viskosität ist eine flüssige Eigenschaft, der Widerstand eines Materials zum Flow. Sie hängt vom Proklykane und vom Wasserhaushalt des Gewebes ab. Muskeln mit hoher Viskosität haben also einen höheren Widerstand gegen Deformation als jene mit niedriger Viskosität, welche sich leicht verformen lassen (Curwin, 2005).

Klee (2003, S. 301) beschreibt die Viskoelastizität als [...] *äußerst plastische Eigenschaften des Muskels wie der Längenzunahme bei einer Dehnung mit gleichbleibende Dehnungsspannung, durch eine Spannungsrelaxation bei einer Dehnung bis zu einer gleich bleibenden Länge und durch Hystersisschleifen.*

- Der Effekt des Längenzuwachses des Muskels während einer anhaltenden Dehnung mit einer konstanten Dehnungsspannung nennt sich *Creeping*.
- Von der *Spannungsrelaxation* spricht man, wenn eine konstante Länge des Muskels gehalten wird und mit der Zeit die Dehnungsspannung abnimmt.
- Bei einem Dehnungs – Entdehnungszyklus, ist die Entlastungskurve eine andere als die Belastungskurve (Abb 3). Der Muskel geht nicht völlig in auf die Ausgangslänge zurück. Bei der Entlastung des Muskels geht etwas an Dehnungsspannung verloren, da der Muskel nicht nach dem mechanischen Prinzip arbeitet ($\text{Arbeit} = \text{Kraft} \times \text{Weg}$). Die Energie, die bei der Dehnung gewonnen wird, wandert nicht zur Gänze wieder in die Verkürzungsarbeit. Ein kleiner Teil der Energie geht verloren, hauptsächlich als Hitze oder durch Reibung (Curwin 2005, S. 87ff).

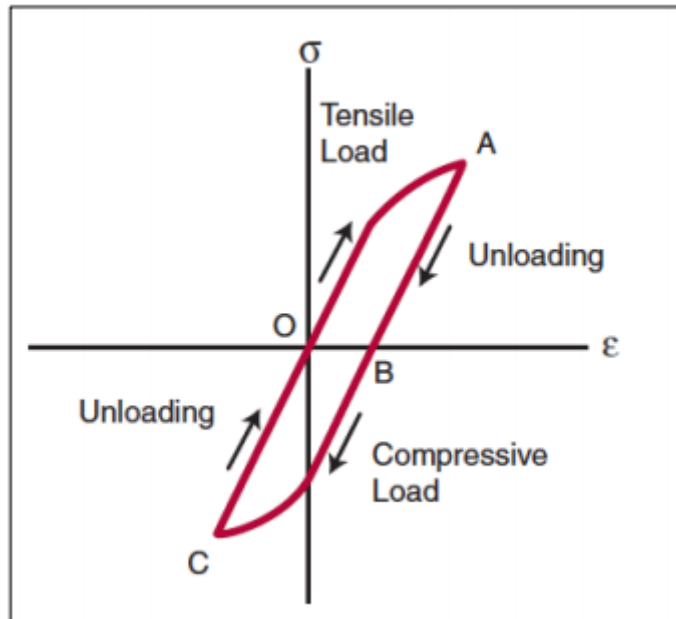


Abbildung 3: Dehnungs- Entdehnungskurve. Die Hysterese misst die Fläche zwischen den beiden Kurven. (Curwin 2005, S. 88)

Die viskoelastischen Dehneffekte Creeping, die Hysterese und die Spannungsrelaxation, können zusammengefasst als *Dehnungsrückstand* bezeichnet werden (Höss-Jelten, 2004, S. 14). Dieser beschreibt eine kurzfristige Längenveränderung des Muskels welcher für bestimmte Zeit durch einen Dehnreiz verursacht worden ist.

Die extrazelluläre Matrix füllt (EZM) ist ein Netzwerk, welches den Raum zwischen dem Gewebe ausfüllt. Sie trägt durch die stark wasserhaltfähige Hyaluronsäure einen großen Teil zur Aufrechterhaltung des Wasserhaushalts des Gewebes bei. Der Faseranteil der EZM setzt sich hauptsächlich aus besonders reißfesten kollagenen Proteinen und elastischen Fasern, dem Elastin, zusammen (Christen, Jaussi & Benoit, 2016). Kollagen ist der Hauptbestandteil des Bindegewebes und nimmt etwa 25% bis 30% der Proteine eines Säugetieres ein (Curwin, 2005).

Der Anteil des Bindegewebes eines Muskels beträgt etwa 10 – 15% (Albrecht & Meyer, 2015), wobei jede einzelne Muskelzelle in eine elastische Bindegewebshülle namens Endomysium gepackt ist. Das Perimysium ist eine stärkere bindegewebige Schicht, die die Muskelfaserbündel umgibt. Der gesamte Muskel, der aus einer Vielzahl dieser Bündel besteht, wird vom sehr zugfesten Epimysium zusammengehalten, welches wiederum von der Muskelfaszie umgeben und somit von anderen Muskeln getrennt wird (Albrecht & Meyer, 2005)

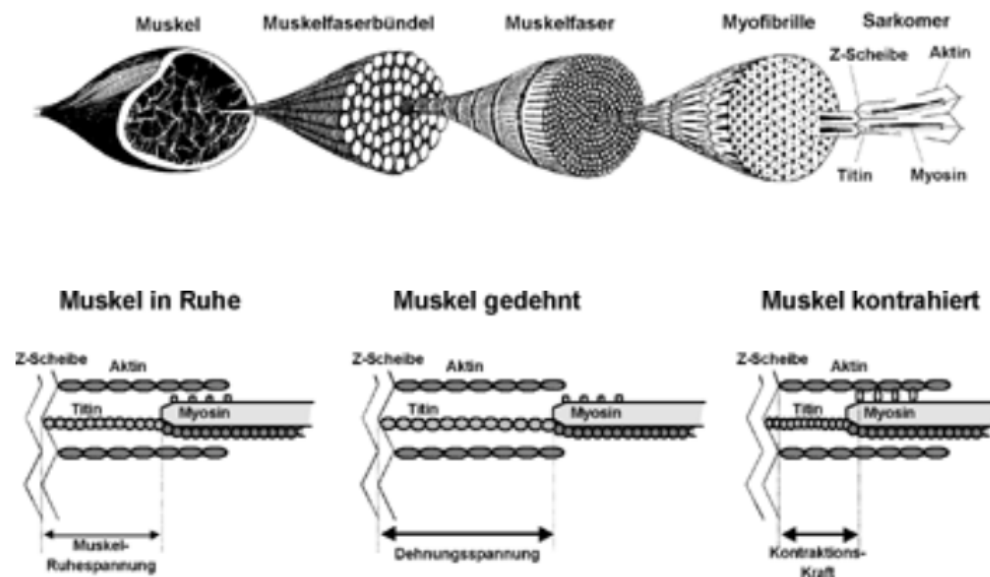


Abbildung 4: Muskelaufbau und Muskelfaser während einer Dehnung. (Wiemann, Klee, Stratmann, 1998, S.111 – 118 zit. n. <http://www.sportunterricht.de/lksport/titin.html>, Zugriff am 21.6.2019)

Innerhalb der einzelnen Muskelfasern sind in Bezug auf das Dehnen ausschließlich die Myofibrillen, die Funktionseinheit der Muskelzelle relevant (Klee & Wiemann, 2004). Mit einer Dicke von etwa 1µm verläuft sie durch die gesamte Muskelfaser. Die einzelnen Sarkomere werden von den Z-Scheiben voneinander getrennt und setzen sich aus den Aktin- und Myosinfilamenten zusammen. Diese beiden Filamente können sich um einen unbestimmten Betrag überlappen, was bei der Muskelkontraktion eine große Rolle spielt.

Bei der Dehnung und Entdehnung des Muskels ist jedoch ein anderes Filament, nämlich das Titin verantwortlich (Klee & Wiemann, 2004). Es hält die Myosinfilamente permanent unter Spannung und nähert nach einer Dehnung diese wieder an die Z-Scheibe an. (Maruyama et al., 1984) entfernten in einem Experiment die Titinfilamente aus den Sarkomeren und konnten im Zuge dessen den Verlust der Dehnungsspannung in den betroffenen Muskelfasern feststellen, was die alleinige Verantwortung für die Dehnungsspannung den Titinfilamenten zuschreibt.

2.2.1.3 Titin

Das Bindegewebe, speziell das Protein Titin hat die größte Bedeutung für die Beweglichkeit (Albrecht & Meyer, 2015). Das Titin zieht die auseinandergezogenen Aktin- und Myosinfilamente wieder in ihre Ruhelage zurück (vgl. Abb.4), was das Titin zum wichtigsten Faktor der mechanischen Ruhespannung (Freiwald, J., 2013) sowie der Entwicklung der maximal tolerierbaren Zugkraft macht (Glück, Schwarz, Hoffmann & Wydra, G., 2002). Es erstreckt sich über die Länge eines Halbsarkomers und hat einen Anteil von etwa 10% der Gesamtmuskelmasse.

Die Bedeutung der Titinfilamente wurde erst sichtbar, als man intakte und von der Bindegewebshülle befreite Muskelfasern im Vergleich dehnte (Freiwald, J., 2013, S. 42). Die Dehnungskurven, die Abnahme der Dehnungsspannung unter Dauerdehnung und das Zurückgehen in den Ausgangszustand unterscheiden sich kaum. Daraus kann man schließen, dass die Faszie, welche die Muskulatur umgibt, erst bei der Überschreitung des physiologischen Dehnungsbereiches des Sarkomers, einen Einfluss auf die Dehnungsspannung hat. Die Titinfilamente ändern aber ihre mechanischen Eigenschaften nicht, deren Dehnkurven bleiben auch nach einem längerfristigen Dehntraining identisch (Freiwald, 2013, S. 45) Die Ruhespannung des Muskels lässt sich durch Dehntraining also nur reduzieren, indem der viskoelastische Widerstand herabgesetzt wird. Dieser *Aufwärmeeffekt* hält jedoch nur wenige Minuten an (Klee & Wiemann, 2005).

2.2.1.4 *Dehnungsverhalten des Muskels*

Sobald sich ein Gelenk durch eine von außen einwirkende Kraft streckt, werden der Ursprung und der Ansatz eines Muskels voneinander entfernt – der Muskel wird gedehnt (Klee & Wiemann, 2004). Nimmt die Dehnung zu, muss der Muskel bzw. das Titin dieser von außen einwirkenden Kraft einen Widerstand entgegensetzen, damit steigt die Dehnungsspannung. Dies geschieht exponentiell, die in der Abbildung 5 der Ruhespannungs – Dehnungskurve dargestellt wird.

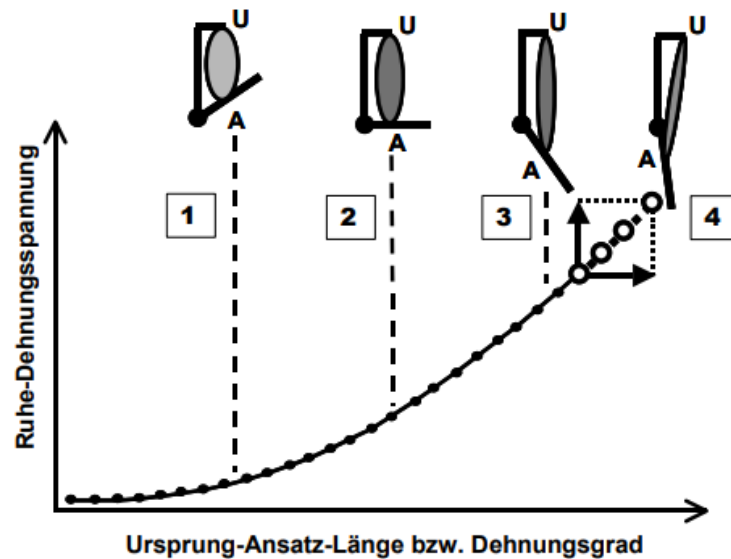


Abbildung 5: Die Ruhespannungs-Dehnungskurve (Klee und Wiemann, 2004, S.93)

Wenn nach der ersten Dehnung die dehnende Kraft verschwindet, ziehen die Titinfilamente durch ihre Rückstellkraft den Muskel wieder zusammen. Bei der zweiten Dehnung lässt sich nun feststellen, dass die Spannung im submaximalen Bereich etwas niedriger ist, als bei der vorangegangenen und die Dehnungsspannung sowie die Gelenksreichweite einen höheren Maximalwert erreicht. Dies liegt laut Klee und Wiemann (2004) daran, dass sich die Person an die Dehnungsspannung gewöhnt und höhere Dehnungsspannungen toleriert. Ein kurz- aber auch ein längerfristiges Dehntraining über mehrere Wochen ändert jedoch weder die Ruhespannung noch die Muskellänge. Sobald der sogenannte Aufwärmeeffekt nach etwa 15 – 60 Minuten abgeklungen ist, sind die Dehnungskurven nach und vor dem Training im submaximalen Bereich wieder ident, die Kurve im maximalen Bereich kann jedoch noch steigen aufgrund der eben genannten Toleranz.

Nach Gisler (2007) und Freiwald (2013), kann auch eine strukturelle, dauerhafte Verlängerung der Muskellänge möglich sein. Zum einen in der Muskelfaser durch die Zunahme der Sarkomerzahl, sowohl in Serie als auch im Querschnitt und aufgrund der Veränderung der elastischen Eigenschaften von Kreuzbrücken. Des Weiteren passen sich das myogene Bindegewebe, sowie die myofaszialen Systeme an eine konsequente Reizsetzung an. Gisler spricht vom physiologischen Vorgang der Längenadaption, welcher evolutionär gesehen alle Lebewesen begleitet. Aus dieser Perspektive geht diese Behauptung aber auch mit Klee und Wiemann (2004) einher, welche eine Änderung der Muskellänge durch ein Dehntraining zwar ausschließen, ändert sich jedoch langfristig die

Funktion des Arbeitswinkels im täglichen Gebrauch kann sich auch die Optimallänge des Muskels verändern um seine optimale Filamentüberlappung zu erreichen.

Ähnlich berichtet Gärtner (2016) von einer möglichen funktionellen Anpassung der Muskulatur, welche eben auch nicht nur auf ein über Monate bzw. Jahre durchgeführtes Dehntraining, sondern auch auf eine Adaption an den alltäglich zu leistenden Arbeitswinkel zurückzuführen ist. Goldspink (1994 zit. n. Gärtner 2016, S.8) geht davon aus, dass jene Funktion der Anpassung der Zahl der Sarkomere unterliegt, welche im Falle eines bewegungsarmen Lebensstils ab- bzw. bei regelmäßiger Ausreizung der Bewegungsamplitude im Alltag zunimmt.

Die Muskulatur und ihre Zusammensetzung der Sarkomere hängen stark von der genetischen Veranlagung ab (Freiwald, J., 2013). Obwohl noch wirklich bewiesen werden konnte, welche Wachstumsfaktoren die Muskelzellen benötigen, ob durch längerfristige Dehninterventionen genetische Information verändert werden kann, oder die Zunahme der in Serie geschalteten Sarkomere tatsächlich von einem herkömmlichen Dehnprogramm erklärt werden kann, gehen viele Forscher davon aus, dass es durch mechanische Einflüsse beim Dehnen zu einer Stimulation des Zellkerns und zu einer strukturellen Anpassung dessen kommt (Freiwald, 2013).

Konrad, A. und Tilp, M. (2014) hingegen haben in ihrer Studie, ebenso wie Kubo et al. (2002) und Mahieu et al. (2007), einen Effekt eines mehrwöchigen statischen Dehntrainings, weder auf funktionelle Parameter wie die Dehnungsspannung oder die maximale Kontraktionsgeschwindigkeit, noch auf strukturelle Parameter wie Muskel- oder Sehnensteifheit und die Muskelfaserlänge nachweisen können. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass eine Verbesserung der Dehnbarkeit im Zuge eines mehrwöchigen Stretchtrainings nicht der Verlängerung des Muskels oder des Sehnengewebes zugrunde liegen. Sie vermuten, dass vor allem eine durch regelmäßiges Training entwickelte Toleranz im Zuge eines Anpassungsvorgangs der für die Schmerzen verantwortlichen Rezeptoren (Nozizeptoren) zu einem Zuwachs des RoM führt, sprich die Vergrößerung der Bewegungsreichweite hauptsächlich neuromuskulären Effekte zugrunde liegt.

2.2.2 Neurophysiologische Einflussfaktoren

Die Beweglichkeit und Dehnfähigkeit hängt neben den anatomischen Eigenschaften der Gelenke und des Muskelgewebes auch stark vom Nervensystem ab. Für die sensorische und motorische Versorgung der Muskeln durch mehrere hundert Nervenzellen im Rückenmark, ist das Zentralnervensystem verantwortlich (Klee & Wiemann, 2005, S. 32). Jede dieser Nervenzellen, auch *Motoneuronen* genannt, innerviert mehrere hundert Muskelfasern. Das Motoneuron, die davon ausgehende Nervenfasern und die innervierte Muskelfaser werden zu einer motorischen Einheit zusammengefasst. Mit der Information aus den motorischen Zentren des Gehirns und den einwirkenden Einflüssen, setzt das Motoneuron Befehle an die Muskelfasern (Klee & Wiemann, 2005).

2.2.2.1 Propriozeptoren

Propriozeptoren sind Rezeptoren der Tiefensensibilität. Sie nehmen Reize der Gelenke, Muskeln und Sehnen wahr und leiten diese über das Rückenmark an das Kleinhirn und die Großhirnrinde weiter und berichten so über Position und Aktivitätszustand der betroffenen Region (Schubert, 2019).

Durch die *Muskelspindeln*, die sich an den Faserhüllen der Muskelfasern befinden, wird der Dehnungsgrad des Muskels gemessen. Die Muskelfasern bestehen aus zwei kontraktile Enden und einem Mittelstück, welches Dehnrezeptoren enthält, von wo aus über sensorische Nervenfasern der Dehnungsgrad an das Rückenmark, sowie an das Gehirn vermittelt wird (Klee & Wiemann, 2005, S. 34). Die Muskelspindeln stellen die wichtigsten Propriozeptoren des Körpers dar. Sie sind Bestandteil des somatosensorischen Systems und informieren das Gehirn über die Position und Bewegung des eigenen Körpers im Raum und die relative Befindlichkeit der Körperteile zueinander (Bear, Connors & Paradiso, 2018).

Torres, Pinho, Duarte und Cabri (2013) untersuchten den Dehneffekt auf die Muskelregeneration nach exzentrischer Belastung an 56 untrainierten jungen Männern. Bei allen Probanden führte ein ein- bzw. mehrmaliges Training zu einer signifikanten Erholung der Stiffness bei. Nach 24 Stunden ließ dieser Effekt jedoch nach, eine Delayed – Onset Muscle Soreness (DOMS), eine verzögerte Form von Muskelkater, setzte ein. Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass bei exzentrischem Training die Fasern in den Muskelspindeln verletzt werden. Dehnen wiederum scheint die Sensibilität der Muskelspindeln herabzusetzen und mehr Bewegung des Muskels zu erlauben.

Eine weitere Quelle propriozeptiver Inputs sind die *Golgi – Sehnenorgane*. Sie messen bzw. überwachen die Muskelspannung und damit auch die Kontraktionskraft (Bear et al., 2018). Im Gegensatz zu den Muskelspindeln, die parallel zu den Muskelfasern verlaufen, befinden sich die Golgi-Sehnenorgane am Übergang vom Muskel zur Sehne und sind daher seriell angeordnet. Während die Aktivität der Ia-Fasern in den Muskelspindeln Information über die Länge des Muskels an das Rückenmark liefert, senden die Ib-Fasern der Golgi-Sehnenorgane Informationen über die Muskelspannung. Mithilfe dieses neuronalen Netzwerkes aus dem zentralen Nervensystem, sowie der Rezeptoren, die Meldungen den Zustand der Gelenke, Haut, Bindegewebe und Schmerz liefern, agieren die Motoneuronen (Klee und Wiemann, 2005, S. 34).

2.2.3 Geschlechtsbedingte Einflussfaktoren

Bereits in sehr jungen Jahren macht sich ein Unterschied der Beweglichkeit in Bezug auf das Geschlecht bemerkbar. Krug, Worth, Finger, Damerow und Manz (2019) verglichen die Werte der „*Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland*“ (KiGGS) des Robert Koch-Institutes und konnten feststellen, dass bereits im Alter von 4 – 10 Jahren erzielen Mädchen in beweglichkeitsbezogenen und koordinativen Aufgaben bessere Ergebnisse erzielen als Jungen, die wiederum Vorteile in ausdauer- und kraftbezogenen Aufgabenbereich haben.

Tendenziell, so Freiwald, J. (2013, S. 144), sind Frauen beweglicher als Männer, wobei natürlich individuelle Abweichungen die Regel sind. Der Grund liegt bei physiologischen und anatomischen Differenzen, unterschiedlicher Muskelmasse sowie unterschiedlichen Eigenschaften der Muskulatur und des Bindegewebes. Wohl auch der hormonelle Unterschied spielt eine Rolle, so weisen Frauen beispielsweise in der Schwangerschaft eine wesentlich höhere Beweglichkeit in der Schwangerschaft auf, so Wallmann (2009). Schwankungen der Hormone könnten auch eine Rolle spielen bei Bandlaxizität in bestimmten Gelenken. Aber einige der Unterschiede dürften auch gesellschaftlicher Natur sein. Cihlar (2013) beispielsweise schneidet in seiner Studie auch Motivationen und Gründe zum Sporttreiben an und bemerkt, dass diese auch vom Geschlecht abhängen. So treiben Frauen Sport vornehmlich aus sozialen und körperlich-gesundheitlichen Motiven, Männer hingegen sind eher an Herausforderungen und Wettbewerben orientiert. Daraus kann man schließen, dass Frauen eher zu körperbewussten Aktivitäten, die Stretching und dergleichen beinhalten, tendieren und dadurch auch bewusster ihre Beweglichkeit

trainieren. Cihlar vermutet, dass aus diesem Grund auch vor allem bei älteren Menschen vermehrt Frauen an Studien teilnehmen und Interventionsgruppen beitreten. Jedoch betont er auch, dass geschlechtsspezifische Trainierbarkeit und Motivationslagen noch viel zu selten untersucht worden seien.

2.2.4 Altersbedingte Einflussfaktoren

Seit Anfang der 90er Jahre, setzt sich das Konzept der Entwicklungspsychologie der Lebensspanne, langsam in der Sportwissenschaft durch Willimczik et al. (2006). In einem vierjährigen Forschungsprojekt namens „*Motor Development Across the Life Span*“ kurz „MODALIS“ beispielsweise, wurde die sportmotorische Entwicklung über die Lebensspanne an 1206 Probanden im Alter von 6 bis 89 Jahren untersucht und eine starke Multidirektionalität zwischen den einzelnen Dimensionen der Motorik für einzelne Phasen des Lebenslaufs festgestellt. Die Beweglichkeit gilt als einzige motorische Hauptbeanspruchungsform, die ihre Maximalwerte im Kindesalter (Weineck, 2010), bzw. bereits bei der Geburt (Seijas, 2016) erreicht. Dies deckt sich mit diversen Studien, wie zum Beispiel mit jener des Motorik-Moduls (MoMo – Studie), welche Daten zur Beweglichkeit mittels Rumpfbeugen von 4464 Kindern zwischen 4 und 17 Jahren erhoben haben Wagner, Worth, Schlenker und Bös (2010). Cech und Martin (2012) berichten von einem Flexibilitätsverlust vom 5 – 8 bis zum 12 – 13 Lebensjahr, dann wieder von einem leichten Zuwachs an Beweglichkeit bis 18. Auch neueste Studien verzeichnen einen ähnlichen altersabhängigen Verlauf der Bewegungsreichweite. Cejudo et al. (2019) haben fünf Altersgruppen von 10 bis 19 Jahren auf die Beweglichkeit verschiedenster Gelenke (ohne Dehnintervention) getestet. Die 10 – 12Jährigen verzeichneten in den meisten Tests die besten Werte, nur bei der Hüftflexion waren die 18 – 19 - jährigen den jüngeren voraus. Medeiros, H. Baptista de Oliveira et al. (2013) verglichen anhand der Daten von 6000 Proband/innen aus Brasilien, die über 33 Jahre gesammelt wurden, den altersbedingten Verlust der ROM in den sieben wichtigsten Gelenken (Sprunggelenk, Knie, Hüfte, Rumpf, Handgelenk, Ellbogen, Schulter) des Menschen. Diese Werte wurden mittels eines Verfahrens, das von de Araújo, Claudio Gil Soares (2004) entwickelt wurde, dem Flexitest, erhoben und mit dem Alter in Relation gesetzt. In der Abbildung 6 zum Flexibilitätsindex kann man bei beiden Geschlechtern nach Höchstwerten im 6. bzw. 7. Lebensjahr, einen Linearen Rückgang der Bewegungsreichweite erkennen, wobei dieser Rückgang bei den weiblichen Testpersonen zwar gering, jedoch signifikant langsamer verläuft. Rumpf- und

Schultergelenk werden im Alterungsprozess am heftigsten in Mitleidenschaft gezogen (Medeiros, H. Baptista de Oliveira et al., 2013).

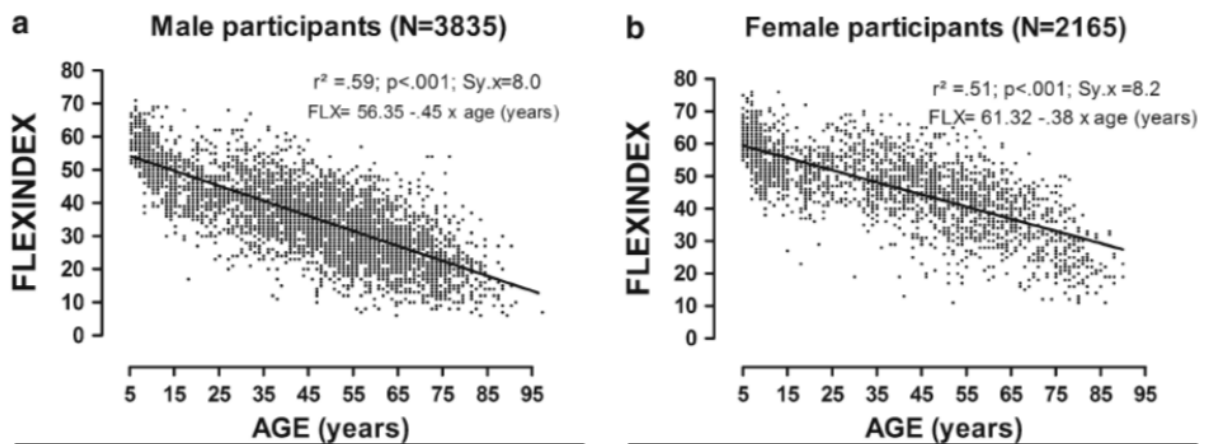


Abbildung 6: Lineare Regressionsgleichungen des Flexindex in Bezug auf das Alter: a) männliche, b) weibliche Versuchspersonen. (Medeiros et al., 2013, S.5)

Welche Faktoren, die mit unserem Lebensalter einhergehen, wirken sich nun so negativ auf die Beweglichkeit des menschlichen Körpers aus?

Im **Kindes- und Jugendalter** spielt vor allem das Wachstum eine große Rolle, bei der Bewegungseinschränkung. Das *pubertäre Längenwachstum*, so Freiwald (2013, S. 145), schafft neue Verhältnisse zwischen dem Skelett und der Muskulatur des Rumpfes bzw. der Extremitäten. Auch ein üblicherweise schnelleres Wachstum der Knochen als jenes der Muskeln, die sich nur verzögert an die Knochenlänge anpassen, hemmt die Bewegungsreichweite Pubertierender. Auch eine hormonelle Umstellung ist im Jugendalter zu verzeichnen, welche eine Zunahme der Muskelmasse und in Folge dessen eine Umstellung des Skeletts und eine Verfestigung des Bindegewebes zur Folge hat (Klee & Wiemann, 2005, S. 16). Kinder verfügen nämlich im Gegensatz zu Erwachsenen über weichere Knochenschäfte, noch nicht verknöcherte Epiphysenfugen, sowie Gelenkhöcker mit noch geringer Ausprägung, so Klee und Wiemann (2005).

Im **Erwachsenenalter** strukturiert sich die Muskulatur um. Die Muskelmasse nimmt zwischen dem 20. und 65. Lebensjahr um etwa 40% ab. Dies hängt natürlich vom Grad der

körperlichen Betätigung ab, jedoch ist selbst bei regelmäßig trainierenden Menschen eine beträchtliche Abnahme der Skelettmuskulatur erwiesen (Sölch, 2015).

Es herrscht grundsätzlich Einigkeit darüber, dass vor allem die zunehmende Einlagerung von Bindegewebe in der Muskulatur und die gleichzeitige Abnahme der Elastizität des Bindegewebes durch die verminderte Wassereinlagerung (Klee und Wiemann, 2005; Freiwald, 2013) zu einer altersbedingten Bewegungseinschränkung führen. Die Muskulatur strukturiert sich um. Die Anzahl der Fibrozyten, elastischer Fasern und der Durchmesser des kollagenen Gewebes nehmen ab.

Auch die inter- und intramolekularen Cross-links des Kollagens verstärken sich mit dem Alter (Spoerl, Huhle & Seiler, 1998), was zu einer erhöhten Steifigkeit und einem Rückgang der Reißfestigkeit des Bindegewebes führt. Cross-links sind Querverbindungen im Bindegewebe, auch Wasserstoffbrücken genannt, die sich vor allem bei Immobilisation, Durchblutungsstörungen oder eben im Alter bilden (Freiwald, J., 2013).

Im letzten Jahrzehnt beschäftigt man sich vermehrt mit dem myofaszialen System, welches den menschlichen Bewegungsapparat keine isolierten Muskeln, Sehnen oder Gewebeabschnitte, sondern synergistisches Netz betrachtet, in welchem es ausschließlich integrierte funktionale Verbindungen gibt (Sölch, 2015). Dieses Bindegewebe besteht hauptsächlich aus Elastin, Kollagen, Retikulin und Interzellulärsubstanz (extrazelluläre Matrix), ist durchsetzt von Mechanorezeptoren und reagiert auf Muskelspannung bzw. fremdinduzierten Druck. Die wässrige extrazelluläre Grundsubstanz, die das zelluläre Gewebe zusammenhält ist einerseits für den Abtransport von Stoffwechselprodukten, als auch die freie Beweglichkeit einzelner Muskeln innerhalb des Gesamtsystems zuständig. Diese Grundsubstanz passt sich den Anforderungen des Körpers an, darum tendiert sie dazu, in ruhenden oder angespannten Körperregionen zu dehydrieren, bzw. stärker viskös zu werden (Myers, T. W., 2010).

Ruhephasen über einen längeren Zeitraum, führen zu Kollagenanlagerungen in den Muskeln, die die Elastizität verändern und das Gewebe zähflüssig machen. Dies führt zu Gewebestrukturversteifungen und somit zu Immobilität. Aus diesem Grund erachtet es Sölch (2015) nicht als sinnvoll das Alter als für die zunehmenden Dysfunktionen des Bewegungsausmaßes zu manifestieren, sondern eher „[...] *funktionale Zusammenhänge für strukturelle Veränderungen verantwortlich zu machen*“, so Sölch (2015, S. 39) und fasst zusammen: „*Nachlassende Beweglichkeit ist also darauf zurückzuführen, dass vorherrschende Spannungsmuster zu einer Deformation der Faszienhäute führen, die wiederum das Bewegungsspektrum der lokalen Muskulatur einschränkt.*“

Lim, Choi, Widrick, Phillips und Frontera (2019) haben viskoelastische Eigenschaften einzelner Muskelfasern älterer Erwachsener ($79 \pm 3,8$) und jüngerer Erwachsener ($25,6 \pm 4,5$) getestet und verglichen.

Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Dehnungsspannung und die viskoelastische Funktion in den Muskelfasern der älteren Erwachsenen höher waren als bei den jüngeren. Diese Ergebnisse belegen, dass nicht nur Veränderungen der extrazellulären Matrix zu einer erhöhten Versteifung im Alter führen. Auch intrazellulär finden Verfallsprozesse statt, wie in dieser Studie mit dem *force decay index* anhand der Viskosität und der Stressrelaxation gezeigt wurde. Sie vermuten, dass Veränderungen in den Muskelzellen zu einer erhöhten passiven Dehnungsspannung sowie einer erhöhten viskosen Funktion im alternden Skelettmuskel führen. Diese Veränderungen könnten in Kombination mit den Veränderungen in der extrazellulären Matrix und dem Bindegewebe zu der altersbedingten Muskelsteifheit führen (Lim et al., 2019).

2.2.5 Bewegungsmangel

Der wesentliche Aspekt bei der Abnahme der Beweglichkeit, so scheint man sich in der Forschung einig, ist die Adaption eines bewegungsärmeren Lebensstils über die Jahre (Medeiros, H. Baptista de Oliveira et al., 2013); (Wanigatunga et al., 2019). Bereits im Kindesalter ist eine regelmäßige Bewegungsförderung notwendig, da nicht sicher ist, ob sich die durch frühe Nichtschulung entstandenen Defizite, im Erwachsenenalter wieder ausgleichen lassen. Zu den Risikofaktoren, die Bewegungsmangel mit sich zieht, gehören neben Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Bluthochdruck auch Übergewicht (Halle, Berg & Keul, 2000), muskuläre Insuffizienzen und Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems (Petry, 2005). All diese Erscheinungen schränken die Fähigkeit, die Bewegungsamplitude angemessen zu nutzen beträchtlich ein.

In diesem Zusammenhang interpretiert Sölch (2015) auch eine kulturelle Komponente in die Thematik. In weiten Teilen Südasiens und Afrikas ist es unabhängig des Alters üblich, oft Stunden in gehockter Position zu verbringen. In diesen Regionen sind ältere Menschen von Bewegungseinschränkungen der unteren Extremitäten weniger stark betroffen, als beispielsweise in Westeuropa (Sölch, 2015).

Von Verschleißerscheinungen und degenerativen Prozessen im Bereich der Gelenke sprechen Klee und Wiemann (2005). Freiwald, J. (2013, S. 146) beschreibt eine altersgemäße Gelenksabnutzung, welche parallel mit einer Veränderung des Gelenkstoffwechsels einhergeht. In den Gelenken reichern sich entzündliche Stoffe an, welche von Rezeptoren erfasst und über die Nervenverbindungen eine veränderte Ansteuerung der Muskulatur zur Folge haben. Dadurch kommt es mit der Zeit zu einer Umstrukturierung der Muskelfaserzusammensetzung.

3 Grundlagen des Dehntrainings

Das Training der Beweglichkeit ist ein in den letzten 20 Jahren ein sehr konträr diskutiertes Thema. Aus dem Verständnis natürlicher Bewegungen entstand in den 80er Jahren, das dynamische Dehnen. Nachdem es in den 90er Jahren oft als gefährlich oder schädlich abgetan wurde, kam es zu einem Umdenken der Anwendungsgebiete (Gärtner, 2016).

Ein Dehntraining wird üblicherweise durchgeführt, um die Bewegungsreichweite der Gelenke zu verbessern. Des Weiteren, so Lempke, Wilkinson, Murray und Stanek (2018), kann es als Muskelverletzungsprophylaxe, um muskuläre Schmerzen zu reduzieren, um die Muskelkraft zu verbessern und im Zuge dessen zur Verbesserung der sportlichen Leistung als auch der alltäglichen Anforderungen und der Lebensqualität angewandt werden.

Die muskuläre Koordination profitiert ebenfalls von regelmäßigem Stretching und kann so Immobilität herbeigeführt durch den Alterungsprozess oder Bewegungsarmut entgegenwirken, so Kruse und Scheuermann (2017). Sie untersuchten auch die Wirkung des Dehntrainings auf den Herz-Kreislauf und konnten eine Verbesserung der Mikrozirkulationsreaktion, sprich der arteriellen Durchblutung, sowie der Beziehung zwischen Sauerstoffverfügbarkeit und Sauerstoffverbrauch feststellen. Ein Dehntraining, welches über Monate regelmäßig durchgeführt wird, kann zu positiven strukturellen und funktionellen Veränderungen der Blutgefäße führen.

Kremer (2019) zählt in seiner Dissertation einige Ziele von Dehninterventionen unterschiedlicher Autoren auf, dazu zählen unter anderem Verhinderung von Muskelverkürzungen, die Herabsetzung der Ruhespannung, die Vermeidung von Muskelstraffheit, Verletzungsprophylaxe, Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit, Beschleunigung der Regeneration, bessere Entspannungsfähigkeit.

Einige sportwissenschaftliche Diskussionskreise stehen statischen Dehnübungen vor allem in den letzten Jahren eher kritisch gegenüber, hauptsächlich der unmittelbaren Auswirkungen auf die Maximal- und Schnellkraft wegen. Ferger und Moritz (2017) konnten in ihrer Studie nachweisen, dass die Leistung der Sprungkraft, im Sprint sowie im Kniehub nach statischem Dehntraining signifikant zurückgeht.

3.1 Gestaltung eines Dehntrainings

Bei der Gestaltung eines Dehntrainings sind vor allem die individuellen Zielsetzungen besonders wichtig. Spitzensportler beispielsweise vollziehen ein Stretchingprogramm mit anderen Intentionen als Personen mit gesundheitssportlichen oder therapiebezogenen Motiven. Die Wahl der Methoden und der Intensität ist davon abhängig. Laut der Elite Athletes' Health-Study (2009) fühlen sich 74% von 273 Leistungssportlern aus 24 verschiedenen Sportarten bezüglich des aktuellen Forschungsstands und der disziplinabhängigen Methoden unzureichend beraten (Ferber & Moritz, 2017). Es ist anzunehmen, dass dieser Prozentsatz im Bereich des Freizeitsports bzw. des Alltags noch wesentlich höher ist.

3.1.1 Dehnmethoden

Dehnen kann grundsätzlich *aktiv* und *passiv* durchgeführt werden. Die Definitionen hierfür sind in der Literatur jedoch auch uneinheitlich. In dieser Tabelle, angelehnt an Glück et al. (2002) werden einige Angaben zur Differenzierung aktiven und passiven Dehnens von verschiedenen Autoren angeführt.

Tabelle 1: unterschiedliche Definitionen aktiven/passiven Dehnens (nach Glück et al., 2002)

Quelle	Aktives Dehnen	Passives Dehnen
(Beigel, Gruner & Gehrke, 1993)	<i>„Beim aktiven Dehnen wird durch dosierten und kontrollierten Einsatz der eigenen Muskulatur der Muskel gestretcht.“</i>	<i>„Beim passiven Dehnen wird die endgültige Dehnstellung nicht nur mit Hilfe der entsprechenden Muskulatur erreicht, sondern auch durch den Einsatz von Kräften, die von außen einwirken.“</i>
(Maehl, 1986)	<i>„Selbstständig, ohne Ausnutzung der Schwerkraft oder Hilfe eines Partners, allein durch die Tätigkeit seiner Muskeln erreichte Beweglichkeit.“</i>	<i>„Sie wird durch die Einwirkung äußerer Kräfte erreicht und ist durch die Untätigkeit der unmittelbaren Antagonisten gekennzeichnet.“</i>
(Wydra, G., 1996)	<i>„Bewegungsausführung ohne Helfer“</i>	<i>„Bewegungsausführung mit Helfer“</i>

Glück et al. (2002) haben sich im Rahmen der Untersuchung, welche dieser Dehnmethoden wirkungsvoller sei, auch damit beschäftigt, wie viele Wiederholungen notwendig bzw. ausreichend für ein Dehntraining ausreichend sind (Abb 7). Sie kommen zu dem Ergebnis, dass die größten Erfolge zur Verbesserung der Bewegungsreichweite und der Herabsetzung der Dehnungsspannung bei den ersten 3 Wiederholungen zu verzeichnen sind. Danach kommt es eher zu sehr geringen Zuwächsen. Deutlich ablesen lässt sich jedoch definitiv, dass die aktive Dehnung deutlich besser abschneidet, als die passive (Wydra, G., 2006).

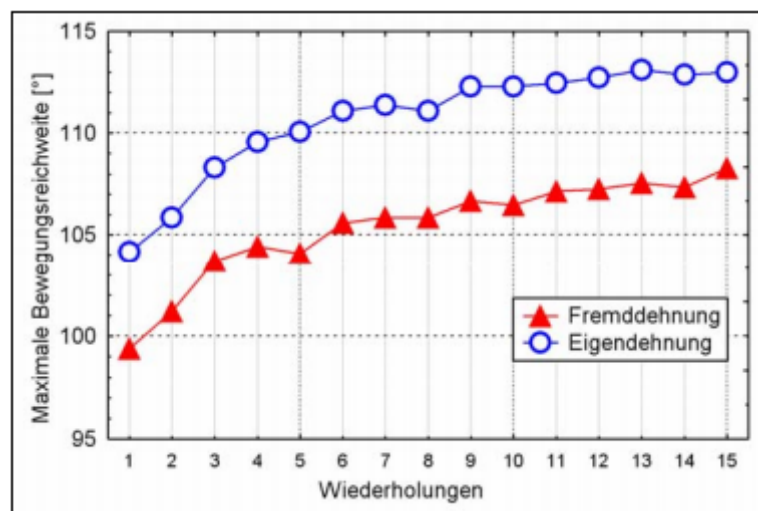


Abbildung 7: Passive und aktive Dehnung im Vergleich (Wydra, 2006, S. 9)

3.1.2 Dehntraining

Hohmann, Lames und Letzelter (2007) schreiben dem Stretching bzw. der statischen Dehnung die größte Relevanz im Beweglichkeitstraining zu, wobei sich die. Zu unterscheiden ist die aktive und passive Dehnung, sowie auf die die Dauer und Intensitäten der Interventionen Rücksicht zu nehmen ist (gentle, point of discomfort, point of pain), wobei Muanjai et al. (2017) bei letzterem einen größeren Bewegungszuwachs verzeichnet, der Effekt unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von der weniger intensiven Dehnung. Lopez-Bedoya, Vernetta-Santana, Robles-Fuentes und Ariza-Vargas (2013) sowie Yildirim, Ozyurek, Tosun, Uzer und Gelecek (2016) vergleichen klassische statische Methoden mit Proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF), Active isolated stretching (AIS) bzw. Traction straight leg raise stretch (TSLR). Borges, Medeiros, D. Muniz, Minotto und Lima

(2018) sowie Lempke et al. (2018) konnten jedoch in ihren Metaanalysen keine signifikanten Unterschiede bezüglich dieser Methoden feststellen.

In Abb. 8 sind die gebräuchlichsten Dehnmethoden nach Klee (2003) am Beispiel einer Dehnung der ischiocruralen Muskulatur zusammengefasst:

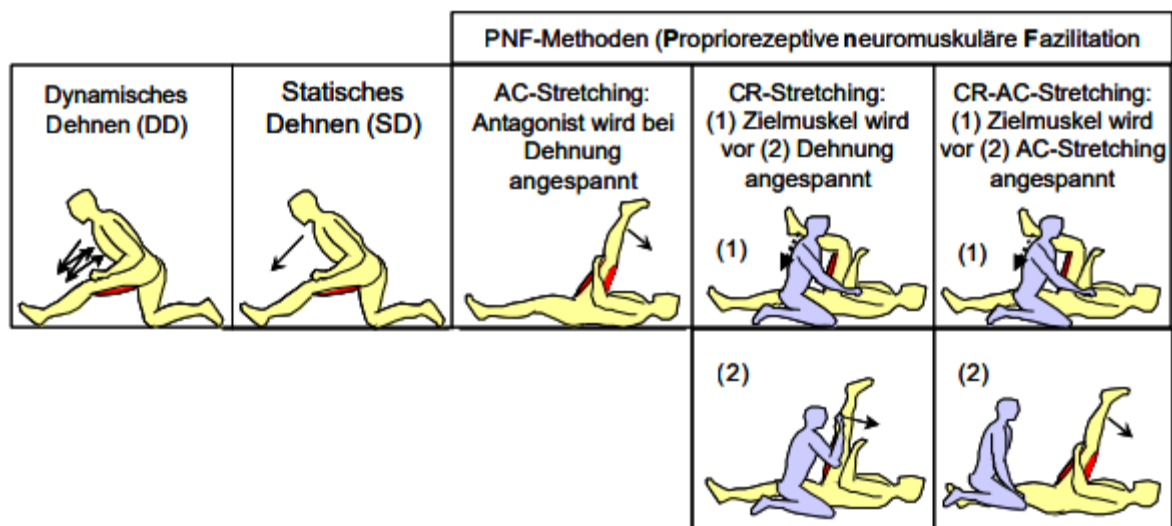


Abbildung 8: die fünf gebräuchlichsten Dehnmethoden. Dynamisches Dehnen, statisches Dehnen und drei PNF-Methoden (AC-, CR- und CR-AC-Stretching) (Klee, 2003, S. 11)

Die Effizienz eines Dehntrainings hängt nicht nur stark von der Stretching Methode und der Anzahl der Wiederholungen, sondern auch Interventionsdauer ab. Thomas, Bianco, A., Paoli und Palma (2018) verzeichnen in ihrer Metaanalyse einen Anstieg bei allen Methoden nach einer mindestens 4 wöchigen Intervention, den höchsten mit 20,9% mit statischer Dehnung, gefolgt von PNF mit 15% und ballistischem Stretching mit einer Verbesserung von 11.65%. Auch andere Faktoren wie die Frequentierung sowie die Intensität sowie die Dauer der einzelnen Wiederholungen spielen eine Rolle, dies wird jedoch tiefergehend in der Diskussion behandelt (Kap. 6).

3.1.2.1 *Dynamische Dehnmethoden*

Dynamisches, auch ballistisches oder intermittierendes Dehnen genannt, kennzeichnet sich durch wiederholte rhythmische Bewegungen, ein Wippen bzw. Nachfedern am Bewegungsende (Lindel, 2010, S. 30). Es entsprang Anfang der 80er Jahre dem Verständnis natürlicher Bewegungen. Dieses wurde jedoch bald wieder in Frage gestellt, da es zu verletzungsreich schien (Gärtner, 2016). Es wurde kritisiert, dass durch das ballistische Dehnen der Dehnungsreflex provoziert wird und sich der Muskel nicht entspannen könne, was einen Spannungsanstieg im Muskel-Sehnenkomplex zur Folge hat und im Zuge dessen die Verletzungsgefahr steigen lässt, so Gärtner. Jedoch betont er, wie auch Freiwald, J. (2013, S. 287), dass es für diese verletzungsprovozierenden Effekte des dynamischen Dehnens keine eindeutigen Nachweise gäbe.

Diese Dehnmethode sei also nicht grundsätzlich abzulehnen, sie eignet sich jedoch trotzdem besser für trainierte, gesunde Sportler und Sportlerinnen (Freiwald, J., 2013) und hauptsächlich zur Vorbereitung auf sportliche Leistungen, da in den meisten Sportarten auch dynamische Bewegungen mit großen Gelenksamplituden von Nöten sind. Auch das Training der intramuskulären Koordination und die verbesserte Durchblutungssituation sprechen für das intermittierende Stretching (Lindel, 2010, S. 30). Da das Bindegewebe bei der wippenden Bewegung jedoch nur sehr kurzen Krafteinwirkungen ausgesetzt ist, geht man davon aus, dass sich dieses bei dieser Methode nicht adaptieren lässt. Auch der Schwierigkeit wegen, richtig zu Dosieren, es für den therapeutischen und den alltäglichen Einsatz eher ungeeignet.

3.1.2.2 *Statische Dehnmethode*

Die statische Dehnmethode ist sehr weit verbreitet, vor allem auch für untrainierte Personen, da sie relativ einfach und sicher zu praktizieren ist und keine besonderen Kenntnisse für eine adäquate Ausführung von Nöten sind. Jedoch berichten auch erfahrene Sportler und Sportlerinnen, dass die statische Dehnung bei der Kalibrierung ihrer Muskulatur helfe (Freiwald, J., 2006). Dabei wird die Muskellänge durch autogene Hemmung vergrößert und dadurch die Golgi-Sehnenorgane erregt (Lempke et al., 2018).

Wenn die Muskelspindeln eine Längenveränderung wahrnehmen, werden die Nervenfasern und die dazugehörigen alpha-Motoneuronen gereizt. Diese verursachen daraufhin eine Kontraktion, wodurch die Reizung der Muskelspindeln aufgehoben wird.

Wird der Muskel also schnell gedehnt, kommt es zu einer reflektorischen Kontraktion des gedehnten Muskels, man spricht vom sogenannten *Dehnungsreflex*. Dieser verhindert jedoch eine optimale Muskeldehnung. Beim passiv – statischem Dehnen, versucht man durch gleichmäßige Steigerung der Belastung, dem entgegenzuwirken (Spring, H., Schneider & Tritschler, 1997).

Darüber, wie lange und mit welcher Intensität eine Dehnstellung gehalten werden soll, gehen die Meinungen auch auseinander. Dies lässt annehmen, dass es hier keinen optimalen Richtwert in dem Sinn gibt. Die Position sollte für 5 bis 15 Sekunden gehalten werden, bei spezifischen Zielsetzungen, die beispielsweise psychische Entspannung oder eine Therapie nach einer Verletzung betreffen, kann diese zwischen 15 bis 60 Sekunden gehalten werden, so Freiwald, J. (2006). Für Lindel (2010, S. 32) kristallisiert sich in Anbetracht der Empfehlungen bzw. experimenteller Untersuchungsergebnisse eine Dauer von 15 – 30 Sekunden heraus. Auch aktuelle Metanalysen, wie jene von Lempke et al. (2018) kommen zu dem Schluss, dass der ertragreichste Umfang um die BRW zu erweitern laut aktueller Literatur etwa ein 30 Sekunden langes Halten in gedehnter Position und drei bis vier Wiederholungen sind. Die Wahl der Intensität ist wie sich leicht nachvollziehen lässt, individuell von der dehnenden Person, nach dem subjektiven Empfinden, dem Ausgangsniveau und der Zielsetzung abhängig. Aber grundsätzlich scheint eine maximale Dehnintensität (point of discomfort/pain) einer submaximalen im Komfortbereich in Bezug auf ROM-Zuwachs deutlich überlegen zu sein (Lindel, 2010).

3.1.2.3 PNF

Ursprünglich wurden PNF Techniken hauptsächlich zur Behandlung von Patienten mit neuromuskulären Lähmungen angewendet, da sie neben viscoelastischen Eigenschaften der Muskeln und dem Bindegewebe auch neurologische Reflexe und Komponenten der Muskelkontraktion verbessern (Lempke et al., 2018).

Da die Informationen der Muskelspindeln nicht nur an die alpha-Motoneuronen der gedehnten Muskeln geliefert, sondern auch an jene der Antagonisten dieser Muskeln. So wird ein Mechanismus der Muskelentspannung ausgelöst, die *reziproke Hemmung*. Dies wird bei der aktiv-statischen Dehnmethode bzw. der AC - Methode ausgenutzt (Spring, H. et al., 1997).

Bei der *postisometrischen Hemmung*, werden durch die Golgi-Sehnenkörper die Motoneuronen der Agonisten gehemmt, was zu einem Abfall der Kontraktion führt. Es führt quasi eine starke Muskelspannung zu einem Nachlass der Kontraktion und somit zu einer sinkenden Muskelspannung. Diese Muskelentspannungsphase tritt nur sehr kurz nach einer isometrischen Muskelanspannung auf. Diese kann zu einer sehr effektiven Muskeldehnung genutzt werden, beim contract-relax-stretching (CR – Methode).

Bei der CRAC - Methode, werden die postisometrische Hemmung des Agonisten sowie die reziproke Hemmung der Antagonisten ausgenutzt. Man bedient sich dieser neurophysiologischen Vorgänge gezielt um die Muskulatur zu entspannen und somit die besten Bedingungen für die Dehnung zu schaffen (Spring, H. et al., 1997). Während im AC - Modul eine Kräftigung des Agonisten erfolgt, wird gleichzeitig die Entspannungsfähigkeit in der zu dehnenden Muskulatur gefördert. Im CR – Modul, wird wiederum der zu dehnende Muskel kontrahiert, was den Muskelreflex herabsetzt und eine intensivere Dehnung erlaubt (Gärtner, 2016).

In den letzten Jahren wurde das PNF Stretching dem statischen und ballistischen vorgezogen, aufgrund der Fähigkeit, das Nervensystem zu hemmen. Eine Kontraktion vor dem statischen Dehnen erlaubt einen größeren ROM Zuwachs im Gegensatz zum selbigen ohne vorangegangene Kontraktion. Jedoch scheint der Rückgang der spinalen Reflexerregbarkeit nur etwa 5 Sekunden zu halten, ehe sie zum Ausgangslevel zurückkehrt. Aus diesem Grund, so Thomas et al. (2018), eignet sich die PNF Methode, wenn man sie der statischen gegenüberstellt, eher um akute Verbesserung der RoM zu erreichen. Lempke et al. (2018) hingegen konnten keine höhere Effektivität auf die maximale Beweglichkeit der PNF-Methoden gegenüber dem gewöhnlichen statischen Dehnen feststellen. In ihrer Metanalyse konnte von 5 Studien, die diese gegenüberstellten, lediglich eine PNF-Versuchsgruppe einen größeren Zuwachs der ROM verzeichnen. Die wiesen keinen signifikanten Unterschied auf. Es gibt also keine eindeutigen Nachweise, dass PNF dem statischen Stretching vorzuziehen sei, es spielen laut Lempke et al. (2018) Faktoren wie welche Methode individuell bevorzugt wird, die Frequentierung, die Einfachheit der Instruktionen etc. wichtigere Rollen.

4 Methoden

4.1 Systematic Review

Bei einer systematischen Übersichtsarbeit werden zu einer konkreten Fragestellung alle vorhandenen Studien gesucht, ausgewählt und bewertet. Dies passiert nach zuvor genau festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien. Im Zuge dieses Systematic Reviews findet auch eine Meta-Analyse, also eine statistische Zusammenfassung der aus der Literaturrecherche hervorgegangenen Primärstudien, statt.

4.2 Datenbankrecherche

Im Zuge der Literaturrecherche wurden die Datenbanken Pubmed und Web of Science herangezogen und nach vorher definierten Keywords in unterschiedlichen Kombinationen durchsucht. Zunächst wurden allgemeine Schlagwörter wie „stretch“ oder „stretching“ mit oder ohne den Zusatz „muscle“ in die Suchmaske eingegeben. Über boolesche Operatoren wurden dann entsprechend weitere Parameter bezüglich des Dehnes bzw. des Alters hinzugefügt um den Output einzugrenzen. Da sich sehr viele Studien bereits in der Vorabrecherche auf Patient/innen mit diversen Einschränkungen oder in einem Rehabilitationsprogramm bezogen, wurden diese auch systematisch mit Keywords ausgeschlossen. Auch Dehninterventionen in Verbindung mit anderen motorischen Trainings wie Kraft, Balance oder dergleichen wurden nicht miteinbezogen, da das Ergebnis sonst nicht zur Gänze auf das Stretchingtreatment zurückzuführen wäre und dies zu Verzerrungen führen könnte. In der Tabelle 2 werden die Schlagwörter dargestellt:

Tabelle 2: verwendete Schlagwörter bei der Datenbankrecherche

	AND	AND	NOT
Stretch	Rom	„Life course“	Strength
Stretching	„Range of motion“	„Life span“	Balance
„Muscle stretch“	„Joint range“	Lifespan	Osteoarthritis
„Muscle stretching“	„Functional capacity“	Age	„Multiple sclerosis“
	flexibility	„Age course“	Fibromyalgia
	„Mobility“	developmental	Injury
	hamstring	Children	surgery
	„lower extremity“	Adults	Patients
		Elderly	„Cerebral palsy“
		Aging	

Ein Beispiel für eine Suchanfrage auf PubMed wäre etwa: *(stretch OR „muscle stretch“ OR stretching OR „muscle stretching“) AND (flexibility OR mobility OR „functional capacity“) AND (age OR „age course“ OR „life span“ OR developmental) NOT strength NOT balance NOT patients NOT injury NOT surgery.*

Auf der Datenbank *Pubmed* konnten mithilfe dieser Schlagwörter 1115 möglicherweise relevante Studien gefunden werden, in *Web of Science* 543. Insgesamt belief sich Trefferzahl also auf 1658, welche nach Entfernung der Dubletten mithilfe der Datenbank *Citavi* auf 1027 reduziert wurde.

Diese wurden nun einzeln betrachtet und gefiltert, um am Ende ausschließlich jene zu finden, die sich mit der Thematik des Systematic Reviews befassen. Zuerst wurden die Titel der Artikel gelesen mit der Intention, grob auszusortieren. Alle Titel, die darauf schließen ließen, dass sie mit Sicherheit das Thema verfehlten bzw. nicht den zuvor festgelegten

Ein- und Ausschlusskriterien entsprechen, wurden entfernt. Anhand dessen konnten schon 859 irrelevante ausgeschlossen werden. Übrig blieben 168 Titel, um sich dem nächsten Schritt dieses Auswahlverfahrens zu unterziehen.

Das folgende Screening erfolgte auf Basis der Abstracts der verbliebenen Artikel. Hierfür wurden die Abstracts gelesen und wie bereits zuvor jene entfernt, die nicht von entsprechender Relevanz für diese Arbeit waren. Anhand dieses Vorgehens, konnte man nun 120 Titel sondieren und von den verbleibenden 48 den gesamten Text untersuchen.

Beim letzten Screening konnten 27 Artikel exkludiert werden. Auf einen hatte man keinen Zugriff, einer behandelte eine andere Muskelgruppe und ein weiterer, die akuten Effekte eines Dehntrainings. Der Großteil wurde herausgefiltert, weil die Angaben gewisser Parameter fehlten ($n=5$) bzw. zu ungenau waren, um die Effektstärke zu berechnen ($n=6$). 5 Studien untersuchten den Dehneffekt in Bezug auf Krankheit und Rehabilitation, 4 Studien intervenierten zu kurz und 2 intervenierten zu breit gefächert, sodass der gesuchte Effekt dadurch verfälscht werden könnte. Es blieben 22 Studien, die in diesem Systematic Review verarbeitet werden sollten. Der Screening-Prozess wurde in einem PRISMA-Flow-Diagramm (Abb. 9) visuell dargestellt, um die Filterung besser nachvollziehen zu können.

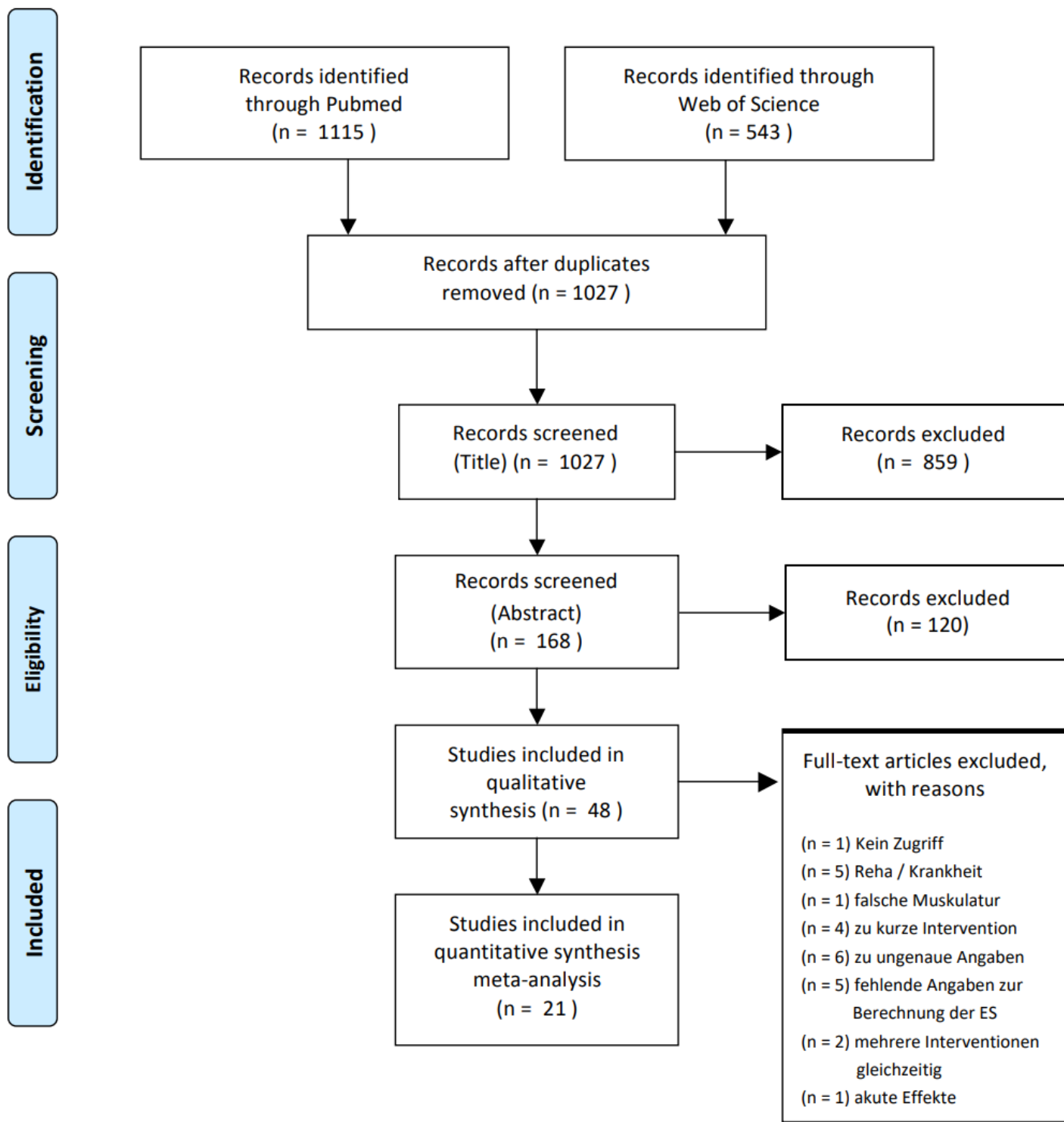


Abbildung 9: PRISMA Flow Diagramm

4.3 Ein- Ausschlusskriterien:

Bevor eine systematische Übersichtsarbeit stattfinden kann, müssen Ein- und Ausschlusskriterien erhoben werden. Im zuvor beschriebenen Screening-Prozess wurden alle Artikel, welche mit Hilfe der Keywords in den Datenbanken Pubmed und Web of Science gefunden wurden, sorgfältig auf ebendiese Kriterien untersucht. Entsprachen die Titel, Abstracts oder der Volltext in irgendeiner Weise den Ausschlusskriterien, wurden diese Artikel aussortiert. Auf der anderen Seite, wurden jene Artikel, die am Ende bei dem Volltext-Screening alle Einschlusskriterien aufwiesen, für den Systematischen Review verwendet.

- Messung des Längenzuwachses der ischiocruralen Muskulatur
- Keine Profisportler
- In keiner Therapie von Verletzungen, Krankheiten oder dgl.
- Mindestens 2-wöchige Intervention
- Genaue Interventionsform muss angegeben sein (Zeit, Dehnmethode)
- Messwerte vor und nach der Intervention (damit die ES berechnet werden kann)
- Publiziert zwischen 2009 und 2019
- Das Alter muss genau angegeben sein
- Abhängige Variable muss operationalisiert sein den Einheiten in [°] oder [cm]
- Verfasst in deutscher oder englischer Sprache
- Randomisierte und nicht-randomisierte Studien

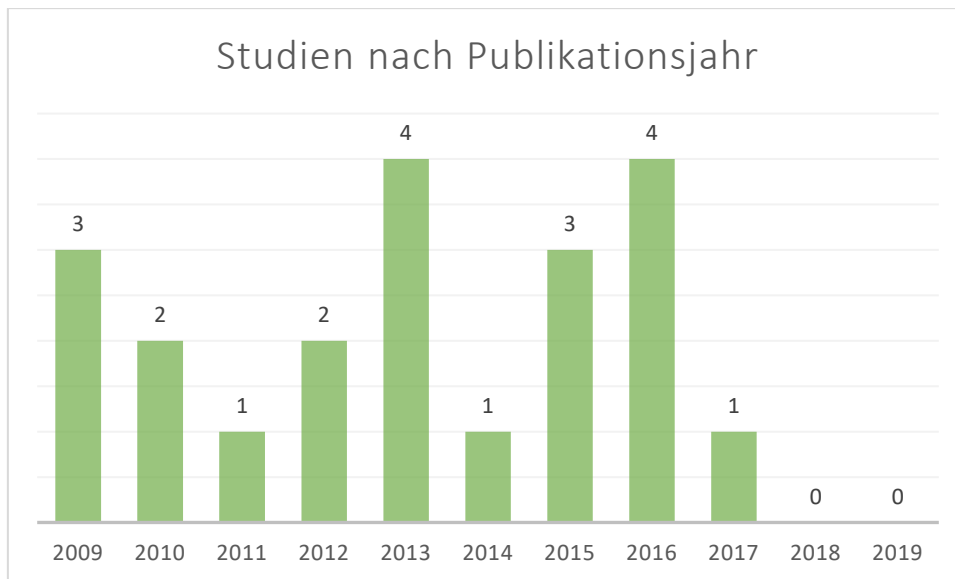


Abbildung 10: eingeschlossene Studien nach Publikationsjahr

4.3.1 Studiendesign

Es wurden sowohl kontrollierte randomisierte Studien als auch nicht kontrollierte randomisierte Studien in den Review miteingeschlossen, da sonst die Repräsentativität beeinflusst werden würde (Rustenbach, 2008 zit. n. Haab, 2017). Des Weiteren handelt es sich bei den verwendeten Studien ausschließlich um Primärstudien.

Natürlich setzt eine sorgfältige Auseinandersetzung mit den Studien voraus, dass sie auch verstanden werden. Deshalb wurden nur solche, die in Englisch oder Deutsch verfasst wurden berücksichtigt.

4.3.2 Population

Gewählt wurden Studien, die sich auf ein Training der Ischiocruralen Muskulatur beziehen, da diese Muskelgruppe am häufigsten getestet wird, zumal sie die einzige ist, welche nicht durch Gelenke in ihrer Länge eingeschränkt wird und des Weiteren auch an der Bewältigung der meisten alltäglichen Handlungen beteiligt ist (Haab, 2017). Unter den Rechercheergebnissen handelten auch viele Studien von akuten Auswirkungen der

Dehnintervention, jedoch wird in dieser Arbeit nach den längerfristigen Dehnanpassungserscheinungen der Muskulatur geforscht, weshalb ein Mindestinterventionsrahmen von zwei Wochen festgelegt wurde.

Das Geschlecht der Probanden und Probandinnen spielt keine direkte Rolle, es werden Studien von männlichen, weiblichen und gemischtgeschlechtlichen Versuchsgruppen eingeschlossen. Auch wenn die Flexibilität zum Teil vom biologischen Geschlecht abhängig ist (vgl. Kapitel 2.2.3), so kann man dieses in dieser Übersichtsarbeit doch außer Acht lassen, da diese nicht miteinander verglichen werden.

Um für eine möglichst hohe Aussagekraft zu garantieren, werden keine Studien mit Patient/innen in klinischer Behandlung oder in Rehabilitation herangezogen. Professionelle Sportler und Sportlerinnen werden auch nicht berücksichtigt, da die Auswirkung eines „normalen“ Alterungsprozesses auf die Beweglichkeit analysiert werden soll. Leider kann man vor allem bei Proband/innen im dritten Lebensalter nicht mit absoluter Sicherheit ausschließen, dass bewegungshemmende Verschleißerkrankungen oder kleinere orthopädische Störvariablen vorliegen.

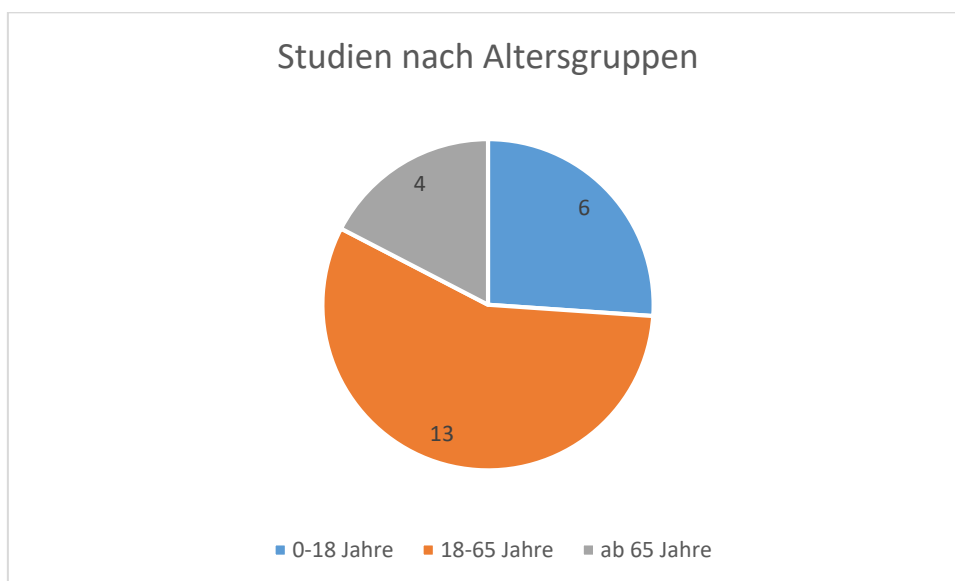


Abbildung 11: Studien nach Altersgruppen

4.3.3 Studiendurchführung

Es werden Studien gesammelt, in denen vor und nach einer mindestens 2-wöchigen Dehnintervention die Flexibilität anhand der ischiocruralen Muskulatur gemessen wurde. Da sich dieser Systematic Review jedoch mit den altersbedingten Dehnerscheinungen beschäftigt, wurden die Studien in 3 Altersgruppen unterteilt: in unter 18-jährige, 18 – 65-jährige und über 65-jährige. Diese Einteilung geht zurück auf Hottenrott, K. et al. (2017), der eine fehlende bzw. nicht ausreichende Differenzierung der Leitlinien für motorisches Training bezüglich dieser Altersstufen kritisiert. Im Zuge dieses Reviews sollen nun die Zugewinne der Beweglichkeit im Rahmen eines Dehnprogrammes erhoben und verglichen werden. Die jeweiligen Effektstärken geben Aufschluss darüber, in welcher Altersgruppe ein Dehntraining am effizientesten ist bzw. welche Dehnmethoden zum größten Bewegungszuwachs in der jeweiligen Altersgruppe geführt hat.

4.3.4 Untersuchungsparameter

Da man sich uneinig ist, welche Parameter zu einer altersbedingten Änderung der Dehnanpassungserscheinungen führen, werden auch in unterschiedlichen Studien unterschiedliche Faktoren gemessen. Für diesen Review essentiell sind die Erfassung des Alters und des Bewegungszuwachses. Einige Autoren analysieren die Ergebnisse dann beispielsweise auf der Basis von viskoelastischen Einflussfaktoren, einige auf neurophysiologischen, andere führen eventuelle Unterschiede auf den sozioökonomischen Kontext zurück. In dieser Arbeit sollen auch auf die aktuell gängigsten Theorien diesbezüglich eingegangen werden.

Um die Ergebnisse der Studien direkt vergleichen zu können, wurde Hedges' [g] als Effektgröße verwendet. Diese Berechnung erfolgt nach (Hedges & Olkin, 1985) über die gepoolte Standardabweichung und ist vor allem sinnvoll gegenüber dem auch oft verwendeten Cohen's [d], wenn die Stichprobengröße stark variiert. Die Bewertung der Effektstärke lehnt sich an Cohen (1992) an: ≥ 0.2 gilt als kleiner, ≥ 0.5 als mittlerer und ≥ 0.8 als großer Effekt. Es wurden nur Studien gewählt, in welchen diese Effektgröße angegeben sind, bzw. mit genügend Parametern, um diese zu berechnen. Dafür benötigt man einen Ausgangs- und einen Endmittelwert, die jeweilige Streuung und die Stichprobengröße. Um die Effektgrößen zu berechnen, wurde online ein Effect Size Calculator der Polytechnischen Universität Hong Kong verwendet. (<https://www.polyu.edu.hk/mm/effectsizefaq/calculator/calculator.html>)

4.4 Bewertung der Primärstudien

Alle Primärstudien, die sich für den Review als relevant erwiesen und die entsprechenden Kriterien erfüllten, wurden einer Bewertung unterzogen. Diese findet mithilfe der PEDro-Skala statt. Um die Qualität einer Studie zu messen wurden 11 Punkte angeführt, die entweder von der betreffenden Studie erfüllt werden, oder nicht. Werden die zutreffenden Items addiert, erhält man die jeweilige Bewertung.

Die einzelnen Kategorien der PEDro – Skala:

1. Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert.
2. Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet.
3. Die Zuordnung der Gruppen erfolgte verborgen.
4. Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich.
5. Alle Probanden waren geblindet.
6. Alle Therapeuten/innen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblindet.
7. Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren geblindet.
8. Von mehr als 85 % der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden wurde ein zentrales Outcome gemessen.
9. Alle Probanden, die für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet.
10. Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet.
11. Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome.

Tabelle 3: Eingeschlossene Studien bewertet nach der PEDro-Skala

Studien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Summe
(Ayala, F. & de Baranda Andujar, Pilar Sainz, 2010)	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	8
(Ayala, F., Sainz de Baranda, P., Ste Croix, M. de & Santonja, 2012)	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	5
(Ayala, F., Sainz de Baranda, P., Ste Croix, M. de & Santonja, 2013)	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	7
(Cristopoliski, Barela, Leite, Fowler & Rodacki, A. L. Felix, 2009)	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	6
(Gallon et al., 2011)	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	6
(Haab & Wydra, G., 2017)	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	5
(Hasebe et al., 2016)	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	5
(Kamandulis, S., Emeljanovas & Skurvydas, 2013)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
(Lopez-Bedoya et al., 2013)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
(Marques, Vasconcelos, Cabral & Sacco, 2009)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
(Mayorga-Vega, Merino-Marban, Javier Garrido & Vician, J., 2014)	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	6
(Mayorga-Vega, Merino-Marban, Real & Vician, J., 2015)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
(Mayorga-Vega, Merino-Marban, Manzano-Lagunas, Blanco & Vician, J., 2016)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
(Merino-Marban, Mayorga-Vega, Fernandez-Rodriguez, Estrada & Vician, J., 2015)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
(Muyor, Lopez-Minarro & Casimiro, 2012)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	7
(Oliveira, L. Campos de, Oliveira, R. Goncalves de & Pires-Oliveira, Deise Aparecida de Almeida, 2016)	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	7
(Peixoto et al., 2015)	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	5
(Rancour, Holmes, C. F. & Cipriani, 2009)	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	8
(Sainz de Baranda, P. & Ayala, F., 2010)	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	6
(Sairyo et al., 2013)	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	4
(Yildirim et al., 2016)	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	+	7

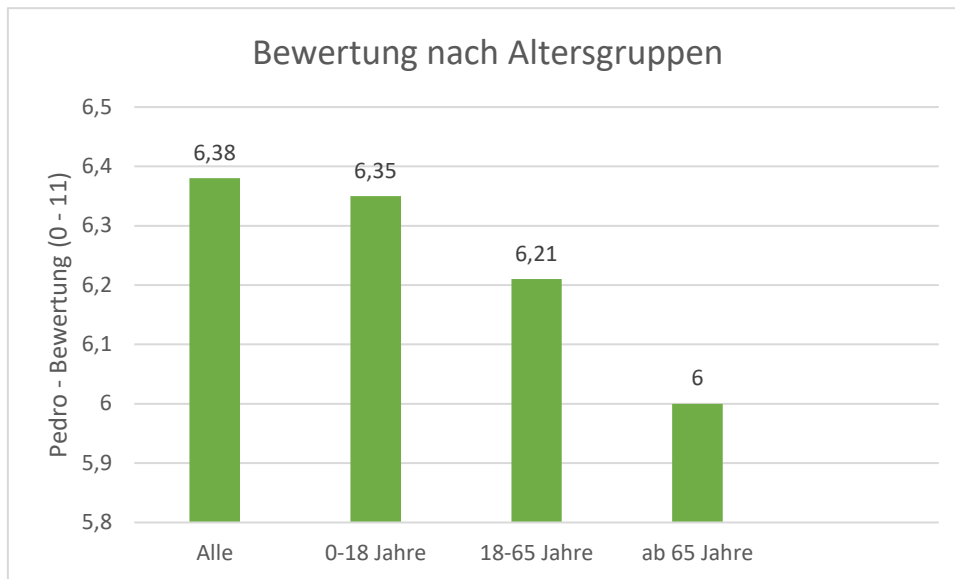


Abbildung 12: Eingeschlossene Studien bewertet nach Altersgruppen

Der Durchschnittswert auf der PEDro – Skala aller gefundenen Primärstudien beträgt 6,36. Dies wirkt auf den ersten Blick wenig, bei 11 zu erreichenden Punkten, jedoch kann man in der Tabelle erkennen, dass die Punkte 3, 5 und 6 von keiner Studie erfüllt werden. Das hat den Grund, dass es unmöglich ist, Versuchsgruppen und Kontrollgruppen im Verborgenen einzuteilen, wenn sich eine davon einem Dehnprogramm unterziehen soll und die andere nicht. Ebenso kann man bei einer derartigen Untersuchung die Versuchspersonen nicht geblendet lassen.

Im Vergleich liegt die durchschnittliche Wertung der Kinder und Jugendlichen mit 6,33 Punkten vor den anderen beiden. Die Erwachsenengruppe erzielt eine Bewertung von 6,21 und die älteren Erwachsenen 6. 14 Autoren gaben an, die Gruppen randomisiert den Gruppen zugewiesen zu haben und bei zehn waren die Gruppen bezüglich der wichtigsten Indikatoren einander ähnlich. Bei sechs Studien waren die Untersucher/innen, welche ein zentrales Outcome gemessen haben geblendet. Die Punkte 1, 9, 10 und 11 werden von allen Studien erfüllt, da sie sonst nicht mit den Ein- und Ausschlusskriterien einhergegangen wären.

5 Darstellung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der eingeschlossenen Primärstudien in tabellarischer Form dargestellt. In der ersten Spalte werden die Autor/innen angegeben. Die 3 darauffolgenden Spalten beschreiben die Versuchspersonen, nämlich das Alter, die Stichprobengröße und um welche Gruppe es sich handelt. Der nächste Spaltensatz stellt die Dehnintervention anschaulich dar und beinhaltet die Dauer des Trainingsprogrammes, die wöchentliche Frequentierung sowie die Anzahl und die Dauer der Wiederholungen. Die Dehnmethode wurde so ausführlich beschrieben, wie die Autoren der Studien es zuließen, die Dehnintensität floss, sofern sie in der Studie erwähnt wurde, auch in die Darstellung mit ein. Die Messmethode beschreibt die Art und Weise, wie der Beweglichkeitszuwachs ermittelt wurde. Hier ist hauptsächlich zu unterscheiden, ob es sich um die aktive oder die passive Beweglichkeitsreichweite handelt. Je nachdem welches Messverfahren gewählt wurde, ist der Nettozuwachs an Flexibilität entweder in [°] oder in [cm] angegeben. Da es jedoch eine Vielzahl an unterschiedlichen Messinstrumenten herangezogen wurde, ist der absolute Zuwachs bloß bei Analyse innerhalb einer Studie aussagekräftig, bei einer studienübergreifenden Analyse nicht. Um also das Outcome aller Versuchsgruppen in Relation stellen zu können, wird in der letzten Spalte die Effektgröße angegeben.

In der ersten Tabelle werden die Ergebnisse der unter 18-jährigen abgebildet, in der zweiten jene der 18 bis 64-jährigen und in der letzten Tabelle befinden sich die Auswertungen jener Studien, die sich mit den Auswirkungen eines Dehntrainings auf Personen über 64 Jahren auseinandersetzen.

Kinder und Jugendliche (bis 18 Jahre)

Tabelle 4: Ergebnisdarstellung Kinder und Jugendliche (<18 Jahre)

Studien	Probanden			Intervention			Messmethode	ROM Gain [°] oder [cm]	Effektgröße [g]
	Alter	Anzahl	Gruppen	Dauer	Protokoll	Dehnmethode			
Mayorga-Vega et al. (2016)	8,1 ± 0,8	N = 44 22m 22w	Gruppe 1	a) 9 Wochen b) 11 Wochen	2x/Woche a) 8x30sec b) 8x30sec	„Gentle passive static hamstring stretch“	Sit-and-reach test	3,3cm	0.52
	8,4 ± 0,8	N = 51 23m 28w	Gruppe 2		2x/Woche a) 8x30sec b) 2x30sec			2,3cm	0.33
	8,4 ± 0,6	N = 45 21m 24w	Kontrollgruppe		x	x		0,5cm	x
Mayorga-Vega et al. (2015)	12,7 ± 0,7	N = 53 26m 27w	Gruppe 1	8 Wochen	1x/Woche 8x30sec	„Gentle passive static hamstring stretch“	Sit-and-reach-test	1,41cm	0.16
	12,7 ± 0,6	N = 52 27m 25w	Gruppe 2		2x/Woche 8x30sec			1,93cm	0.23
	12,6 ± 0,6	N = 58 31m 27w	Kontrollgruppe		x	x		0,4cm	x
Kamandulis et al. (2013)	15 ± 0,4	N = 55 24m 31w	Gruppe 1	5 Wochen	2x/Woche 4x20sec	„active static stretch“	Sit and reach test	2,8cm	0.48
	15 ± 0,4	N = 54 26m 28w	Gruppe 2		2x/Woche 16x20sec			4,8cm	0.71

	15,2 ± 0,5	N = 58 28m 30w	Kontrollgruppe		x	x		0,4cm	x
Merino- Marban et al. (2015)	5,91 ± 0,29	N = 23 12m 11w	Gruppe 1	8 Wochen	2x/Woche 3x20sec	„gentle passive static stretch“	Sit-and-reach test	2,4cm	0.49
		N = 22 14m 8w	Kontrollgruppe		x	x		0cm	x
Sairo et al. (2012)	13 ± 2,7	N = 18 16m 2w	Gruppe 1	4 Wochen	14x/Woche 5x5sec	„active-Static stretch at maximal contraction“	Finger to floor distance	17,7cm	2.3
Mayorga- Vega et al. (2014)	9 ± 0,2	N = 25 12m 13w	Gruppe 1	10 Wochen	2x/Woche 3x3x20	Gentle Static passive stretching during warm-up	Sit and reach test	-0,3cm	0.56
		N = 24 12m 12w	Gruppe 2			Gentle Static passive stretching during cool-down		0,5cm	0.67
		N = 24 12m 12w	Kontrollgruppe		x	x		-2,8cm	x

Jüngere Erwachsene (17 – 64 Jahre)

Tabelle 5: Ergebnisdarstellung jüngere Erwachsene (18 – 64 Jahre)

Studien	Probanden			Intervention			Messmethode	ROM Gain [°] oder [cm]	Effektgröße [g]
	Alter	Anzahl	Gruppen	Dauer	Protokoll	Dehnmethode			
Ayala et al. (2010)	21.3 ± 2.5	N = 35	Gruppe A	12 Wochen	3x/Woche 12x15sec	Un-assisted active static stretch	Passive straight leg raise test	19,85°	1.62
		N = 47	Gruppe B		3x/Woche 6x30sec			20,4°	1.26
		N = 39	Gruppe C		3x/Woche 4x45sec			21,44°	1.90
		N = 29	Kontrollgruppe		x	x		2,15°	x
Ayala et al. (2012)	W: 20,7 ± 1,6 M: 21,3 ± 2,5	N = 243 156m 87w	Gruppe 1	4 Wochen	3x/Woche 4x45 sec	Un-assisted active static stretch	Passive straight leg raise test	4,8°	0.40
Ayala et al. (2013)	21.9 ± 1.7	N = 39	Gruppe 1	12 Wochen	3x/Woche 6x30sec	2 unilateral and 2 bilateral un- assisted active stretching exercises	Passive straight leg raise test	13,6°	1.28
		N = 32	Gruppe 2					14,6°	1.90
		N = 37	Kontrollgruppe 1		x	x		1,3°	x
		N = 30	Kontrollgruppe 2		x	x		-0,5°	x

Haab (2017)	24 ± 4	N = 13	Gruppe 2	10 Wochen	3x/Woche 3x60sec	Static passive stretching	Instrumented straight-leg raise test	9,5°	0,59
Hasebe et al. (2016)	20,5 ± 1,1	N = 12m	Gruppe 1	6 Wochen	3x/Woche 5x20 Wiederholungen	Stretching machine for active stretching	Straight leg raise angle	8,1°	0,86
Lopez- Bedoya et al. (2013)	21,79 ± 2,45	N = 9	Gruppe 1	9 Wochen	2x/Woche 10x10sec Dehnung 6sec Hamstring Kontraktion	PNF Fremddehnung	Passive hip flexion	17,17°	0,99
		N = 9	Gruppe 2		2x/Woche 12x2sec	Aktiv-isolierte Eigendehnung		18,43°	1,15
		N = 11	Gruppe 3		2x/Woche 10x10sec Dehnung 5sec Entspannung	Passiv-statisch		22,39°	1,10
Marques et. al (2009)	23 ± 4	N = 10	Gruppe 1	4 Wochen	1x/Woche 2x30sec	Active static stretch	Goniometer	8,5°	0,91
	22 ± 4	N = 11	Gruppe 2		3x/Woche 2x30sec			19°	1,91
	22 ± 3	N = 10	Gruppe 3		5x/Woche 2x30sec			11°	1,71

Muyor et al. (2012)	44,85 ± 9,63	N = 27w	Gruppe 1	12 Wochen	3x/Woche 3x20sec	Passive static stretching	Toe touch test	4.59 cm	0,63
	43,56 ± 8,56	N = 31	Kontrollgruppe		x	x		-1,21cm	x
Peixoto et al. (2015)	20,8 ± 2	N = 13	Gruppe 1	10 Wochen	4x/Woche 6x30sec	Passive Static stretch on an isokinetic dynamometer	isokinetic dynamometer	39,8°	2,78
Rancour et al. (2009)	24,6	N = 14 9w 5m	Gruppe A	a) 4 Wochen b) 4 Wochen	a) 14x/Woche 2x30sec b) --	a) Passive-static stretching at moderate discomfort		12,5°	0,62
	24,7	N = 18 12w 6m	Gruppe B		a) 14x/Woche 2x30sec b) 4-6x/Woche 2x30sec	b) intermittent stretching		24,6°	1,57
Sainz de Baranda (2010)	21,3 ± 2,5	n = 17	Gruppe 1	12 Wochen	3x/Woche 12x15sec	Passive-static stretching		20,8°	2,51
		N = 14	Gruppe 2		3x/Woche 6x30sec			18,4°	1,72
		N = 19	Gruppe 3		3x/Woche 4x45sec			14,6°	1,7
		N = 28	Gruppe 4		3x/Woche 12x15sec	Active-static stretching		17,9°	2,36

		N = 38	Gruppe 5		3x/Woche 6x30sec			12,9°	1,82
		N = 33	Gruppe 6		3x/Woche 4x45sec			14,6°	2,12
		N = 24	Kontrollgruppe		x	x		-0,08°	x
Sairyo et al. (2012)	26,8	N = 8	Gruppe 1	4 Wochen	14x/Woche 5x5sec	Jack-knife active- static technique	pelvis forward inclination angle	33,2°	4,4
Yildirim et al. (2016)	21,4 ± 0,8	N = 5	Gruppe 1	4 Wochen	3x/Woche 10x30sec	Static stretching	Hip flexion ROM	4,7°	0,81
	21,8 ± 1,3	N = 6	Gruppe 2		3x/Woche	PNF stretching		15,6°	1,84
	21,6 ± 1,68	N = 8	Gruppe 3		3x/Woche 3 repetitions	Mulligan TSLR technique		17,6°	2,55
	21,4 ± 1,8	N = 7	Kontrollgruppe		x	x		-0,1°	x

Ältere Erwachsene (über 64 Jahre)

Tabelle 6: Ergebnisdarstellung ältere Erwachsene (>64 Jahre)

Studien	Probanden			Intervention			Messmethode	ROM Gain [°] oder [cm]	Effektgröße [g]
	Alter	Anzahl	Gruppen	Dauer	Protokoll	Dehnmethode			
Cristopoliski et al. (2009)	65.9 ± 4.2	N = 12w	Gruppe 1	4 Wochen	3x/Woche 4x4x60	Passive static stretching	Thomas test Hip extension	18,9°	2.48
	65.4 ± 2.9	N = 8w	Kontrollgruppe		x	x		0,8°	x
Gallon et al. (2011)	67 ± 9	N = 8w	Gruppe 1	8 Wochen	3x/Woche 4x60s	Active Static stretching until discomfort	Thomas Test with Photogrammetric Method	16°	1.43
		N = 9w	Kontrollgruppe		x	x		5,4°	x
Haab (2017)	65,1 ± 7,9	N = 14m	Gruppe A	10 Wochen	3x/Woche 3x60sec	Passive static stretching	Instrumented straight-leg raise test	8,4°	0,53
Oliveira et al. (2016)	64,81 ± 0,8	N = 16w	Static Stretching Gruppe	12 Wochen	2x/Woche 20x3x30sec	Active static stretching	Hip flexion movement with Stretching fleximeter	9,5°	0.95

	63.62 ± 1.02	N = 16w	Pilates Kontrollgruppe		2x/Woche 60min	Pilates Übungen		17,6°	0.90
--	--------------	---------	---------------------------	--	-------------------	-----------------	--	-------	------

5.1 Kinder

Die Studien der Schulkinder fanden alle bis auf eine (Sairyo et al., 2013) im Zuge des Sportunterrichts während des Aufwärmprogrammes statt. Deshalb konnten sie nur zwei- bzw. einmal pro Woche intervenieren. Da es sich um Schulkinder handelt, wurde auch bei fast allen Studien ein passives statisches Stretching-Programm gewählt, welches keine Erfahrung benötigt und nach eigenem Ermessen einfach zu dosieren ist. Sairyo et al. (2016) und Kamandulis, S. et al. (2013) wählen die aktive statische Dehnmethode, was sich in der Literatur auch mit mehr Beweglichkeitszuwachs in Verbindung bringen lässt (vgl Kapitel 3.1).

Interessant ist, dass 4 der 6 gefundenen Studien vom spanischen Ministerium für Bildung, Kultur und Sport unterstützt wurden (Merino-Marban et al., 2015; Mayorga-Vega et al., 2014). Diese Studien befassen sich auch im Speziellen mit Flexibilitätstraining im Sportunterricht, bzw. dessen bessere Integration in den Unterricht. Sie kommen zu dem Schluss, dass sogar ein relativ kurzes Dehnprogramm, das nur einmal in der Woche stattfindet, zur Verbesserung der Beweglichkeit beiträgt. Jedoch gibt es auf dem Gebiet des Stretchings mit Kindern noch nicht sehr viel Vergleichsmaterial, schon gar nicht, was die Langzeitwirkung betrifft.

Mayorga-Vega et al. (2016) kritisiert, dass in den meisten europäischen Ländern Sportunterricht nur zweimal in der Woche stattfindet und dies ein regelmäßiges Dehnprogramm mit einer höheren Frequenz für Kinder im Zuge des Sportunterrichts quasi unmöglich macht.

Kamandulis, S. et al. (2013) haben Schulkinder im Alter von $15,1 \pm 0,4$ für 5 Wochen einem aktiven statischen Dehntraining unterzogen. Es konnte in allen Interventionsgruppen eine Verbesserung der Beweglichkeit festgestellt werden. Kamandulis, S. et al. zeigen zwar auf, dass sie nicht sagen können, welche mechanische oder neurologische Veränderung zu dem Flexibilitätszuwachs führt, jedoch gibt es in der Literatur keinen Hinweis auf eine langanhaltende Wirkung bei einem Dehnprogramm, welches sich nur über einige Wochen erstreckt. Nach solch einer Periode nimmt die verbesserte Beweglichkeit meist relativ rasch wieder ab. Merino-Marban et al. (2015) ließen die Schüler/innen nach einem 8-wöchigem Dehnprogramm einer 5-wöchigen Detrainings-Phase durchlaufen. Dies führte bei allen Teilnehmenden nach einer positiven Entwicklung der Beweglichkeit wieder zum Rückgang zu den Ausgangswerten.

Daraus lässt sich schließen, dass sich hierbei nicht die mechanischen Eigenschaften der Muskeln verändern, sondern die Schmerztoleranz zunimmt. Man geht davon aus, dass diese Interventionen hauptsächlich auf neuronaler Ebene Einfluss haben, auf jene sensorischen

Rezeptoren, bzw. neuronalen Leiter, die für die Übertragung des Schmerzempfindens Einfluss haben (Kamandulis, S. et al., 2013).

Alle Studien kamen zu dem Schluss, dass ein größeres Dehnvolumen zu einem größeren Beweglichkeitszuwachs führt. Bei Kamandulis, S. et al. (2013) ist bei einer Dehnübung mit 4 Wiederholungen eine Effektstärke von 0.48, bei 4 Dehnübungen mit jeweils 4 Wiederholungen, eine Effektstärke von 0.71 zu verzeichnen. Eine weniger große Rolle als Häufigkeit der Wiederholungen spielt die Anzahl der Sessions, wie sich bei Merino-Marban et al. (2015) ablesen lässt. Insgesamt 110 Kinder zwischen 12 und 14 Jahren wurden einer 8-wöchigen Dehnintervention unterzogen, Gruppe 1 einmal pro Woche (ES 0.16), Gruppe 2 zweimal pro Woche (ES 0.23). Beide Gruppen konnten eine bessere Flexibilität aufweisen, jedoch ist der Unterschied nicht signifikant.

Grundsätzlich ist es aus ethischer Sicht mit Kindern und Jugendlichen problematischer, sie einer körperlichen Beanspruchung im Dienst der Wissenschaft auszusetzen. So wurde, außer bei Sairyo et al. (2013) stets eine sehr milde Intensität bei der Dehnung gewählt. Inwiefern dies vor allem von den jüngsten Versuchspersonen ($5,91 \pm 0,29$ Jahre) verstanden, bzw. umgesetzt wird, lässt sich kaum feststellen, ist aber auf jeden Fall zu hinterfragen. Auch ob bzw. welche physischen Belastungen zwischen den Dehninterventionen in der Freizeit der Kinder stattfinden, lassen sich nicht berücksichtigen oder regulieren. Aus diesen Gründen ist nach Auffassung des Autors die Aussagekraft dieser Studien, in einer Gegenüberstellung mit jenen der anderen Altersgruppen, zumindest teilweise limitiert.

5.2 Jüngere Erwachsene

Mit Abstand die meisten Untersuchungen der Hamstring - Flexibilität wurden mit Proband/innen im Alter zwischen 18 und 64 gefunden. Auch hier ist auffällig, dass relativ viele davon, nämlich sechs, aus Spanien kommen (Ayala, F. & de Baranda Andujar, Pilar Sainz, 2010; Ayala, F. et al., 2012, 2013; Lopez-Bedoya et al., 2013; Muyor et al., 2012; Sainz de Baranda, P. & Ayala, F., 2010). Zwei weitere sind brasilianischer Herkunft (Marques et al., 2009; Peixoto et al., 2015), sowie auch zwei japanischer (Hasebe et al., 2016; Sairyo et al., 2013). Jeweils eine aus den USA (Rancour et al., 2009), Deutschland (Haab & Wydra, G., 2017) und der Türkei (Yildirim et al., 2016). Alle Autor/innen haben in ihren Experimentalgruppen eine signifikante Verbesserung der Bewegungsreichweite durch eine Dehnintervention feststellen können, wobei in dieser Altersgruppe viele unterschiedliche Dehnmethoden angewendet werden.

Ayala, F. und de Baranda Andujar, Pilar Sainz (2010) testeten beispielsweise 3 Gruppen vor und nach einer 12-wöchigen aktiv-statischen Stretch – Phase, wobei die Dauer jeweils verschieden ist. Damit soll evaluiert werden, wie lange eine Dehnposition gehalten werden soll um möglichst effiziente Ergebnisse zu erzielen. Alle Versuchsgruppen führen die Übungen drei Mal pro Woche aus mit einer jeweiligen Nettodehnzeit von 180 Sekunden. Mit einer Effektstärke von g (1.9) war die 4x45 sec Methode am effektivsten, die 6x30 sec Gruppe verzeichnete mit (1.26) den geringsten Effekt und die 12x15 sec Intervention erreichte eine ES von (1.62). Da letztere jedoch bereits nach 4 und 8 Wochen einen größeren Zuwachs als die anderen beiden erreichte, gilt für Ayala, F. und de Baranda Andujar, Pilar Sainz die aktiv-statische Methode, welche 12x15 Sekunden gehalten wird, am effizientesten. Da sich die Testergebnisse jedoch nicht signifikant voneinander unterscheiden, und alle Versuchsgruppen einen großen Effekt aufweisen, kommen die Autoren zu dem Schluss, dass die Dauer, die insgesamt pro Tag für das Dehnen aufgewendet wird, wichtiger ist, als die Dauer einer einzelnen Dehnung.

Ebenfalls die aktiv-statische Dehnmethode wurde in der nächsten Primärstudie von Ayala, F. et al. (2012) angewandt. Diese beschäftigt sich jedoch in erster Linie mit der Validität und Reproduzierbarkeit des Sit-and-reach Tests und dem Toe-touch Test (vgl. Kapitel 3.). Da dies für diesen Review, zumindest in erster Linie jedoch nicht relevant ist, werden, wie bereits bei Ayala, F. und de Baranda Andujar, Pilar Sainz (2010) die Ergebnisse des Passive Straight Leg Raise Tests herangezogen. Diese Messmethode wurde in diesem Fall angewandt, um einen Vergleichswert zu erhalten. Über 4 Wochen wurden 243 Versuchspersonen, wie bereits in der

vorherigen Untersuchung, 3 Mal wöchentlich jeweils 3x45 Sekunden gedehnt. Die Effektstärke liegt bei 0.4, was nach Cohen (1992) einem kleinen Effekt entspricht.

Einen wesentlich größeren Zuwachs der Beweglichkeit erzielten die Versuchsgruppen bei Ayala, F. et al. (2013), bei der Gegenüberstellung der Wirkung von aktiv-statischen Dehnmethoden bei jungen Studenten mit bzw. ohne limitierter Hamstringbeweglichkeit nach einem 12-wöchigem Dehnprogramm (1.9 bzw. 1.28). Die Autoren nehmen an, dass mechanische/physiologische Veränderungen der Muskel-Sehneneinheit, welche sich in der Änderung der Steifheit und der Arbeitsaufnahmefähigkeit ausdrücken, oder die gesteigerte Dehnungstoleranz für den Bewegungszuwachs verantwortlich sind. Da jedoch auch in dieser Studie keine viskoelastischen Eigenschaften gemessen wurden, kann man den Ergebnissen die genaue Ursache nicht entnehmen.

Die einzige Primärstudie, die einen direkten Vergleich zweier Altersgruppen vornahm, stammt von Haab und Wydra, G. (2017), mit dem Hintergrund ältere Erwachsene ($65,1 \pm 7,9$ Jahre) und jüngere Erwachsene ($24,0 \pm 4,0$ Jahre) hinsichtlich ihrer Hamstringflexibilität nach einem 10-wöchigen Dehntraining gegenüberzustellen. Es wurden neben der ROM noch weitere wichtige Parameter im Zuge ihrer Untersuchung erhoben und ausgewertet. Biomechanische Parameter wie Dehnungsspannung beim Erreichen der maximalen Dehnung, die Passive-elastische Stiffness und die Passive-elastische Energie sollen Aufschluss auf die Trainierbarkeit der Dehnfähigkeit der Muskulatur in Abhängigkeit des Lebensalters geben. Die Ergebnisse zeigten bezüglich der Dehnungsspannung und der passiven-elastischen Energie zwar höhere bzw. ähnliche Adaptionen bei den jüngeren Probanden, jedoch keine signifikanten altersspezifischen Unterschiede.

Hasebe et al. (2016) setzten sich als einzige Studie im Rahmen dieser Recherche mit dynamischem Dehnen der ischiocruralen Muskulatur auseinander. In diesem Fall werden die Auswirkungen eines 6-wöchigen Dehnprogramms auf die Flexibilität der Hamstrings unter Berücksichtigung der Lendenwirbelsäule und der Beckenkinematik in Augenschein genommen. Es konnte auch hier eine signifikante Verbesserung der Beweglichkeit festgestellt werden. Des Weiteren schließen die Autoren aus den Ergebnissen, dass durch dynamisches Dehnen auch in der späten Phase des Vorbeugens die Beckenmobilität verbessert und dadurch die Lendenwirbelsäule während Hüftbewegungen entlastet werden kann. Darum ist auch eine effektive Prophylaxe bzw. Behandlung von Schmerzen im unteren Rücken geboten. Dies geschieht in Folge von Reduktion der Hamstring Steifheit und der Verbesserung der Bewegungsreichweite und wurde unter anderem auch bei Sairyo et al. (2013) nachgewiesen.

Drei unterschiedliche Arten von Beweglichkeitstraining wurden in der Studie von Lopez-Bedoya et al. (2013) angewendet und miteinander verglichen. Insgesamt 29 Proband/innen wurden unterteilt in eine PNF Gruppe, eine Active Isolated Stretching (AIS) Gruppe und eine passive – static Stretching Gruppe. Man konnte mit einem passiven Beweglichkeitstest (PSLRT) nach einer Intervention über 9 Wochen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Techniken feststellen, da alle drei einen großen Effekt verzeichnen. Interessant jedoch ist, dass bei der Messung mit dem active straight leg raise test (ASLRT), entgegen der Hypothese der Autoren, lediglich bei der Passive Static Stretch Gruppe eine relevante Verbesserung der Bewegungsreichweite nachweisen lies.

Marques et al. (2009) beleuchtet die Auswirkung eines aktiv-statischen Dehntrainings im Kontext der elektromyographischen Aktivität während des Dehnens. Dazu wurden die Testpersonen in 3 Gruppen gesplittet welche in unterschiedlicher Frequentierung ein Dehntraining durchliefen (1x/Woche, 3x/Woche, 5x/Woche). Alle Gruppen konnten das Bewegungswachstum signifikant ausweiten, während die letzteren beiden sich einander ähnlich von der ersten Gruppe abheben. Gleichzeitig sank die elektronische Muskelaktivität im Bizeps Femoris bei Gruppe 2 und 3. Dies resultiert wohl aus der reduzierten Reaktion der Muskelspindeln, da die verbesserte Flexibilität aus einer Veränderung der viskoelastischen Eigenschaften resultieren kann, so Marques et al. (2009). Ein weiterer Erklärungsansatz führt auf die erhöhte Schmerztoleranz zurück, welche zu einer zu einer verminderten Aktivität der Nozizeptoren führt vgl. (Kubo et al., 2002; Mahieu et al., 2007).

Muyor et al. (2012) begutachtet die Wirkung eines passiv-statischen Dehntrainings auf die Beweglichkeit und die entsprechenden Folgen auf die Krümmung der Lendenwirbel und die Beckenneigung. Diese Studie wurde durchgeführt im Kontext der Bewegungsarmut an vielen Arbeitsplätzen, weshalb die Übungen auch am Arbeitsplatz durchgeführt wurden. Nach 12 Wochen konnte mittels des Toe touch Tests ein mittlerer Effekt (0.63) gemessen werden, ob durch eine erhöhte Stretch Toleranz und/oder die Veränderung viskoelastischer Charakteristiken wird nicht untersucht. Eine Verbesserung der sagittalen Ausrichtung und eine größere vordere Beckenneigung bei der Rumpfbeugung konnte jedoch nachgewiesen werden.

Die Folgen eines 4-wöchigen dynamischen in Anschluss an ein passiv-statisches Dehntraining erforschten Rancour et. al (2009). Nach den täglichen statischen Sessions über 4 Wochen hinweg erreichten beide Gruppen einen signifikanten Anstieg der ROM. Die Kontrollgruppe beendete daraufhin die Aktivität, während die Versuchsgruppe mit einer dynamischen Intervention 2-3 wöchentlich fortfuhr. Die Messwerte zeigten, dass die Bewegungsreichweite der Kontrollgruppe nach Ablauf der 8 Wochen einen Rückgang der Flexibilität erfuhr, während

die Versuchsgruppe einen weiteren Zuwachs dieser verzeichnen konnte. Rancour et. al ziehen daraus den Schluss, dass ein weniger zeitaufwändiges aber regelmäßiges intermittierendes Stretching helfen kann, die Beweglichkeit zu erhalten, weil dadurch die Muskulatur in einem plastischen Dehnzustand bleibt. Zusätzlich ist noch zu erwähnen, dass die wöchentliche Verbesserung nicht signifikant ist, sondern erst über einen längeren Zeitraum von 4 Wochen eine statistisch relevante Veränderung gemessen werden konnte. Die Autoren verweisen auf Willy, Kyle, Moore und Chleboun (2001), welche eine Verlängerung der muskulotendiösen Einheiten zwar für möglich halten, aber nach einer 6-wöchigen Intervention nicht nachweisen konnte. Wahrscheinlicher ist eine Erhöhte Toleranz auf die Muskeldehnung.

Die viskoelastische Stressrelaxation nahmen Peixoto et. al (2015) in Zentrallengaugenschein. Anhand dieser können die viskoelastischen Eigenschaften des Muskels eruiert werden. Bestimmt wird die Stressrelaxation durch die Messung der Abnahme der passiven Dehnungsspannung während der Haltung einer Muskelsehneneinheit in einer konstanten Längenposition (vgl. Kapitel 2). Nach einem statischen Dehntraining über 10 Wochen reduzierte sich die relative Stressrelaxation an einer vorgegebenen Dehnungsspannung signifikant von 25% auf 21%. Gleichzeitig stieg die ROM und Dehnungsspannung signifikant an. ES [ROM] (2.78). Gedeht wurde 4 Mal wöchentlich passiv – statisch mit einem isokinetischen Dynamometer, anfangs mit 70% der maximalen Dehnungsspannung, diese wurde alle 2 Wochen angepasst. Mit den vorliegenden Resultaten, dass die Spannungsrelaxationsreaktion nach einem Stretchprogramm abnimmt, und es sich dabei um eine visköse Reaktion handelt, gehen Peixoto et. al davon aus, dass auch Mechanismen wie das Rearrangement und die Relaxation der Kollagenfasern bzw. die Entfaltung von Titin nach einem langzeitlichen Dehntraining ein modifiziertes Verhalten auf einen Dehnstimulus aufweisen können. Als eine weitere Erkenntnis dieser Studie geht hervor, dass die Spannungsrelaxation bei einer Session mit 6 Wiederholungen nur zwischen der zweiten und dritten Dehnung eine signifikante Verringerung zeigt. Deshalb wird für einen optimalen Trainingsumfang ein Programm mit zwei bis vier Wiederholungen suggeriert.

Anhand von 173 ProbandInnen, 122 davon männlich, 51 weiblich, im Alter von 21.3 ± 2.5 Jahren, wurden in der Untersuchung von Sainz de Baranda, P. und Ayala, F. (2010) die Empfehlungen des American College of Sports Medicine in Bezug auf Stretching getestet. Verglichen werden die unterschiedliche Dauer von Dehnungen (15, 30 und 45 Sekunden), sowie aktive und passive Methoden. Sie kommen zu dem Schluss, dass die Vorgaben des ACSM, nämlich 3 Mal wöchentlich mit einer täglichen Dosis von 180 Sekunden nach einer 12-wöchigen Anwendung wirksam und auch ähnlich effektiv sind, wie vergleichbare Studien mit mehreren Stretching – Einheiten. Die Anzahl der Sätze bzw. die Dehnmethode sei an die individuellen Bedürfnisse anzupassen, so die Autoren, denn obwohl in dieser Studie die passiv

– statischen Versuchsgruppen insgesamt einen höheren Bewegungszuwachs erfuhren, unterscheiden sich die Werte nicht signifikant voneinander.

Messungen zweier unterschiedlicher Altersgruppen, jedoch keinen Vergleich dieser finden wir in der Studie von Sairyo et al. (2013), welche sich mit der Jack – Knife Dehnmethode über 4 Wochen befasst. Die Sessions finden jeden Tag zwei Mal statt, wobei jeweils 5 Wiederholungen 5 Sekunden gehalten werden. Die Jack – Knife Methode ist ein aktiv – statisches Dehnverfahren, das sich der Kontraktion des Antagonisten bedient und trotzdem einfach und ohne Vorkenntnisse durchzuführen ist. In der ersten Gruppe, die aus Jugendlichen besteht, wurden, im Gegensatz zur Erwachsenenengruppe, zu Beginn des Trainingsprotokolls leichte Rückenschmerzen angegeben. Diese waren nach Ablauf des Programms zwar gänzlich abgeklungen, trotzdem ist es dadurch nicht wirklich möglich, diese beiden in Bezug auf die Auswirkungen des Trainings in Relation zu bringen. Gemessen wurde bei den Kindern eine Effektstärke von 2.3 und bei den Erwachsenen sogar 4.4 anhand des *Pelvis forward inclination angle* (PFIA). Sairyo et al. Erwähnen eine Studie von Meroni R (2010), welcher zu dem Schluss gekommen ist, dass aktives Stretching wirksamer ist als passives.

Eine Technik, welche die Reichweite des straight leg raise verbessern soll, die Mulligan traction straight leg raise (TSLR) wird in einer aus der Türkei stammenden Studie mit der PNF hold-relax Methode und dem normalen passiven Stretching verglichen. Yildirim et al. (2016) verzeichneten bei allen Gruppen einen signifikanten Anstieg der ROM, bei der PNF- und der TSLR Gruppe jedoch einen signifikant größeren Effekt als bei der statischen Gruppe. Auch hier wird auf die mechanischen und neuronalen Faktoren hingewiesen, welchen einen Anstieg der Flexibilität zur Folge haben können. Eine mechanische Veränderung der muskeltendiösen Steifheit oder eine erhöhte Schmerztoleranz als neuronale Adaption. Aber auch diese Annahmen sind bloß Mutmaßungen.

5.3 Ältere Erwachsene

Ein Grund, warum bei den älteren Gruppen weniger Versuchspersonen gefunden wurden, ist unter anderem, da mit dem Alter einige Krankheiten häufig auftreten wie Osteoarthritis, Rückenschmerzen andere altersbedingte Verschleißkrankheiten. Viele Studien, die sich mit Dehnungsanpassungserscheinungen älterer Erwachsener befassen, tun dies in Verbindung mit Rehabilitationen von Krankheiten. Diese will man jedoch in diesem Systematischen Review bewusst ausgrenzen, was sich bei älteren Personen jedoch als schwieriger herausstellt als bei den anderen Altersgruppen.

Bei den Studien mit den Proband/innen über 65 fällt auf, dass drei von jenen vier, welche die Voraussetzungen erfüllen, aus Brasilien stammen und jene drei südamerikanischen Studien ausschließlich weibliche Personen testen. Dies kann unter anderem, wie im Kapitel 2.2.3 bereits erwähnt, an der geschlechtsspezifischen Motivation Sport zu treiben liegen, so Cihlar (2013). Während sich Frauen eher aus sozialen bzw. körperlich-gesundheitlichen Gründen sportlich betätigen, orientieren sich Männer mehr an Wettbewerben, was gesundheitsbezogene Studien eher unattraktiv macht. Gründe, warum die Studien aus Brasilien nur weibliche und die aus Deutschland nur männliche Personen testen, werden nicht genannt.

In zwei Fällen werden die Versuchsgruppen einem passiven statischen Dehnprogramm (Haab & Wydra, G., 2017) und (Cristopoliski et al. 2009) und in den anderen beiden einem aktiven statischen (Gallon et al., 2011) und (Oliveira, L. Campos de et al., 2016).

Im Fall von Cristopoliski et al. (2009) besteht die Möglichkeit, dass die Interpretation der Effektstärke in die Irre führt. Er erzielte bei seinen Versuchspersonen einen durchschnittlichen Zugewinn der Bewegungsreichweite von $18,9^\circ$, bei einer Effektstärke von 2.48. Dies ist aber möglicherweise darauf zurückzuführen, dass auch der Hüftbeuger und die Waden im Zuge dieser Intervention gedehnt wurden, was sich auch positiv auf das intermuskuläre Zusammenspiel auswirkt. Er untersuchte 12 Probandinnen im Alter von 65.9 ± 4.2 Jahren nach einem 4 – wöchigen passiv – statischen Stretch – Training und konnte feststellen, dass die Ergebnisse dieses Dehnprogrammes sehr ähnlich zu jenen Daten vorangegangener Studien mit jungen Erwachsenen sind. Er beschäftigte sich vor allem mit den Auswirkungen des Trainings auf die Gangart, welche mithilfe von Kameras und an den unteren Extremitäten angebrachten Sensoren operationalisiert wurden. Die Hüftbeweglichkeit wurde mittels des Thomas – Tests eruiert. Es konnte nach den vier Wochen eine reduzierte Steifheit des Bindegewebes im Hüft- und Beckenbereich festgestellt werden und im Zuge des Bewegungszuwachses auch die Schrittlänge und Gehgeschwindigkeit soweit verbessert

werden, dass sich die erhobenen Werte kaum von denen junger Erwachsener unterscheiden. Die Studie zeigt also auf, dass die richtige Dehnmethode im Alter eine sehr effektive Strategie sein kann um die Beweglichkeit zu verbessern, bzw. negative Entwicklungen in Bezug auf das Alter wieder rückgängig gemacht werden können, so Cristopoliski et al. (2009).

Gallon et al. (2011) ließ seine 8 weiblichen Versuchspersonen ein aktiv – statisches Dehnprogramm durchlaufen. Die Probandinnen stammen aus einer Pflegeeinrichtung, wobei von 142 Anwärtinnen 123 aufgrund diverser Bewegungseinschränkungen und/oder Gesundheitsproblemen exkludiert werden mussten. Das Durchschnittsalter liegt bei 67.0 ± 9.0 Jahren. Das 8-wöchige Dehnprogramm sah 3 Sessions pro Woche vor mit jeweils 4 aktiv statischen Dehnungen des Hüftstreckers, die jeweils 60 Sekunden gehalten werden mussten. Mit einem nichtelastischen Band, welches um die Füße geschlungen wurde, konnten sie sich am Boden sitzend bis nach vorne bewegen. Es konnte nach dieser Intervention ein Flexibilitätsgewinn der ischiocruralen Muskulatur von 30% verzeichnet werden, bei einer Effektstärke von 1.43. Sowohl die Experiment- als auch die Kontrollgruppe wiesen vor dem Dehnprogramm unterdurchschnittliche Werte auf. Gallon et al. (2011) sieht dies begründet in der altersbedingten Abnahme der Größe des maximalen Dehnungswiderstandes. Die verkürzenden Veränderungen der Muskelsehnen können verursacht werden durch Zunahme des festen Typ I Kollagens, bzw. einer Abnahme des Typ III Kollagens im Gewebe. Dies ist eine Folge des Bewegungsmangels in Institutionen wie Pflegeheimen.

Die Adaption der Golgi Rezeptoren und Muskelspindeln haben eine größere Toleranz zur Folge. Das Outcome dieser Studie war besser als ursprünglich angenommen und die Autoren vermuten, dass dies wohl an der aktiven Dehnmethode liegt, welche in vergangenen Studien bereits zu besseren Ergebnissen als passive geführt haben. Interessant in diesem Kontext ist, dass die Studie von Cristopoliski et al. (2009) sich eines passiv statischen Verfahrens bedient und in dieser Altersgruppe die größte Effektstärke verzeichnet.

Haab und Wydra, G. (2017) haben 14 ältere Proband/innen im Alter von 65.1 ± 7.9 mit 15 jüngeren erwachsenen Proband/innen im Alter von 24.0 ± 4.0 in Bezug auf Dehnanpassungserscheinungen verglichen. Dies war die einzige Studie, die eine direkte Gegenüberstellung diesbezüglich vornahm. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass beide Altersgruppen nach einer 10-wöchigen Intervention ihren Beweglichkeitsrahmen ausweiten konnten. Auch wenn die jüngeren etwas mehr Beweglichkeitszuwachs verzeichnen konnten, unterscheiden sich die Werte nicht signifikant voneinander. Sie untersuchten und verglichen jedoch auch die maximal erreichbare Dehnungsspannung, welche sich bei den jüngeren über

die Interventionsphase stärker verbesserte als bei den älteren. Auch die passiv – elastische Stiffness und die passive elastische Energie wurde unter denselben Umständen betrachtet, jedoch konnten keine signifikanten altersspezifischen Unterschiede verzeichnet werden.

Oliveira et al. (2016) vergleicht ein aktiv – statisches Dehnprogramm mit Pilates – Übungen. Er stellt die Hypothese auf, dass Pilates einen ebenso positiven Effekt auf die Beweglichkeit älterer Menschen hat, wie Stretching. Dazu wurden 32 Frauen im Alter von $64,81 \pm 0,8$ Jahren randomisiert in eine Pilates- und eine Dehngruppe geteilt. Für diese Arbeit sind jedoch lediglich die Ergebnisse der Dehninterventionsgruppe von Interesse. Es wurden insgesamt 20 Übungen durchgeführt, je zweimal pro Woche über einen Zeitraum von zwölf Wochen. Eine Übung bestand aus 3 Wiederholungen á 30 Sekunden mit 1 Minute Pause dazwischen. Auch in dieser Studie wurde mehr als nur die Hamstringmuskulatur gedehnt, sondern generell die oberen und unteren Extremitäten. Die Zunahme der Beweglichkeit im Bereich der ischiocruralen Muskeln wurde mit einem Fleximeter für hip flexion movement (HFM) gemessen und wies eine große Effektstärke auf (0.95). Auch hier zeigt sich wieder, dass aktiv – statisches Stretching sehr effektiv ist, in Bezug auf die Hüftflexion auch größer als bei der Pilates – Gruppe. Die anderen gemessenen Gelenksamplituden gewannen jedoch mit der Yogaintervention mehr Bewegungsreichweite dazu. Dies begründet Oliveira et al. (2016) mit kräftigenden, gleichgewichtsfördernden und dynamischen Elementen, die ebenfalls bei Pilates vorkommen. Es ist also grundsätzlich eine empfehlenswerte Methode für den Erhalt der Beweglichkeit im Alter, jedoch für diesen Review nicht relevant.

6 Diskussion

Ziel dieser Arbeit ist es nun, anhand der vorliegenden Studien, die Altersgruppen hinsichtlich der Trainierbarkeit der ischiocruralen Muskulatur zu vergleichen. Dabei soll auf die maximale Bewegungsreichweite, aber auch auf mechanische, viskoelastische, sowie neuronale Parameter eingegangen werden, sofern diese auch miteinbezogen wurden. Anhand dessen kann man die betreffenden Gruppen gemäß dem Alter der Proband/innen anschaulich gegenüberstellen. Im einem weiteren Schritt wird noch auf die Dehnmethoden bzw. deren Intensität bzw. der Dauer des Dehnprogramms eingegangen um zu evaluieren, welches Training sich am besten für die jeweilige Altersgruppe eignet.

Gefunden wurden 21 Primärstudien mit insgesamt 1615 Proband/innen unterteilt in 55 Gruppen. In der Altersgruppe <18 wurden insgesamt 606 Proband/innen getestet, wobei sich 399 innerhalb der 10 Interventionsgruppen einem Dehnprogramm unterzogen, 5 Gruppen dienten der Kontrolle. Die Proband/innen im Altersbereich >64 sind 85 an der Zahl, davon 17 in den Kontrollgruppen und in den 5 Experimentalgruppen 66 Proband/innen, die ein Training vollzogen. Die Erwachsenen zwischen 18 und 64 bilden mit 936 Getesteten die mit Abstand am häufigsten vertretene Altersgruppe. Sie werden unterteilt in 29 Interventionsgruppen mit insgesamt 768 Probandinnen und 6 Kontrollgruppen mit 158 Versuchspersonen.

Tabelle 7: Darstellung der Altersgruppen mit den durchschnittlichen Effektstärken und dem Durchschnitt der Altersmittelwerte; (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung)

Altersgruppe	Durchschn. Alter	Probandinnen gesamt	Interventionsgruppen	Kontrollgruppen	Durchschn. Effektstärken
Bis 18	11,3 $\pm$ 3,1	N = 606	10	5	0,64 $\pm$ 0,57
18 - 64	24,3 $\pm$ 6,8	N = 936	29	6	1,52 $\pm$ 0,83
>64	65,6 $\pm$ 0,8	N = 85	5	2	1,36 $\pm$ 0,71

Es wurde nur eine einzige Studie gefunden, die sich direkt mit dem Unterschied der Dehnungsanpassungen zweier Altersgruppen beschäftigt (Haab & Wydra, G., 2017). Die Autoren vergleichen die Auswirkungen eines Dehntrainings auf die ischiocrurale Muskulatur junger Erwachsener und älterer Erwachsener. Sairyo et al. (2013) erhebt auch Daten zweier Gruppen, nämlich von Kindern und Erwachsenen, jedoch werden diese Informationen nicht relevant in Bezug gebracht.

Fest steht, dass ausnahmslos alle Versuchsgruppen im Zuge eines mindestens zwei Wochen andauernden Dehntrainings, ihre Beweglichkeit verbessern konnten. Die durchschnittliche Effektstärke der Kinder/Jugendlichen bis 18 ($ES: 0.64 \pm 0.57$) liegt doch deutlich hinter jenen der Erwachsenen ($ES: 1.52 \pm 0.83$) und der älteren Erwachsenen ab 64 ($ES: 1.36 \pm 0.71$). Somit erreicht die jüngste Altersgruppe nach Cohen (1992) einen mittleren Effekt, während die Gruppe von 18 – 64 Jahren, sowie jene von 64 aufwärts, einen großen Effekt erzielen. Die Effektstärken der 18 – 64-jährigen und der über 64-jährigen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($p = 0,08$). Dies geht auch einher mit der Studie von Haab et al. (2017), die ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen jüngeren und älteren Erwachsenen in Bezug auf die verbesserte Flexibilität nach einem Dehntraining feststellen konnten ($ES_{alt}: 0.53$ und $ES_{erw}: 0.59$). Sowohl Erwachsene als auch ältere Erwachsene profitieren also signifikant von einem längerfristigen Dehntraining ($p = 0,003$ / $p = 0,02$). Im Gegensatz dazu liegen die Effektstärken der Kinder und Jugendlichen signifikant unter jenen der jüngeren Erwachsenen ($p < 0,05$) sowie der älteren Erwachsenen ($p < 0,05$).

Die Ergebnisse der unter 18 – jährigen sind nun jedoch mit einer gewissen Distanz zu betrachten, zumal es einige limitierende Faktoren gibt, welche die anderen beiden Gruppen nicht aufweisen. So wurde bei den Kindern im Gegensatz zu den anderen, bis auf eine Ausnahme (Sairyo et al., 2013), nur 1x oder 2x wöchentlich gedehnt. Wie bereits im vorherigen Kapitel von Mayorga-Vega et al. (2016) kritisiert, lässt der Sportunterricht im schulischen Kontext kaum einen größeren Zeitaufwand für Dehnübungen zu, wobei Merino-Marban et al. (2015) keinen signifikanten Unterschied zwischen einer bzw. zwei wöchentlichen Stretching Sessions feststellen kann. Marques et al. (2009) hingegen verzeichnet bei den jüngeren Erwachsenen den größten Beweglichkeitszuwachs bei drei Trainingseinheiten pro Woche.

Dass die Jüngsten in diesem Systematic Review verhältnismäßig geringere Effekte als jene Proband/innen in fortgeschrittenerem Lebensalter erzielen, kann aber neben der geringeren Frequentierung des Trainings noch mehrere Gründe haben. Zum einen ist davon auszugehen, dass Kinder nicht mit derselben Seriosität an solch eine Studie herangehen, wie ältere

Versuchspersonen. Durch viel Bewegung zwischen den Interventionen bzw. vor den Testungen könnten Ergebnisse verfälscht worden sein. Jedoch deutet sich auch bei Sairyo et al. (2013) ein relativ großer Unterschied der Effektstärken zwischen jungen und erwachsenen Studienteilnehmer/innen. ($ES_{\text{erw.}}$: 4.4 und $ES_{\text{kind.}}$: 2.3). Diese Studie fand unter denselben Bedingungen mit derselben Methode statt.

Ein weiterer Schluss, den man in dieser Hinsicht ziehen kann, liegt auf der Hand, wenn man sich vor Augen hält, dass die Trainierbarkeit gemessen wurde und nicht die Flexibilität. Die Beweglichkeit ist wie De Araújo (2004) im Flexitest darstellt, im Kindesalter am höchsten und nimmt stetig im Altersgang ab. Dies liegt aber auch vor allem an den weicheren Knochenschäften und der noch geringeren Verknöcherung der Gelenke (Klee & Wiemann, 2005) (vgl. Kapitel 2.2.4). Auch die Muskulatur ist noch nicht vollends ausgeprägt (Freiwald, 2013). Das begünstigt zwar einen erweiterten Bewegungsradius und weniger bewegungshemmende Elemente, jedoch nicht unbedingt eine bessere Trainierbarkeit desgleichen. Zu den viskoelastischen und neurologischen Abläufen im Muskel eines Kindes in Bezug auf ein Dehntraining liegen noch kaum Studien vor.

Sehr wohl nahm man sich darum jedoch bei jüngeren und älteren Erwachsenen an. Zwei Forschungsgruppen verglichen diese auch. Sobolewski, Ryan, Thompson, McHugh und Conchola (2014) untersuchten den Einfluss des Alters (24 ± 3 vs. 67 ± 3 Jahre) auf akute viskoelastische Effekte im Zuge eines Dehnsatzes mit 4 passiv statischen Wiederholungen á 30 Sekunden. Die jüngere Versuchsgruppe verzeichnete eine bessere Stressrelaxationsreaktion, jedoch hielt diese nicht lange an und näherte sich nach einigen Wiederholungen wieder dem Ausgangswert. Das deckt sich mit den Erkenntnissen von Peixoto et al. (2016), die bei Erwachsenen nicht nur eine signifikante Verringerung der Stressrelaxation zwischen der zweiten und dritten Dehnungswiederholung feststellen konnten, sondern auch eine signifikant reduzierte Stressrelaxation nach einem 10 – wöchigen Dehntraining. Die älteren zeigten eine geringere, jedoch konstante Reaktion über die vier Repetitionen. Eine Hypothese der Autoren war auch, dass die altersbedingte passive Steifheit zu einem geringeren Bewegungszuwachs führen würde. Ihr Experiment unterstützte diese Annahme jedoch nicht, beide Altersgruppen wiesen ähnliche Zuwächse auf. Lim et al. (2019) hingegen nahmen den Proband/innen Gewebeproben ab und gaben die Bündel, welche sich aus jeweils etwa 50 Muskelfasersegmenten zusammensetzten, in eine dafür präparierte Vorrichtung. Durch leichtes Dehnen konnten so die viskoelastischen Eigenschaften einzelner Muskelfasern von jüngeren (25.6 ± 4.5 Jahre) und älteren Erwachsenen (79.0 ± 3.8 Jahre) analysiert werden. Ähnlich wie bei Sobolewski et al. (2014) wurde eine erhöhte visköse Funktion in Zuge einer erhöhten Relaxationszeit bei den Fasern der älteren Proband/innen festgestellt. Auch eine stärkere passive Dehnungsspannung war zu verzeichnen und kann

somit mit dem Altersanstieg in Verbindung gebracht werden. Mit ihrem Verfahren konnten die Autoren beweisen, dass die altersbedingten Veränderungen auch auf muskelzellulärer Basis stattfinden, unabhängig von der extrazellulären Matrix und in Abwesenheit des Nervensystems. Es bleibt aber nach wie vor die Frage offen, welche zugrundeliegenden Mechanismen diese altersbedingten Veränderungen beeinflussen. Lim et al. (2019) vermuten, dass die erhöhte Viskoelastizität im Alter auf einen erhöhten Anteil nicht elastischer und nicht kontraktile Elemente wie Kollagenablagerungen, amorphen Materialien oder intramyozellulären Lipidtropfen, die an der Verteilung von Proteinen zwischen Zellorganellen beteiligt sind, zurückzuführen sei. Obwohl nicht in ihrer Studie getestet, gehen die Autoren auch auf die mögliche Rolle von Titin auf die altersbedingte Steifheit ein. Eine verminderte passive Elastizität aufgrund des Titins und eine erhöhte Steifheit auf nicht-Titin-Basis könnten altersbedingte Veränderungen der passiven Dehnungsspannung und der Viskoelastizität auf Muskelzelebene erklären. Alles in allem jedoch sind auch jene Erklärungsansätze der auf titin- bzw. nicht-Titin-basierenden intrazellulären Steifheit und Elastizität noch relativ unklar, so Lim et al. (2019).

Nun nimmt aufgrund dieser viskoelastischen Prozesse in den Muskelfasern, sowie dem Gewebe herum und wie man der Literatur entnehmen kann aufgrund der Abnahme der Muskelmasse (Sölch, 2015), des Gelenkverschleißes, zunehmender Einlagerung von Bindegewebe, verminderte Wassereinlagerung (Klee und Wiemann, 2005), der verstärkten Bildung von Cross-links des Kollagens (Spoerl et al., 1998) und dies alles begünstigt durch Bewegungsmangel (Freiwald, 2013), die Beweglichkeit im Alter ab. Haab und Wydra (2017) haben in ihrer Studie den negativen Effekt des Alters auf die maximale ROM, die passive Dehnungsspannung, die passiv-elastische Steifheit und passiv-elastische Energie der ischiocruralen Muskulatur nachgewiesen. Jedoch auch wenn das steigende Alter sich einschränkend, vor allem auf die passiven Eigenschaften der Muskulatur, auswirkt, finden doch bei älteren Erwachsenen ähnliche Adaptionen wie bei jüngeren Erwachsenen statt. Es profitieren also beide in vergleichbarem Ausmaß von einem längerfristigen Dehntraining.

Welche Prozesse nun tatsächlich zu einem Zuwachs der Beweglichkeit im Rahmen einer mehrwöchigen Dehnintervention führen, ist im weitesten Sinne noch unbekannt. Eine strukturelle Veränderung des Gewebes kann, so geht aus der Literatur hervor, vermutlich erst nach einer langfristigen Adaption des Arbeitswinkels stattfinden (Klee und Wiemann, 2004; Gärtner, 2016). Es hat auch keine der in diesem Review eingeschlossene Studie eine physiologische Veränderung im Zuge der Untersuchung feststellen können. Somit teilen die meisten Autoren die Meinung, dass die erhöhte Dehnfähigkeit nach einem längerfristigen Programm wohl an der erhöhten Toleranz auf Stretching liegt (Kamadulis et al., 2013, Ayala et al. 2013; Marquez et al. 2009; Rancour et al., 2009; Yildirim et al., 2016; Gallon et al., 2011).

Bei Muanjai et al. (2017) wurde beispielsweise nach einem Dehntraining auch eine mögliche Modifikation des Bindegewebes überprüft, jedoch konnte keine Längenveränderung der Muskelsehneinheit verzeichnet werden. Auf fällt aber auch in dieser Studie, dass die Schmerz- bzw. Diskomfort-Wahrnehmung im Zuge der Trainingsphase abnimmt, was ebenfalls zu der Konklusion veranlasst, dass eine Erhöhte Toleranz der Nozizeptoren für zunehmende ROM verantwortlich ist, eine physiologische Veränderung wohl jedoch erst nach einer wesentlich längeren Stretching-Routine eintritt.

Muanjai et al. (2017) testeten zwei unterschiedliche Intensitäten der Muskeldehnung auf ihre Auswirkung auf die Flexibilität und die intermuskuläre Aktivität nach einer 4-wöchigen Anwendung. Die passive Stiffness, die maximale passive Dehnungsspannung und der Bewegungsradius wurden gemessen, nach, und auch während der Dehnintervention, wobei die einzelnen Übungen a) bis zum Point of Discomfort (POD) und b) bis zum Point of Pain (POP) durchgeführt wurden. Die Autoren gingen davon aus, dass beide Intensitäten zu einer erweiterten Beweglichkeit, die POP Gruppe jedoch einen größeren Effekt erreichen wird. Die Resultate bestätigen die erste Annahme, die Steigerungen der Flexibilität unterscheiden sich jedoch nicht signifikant voneinander. Aufgrund dieser Ergebnisse und angesichts der Tatsache, dass es grundsätzlich sehr schwierig ist, das subjektive Schmerzempfinden bei einer Dehnung zu operationalisieren, so Haab (2017), wird die Intensität als Parameter in dieser Arbeit vernachlässigt. Es ist jedoch am besten, so Lindel (2010), die auszuübende Kraft auf den Muskel individuell an die subjektive Empfindung und die Zielsetzung anzupassen. Deshalb kann man davon ausgehen, dass sich zur allgemeinen Verbesserung der Beweglichkeit bzw. zum Erhalt dieser ein Stretching leichten bis mittleren Ausmaßes eignet, je nach Motivation und Ausprägung der Schmerztoleranz auch eine hohe Intensität gewählt werden kann.

Welche Dehnmethode nun für die jeweilige Altersgruppe am effektivsten ist, lässt sich anhand der Ergebnisse und auch der Uneinigkeit in der Literatur wegen nicht wirklich bestimmen. Bei den unter 18-jährigen gab es insgesamt 10 Versuchsgruppen, von denen sich 3 einem aktiv-statischen Dehntraining unterzogen und 7 einem passiv-statischen. Der Mittelwert der Effektstärken der passiven Methode (0.42 ± 0.17) ist signifikant kleiner als jener der aktiven (1.16 ± 0.8) ($p < 0,05$).

Bei den jüngeren Erwachsenen wurde in 9 Gruppen passiv statisch interveniert, in 15 Gruppen aktiv-statisch, in 2 Gruppen mit der PNF - Methode (CR) und einmal wurde dynamisches Dehnen angewandt. Vergleicht man auch hier den mittleren Effekt der passiv-statischen Gruppen (1.38 ± 0.79) mit dem der aktiv-statischen Gruppen (1.76 ± 0.88), verzeichnen nach Cohen (1992) beide eine hohe Wirksamkeit. Obwohl die aktiv-statische Methode im Schnitt einen etwas höheren Beweglichkeitszuwachs zu erbringen scheint, unterscheiden sich die

beiden Werte nicht signifikant voneinander ($p = 0,29$). Da das dynamische und das PNF – Dehnen in den vorliegenden Studien kaum angewendet wurde, ist eine Gegenüberstellung an dieser Stelle aufgrund der mangelhaften Repräsentativität nicht wirklich sinnvoll.

Von den 4 Gruppen der älteren Erwachsenen wurde zweimal passiv-statisch und zweimal die aktiv – statisch gedehnt. Auch diese Ergebnisse unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($p = 0,7$), wobei in diesem Fall eine leichte Prävalenz des passiven Dehnens vorliegt.

Stellt man diese Ergebnisse nun jenen der anderen Altersgruppen gegenüber, so scheint das passiv-statische Dehnen mit dem Alter effektiver zu werden. Bei den Kindern kann nur ein mittlerer Effekt erzielt werden, bei den jüngeren und älteren Erwachsenen ein großer, wobei die passive Dehnung bei den jüngeren dem aktiven unterlegen und bei den älteren überlegen scheint. Dies mag vermutlich auch mit der bereits eingeschränkten Bewegungsfreiheit älterer Menschen zusammenhängen. McBride, Deane und Nimphius (2007) befragten ihre Versuchspersonen bezüglich der Stretching-Praktiken und 88% gaben an, die passiven Methoden als angenehmer zu empfinden. Sie werden generell als sicherer und einfacher auszuführen eingestuft, als die aktiven. Dies könnte dazu führen, dass bei einer altersbedingten Beweglichkeitseinschränkung das subjektive Wohlbefinden bei einer passiven Dehnung gegenüber den aktiven Varianten, auch einen größeren Effekt herbeiführen lässt. Lempke et al. (2018) schreibt Faktoren, die subjektiv wahrgenommen werden, wie der Einfachheit der Ausführung bzw. der Instruktionen eine bedeutende Rolle zu, welche vor allem im klinischen Bereich verstärkt berücksichtigt werden sollten.

Unter gleichen Umständen fand weder bei den Jüngsten, noch den Ältesten eine Gegenüberstellung unterschiedlicher Dehnmethoden statt. Bei den jüngeren Erwachsenen hingegen wurden in drei Studien Dehnmethoden auf ihre Effektivität verglichen. Lopez-Bedoya et al. (2013) konnte beispielsweise keinen signifikanten Unterschied zwischen PNF, active – isolated Stretching und passiv – statischem Stretching in Bezug auf die passive ROM bei Proband/innen zwischen 20 und 24 Jahren feststellen. Auf die aktive ROM den größten und einzigen signifikanten Einfluss hatte interessanterweise die passive Dehnung. In dieser Hinsicht ist das passiv – statische Dehnen die beste Option um einen aktiven und passiven Beweglichkeitszuwachs zu erreichen. Sainz de Baranda und Ayala (2010) verzeichneten ebenfalls einander ähnliche Ergebnisse, beim Abwägen von passiven und aktiven Dehnmethoden und konnten keinen signifikanten Unterschied feststellen. Passiv – statisches Dehnen stellten Yildirim et al. (2016) der Contract – Relax PNF Methode und dem Mulligan traction straight leg raise (TSLR) gegenüber. Hier konnte eine signifikante Überlegenheit der letztgenannten gegenüber der passiven Methode festgestellt werden. Vor allem die Untersuchungen von Lopez-Bedoya et al. (2013) und Sainz de Baranda und Ayala (2010)

schlagen sich mit einer Auflistung der gebräuchlichsten Dehnmethoden nach ihrem Rang von Klee und Wiemann (2005, S. 70). Diese bewerten die passiv – statische Dehnmethode in jeglicher Hinsicht der aktiven, der dynamischen und dem PNF – Stretching unterlegen. Die Studie von Yildirim et al. (2016) deckt sich zwar mit dieser Rangliste, jedoch bräuchte es hier noch mehr Messwerte, um ein repräsentative Aussagen treffen zu können.

7 Conclusio und Aussichten

Klee und Wiemann (2005, S. 59) bekräftigen, dass alle Untersuchungen der Wissenschaft bis dato eine wesentliche Verbesserung der Beweglichkeit durch Dehnübungen nachweisen konnten. Der Gewinn an Dehnfähigkeit wurde dabei jedoch nicht in erster Linie anhand einer Längenzunahme der Muskeln oder der Senkung der Muskelspannung, sondern mit einer Zunahme der Belastungsfähigkeit bzw. einer erhöhten Schmerztoleranz erklärt. Die Ergebnisse dieses Systematischen Reviews unterstreichen jene Erkenntnisse von Klee und Wiemann.

Dies ändert sich auch nicht mit dem Alter. Die Abnahme der Muskelmasse, altersbedingte Krankheiten und Verschleißerscheinungen, erhöhte Einlagerungen im Bindegewebe, ein veränderter Wasserhaushalt und vor allem ein bewegungsärmerer Lebensstil sind für eine Verschlechterung der Beweglichkeit im Altersgang, vor allem im „dritten Lebensalter“ verantwortlich. Was die Adaptionen der Beweglichkeit im Zuge eines längerfristigen Dehntrainings betrifft, unterscheiden sich die Altersgruppen jedoch weniger. Jüngere und ältere Erwachsene weisen einander ähnlich positive Adaptionerscheinungen auf. Personen unter 18 Jahren scheinen, auch wenn sie grundsätzlich über eine höhere Flexibilität verfügen, weniger von einer Stretching-intervention zu profitieren, als ältere Personen. Dass der Zuwachs der Beweglichkeit aus einer erhöhten Toleranz auf den Dehnungsschmerz resultiert, wird verbreitet in der Wissenschaft angenommen, jedoch wird auch von einigen Autor/innen vermutet, dass durchaus strukturelle Veränderungen innerhalb des Muskels stattfinden können, dies jedoch eine längere und intensivere Intervention voraussetzt. Es lässt sich also aus den in diesem Review verarbeiteten Studien das Fazit ziehen, dass vermutlich eine bessere Adaption der Rezeptoren in Bezug auf das Schmerzempfinden der Grund dafür ist, dass Erwachsene und ältere Erwachsene einen größeren Nutzen aus einem regelmäßigen Dehnprogramm ziehen, als Kinder und Jugendliche. Da es bisher jedoch nur eine einzige Studie gibt, welche die Auswirkungen des Alters auf die Anpassungserscheinungen auf ein Dehntraining unter gleichen Bedingungen erforscht, ist hier ein erheblicher Forschungsbedarf gegeben. Vor allem auch Studien über einen längeren Zeitraum werden von vielen Autor/innen gefordert, um untersuchen zu können, ob eine Dehnintervention auch längerfristige Veränderungen innerhalb des Gewebes herbeiführen kann.

Auch die Frage nach den mehr oder weniger geeigneten Methoden für die jeweilige Altersgruppe lässt sich nicht eindeutig beantworten und verlangt noch eine Vielzahl an zukünftigen Untersuchungen. Vornehmlich solche, die unterschiedliche Dehntechniken unter denselben Umständen vergleichen. Aus den vorliegenden Studien lässt sich bei Kindern, Jugendlichen und jüngeren Erwachsenen ablesen, dass ein aktives Dehntraining effektiver scheint, als ein passives. Die älteren Erwachsenen hingegen scheinen eher vom passiven zu profitieren. Dies ist jedoch nur eine sehr oberflächliche Empfehlung, da es eine Vielzahl an Dehnungspraktiken gibt, aber die Alternativen zu passiv – statischem und aktiv – statischem hier nur in vier der insgesamt 55 eingeschlossenen Studien angewandt werden und darum kaum repräsentativ sind. Grundsätzlich sind die meisten Studien zu dieser Thematik wohl zu einseitig. Es sollten mehrere Parameter neben der ROM wie z.B. die Dehnungsspannung und die Muskelsteifigkeit erhoben werden, um genauere Aussagen zu treffen. Auch die Forschungslage zu Jugendlichen und älteren Erwachsenen ist, um ein besseres Verständnis der Trainierbarkeit der Beweglichkeit im Laufe der Lebensspanne zu gewährleisten, noch stark ausbaufähig.

8 Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

- Albrecht, K. & Meyer, S. (2015). *Stretching und Beweglichkeit. Das neue Expertenhandbuch* (Trainer, 3., überarb. Aufl.). Stuttgart: Haug.
- Ayala, F., Sainz de Baranda, P., Ste Croix, M. de & Santonja, F. (2012). Reproducibility and criterion-related validity of the sit and reach test and toe touch test for estimating hamstring flexibility in recreationally active young adults. *Physical therapy in sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 13 (4), 219–226.
<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2011.11.001>
- Ayala, F., Sainz de Baranda, P., Ste Croix, M. de & Santonja, F. (2013). Comparison of active stretching technique in males with normal and limited hamstring flexibility. *Physical therapy in sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 14 (2), 98–104.
<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2012.03.013>
- Ayala, F. & de Baranda Andujar, Pilar Sainz. (2010). Effect of 3 different active stretch durations on hip flexion range of motion. *Journal of strength and conditioning research*, 24 (2), 430–436.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c0674f>
- Bear, M. F., Connors, B. W. & Paradiso, M. A. (2018). Spinale Kontrolle der Motorik. In M. F. Bear, B. W. Connors, M. A. Paradiso & A. K. Engel (Hrsg.), *Neurowissenschaften* (Bd. 106, S. 481–515). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57263-4_13
- Beigel, K., Gruner, S. & Gehrke, T. (1993). *Gymnastik: falsch und richtig: Hits für einen gesunden Körper*: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Borges, M. O., Medeiros, D. M., Minotto, B. B. & Lima, C. S. (2018). Comparison between static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation on hamstring flexibility: systematic review and meta-analysis. *European Journal of Physiotherapy*, 20 (1), 12–19.
<https://doi.org/10.1080/21679169.2017.1347708>
- Cayco, C. S., Labro, A. V. & Gorgon, E. J. R. (2019 Jan). *Hold-relax and contract-relax stretching for hamstrings flexibility: A systematic review with meta-analysis*. England.
<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.11.001>
- Cech, D. J. & Martin, S. "T." (2012). Functional Independence. In *Functional Movement Development Across the Life Span* (S. 1–13). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4160-4978-4.00001-6>
- Cejudo, A., Robles-Palazón, F. J., Ayala, F., Ste Croix, M. de, Ortega-Toro, E., Santonja-Medina, F. et al. (2019). Age-related differences in flexibility in soccer players 8-19 years old. *PeerJ*, 7, e6236.
<https://doi.org/10.7717/peerj.6236>
- Christen, P., Jaussi, R. & Benoit, R. (2016). *Biochemie und Molekularbiologie. Eine Einführung in 40 Lerneinheiten*. Berlin: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46430-4>

- Cihlar, V. (2013). Beweglichkeitsleistungen im dritten Lebensalter: Interventionsstudie zur Trainierbarkeit bei Personen im Alter zwischen 61 und 88 Jahren. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 46 (4), 339–345. <https://doi.org/10.1007/s00391-012-0386-3>
- Cohen, J. (1992). A Power Primer. *Psychological Bulletin*, 112 (1), 155–159.
- Cristopoliski, F., Barela, J. A., Leite, N., Fowler, N. E. & Rodacki, A. L. F. (2009). Stretching exercise program improves gait in the elderly. *Gerontology*, 55 (6), 614–620. <https://doi.org/10.1159/000235863>
- Curwin, S. (2005). Joint structure and function. *Joint structure and function. A comprehensive analysis*. Philadelphia: FA Davis, 69–111.
- De Araújo, Claudio Gil Soares. (2004). *Flexitest: an innovative flexibility assessment method*: Human Kinetics.
- Ferger, K. & Moritz, C. (2017). Effekte unterschiedlicher Kompensationsmaßnahmen nach statischem Dehnen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 2017 (03), 61–66. <https://doi.org/10.5960/dzsm.2017.271>
- Freiwald, J. (2009). Optimales Dehnen. *Aufl. Balingen: Spitta*, 28.
- Freiwald, J. (2006). *Stretching für alle Sportarten. Die besten Übungen für Sport und Fitness ; wissenschaftlich getestet* (Rororo, 61074 : Sport, Orig. Ausg). Reinbek: Rowohlt.
- Freiwald, J. (2013). *Optimales Dehnen. Sport - Prävention - Rehabilitation* (2., überarb. Aufl.). Balingen: Spitta Verlag.
- Gallon, D., Rodacki, A. L. F., Hernandez, S. G., Drabovski, B., Outi, T., Bittencourt, L. R. et al. (2011). The effects of stretching on the flexibility, muscle performance and functionality of institutionalized older women. *Brazilian journal of medical and biological research = Revista brasileira de pesquisas medicas e biologicas*, 44 (3), 229–235.
- Gärtner, D. (2016). Beweglichkeit im Sport. *Aktueller Forschungsstand, Grundlagen und trainingspraktische Folgerungen. Leistungssport*, 2 (3).
- Gisler, T. (2007). Stretching-ein Auslaufmodell? Einflussnahme auf Muskeltonus, Muskellänge und artikulare Strukturen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 55 (4), 139.
- Glück, S., Schwarz, M., Hoffmann, U. & Wydra, G. (2002). Bewegungsreichweite, Zugkraft und Muskelaktivität bei eigen-bzw. fremdregulierter Dehnung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53 (3), 66–71.
- Goldthwait, J. E., Brown, L. T., Swaim, L. T. & Kuhns, J. G. (1941). *Body mechanics in health and disease*: JB Lippincott.
- Haab, T., Martini, J., Baluktsian, S. & Wydra, G. (2017). Age-specific adaptations by stretching exercises. A meta-analysis. *GERMAN JOURNAL OF EXERCISE AND SPORT RESEARCH*, 47 (4), 371–384. <https://doi.org/10.1007/s12662-017-0464-1>

- Haab, T. & Wydra, G. (2017). The effect of age on hamstring passive properties after a 10-week stretch training. *Journal of physical therapy science*, 29 (6), 1048–1053.
- Halle, M., Berg, A. & Keul, J. (2000). Adipositas und Bewegungsmangel als kardiovaskuläre Risikofaktoren. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51 (4), 123–129.
- HALVORSON, G. A. (1989). Principles of rehabilitating sports injuries. *Scientific foundations of sports medicine*, 345–371.
- Harvey, L., Herbert, R. & Crosbie, J. (2002). Does stretching induce lasting increases in joint ROM? A systematic review. *Physiotherapy research international : the journal for researchers and clinicians in physical therapy*, 7 (1), 1–13.
- Hasebe, K., Okubo, Y., Kaneoka, K., Takada, K., Suzuki, D. & Sairyo, K. (2016). The effect of dynamic stretching on hamstrings flexibility with respect to the spino-pelvic rhythm. *The journal of medical investigation : JMI*, 63 (1-2), 85–90. <https://doi.org/10.2152/jmi.63.85>
- Hedges, L. V. & Olkin, I. (1985). Statistical Methods for Meta-Analysis.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2007). Einführung in die Trainingswissenschaft (4. Aufl.): Limpert.
- Höss-Jelten, C. (2004). *Untersuchungen zu den unmittelbaren Wirkungen verschiedener Dehnmethoden auf ausgewählte Kraftparameter*: Technische Universität München.
- Hottenrott, K., Ketelhut, S. & Hottenrott, L. (2017). Training und Aktivitätscoaching in verschiedenen Altersbereichen. *B&G Bewegungstherapie und Gesundheitssport*, 33 (06), 263–267. <https://doi.org/10.1055/s-0043-120624>
- Kamandulis, S., Emeljanovas, A. & Skurvydas, A. (2013). Stretching exercise volume for flexibility enhancement in secondary school children. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 53 (6), 687–692.
- Kannus, P., Jozsa, L. G. & Jozsa, L. (1997). *Human tendons: anatomy, physiology, and pathology*: Human Kinetics Publishers.
- Kay, A. D., Husbands-Beasley, J. & Blazeovich, A. J. (2015). Effects of Contract-Relax, Static Stretching, and Isometric Contractions on Muscle-Tendon Mechanics. *Medicine and science in sports and exercise*, 47 (10), 2181–2190.
- Klee, A. (2003). Methoden und Wirkungen des Dehnungstrainings. *Hofmann, Schorndorf*.
- Klee, A. & Wiemann, K. (Hrsg.). (2004). *Biologische Grundlagen zur Wirkung der Muskeldehnung* (Bd. 16).
- Klee, A. & Wiemann, K. (2005). *Beweglichkeit, Dehnfähigkeit* (Praxisideen Bewegungskompetenzen, Bd. 17). Schorndorf: Hofmann.
- Konrad, A., Stafilidis, S. & Tilp, M. (2017). Effects of acute static, ballistic, and PNF stretching exercise on the muscle and tendon tissue properties. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 27 (10), 1070–1080.

- Konrad, A. & Tilp, M. (2014). Increased range of motion after static stretching is not due to changes in muscle and tendon structures. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 29 (6), 636–642.
- Kremer, B. (2019). *Dehninterventionen im Spannungsfeld historischer Entwicklung, ritualisierter Anwendung, Meisterlehre und Wissenschaft—Eine Bestandsanalyse* (Bd. 7): KIT Scientific Publishing.
- Krug, S., Worth, A., Finger, J. D., Damerow, S. & Manz, K. (2019). Motorische Leistungsfähigkeit 4- bis 10-jähriger Kinder in Deutschland : Ergebnisse aus KiGGS Welle 2 und Trends. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 62 (10), 1242–1252. <https://doi.org/10.1007/s00103-019-03016-7>
- Kruse, N. T. & Scheuermann, B. W. (2017). Cardiovascular Responses to Skeletal Muscle Stretching: “Stretching” the Truth or a New Exercise Paradigm for Cardiovascular Medicine? *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47 (12), 2507–2520. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0768-1>
- Kubo, K., Kanehisa, H. & Fukunaga, T. (2002). Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 92 (2), 595–601.
- Lempke, L., Wilkinson, R., Murray, C. & Stanek, J. (2018). The Effectiveness of PNF Versus Static Stretching on Increasing Hip-Flexion Range of Motion. *Journal of sport rehabilitation*, 27 (3), 289–294. <https://doi.org/10.1123/jsr.2016-0098>
- Levangie, P. K. & Norkin, C. C. (2011). *Joint Structure and Function: A Comprehensive Analysis*: FA Davis.
- Lim, J.-Y., Choi, S. J., Widrick, J. J., Phillips, E. M. & Frontera, W. R. (2019). Passive force and viscoelastic properties of single fibers in human aging muscles. *European journal of applied physiology*. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04221-7>
- Lindel, K. (2010). *Muskeldehnung. Grundlagen, Differenzialdiagnostik, therapeutische Dehnungen, Eigendehnungen ; mit 19 Tabellen* (Physiotherapie-Basics, 2., überarb. Aufl.). Berlin: Springer Medizin.
- Lopez-Bedoya, J., Vernetta-Santana, M., Robles-Fuentes, A. & Ariza-Vargas, L. (2013). Effect of three types of flexibility training on active and passive hip range of motion. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 53 (3), 304–311.
- Maehl, O. (1986). *Beweglichkeitstraining* (Budo und transkulturelle Bewegungsforschung, Bd. 10, 1. Aufl.). Ahrensburg bei Hamburg: Czwalina.
- Mahieu, N. N., McNair, P., Muynck, M. de, Stevens, V., Blanckaert, I., Smits, N. et al. (2007). Effect of static and ballistic stretching on the muscle–tendon tissue properties. *DETECTION AND APPROACH OF INTRINSIC RISK FACTORS FOR ACHILLES TENDINOPATHY*, 75.
- Marques, A. P., Vasconcelos, A. A. P., Cabral, C. M. N. & Sacco, I. C. N. (2009). Effect of frequency of static stretching on flexibility, hamstring tightness and electromyographic activity. *Brazilian journal of medical and biological research = Revista brasileira de pesquisas medicas e biologicas*, 42 (10), 949–953.

- Maruyama, K., Sawada, H., Kimura, S., Ohashi, K., Higuchi, H. & Umazume, Y. (1984). Connectin filaments in stretched skinned fibers of frog skeletal muscle. *The Journal of cell biology*, 99 (4), 1391–1397.
- Mayorga-Vega, D., Merino-Marban, R., Javier Garrido, F. & Viciano, J. (2014). Comparison between warm-up and cool-down stretching programs on hamstring extensibility gains in primary schoolchildren. *PHYSICAL ACTIVITY REVIEW*, 2, 16–24.
- Mayorga-Vega, D., Merino-Marban, R., Manzano-Lagunas, J., Blanco, H. & Viciano, J. (2016). Effects of a Stretching Development and Maintenance Program on Hamstring Extensibility in Schoolchildren: A Cluster-Randomized Controlled Trial. *Journal of sports science & medicine*, 15 (1), 65–74.
- Mayorga-Vega, D., Merino-Marban, R., Real, J. & Viciano, J. (2015). A PHYSICAL EDUCATION-BASED STRETCHING PROGRAM PERFORMED ONCE A WEEK ALSO IMPROVES HAMSTRING EXTENSIBILITY IN SCHOOLCHILDREN: A CLUSTER-RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL. *NUTRICION HOSPITALARIA*, 32 (4), 1715–1721. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.4.9302>
- McBride, J. M., Deane, R. & Nimphius, S. (2007). Effect of stretching on agonist-antagonist muscle activity and muscle force output during single and multiple joint isometric contractions. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 17 (1), 54–60. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00495.x>
- Medeiros, H. B. d. O., Araújo, D. S. M. S. de & Araújo, C. G. S. de. (2013). Age-related mobility loss is joint-specific: an analysis from 6,000 Flexitest results. *Age (Dordrecht, Netherlands)*, 35 (6), 2399–2407. <https://doi.org/10.1007/s11357-013-9525-z>
- Meinart, P. & Bayer, J. (2018). *Mobility. Das große Handbuch*. München: riva.
- Merino-Marban, R., Mayorga-Vega, D., Fernandez-Rodriguez, E., Estrada, F. V. & Viciano, J. (2015). Effect of a physical education-based stretching programme on sit-and-reach score and its posterior reduction in elementary schoolchildren. *European Physical Education Review*, 21 (1), 83–92. <https://doi.org/10.1177/1356336X14550942>
- Metheny, E. (1952). *Body dynamics*: McGraw-Hill.
- Muanjai, P., Jones, D. A., Mickevicius, M., Satkunskiene, D., Snieckus, A., Rutkauskaite, R. et al. (2017). The effects of 4 weeks stretching training to the point of pain on flexibility and muscle tendon unit properties. *European journal of applied physiology*, 117 (8), 1713–1725. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3666-1>
- Muyor, J. M., Lopez-Minarro, P. A. & Casimiro, A. J. (2012). Effect of stretching program in an industrial workplace on hamstring flexibility and sagittal spinal posture of adult women workers: a randomized controlled trial. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, 25 (3), 161–169. <https://doi.org/10.3233/BMR-2012-0323>
- Myers, T. W. (2010). *Anatomy Trains. Myofasziale Leitbahnen (für Manual- und Bewegungstherapeuten) - mit Zugang zum Elsevier-Portal* (2., Aufl.). München: Urban & Fischer in Elsevier.

- Oliveira, L. C. d., Oliveira, R. G. d. & Pires-Oliveira, Deise Aparecida de Almeida. (2016). Comparison between static stretching and the Pilates method on the flexibility of older women. *Journal of bodywork and movement therapies*, 20 (4), 800–806. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2016.01.008>
- Peixoto, G. H., Andrade, A. G., Menzel, H. J. K., Araujo, S. R. S., Pertence, A. E. M. & Chagas, M. H. (2015). Viscoelastic stress relaxation in the hamstrings before and after a 10-week stretching program. *Muscle & nerve*, 51 (5), 761–764. <https://doi.org/10.1002/mus.24593>
- Petry, S. (2005). Risikofaktor Bewegungsmangel. *BGI A-Report 4/2005*, 169.
- Rancour, J., Holmes, C. F. & Cipriani, D. J. (2009). The effects of intermittent stretching following a 4-week static stretching protocol: a randomized trial. *Journal of strength and conditioning research*, 23 (8), 2217–2222.
- Richard, H. A. & Kullmer, G. (2013). Biomechanik – Definitionen, Aufgaben und Fragestellungen. In H. A. Richard & G. Kullmer (Hrsg.), *Biomechanik* (S. 1–14). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-8348-8611-8_1
- Sainz de Baranda, P. & Ayala, F. (2010). Chronic flexibility improvement after 12 week of stretching program utilizing the ACSM recommendations: hamstring flexibility. *International journal of sports medicine*, 31 (6), 389–396. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1249082>
- Sairyo, K., Kawamura, T., Mase, Y., Hada, Y., Sakai, T., Hasebe, K. et al. (2013). Jack-knife stretching promotes flexibility of tight hamstrings after 4 weeks: a pilot study. *European journal of orthopaedic surgery & traumatology : orthopedie traumatologie*, 23 (6), 657–663. <https://doi.org/10.1007/s00590-012-1044-6>
- Schubert, B. (2019). Immobilität beeinflusst die Körperwahrnehmung. *Heilberufe*, 71 (3), 14–16. <https://doi.org/10.1007/s00058-019-0024-1>
- Seijas, G. (2016). *Anatomie et Stretching. Muskeln in Aktion : 100 Übungen - komplett illustriert*. Aachen: Meyer et Meyer.
- Sobolewski, E. J., Ryan, E. D., Thompson, B. J., McHugh, M. P. & Conchola, E. C. (2014). The influence of age on the viscoelastic stretch response. *Journal of strength and conditioning research*, 28 (4), 1106–1112. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000326>
- Sölch, D. (2015). Altern und Bewegungseinschränkung. Gebrechlichkeit aus Sicht myofaszialer Strukturmodelle. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 48 (1), 35–40. <https://doi.org/10.1007/s00391-013-0555-z>
- Spoerl, E., Huhle, M. & Seiler, T. (1998). Induction of cross-links in corneal tissue. *Experimental eye research*, 66 (1), 97–103. <https://doi.org/10.1006/exer.1997.0410>
- Spring, H., Schneider, W. & Tritschler, T. (1997). Stretching. *ORTHOPAED*, 26 (11), 981–986. <https://doi.org/10.1007/s001320050183>
- Thomas, E., Bianco, A., Paoli, A. & Palma, A. (2018). The Relation Between Stretching Typology and Stretching Duration: The Effects on Range of Motion. *International journal of sports medicine*, 39 (4), 243–254. <https://doi.org/10.1055/s-0044-101146>

- Torres, R., Pinho, F., Duarte, J. A. & Cabri, J. M. H. (2013). Effect of single bout versus repeated bouts of stretching on muscle recovery following eccentric exercise. *Journal of science and medicine in sport*, 16 (6), 583–588. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.01.002>
- Vetter, S., Marschall, F. & Haab, T. (2016). Beweglichkeitseffekte durch exzentrische Belastung und statisches Dehnen. *Sports Orthopaedics and Traumatology Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie*, 32 (1), 40–44. <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2015.12.007>
- Wagner, M., Worth, A., Schlenker, L. & Bös, K. (2010). Motorische Leistungsfähigkeit im Kindes-und Jugendalter. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 158 (5), 432–440.
- Wallmann, H. W. (2009). Stretching and flexibility in the aging adult. *HOME HEALTH CARE MANAGEMENT AND PRACTICE*, 21 (5), 355–357.
- Wanigatunga, A. A., Gill, T. M., Marsh, A. P., Hsu, F.-C., Yaghjyan, L., Woods, A. J. et al. (2019). Effect of Hospitalizations on Physical Activity Patterns in Mobility-Limited Older Adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 67 (2), 261–268. <https://doi.org/10.1111/jgs.15631>
- Weineck, J. (2010). Optimales Training (16. Aufl.). *Hamburg: Czwalina*.
- Willimczik, K., Voelcker-Rehage, C. & Wiertz, O. (2006). Sportmotorische Entwicklung über die Lebensspanne. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 13 (1), 10–22.
- Willy, R. W., Kyle, B. A., Moore, S. A. & Chleboun, G. S. (2001). Effect of cessation and resumption of static hamstring muscle stretching on joint range of motion. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 31 (3), 138–144. <https://doi.org/10.2519/jospt.2001.31.3.138>
- Wydra, G. (2006). Dehnfähigkeit. *Handbuch Gesundheitssport*, 2, 265–274.
- Wydra, G. (1996). *Gesundheitsförderung durch sportliches Handeln. Sportpädagogische Analysen einer modernen Facette des Sports* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 109). Schorndorf: Hofmann.
- Yildirim, M. S., Ozyurek, S., Tosun, O. C., Uzer, S. & Gelecek, N. (2016). Comparison of effects of static, proprioceptive neuromuscular facilitation and Mulligan stretching on hip flexion range of motion: a randomized controlled trial. *BIOLOGY OF SPORT*, 33 (1), 89–94. <https://doi.org/10.5604/20831862.1194126>

Internetseiten

- Gärtner D., (2013) *Fakultät der Sportwissenschaft – Technische Universität München*. Zugriff am 14.08.2019 unter https://sportkongress.blsv.de/fileadmin/user_upload/pdf/bayerischer_sportkongress/2013/007_Dehnen-Strecken-Stretchen.pdf
- Sportunterricht.de - *Bewegung, Spiel und Sport in der Schule – Materialien für Lehrer und Schüler*. Zugriff am 21.6.2019 unter <http://www.sportunterricht.de/lksport/titin.html>

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erscheinungsformen der Beweglichkeit	9
Abbildung 2: Die Beziehung der Kraft [N] mit der Dehnung von Sehnen	12
Abbildung 3: Dehnungs- Entdehnungskurve. Die Hysterese misst die Fläche zwischen den beiden Kurven.	14
Abbildung 4: Muskelaufbau und Muskelfaser während einer Dehnung.	15
Abbildung 5: Die Ruhespannungs-Dehnungskurve	17
Abbildung 6: Lineare Regressionsgleichungen des Flexindex in Bezug auf das Alter.....	22
Abbildung 7: Passive und aktive Dehnung im Vergleich	28
Abbildung 8: die fünf gebräuchlichsten Dehnmethoden. Dynamisches Dehnen, statisches Dehnen und drei PNF-Methoden.....	29
Abbildung 9: PRISMA Flow Diagramm	36
Abbildung 10: eingeschlossene Studien nach Publikationsjahr	38
Abbildung 11: Studien nach Altersgruppen	39
Abbildung 12: Eingeschlossene Studien bewertet nach Altersgruppen	43

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: unterschiedliche Definitionen aktiven/passiven Dehnens (nach Glück et al., 2002)	27
Tabelle 2: verwendete Schlagwörter bei der Datenbankrecherche	34
Tabelle 3: Eingeschlossene Studien bewertet nach der PEDro-Skala	42
Tabelle 4: Ergebnisdarstellung Kinder und Jugendliche (<18 Jahre).....	45
Tabelle 5: Ergebnisdarstellung jüngere Erwachsene (18 – 64 Jahre).....	47
Tabelle 6: Ergebnisdarstellung ältere Erwachsene (>64 Jahre)	51
Tabelle 7: Darstellung der Altersgruppen mit den durchschnittlichen Effektstärken und dem Durchschnitt der Altersmittelwerte; (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung)	63

11 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.

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

Wien, am _____

Unterschrift