



universität  
wien

# MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Auswirkung von statischem Dehnen auf die  
Leistungsfähigkeit in Kraft-, Schnellkraft- und  
Schnelligkeitssportarten – systematisches Review“

verfasst von / submitted by

Peter Raidl

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

Master of Science (MSc)

Wien, 2021 / Vienna 2021

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

A 066 826

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

Masterstudium Sportwissenschaften

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

## Kurzzusammenfassung

**Ziele:** Statisches Dehnen unterlag immer wieder starken Schwankungen in der Popularität. Im Raum stehen und standen die Fragen nach den Auswirkungen auf Verletzungsrisiko und Leistung. In der vorliegenden Arbeit wird darauf eingegangen, welche Auswirkung statisches Dehnen direkt vor sportlicher Leistungserbringung im Bereich Kraft, Schnellkraft und Schnelligkeit hat.

**Methoden:** Diese Arbeit wurde nach den PRISMA-Regeln für systematische Reviews erstellt. Randomisierte kontrollierte Studien in englischer und deutscher Sprache wurden über die Datenbanken *PubMed*, *Sportdiscus* und *Cochrane CENTRAL* gesucht und nach vordefinierten Inklusionskriterien ausgewählt. Die Ergebnisse wurden nach Dehnmethode, Belastungsparameter der Intervention und nach Outcome-Parametern im Bereich Kraft, Schnellkraft und Schnelligkeit aufgeschlüsselt und analysiert.

**Ergebnisse:** Es konnten 88 Studien identifiziert werden, die den Einschlusskriterien genügen. Die Qualität der Studien wurde nach der PEDro-Skala bewertet. Die meisten Studien erreichten einen Gesamtscore von 4/10 Punkten. Die Dehninterventionen in den Primärstudien können als sehr heterogen beschrieben werden. Insgesamt zeigt sich, dass statisches Dehnen einen kurzfristigen adversen Effekt auf sportliche Leistungsfähigkeit haben kann (bis zu -15 %). Längere Dehnung, multiple Serien und kürzere Abstände zwischen Dehnung und Leistungserbringung verstärken diesen Effekt. Kürzere Dehnung (10s–30s), einzelne Serien, aktive Pausen bis zur Testung ( $\geq 10\text{min}$ ) sowie Voraktivierungen negieren den negativen Effekt. Zusammengefasst kann statisches Dehnen vor komplexen Bewegungsaufgaben eingesetzt werden, wenn weitere Aufwärmstrategien vor der Leistungserbringung folgen. Bei hochspezifischen, singulären sportlichen Aufgaben, wie häufig in der Leichtathletik oder im Kraftsport, sollte wenn möglich auf statisches Dehnen kurz vorher verzichtet werden. Die Entscheidung für oder gegen Dehnen sollte auf individueller Ebene und auf Ebene der Sportartenanalyse getroffen werden.

## Abstract

**Aims:** There is an ongoing debate about the use of static stretching before sports and exercise. Part of the debate is if static stretching could potentially change the risk of injury and performance in a relevant way. This thesis looks at the direct, acute effects of static stretching on sports performance concerning strength, explosiveness, and speed.

**Methods:** This systematic review was conducted according to the PRISMA statement. Only randomized, controlled studies got included in English and German language and searched via *PubMed*, *Sportdiscus* and *Cochrane CENTRAL*. The predefined inclusion criteria were used to identify the studies. The results were analyzed separately for stretching methods, loading and outcome parameters within strength, explosiveness, and speed.

**Results:** 88 studies got included. The quality of the studies was analyzed using the PEDro scale. Most investigations hit a score of 4/10 possible points. The stretching interventions can be described as heterogenous. In summary, static stretching may provide short term adverse effects on performance (up to -15 %). Longer stretches, multiple series and a short timeframe between the stretching and testing increases this effect. Brief stretching interventions (10s–30s), single-sets, active rest ( $\geq 10$ min) and preactivation can nullify the adverse effects. It can be concluded that short passive stretching can be implemented prior to complex sporting tasks if additional warm-up strategies are. For specific sporting tasks, like in track and field or strength-sports, passive stretching should be avoided right before the tasks. The decision around the use of passive stretching should be made on an individual and sport-specific basis.

## Inhaltsverzeichnis

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| Kurzzusammenfassung .....                         | i  |
| Abstract .....                                    | ii |
| Inhaltsverzeichnis .....                          | i  |
| 1 Einführung .....                                | 1  |
| 2 Methoden.....                                   | 4  |
| 2.1 Studienauswahl .....                          | 5  |
| 2.2 Datenextraktion .....                         | 8  |
| 2.3 Risk-of-Bias-Analyse .....                    | 8  |
| 3 Ergebnisse.....                                 | 14 |
| 3.1 Studiendesign.....                            | 21 |
| 3.2 Proband*innen.....                            | 22 |
| 3.3 Interventionen.....                           | 23 |
| 3.3.1 Dehnmethoden .....                          | 23 |
| 3.1.1.1 Passives und aktives Dehnen .....         | 23 |
| 3.1.1.2 Antagonistische Dehnung .....             | 24 |
| 3.1.1.3 Dehnungen mit Kontraktionen .....         | 25 |
| 3.1.1.4 Dynamisches und Ballistisches Dehnen..... | 29 |
| 4.1.1 Belastungsparameter.....                    | 35 |
| 4.1.1.1 Dehnvolumen.....                          | 35 |
| 4.1.1.2 Dehnintensität.....                       | 39 |
| 4.1.1.3 Dauer zwischen Dehnung und Testung.....   | 41 |
| 4.1.2 Gedehte Muskelgruppen.....                  | 44 |
| 4.2 Outcome Parameter .....                       | 46 |
| 4.2.1 Sprint.....                                 | 47 |
| 3.1.1 Richtungswechsel - COD.....                 | 50 |
| 3.1.2 Sprung.....                                 | 51 |
| 3.1.3 Wurftests .....                             | 59 |
| 3.1.4 Krafttests .....                            | 59 |

|     |                                                     |    |
|-----|-----------------------------------------------------|----|
| 5   | Diskussion .....                                    | 66 |
| 5.1 | Zusammenfassung der Ergebnisse .....                | 66 |
| 5.2 | Offene Fragen und zukünftige Forschungspunkte ..... | 68 |
| 5.3 | Limitationen .....                                  | 72 |
|     | Literaturverzeichnis.....                           | 74 |
|     | Abkürzungsverzeichnis .....                         | 92 |
|     | Abbildungsverzeichnis .....                         | 93 |
|     | Tabellenverzeichnis .....                           | 93 |
|     | Appendix A .....                                    | 94 |
|     | Pubmed Suche.....                                   | 94 |
|     | SPORTdiscus Suche.....                              | 94 |
|     | Cochrane CENTRAL Suche .....                        | 95 |
|     | Appendix B .....                                    | 96 |
|     | Eidesstattliche Erklärung: .....                    | 98 |

## 1 Einführung

Die Leistungsfähigkeit wird in vielen Sportarten stark von den motorischen Fähigkeiten Kraft, Schnellkraft und Schnelligkeit beeinflusst (Suchomel et al., 2018). Auch im Gesundheitssport nimmt vor allem die Kraft eine wichtige Rolle ein (vgl. z. B. Bohannon, 2015; Lopez et al., 2018). Neben dem Training von Kraft und Schnelligkeit werden bereits seit mehreren tausend Jahren auch Beweglichkeitsübungen und Stretching in Trainingsmethoden von Sportler\*innen und Krieger\*innen integriert (Behm, 2019). Den Fähigkeiten Kraft und Schnelligkeit werden gegenseitig vor allem kumulative und additive Wirkungen zugeschrieben (Hartmann et al., 2015; Suchomel et al., 2018). Welche Rolle Beweglichkeitstraining in dieser Wechselwirkung hat, wird in dieser Masterarbeit als systematisches Review diskutiert.

Die betrachteten Parameter der Muskelleistung Kraft, Schnelligkeit und Schnellkraft sowie in der angloamerikanischen Literatur anzutreffende Begriffe wie *strength*, *speed*, *quickness*, *power* oder *explosive performance* werden nicht immer einheitlich gebraucht. In dieser Arbeit wird eine breite Definition verwendet, um einen umfangreichen Überblick über potenziell leistungsdeterminierende athletische Komponenten zu erlangen. Obwohl einige der Parameter miteinander korrelieren (Lum et al., 2020; McMaster et al., 2014; Paul & Nassis, 2015), kann nicht davon ausgegangen werden, dass akute Interventionen durch Beweglichkeitsmethoden sich gleich oder ähnlich auf die Parameter auswirken. Eine Differenzierung und Analyse der verschiedenen Parameter sind daher notwendig.

Dazu soll im Deutschen auf Hottenrott und Neumann für die Definitionen *Kraft*, *Maximalkraft*, *Schnellkraft* und *Reaktivkraft* (Hottenrott & Neumann, 2020, 155ff) zurückgegriffen werden. Hier entspricht Kraft dem englischen Wort *Strength*, im Kontrast zur physischen *Force*. Wobei es unabhängig davon in dieser Arbeit um die isometrische, exzentrische und konzentrische Entwicklung einer solchen physikalischen Kraft in Newton geht, die extern wirksam wird und gemessen werden kann. Maximalkraft, Schnellkraft und Reaktivkraft können als Unterkategorien verstanden werden und als maximal größte Kraftentwicklung, Maximierung der Endgeschwindigkeit und Maximierung des Impulses mittels Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus zum Ausdruck gebracht werden. Im Bereich der Schnelligkeit wird zwischen *zyklischer*, *azyklischer nicht-reaktiver* und *azyklischer reaktiver Schnelligkeit* unterschieden (Hottenrott & Neumann, 2020, 187ff). Hierbei handelt es sich um die Entwicklung höchstmöglicher Bewegungsfrequenzen oder Geschwindigkeiten. Aus dieser Arbeit ausgeschlossen sind kognitiv und antizipativ kontaminierte Leistungskomponenten, wie die Agilität, so wie sie von denselben Autoren definiert wird (Hottenrott & Neumann, 2020, S. 195). Gerade bei letzterem Begriff zeigt sich die Verzerrung der Nomenklatur in

der Primärliteratur. *Agility* im Sinn der rein physischen Fähigkeiten der Beschleunigung und des Richtungswechsels sind Teil dieser Übersichtsarbeit, nicht jedoch der kognitive Anteil (Sheppard & Young, 2006). Dafür wird die ebenfalls geläufige Bezeichnung *Change of Direction* (COD), die Fähigkeit, schnelle Richtungswechsel herbeizuführen, verwendet. Im englischsprachigen Raum hat auch der Begriff der *Power* eine entscheidende Rolle in der Literatur. Obwohl dieser Begriff rein physikalisch die Leistung, also Kraft, multipliziert mit der Beschleunigung bezeichnet, wurde und wird *Power* in der angewandten Trainingslehre und in Studien mit schneller Kraftentwicklung vermischt (Knudson, 2009). In dieser Arbeit soll daher immer auf den konkreten Leistungsparameter und das Ergebnis einer Messung (z. B. die Höhe eines Sprunges) verwiesen und *Power* lediglich als Synonym zur physikalischen Leistung verwendet werden.

Es werden aktuell unterschiedliche Beweglichkeitsmethoden für das Training von Sportler\*innen und Trainierenden sowie von Patient\*innen eingesetzt (Alter, 2004; Behm, 2019; Behm, Blazeovich et al., 2016). Neben dynamischen Methoden werden vor allem statische Beweglichkeitsmethoden beschrieben. Alter (2004) definiert statisches Dehnen (SD) als Dehnung „[...] that involves a position that is held for a period of time [...]“. Static stretching may be either the result of static muscle contraction or assisted by gravity, a partner, or apparatus” (Alter, 2004, S. 159). Diese Definition wird als Grundlage dieser Arbeit angenommen. Jedoch soll darauf hingewiesen werden, dass diese Definition nicht einheitlich ist und *Static Stretching* häufig lediglich passives statisches Dehnen (pSD), also ohne Muskelkontraktion der Agonisten der Bewegung, beinhaltet (Haff & Triplett, 2016, S. 323). Unter aktives statisches Dehnen (aSD) fallen zwei verbreitete Dehnmethoden. Wenn in der vorliegenden Arbeit die Bezeichnung aSD verwendet wird, ist das Einnehmen der maximalen Bewegungsamplitude durch die willentliche Muskelarbeit der dafür zuständigen Agonisten gemeint. Weiters fällt vor allem PNF-Stretching, das auf isometrischen Kontraktionen vor beziehungsweise während der Dehnung setzt, in der Literatur unter die Kategorie aSD (Haff & Triplett, 2016, 324f). PNF galt in der Vergangenheit dem pSD als überlegen (Sharman et al., 2006). Die Bezeichnung PNF-Stretching wird in vergleichender wissenschaftlicher Literatur der letzten Jahre sowie in vielen der darin zitierten Originalstudien gebraucht (Behm, Blazeovich et al., 2016; Freitas et al., 2018; Medeiros & Lima, 2017). Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Bezeichnung eine Verwechslung mit der der Originalmethode von Kabat aus den 1940er Jahren herbeiführt (Voss et al., 1986, xvii). *Proprioceptive Neuromuskuläre Fazilitation* ist ein komplexes Rehabilitationssystem innerhalb der Neurologie, welches verschiedene Methoden und Techniken in dreidimensionalen Bewegungsmustern einsetzt (Alter, 2004,

165ff; Voss et al., 1986, S. xvii). In dieser Arbeit werden daher drei Formen des statischen Dehnens unterschieden:

- aktives Dehnen – aSD
- passives Dehnen – pSD
- Dehnen mit isometrischen Kontraktionen - DIK

Auch wenn die untersuchten Originalarbeiten von „PNF-Stretching“ sprechen, wird dieser Begriff nur dann verwendet, wenn ausdrücklich eine spezifische PNF-Technik im Sinn einer dreidimensionalen Kontraktionsform nach dem neurorehabilitativen Konzept (Voss et al., 1986) eingesetzt wird.

Gesamt gesehen unterliegt SD in seiner Aktualität seit den Empfehlungen in den 1990er Jahren starken Schwankungen (Chaabène et al., 2019). Zur Diskussion steht vor allem die Frage, ob SD kurz vor oder während sportlicher Aktivität Vorteile oder Nachteile mit sich bringt (Behm, Blazeovich et al., 2016; Simic et al., 2013). Unabhängig davon stehen auch die chronischen Effekte von SD auf die sportliche Leistungsfähigkeit zur Diskussion (Freitas et al., 2018; Medeiros & Lima, 2017).

Das systematische Review von Meidros und Kolleg\*innen (2017) untersuchte bereits die chronischen Auswirkungen von SD auf die Muskelleistungen Kraft und Schnelligkeit. Die Autoren werteten 29 Studien aus und zeigten mögliche positive Auswirkungen auf dynamische Kraft. Die Autoren differenzierten jedoch nicht zwischen aSD und pSD, diskutierten jedoch mögliche Unterschiede (Medeiros & Lima, 2017).

Die akuten Effekte von SD auf Kraft und Schnelligkeit wurden bereits 2013 in einer Meta-Analyse untersucht (Simic et al., 2013). Hier zeigten die Autoren an 104 Studien statistisch eindeutig negative Effekte von SD auf die Leistungsfähigkeit, wobei die Dauer der Dehnungen einen erheblichen Einfluss auf die Effektstärke hatte (Simic et al., 2013). Die Autoren differenzierten zwischen maximaler Kraft (*peak force/torque isometric and isokinetik, 1RM*), Explosivität (*rate of force developement, sprinting, jumping, throwing*) und Power (*mean power, peak power*), wobei ein Effekt auf letzteres sich als unklar herausstellte. Die Autoren zeigten signifikante und relevante negative Auswirkungen für alle untersuchten Populationen für Kraft und Explosivität.

Im Sport wird SD selten als alleinige Aufwärmethode eingesetzt (McGowan et al., 2015). McGowan und Kolleg\*innen (2015) argumentieren in ihrem Review gegen den Einsatz von SD auch innerhalb eines gesamten Warm-up Protokolls. Sie begründen ein effektives Aufwärmen vor allem mit der Erhöhung der Muskeltemperatur und zusätzlichen Postaktivierungs-Effekten (McGowan et al., 2015). Inwieweit mögliche negative akute Effekte von SD durch den Einsatz eines optimalen Aufwärmens negiert werden können,



bleibt jedoch damit ungeklärt. Auf der anderen Seite wird von manchen Autor\*innen SD als Teil eines Warm-ups empfohlen, um das Risiko von Muskelverletzungen zu reduzieren (McHugh & Cosgrave, 2010; Ruan et al., 2018).

Sowohl die akuten Auswirkungen von SD auf Muskelleistung, wie bei Simic et al. (2013) und bei Behm et al. (2016) beschrieben, als auch die chronischen Auswirkungen bei Medeiros (2017) zeigen eine Abhängigkeit der Belastungsparameter respektive der Zeit in einer Dehnung. Angaben zu Intensität und anderen Belastungsparametern wurden bisher nicht näher analysiert. Wobei Medeiros und Kolleg\*innen (2016) in einem weiteren systematischen Review keinen klaren Zusammenhang zwischen den Belastungsparametern und Verbesserungen der *Range of Motion* (ROM) durch SD feststellen konnten. Eine wichtige Limitierung dieses Ergebnisses ist jedoch die bereits bei anderen Autor\*innen angesprochene Heterogenität der Studiensettings und verwendeten Dehnprotokolle. Auch die Verbesserung der ROM durch SD scheint ein direkter Einflussfaktor oder ein Mediator zwischen SD und Muskelleistung zu sein (Behm, Blazeovich et al., 2016; Medeiros & Lima, 2017; Simic et al., 2013), wobei hier eine klare Differenzierung zwischen aktiver und passiver ROM ausbleibt.

Zusammengefasst zeigen die bisher durchgeführten systematischen Reviews zum Zusammenhang von SD und Muskelleistung einige Limitierungen. Außerdem sind seit deren Publikationen mindestens vier Jahre vergangen. Neue Studien wurden seitdem veröffentlicht, die weitere Einblicke bieten können.

Forschungsfragen:

Mithilfe des geplanten systematischen Reviews nach den PRISMA-Richtlinien (Liberati et al., 2009) sollen die akuten Auswirkungen von statischem Dehnen auf Kraft, Schnellkraft und Schnelligkeit von gesunden Erwachsenen und Athlet\*innen anhand von randomisierten klinischen Studien (RCTs) überprüft werden.

Kommt es durch SD zu akuter, relevanter Veränderung der Leistung von gesunden Erwachsenen und Athlet\*innen im Bereich Kraft, Schnellkraft und Schnelligkeit im Vergleich zu keiner Intervention oder zu dynamischem Aufwärmen ohne SD?

## 2 Methoden

Die vorliegende Arbeit wurde als systematisches Review nach Richtlinien des *PRISMA Statements* (Liberati et al., 2009) verfasst. Die wissenschaftlichen Datenbanken *PubMed*, *Sportdiscus* und *Cochrane CENTRAL* wurden nach RCTs durchsucht. Für *MEDLINE* und *PubMed* wurde hierfür der hochsensitive Filter aus dem *Cochrane Handbook for Systematic Reviews* (Lefebvre et al., 2019, 2011) verwendet. Alle Studien in englischer und deutscher

Sprache ohne zeitliche Einschränkung, die die Inklusionskriterien erfüllen, wurden bis zum Abschluss der Literatursuche im September 2020 mitbeinbezogen.

## 2.1 Studienauswahl

Inkludiert wurden nur randomisierte kontrollierte Studien (RCTs) im Sinn eines *between-subject designs* und randomisierte, kontrollierte Innersubjekt-Querschnittsstudien im Sinne eines *within-subject crossover designs* (McKenzie et al., 2019). Eine erste Literaturrecherche im Vorfeld der Arbeit ließ einen großen Anteil an Innersubjekt-Querschnittsstudien erkennen. Dieses Studiendesign kann für die oben beschriebene Fragestellung herangezogen werden, da es um kurzzeitige Effekte geht und eine Wash-out-Periode von 24 bis 48 Stunden als ausreichend angesehen werden kann, um mögliche Auswirkungen zu limitieren. Gleichzeitig hat dieses Studiendesign den Vorteil, dass die Teilnehmer\*innen als ihre eigene Kontrollgruppe dienen können und so interindividuelle Wirkungen kontrolliert werden (Aggarwal & Ranganathan, 2019). Dies, kombiniert mit dem Vorteil, dass wesentlich weniger Teilnehmer\*innen rekrutiert werden müssen, spricht für die Verwendung von Within-subject-Crossover-Studien in den primären Interventionsstudien sowie in dieser Übersichtsarbeit.

Inkludierte Proband\*innen mussten gesunde Menschen aller Geschlechter zwischen 18 und 65 Jahren sein. Sowohl Athlet\*innen in kraft- bzw. schnelligkeitsorientierten Sportarten als auch gesunde Nichtathlet\*innen wurden miteinbezogen. Alle Studien mussten mindestens einen Leistungsparameter, der sich auf Kraft, Schnellkraft oder/und Schnelligkeit bezieht, numerisch berichten. Die Interventionsgruppen mussten in allen inkludierten Studien einem statischen Dehnprotokoll (pSD, aSD oder/und DIK) unterzogen werden, bei dem zumindest die gedehnte Körperregion beschrieben wurde und Dehndauer sowie Anzahl der Serien als Belastungsparameter angegeben wurden. Von einer akuten Wirkung der Intervention, wie in der Forschungsfrage beschrieben, wird ausgegangen, wenn die Studie lediglich einen Interventionszeitpunkt und keine Serie an Interventionen, zum Beispiel über mehrere Wochen, verwendet und Auswirkungen davon innerhalb desselben Tages gemessen werden. Diese Differenzierung wird also rein praktikabel und nicht physiologisch exakt angesehen und eingesetzt (Peake et al., 2015).

Exkludiert wurden Studien ohne Kontrollgruppen, Studien, welche nur physiologische Parameter erheben (z. B. *muscle stiffness*, *passive torque*, EMG oder durch Elektrostimulation evozierte Werte), Studien an Patient\*innen, Kindern und Jugendlichen unter 18 Jahren und älteren Personen über 65 Jahren sowie Tiermodelle. Alle Studien, welche chronische Effekte erforschen, wurden ebenfalls exkludiert. Außerdem wurden Studien ausgeschlossen, bei welchen die gedehnte Körperregion keinen eindeutigen

Zusammenhang mit den Leistungstests aufweist. Letzteres wären vorrangig Studiendesigns, bei denen zum Beispiel die obere Extremität in Dehnung gebracht wird und die Leistungsfähigkeit anhand der unteren Extremität getestet wird (z. B. Behm, Cavanaugh et al., 2016) oder Studien bei denen die kontralaterale Seite als Kontrollsituation betrachtet wird (z.B. Killen et al., 2019). Es kann davon ausgegangen werden, dass je nach Outcome-Parameter erhebliche *Crossover*-Effekte bestehen und damit die Ergebnisse für den praktischen Einsatz irrelevant sind (Cramer et al., 2005; Jelmini et al., 2018; Killen et al., 2019).

Die Suchtermini wurden a priori nach dem PICOS-Modell (Liberati et al., 2009) ausgewählt und in Tabelle 1 dargestellt.

*Tabelle 1: Suchkriterien PICOS Modell (Liberati et al., 2009)*

| <b>PICO</b>  | <b>Suchwörter</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Population   | athlete, healthy, human, sports, NOT patient, NOT elderly, NOT children, NOT disease                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Intervention | stretch, stretching, static stretching, flexibility exercise, flexibility training, PNF stretching, proprioceptive neuromuscular facilitation stretching, active stretching contract-relax stretching                                                                                                                                     |
| Comparison   | no intervention, dynamic stretching, active warm up, passive warm up                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Outcome      | strength, maximal strength, muscle strength, dynamometer, peak torque, speed, strength-speed, explosiveness, explosive power, muscle performance, rate of force development, athletic performance, jump and reach, counter movement jump, stretch-shortening cycle, sprint performance, change of direction performance, range of motion, |
| Study design | Randomized controlled trials, RCT                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

Der gesamte Suchverlauf ist im Appendix A einsehbar. Der Suchalgorithmus wurde so gestaltet, dass zwar mögliche falsch-positive Treffer nicht ausgeschlossen, jedoch keine falsch-negativen Ergebnisse erzeugt wurden (Pati & Lorusso, 2018). Die Studienselektion geschah ausschließlich durch den Verfasser dieser Thesis. In einem ersten Überblick der Suchergebnisse wurden Treffer anhand der Titel und weiters mittels Screenings der Abstracts beurteilt und exkludiert. Bei allen Studien, welche durch dieses erste Screening-Verfahren beziehungsweise das darauffolgende Lesen der Abstracts nicht bestimmt werden konnten, wurde der Volltext gelesen und daraus folgend entschieden, ob die Studie

den Einschlusskriterien entsprach. Das Flussdiagramm (Abbildung 1) zeigt die Vorgehensweise nach dem PRISMA Statement (Moher et al., 2009).

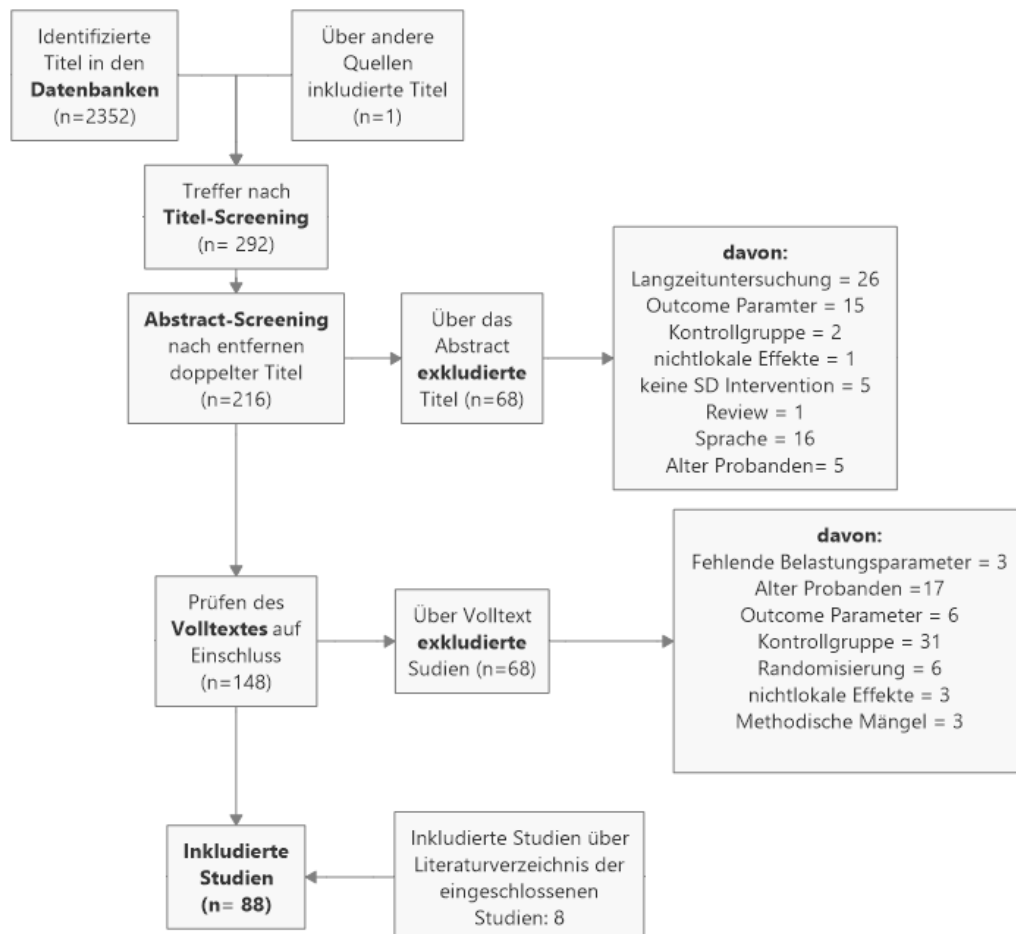


Abbildung 1: Flussdiagramm nach PRISMA Statement (mod. n. Moher et al., 2009)

Durch die gewählte Suchstrategie wurden 2352 Titel über die drei Datenbanken *PubMed*, *Cochrain CENTRAL* und *SportDiscus* identifiziert. Zusätzlich wurde ein weiterer Titel über die Plattform *ReseachGate* inkludiert. Von diesen 2353 Titel wurden von 292 Studien die Abstracts gelesen und dabei 68 Studien exkludiert. Die übrigen 148 Titel wurden im Volltext gelesen und hierüber weitere 68 exkludiert. Die meisten davon wurden aufgrund ungenügender Kontrollsituationen exkludiert (n = 31). Darunter befanden sich viele, welche nach Meinung des Autors keine klare Differenzierung der Effekte zuließen, da beispielsweise die Kontrollgruppe eine andere, potenziell wirksame Intervention erhielt oder die Interventionsgruppe neben dem Dehnen eine weitere Intervention erhielt, die nicht in der Kontrollsituation gespiegelt wurde. Weiters bleibt zu erwähnen, dass 16 Studien

aufgrund der Sprache nicht inkludiert werden konnten. Hierbei handelte es sich vorrangig um spanische, japanische und türkische Studien, welche zwar ein englisches Abstract, jedoch keinen englischen Volltext vorweisen. Die Exklusion dieser Studien kann als eine Limitation dieser Arbeit festgehalten werden.

Aus den strategischen Suchalgorithmen wurden somit 81 Studien identifiziert. Von diesen Studien wurde das Quellenverzeichnis ausnahmslos auf weitere, zu inkludierende Titel geprüft. Hierbei wurden acht Studien ausgemacht, die die gesamte Auswertung auf  $n = 88$  Studien erweiterten.

## 2.2 Datenextraktion

Für die Extraktion der Daten wurde ein Datenblatt mittels *Microsoft Excel* (Microsoft Corp, Redmond, Washington) erstellt und an fünf der inkludierten Studien getestet. Die Tabelle wurde schließlich noch einmal angepasst und für die restlichen inkludierten Studien verwendet. Die erste Auswertungstabelle wurde als *Mastertabelle* so angefertigt, dass sie möglichst alle Aussagen und Inhalte der Arbeiten erfasst, die für eine weitere Untersuchung und den Vergleich über die Studien notwendig sind. Numerische Outcome-Parameter, die lediglich als Grafik dargestellt sind, wurden mittels der Software *Web Plot Digitizer* (Version 4.3, Copyright 2010–2020 Ankit Rohatgi) eruiert. An dieser Stelle soll auf die Genauigkeit der damit extrahierten Ergebnisse hingewiesen werden, die noch einmal in Kapitel 5 aufgegriffen wird.

## 2.3 Risk-of-Bias-Analyse

Im Zuge der Extraktion werden die Studien mithilfe der *PEDro-Skala* (Maher et al., 2003) auf Qualität evaluiert. Die *PEDro-Skala* besteht aus elf Kriterien, welche binominal mit 0 (Null) oder 1 (Eins) bewertet werden. Die Bewertung geschah ausschließlich auf den Kriterien aufbauend, die auf der offiziellen Seite der *Physiotherapy Evidence Database* ausgestellt und so seit 1999 in Verwendung sind (PEDro - Physiotherapy Evidence Database, 2020). Zehn der elf Punkte werden zu einem Gesamtwert aufsummiert, der die Qualität der Studie repräsentieren soll. Im Anschluss, nach der eigenständigen Bewertung durch den Autor, wurden alle inkludierten Titel im Datenkatalog der PEDro-Seite gesucht und die Bewertung verglichen. Weiters verwendeten zwei systematische Reviews ähnlicher Fragestellungen ebenfalls die *PEDro-Skala* zur Bewertung der Qualität der Studien (Fradkin et al., 2010; Kallerud & Gleeson, 2013). Diese wurden ebenfalls zur Validierung der Bewertung herangezogen.

Die Ergebnisse der Bewertung finden sich in der Tabelle 2 und werden weiter unten genauer beschrieben. Mit einem Stern (\*) wurden in dieser Tabelle all jene Kriterienpunkte versehen, welche auf der Seite *Physiotherapy Evidence Database* (PEDro - Physiotherapy Evidence Database, 2020) zum Zeitpunkt der Evaluierung im September 2020 eine sich von hier unterscheidende Bewertung erhielten.

*Tabelle 2: PEDro-Skala*

| <b>Studie</b>                                                | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>Summe</b> |
|--------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|--------------|
| (Aguilar et al., 2012)                                       | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 1*       | 1         | 1         | <b>6/10</b>  |
| (Alp, 2020)                                                  | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>5/10</b>  |
| (Alp et al., 2018)                                           | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>5/10</b>  |
| (D. C. Andrade et al., 2015)                                 | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1         | 1         | <b>4/10</b>  |
| (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Avloniti et al., 2016)  | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>5/10</b>  |
| (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Protopapa et al., 2016) | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1         | 1         | <b>4/10</b>  |
| (Ayala et al., 2015)                                         | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>5/10</b>  |
| (Bacurau et al., 2009)                                       | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1         | 1         | <b>4/10</b>  |
| (Barbosa et al., 2020)                                       | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>5/10</b>  |
| (Barroso et al., 2012)                                       | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>5/10</b>  |
| (Beckett et al., 2009) <sup>2</sup>                          | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>4/10</b>  |
| (Beedle et al., 2008)                                        | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>4/10</b>  |
| (Behm et al., 2004)                                          | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>5/10</b>  |
| (Bishop & Middleton, 2013)                                   | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>4/10</b>  |
| (Blazevich et al., 2018)                                     | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>7/10</b>  |
| (Bradley et al., 2007)                                       | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0         | 0         | <b>2/10</b>  |
| (Brandenburg et al., 2007)                                   | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 1         | 0         | <b>4/10</b>  |
| (Cè et al., 2008)                                            | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>4/10</b>  |
| (Christensen & Nordstrom, 2008)                              | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>4/10</b>  |
| (Cometti et al., 2011)                                       | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         |           | <b>4/10</b>  |
| (Curry et al., 2009)                                         | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>6/10</b>  |
| (Dalrymple et al., 2010)                                     | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>4/10</b>  |
| (Evetovich et al., 2003)                                     | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>4/10</b>  |
| (Favero et al., 2009)                                        | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>4/10</b>  |
| (Fjerstad et al., 2018)                                      | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>6/10</b>  |
| (Fletcher & Monte-Colombo, 2010)                             | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1         | 1         | <b>4/10</b>  |

|                                 |    |   |   |   |   |   |   |    |    |   |    |             |
|---------------------------------|----|---|---|---|---|---|---|----|----|---|----|-------------|
| (Fortier et al., 2013)          | 1  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>5/10</b> |
| (Fowles et al., 2000)           | 1  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0  | 1  | 1 | 1  | <b>5/10</b> |
| (Gelen, 2010)                   | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>4/10</b> |
| (Handrakis et al., 2010)        | 1  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  |             |
| (Harmancı & Karavelioğlu, 2017) | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>4/10</b> |
| (Heuser & Pincivero, 2010)      | 1  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>5/10</b> |
| (Hough et al., 2009)            | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>4/10</b> |
| (Islamoglu et al., 2016)        | 1  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  |             |
| (Jorge et al., 2014)            | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>5/10</b> |
| (Kay & Blazeovich, 2008)        | 1  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 1  | 1 | 1  | <b>6/10</b> |
| (Kendall, 2017)                 | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>4/10</b> |
| (Kistler et al., 2010)          | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 1 | 1  | <b>3/10</b> |
| (Knudson et al., 2001)          | 1  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>4/10</b> |
| (Knudson & Noffal, 2005)        | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>5/10</b> |
| (Kokkonen et al., 1998)         | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 0  | <b>3/10</b> |
| (Konrad et al., 2019)           | 1  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 1  | 1 | 1  | <b>6/10</b> |
| (Konrad et al., 2017)           | 1  | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 1  | 1 | 1  | <b>6/10</b> |
| (Kruse et al., 2013)            | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>4/10</b> |
| (Kruse et al., 2015)            | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 1  | 1 | 0  | <b>5/10</b> |
| (La Torre et al., 2010)         | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>4/10</b> |
| (Leone et al., 2014)            | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>5/10</b> |
| (Loughran et al., 2017)         | 1  | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1 | 1  | <b>9/10</b> |
| (Manoel et al., 2008)           | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>5/10</b> |
| (McBride et al., 2007)          | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>5/10</b> |
| (Miranda et al., 2015)          | 1  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>4/10</b> |
| (Miyahara et al., 2013)         | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>5/10</b> |
| (Mizuno et al., 2013)           | 1  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 0  | <b>4/10</b> |
| (Molacek et al., 2010)          | 0* | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1* | 1* | 1 | 1  | <b>5/10</b> |
| (Morrin & Redding, 2013)        | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1* | 0  | 1 | 0* | <b>3/10</b> |
| (A. J. Murphy et al., 2010)     | 1  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 1  | 1 | 1  | <b>6/10</b> |
| (J. R. Murphy et al., 2010)     | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>5/10</b> |
| (Nelson et al., 2005)           | 1  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>4/10</b> |
| (Oliveira & Rama, 2016)         | 1  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 1  | <b>4/10</b> |
| (Pacheco et al., 2011)          | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 1  | 1 | 1  | <b>6/10</b> |
| (Paula et al., 2012)            | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1 | 0  | <b>4/10</b> |

|                              |           |           |          |           |          |          |          |           |           |           |           |                |
|------------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| (Pearce et al., 2012)        | 1         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 1         | 1         | 1         | <b>6/10</b>    |
| (Place et al., 2013)         | 0         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 0         | <b>4/10</b>    |
| (Power et al., 2004)         | 0         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 0         | <b>3/10</b>    |
| (Reid et al., 2018)          | 0         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Ribeiro et al., 2014)       | 1         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>4/10</b>    |
| (Rodrigues et al., 2017)     | 0         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Ryan et al., 2008)          | 1         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Sağıroğlu et al., 2017)     | 0         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Sandberg et al., 2012)      | 1         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1         | 1         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Sayers et al., 2008)        | 1         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1*        | 0         | 1         | 1*        | <b>4/10</b>    |
| (Sekir et al., 2010)         | 1         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 1        | 1         | 1         | 1         | 1         | <b>7/10</b>    |
| (Sekir et al., 2015)         | 1         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>4/10</b>    |
| (Sim et al., 2015)           | 0         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>4/10</b>    |
| (Stafilidis & Tilp, 2015)    | 0         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Torres et al., 2008)        | 1         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1*        | 0         | 1         | 1         | <b>4/10</b>    |
| (Trajano et al., 2014)       | 1         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1         | 1         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Trajano et al., 2013)       | 1         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Unick et al., 2005)         | 0         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>4/10</b>    |
| (van Gelder & Bartz, 2011)   | 1         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1         | 1         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Wakefield & Cottrell, 2015) | 1         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Walsh, 2017)                | 0         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 0         | <b>4/10</b>    |
| (Warren et al., 2014)        | 1         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Werstein & Lund, 2012)      | 0         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 0         | <b>3/10</b>    |
| (Winke et al., 2010)         | 0         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Yamaguchi et al., 2006)     | 0         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>4/10</b>    |
| (Young & Behm, 2003)         | 0         | 1         | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 1         | 1         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| (Zmijewski et al., 2020)     | 0         | 1         | 0        | 1         | 0        | 0        | 0        | 1         | 0         | 1         | 1         | <b>5/10</b>    |
| <b>Summe</b>                 | <b>42</b> | <b>88</b> | <b>4</b> | <b>48</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>4</b> | <b>82</b> | <b>17</b> | <b>87</b> | <b>76</b> | <b>407/880</b> |

Anmerkung: (\*) Differenz zur Bewertung in der PEDro Datenbank, Stand Jänner 2021

Der Modus des Gesamtscores auf der PEDro-Skala betrug 4 von 10 (Spannweite 2–9) möglichen Punkten. Ein Histogramm zur Verteilung der Bewertung ist in Abbildung 2 ersichtlich. Lediglich 4 der 88 Studien beschrieben eine verborgene Zuordnung zu den Gruppen und erfüllten damit Kategorie 3. Die Verblindung der Proband\*innen ist naturgemäß schwierig, wenn nicht unmöglich. Keine der Studien erfüllte die erforderlichen



Anforderungen für Kategorie 5. Eine Studie beschrieb die Verblindung der Therapeut\*innen (Kategorie 6) und vier beschrieben eine Verblindung der Untersucher\*innen und erfüllten somit Kategorie 7.

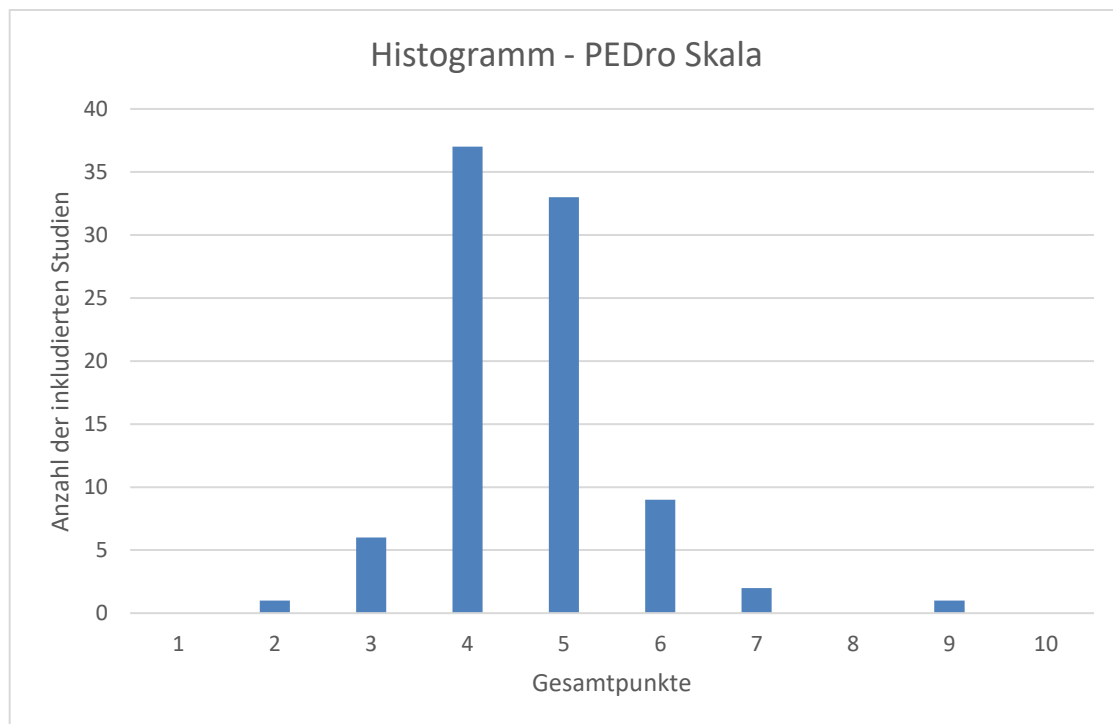


Abbildung 2: Histogramm PEDro Skala

Lediglich von zehn Studien konnte eine Bewertung in der PEDro-Datenbank gefunden werden (Stand Jänner 2021). Dabei ergab sich eine volle Übereinstimmung der Bewertung in fünf von zehn Fällen. In den restlichen fünf Fällen gibt es einen Unterschied in sieben von insgesamt fünfzig möglichen Fällen. Die Übereinstimmung aller Werte beträgt somit 93 %.

Während einige frühere Reviews zu sehr ähnlichen Fragestellungen gefunden wurden, konnten nur drei relevante Übersichtsarbeiten identifiziert werden, welche eine Aufschlüsselung der Studienqualität inkludierten. Zwei davon stützen sich auf die PEDro-Skala (Fradkin et al., 2010; Kallerud & Gleeson, 2013). Beide Arbeiten beschreiben ihre Interpretation der PEDro-Skala nicht näher, differenzieren sich jedoch in ihrer Analyse von jener in der vorliegenden Arbeit. Es soll daher nur darauf hingewiesen werden, dass Fradkin et al. (2010) halbe Punkte vergeben. Außerdem stimmen die Kategorien nicht gänzlich mit der hier verwendeten Version überein. Kallerud und Gleeson (2013) haben 15 mit der vorliegenden Arbeit übereinstimmende Studien bewertet. In ihrer Arbeit gibt es jedoch keine Auflistung der einzelnen Kategorien. Außerdem ergibt sich bei der Arbeit von Kallerud und Gleeson (2013) eine Diskrepanz zwischen ihrer Beschreibung der Bewertung im Fließtext

zur Tabelle. So ist einmal von einer zehnteiligen und an anderer Stelle von einer elfteiligen Skala die Rede. Zur Vollständigkeit wurde der Vergleich zu den genannten Übersichtsarbeiten im

Appendix B inkludiert. Auf eine nähere Analyse der Übereinstimmung und Differenzierung zur vorliegenden Arbeit wird jedoch verzichtet.

### 3 Ergebnisse

Es wurden 88 Studien in die Analyse miteinbezogen. Alle Studien, deren Forschungsdesign, Proband\*innen-Charakteristika, relevante Interventionen und die betrachteten relevanten Messparameter sind in Tabelle 3 aufgeschlüsselt. Zugunsten der Übersichtlichkeit sowie der Forschungsfragen wurden die Informationen komprimiert. In den folgenden Kapiteln werden die Teilaspekte herausgegriffen und noch genauer beschrieben.

*Tabelle 3: Studienübersicht*

| Studie                                                       | Design  | Teilnehmer*innen Erfahrung                                                                     | Anzahl (männlich, w=) | Intervention                                            | Messparameter                    |
|--------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------|
| (Aguilar et al., 2012)                                       | RCT     | Hobby-Fußballspieler*innen                                                                     | 45 (m= 23 w= 22)      | pSD 2x 20s                                              | aROM; isokin. Knieflex. und -ext |
| (Alp, 2020)                                                  | Crosso. | Handballspieler                                                                                | 14 (m= 14 w= 0)       | pSD 3x 30s oder DD 3x 30s                               | Isokin. Kniext.                  |
| (Alp et al., 2018)                                           | Crosso. | Taekwondo Athleten                                                                             | 12 (m= 12 w= 0)       | pSD 3x 30s oder DD 3x 30s                               | Isokin. Kniext. und Plantarflex. |
| (D. C. Andrade et al., 2015)                                 | Crosso. | Studenten Bewegung und Sport                                                                   | 10 (m= 10 w= 0)       | pSD 1x 20s 5-6/10 RPE                                   | DJ60; CMJ und SJ                 |
| (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Avloniti et al., 2016)  | Crosso. | Trainierte, gesunde Athleten                                                                   | 50 (m= 50 w= 0)       | pSD 1x 10s; 1x 15s; 1x 20s; 1x 30s; 1x 40s; oder 1x 60s | 20m Sprint; T-Test Agility       |
| (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Protopapa et al., 2016) | Crosso. | Trainierte, Verletzungsfreie Sportler; 4-6x/W Sport; 10m Sprint <1,94s, 20m <3,1s; T-test <10s | 40 (m= 40 w= 0)       | pSD 1x 10s, 20s und 30s oder pSD 1-4x 10s               | 10m Sprint; 20m Sprint; T-Test   |
| (Ayala et al., 2015)                                         | Crosso. | Ausgleichssportler*innen                                                                       | 49 (m= 25 w= 24)      | pSD 2x 30s oder DD 2x 15s                               | Isokin. Knieflex. und Kniext.    |
| (Bacurau et al., 2009)                                       | Crosso. | Physisch aktive Frauen (mind. 1 Jahr                                                           | 14 (m= 0 w= 14)       | pSD 3x 30s oder BD 3x 60s                               | 45° Beinpresse                   |

|                                        |         |                                                                             |                        |                                            |                                                                                       |
|----------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        |         | Krafttraining,<br>3x/Woche)                                                 |                        |                                            | 1RM; S&R;<br>PSLR                                                                     |
| (Barbosa et al.,<br>2020)              | Crosso. | Volleyball<br>Spieler                                                       | 11<br>(m= 11<br>w= 0)  | pSD 3x 30s                                 | CMJ                                                                                   |
| (Barroso et al.,<br>2012)              | Crosso. | Kraft-<br>trainingserfahre<br>ne Männer                                     | 12<br>(m= 12<br>w= 0)  | pSD 3x 30s;<br>CR 3x 30s oder<br>BD 3x 60s | S&R, 45°<br>Beinpresse                                                                |
| (Beckett et al.,<br>2009) <sup>2</sup> | Crosso. | Gesunde,<br>unverletzte<br>Teamsport<br>Athleten                            | 12<br>(m= 12<br>w= 0)  | pSD 1x 20s                                 | RSA (6x 20m<br>sprints) und<br>COD<br>(3x6x20m<br>sprints mit<br>4x100° COD)          |
| (Beedle et al.,<br>2008)               | Crosso. | Junge<br>Erwachsene<br>unterschiedliche<br>r Leistungslevel                 | 51<br>(m= 19<br>w= 32) | aSD und pSD<br>3x 15s oder<br>DD 3x 20Wh   | 1RM Bench<br>und<br>Beinpresse                                                        |
| (Behm et al.,<br>2004)                 | Crosso. | Studenten                                                                   | 16<br>(m= 16<br>w= 0)  | pSD 3x 45s                                 | isometr.<br>Knieext;<br>Reaktionszeit<br>und<br>Bewegungszei<br>t bei single-<br>task |
| (Bishop &<br>Middleton,<br>2013)       | Crosso. | Studenten                                                                   | 25<br>(m= 25<br>w= 0)  | pSD 1x 20s                                 | 20m Sprint;<br>Illinois Agility<br>Test; CMJ                                          |
| (Blazeovich et<br>al., 2018)           | Crosso. | Teamsport<br>Athleten<br>(mindestens<br>3x/Woche<br>laufbasierter<br>Sport) | 20<br>(m= 20<br>w= 0)  | pSD 1x 5s oder<br>DD 1x 5Wh                | S&R; Running-<br>CMJ; DJ40; T-<br>test; 20m<br>Sprint                                 |
| (Bradley et al.,<br>2007)              | Crosso. | Studenten                                                                   | 18<br>(m= 18<br>w= 0)  | pSD 4x 30s;<br>CR 4x 30s oder<br>BD 3x 30s | SJ; CMJ                                                                               |
| (Brandenburg<br>et al., 2007)          | Crosso. | gesunde<br>Sportler*innen<br>mit<br>Sprungerfahrun<br>g                     | 16<br>(m= 8<br>w= 8)   | pSD 3x 30s                                 | CMJ;                                                                                  |
| (Cè et al.,<br>2008)                   | Crosso. | Relative fitte<br>Männer; 5,5 ±2<br>h/Woche<br>Ausdauertrainin<br>g         | 15<br>(m= 15<br>w= 0)  | pSD 4x 30s                                 | SJ; CMJ                                                                               |
| (Christensen &<br>Nordstrom,<br>2008)  | Crosso. | NCAA Div. I<br>Athlet*innen                                                 | 68<br>(m= 36<br>w= 32) | CR 3x 7s                                   | CMJ                                                                                   |
| (Cometti et al.,<br>2011)              | Crosso. | Gesunde<br>Männer                                                           | 12<br>(m= 12)          | pSD 3x 20s                                 | Isometr.<br>Knieext.                                                                  |

|                                  |         |                                                                                                                                                   |                        |                                   |                                                                                                                        |
|----------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  |         |                                                                                                                                                   | w= 0)                  |                                   |                                                                                                                        |
| (Curry et al., 2009)             | Crosso. | Freizeitsportlerinnen                                                                                                                             | 24<br>(m= 0<br>w= 24)  | pSD 3x 12s<br>oder<br>DD 2x 10Wh  | Thomas Test;<br>CMJ; isometr.<br>Knieext.                                                                              |
| (Dalrymple et al., 2010)         | Crosso. | NCAA Div. I<br>Volleyball<br>Spielerinnen                                                                                                         | 12<br>(m= 0<br>w= 12)  | pSD 3x 15s<br>oder<br>DD 2x 18m   | CMJ                                                                                                                    |
| (Evetovich et al., 2003)         | RCT     | Collage<br>Student*innen, 9<br>von 18 mit<br>regelmäßigem<br>Krafttraining;<br>anderen 9<br>Personen<br>3x/Woche<br>moderates<br>Ausdauertraining | 18<br>(m= 10<br>w= 8)  | pSD 4x 30s                        | isokin.<br>Unterarmflex.                                                                                               |
| (Favero et al., 2009)            | Crosso. | Trainierte<br>Studenten                                                                                                                           | 10<br>(m= 10<br>w= 0)  | pSD 2x 45s                        | 40m Sprints;<br>S&R test                                                                                               |
| (Fjerstad et al., 2018)          | Crosso. | Gesunde,<br>physisch aktive<br>Personen mit<br>selbst<br>berichteter<br>Hüftabduktion<br><90° in S0 auf<br>der Adduktoren<br>Maschine             | 40<br>(m= 20<br>w= 20) | pSD 1x 60s<br>7/10RPE             | Isometr.<br>Hüftadd.;<br>pROM<br>Hüftabd.                                                                              |
| (Fletcher & Monte-Colombo, 2010) | Crosso. | Semi-<br>professionelle<br>Fußballspieler                                                                                                         | 27<br>(m= 27<br>w= 0)  | pSD 1-2x 15s<br>oder<br>DD 2x12Wh | CMJ Höhe;<br>20m Sprint;<br>Balsom Agility<br>Run                                                                      |
| (Fortier et al., 2013)           | Crosso. | Freizeitsportler*innen                                                                                                                            | 15<br>(m= 9<br>w= 6)   | pSD: 1x 20s                       | Isometr.<br>Knieext.; CMJ;<br>15m Sprint                                                                               |
| (Fowles et al., 2000)            | Crosso. | gesunde, junge<br>Hobbysportler*innen                                                                                                             | 10<br>(m= 6<br>w= 4)   | pSD 13x 135s                      | isometr.<br>Plantarflex.                                                                                               |
| (Gelen, 2010)                    | Crosso. | Professionelle<br>Fußballspieler<br>mit "normal<br>ROM"                                                                                           | 26<br>(m= 26<br>w= 0)  | pSD 1x 20s + 1x<br>30s            | 30m Sprint;<br>Slalom<br>dribbling;<br>Penalty kicks                                                                   |
| (Handrakis et al., 2010)         | Crosso. | Kampfkünstler*innen mittleren<br>Alters                                                                                                           | 10<br>(m= 6<br>w= 4)   | pSD 3x 30s                        | Dynamic<br>Stability Index<br>(DSI); Broad-<br>Jump; Single-<br>Hop; Triple-<br>hop; 6m-timed<br>hop; crossover<br>hop |

|                                 |             |                                                                                   |                         |                                                    |                                           |
|---------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| (Harmanci & Karavelioğlu, 2017) | RCT         | Power-Athleten                                                                    | 44<br>(m= 44<br>w= 0)   | pSD 2x 15s                                         | RAST Test (6x 35m Sprints mit 10s Pause)  |
| (Heuser & Pincivero, 2010)      | Crosso.     | Junge gesunde Erwachsene;<br>2x/Woche aktiv und regelmäßiges Dehnprogramm folgend | 20<br>(m= 10<br>w= 10)  | pSD 10x 30s                                        | Isokin. Kneeflex.; (PF und WH bei 50%PF   |
| (Hough et al., 2009)            | Crosso.     | männliche Sportler                                                                | 11<br>(m= 11<br>w= 0)   | pSD 1x 30s oder<br>DD 1x 5Wh langsam +10Wh schnell | SJ                                        |
| (Islamoglu et al., 2016)        | Crosso.     | Sportstudenten                                                                    | 25<br>(m= 25<br>w= 0)   | pSD 12x 10s;<br>6x 20s;<br>4x 30s oder 3x 40       | S&R Test; SJ;<br>20m Sprint;<br>COD-Lauf  |
| (Jorge et al., 2014)            | Crosso.     | Professionelle Basketballspieler                                                  | 6<br>(m= 6<br>w= 0)     | pSD 1x 60s                                         | CMJ                                       |
| (Kay & Blazeovich, 2008)        | Crosso.     | Aktive Erwachsene                                                                 | 7<br>(m= 4<br>w= 3)     | pSD 1x 5s;<br>1x 15s;<br>4x 5s oder 4x 15s         | Isometr. Plantarflex.                     |
| (Kendall, 2017)                 | Crosso.     | gesunde Hobbysportler*innen                                                       | 10<br>(m= 5<br>w= 5)    | pSD 2x 30s                                         | Wingate Test                              |
| (Kistler et al., 2010)          | Crosso.     | Collage Leichtathleten                                                            | 18<br>(m= 18<br>w= 0)   | pSD, 1x 30s                                        | 100m Sprint                               |
| (Knudson et al., 2001)          | Crosso.     | aktive, gesunde Personen mit heterogenem Leistungslevel                           | 20<br>(m= 10<br>w= 10)  | pSD 3x 15s                                         | CMJ                                       |
| (Knudson & Noffal, 2005)        | RCT         | gesunde Student*innen                                                             | 57<br>(m= 33<br>w= 24)  | pSD 1-10x 10s                                      | isometr. Griffkraft                       |
| (Kokkonen et al., 1998)         | Crosso.     | gesunde Student*innen,                                                            | 30<br>(m= 15<br>w= 15)  | pSD 6x 15s                                         | auxotone Knieext. und -flex.              |
| (Konrad et al., 2019)           | Crosso.     | gesunde Erwachsene                                                                | 14<br>(m= 7<br>w= 7)    | pSD 4x 60s                                         | Isometr. Plantarflex;<br>pROM Dorsalext.  |
| (Konrad et al., 2017)           | Cluster RCT | gesunde Erwachsene                                                                | 122<br>(m= 79<br>w= 43) | pSD 4x 30s<br>CRAC 4x 36s oder<br>BD 4x 30s        | pROM Dorsalext.,<br>isometr. Plantarflex. |

|                             |         |                                                      |                       |                                                    |                                                                    |
|-----------------------------|---------|------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| (Kruse et al., 2013)        | Crosso. | Devision I Volleyball Spielerinnen                   | 11<br>(m= 0<br>w= 11) | pSD 1x 30s<br>oder<br>DD 1x 30s                    | CMJ                                                                |
| (Kruse et al., 2015)        | Crosso. | Volleyball Spielerinnen                              | 10<br>(m= 0<br>w= 10) | pSD 1x 30s<br>oder<br>DD 1x 30s                    | CMJ                                                                |
| (La Torre et al., 2010)     | Crosso. | gesunde Hobbysportler aus Leichtathletik und Fußball | 17<br>(m= 17<br>w= 0) | pSD 1x 30s                                         | SJ                                                                 |
| (Leone et al., 2014)        | RCT     | gesunde Studenten                                    | 30<br>(m= 30<br>w= 0) | pSD 2x 30s<br>oder<br>aDD 1x 10Wh                  | isometr. Bankdrücken                                               |
| (Loughran et al., 2017)     | Crosso. | Gallic Football Spieler                              | 17<br>(m= 17<br>w= 0) | pSD 1x 30s                                         | 40m Sprint;<br>CMJ                                                 |
| (Manoel et al., 2008)       | Crosso. | gesunde, junge Frauen                                | 12<br>(m= 0<br>w= 12) | pSD 3x 30s;<br>CR 3x 20s oder<br>aDD 3x 30s        | Isokin. Knieext.                                                   |
| (McBride et al., 2007)      | Crosso. | gesunde Studenten                                    | 8<br>(m= 8<br>w= 0)   | pSD 3x 33s                                         | Isometr. Knieext.;<br>Isometr. Kniebeuge                           |
| (Miranda et al., 2015)      | Crosso. | Freizeittrainierte Männer                            | 10<br>(m= 10<br>w= 0) | pSD 1x 40s                                         | Hoher Ruderzug                                                     |
| (Miyahara et al., 2013)     | Crosso. | gesunde Studenten                                    | 30<br>(m= 30<br>w= 0) | pSD 5x 45s<br>oder<br>CRAC 5x 61s                  | pROM Hüftflex.;<br>isometr. Knieflex.                              |
| (Mizuno et al., 2013)       | Crosso. | Sportstudentinnen                                    | 19<br>(m= 0<br>w= 19) | pSD 5x 60s                                         | Isometr. Plantarflex.                                              |
| (Molacek et al., 2010)      | Crosso. | Devision II Football Spieler                         | 15<br>(m= 15<br>w= 0) | pSD 2x 20s;<br>5x 30s;<br>CR 2x 20s<br>oder 5x 20s | Bankdrücken                                                        |
| (Morrin & Redding, 2013)    | Crosso. | Contemporary Tänzerinnen                             | 10<br>(m= 0<br>w= 10) | pSD 2x 30s;<br>DD 2x 30s oder<br>pSD+DD            | CMJ; p ROM Knieflex.;<br>ASLR                                      |
| (A. J. Murphy et al., 2010) | Crosso. | gesunde Studenten                                    | 42<br>(m= 42<br>w= 0) | pSD 1x 20s<br>oder<br>DD 1x 20s                    | S&R; PSLR;<br>pROM Knieflex.; CMJ                                  |
| (J. R. Murphy et al., 2010) | Crosso. | gesunde Studenten                                    | 11<br>(m= 11<br>w= 0) | pSD 6x 6s                                          | Azyklischer Schnelligkeitstest + Reaktion mit dominantem Bein; CMJ |

|                          |         |                                  |                        |                                              |                                                                                                      |
|--------------------------|---------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Nelson et al., 2005)    | Crosso. | NSCAA Dev. I Leichtathletinnen   | 16<br>(m= 11<br>w= 5)  | pSD 4x 30s:<br>bilateral oder<br>unilateral  | 20m Sprint                                                                                           |
| (Oliveira & Rama, 2016)  | Crosso. | gesunde Amateursportler          | 22<br>(m= 22<br>w= 0)  | pSD 1x 30s                                   | CMJ; 20m Sprint                                                                                      |
| (Pacheco et al., 2011)   | Crosso. | Sportstudent*innen               | 49<br>(m= 35<br>w= 14) | CR 2x 19s<br>pSD 2x 30s<br>oder<br>aSD 2x 6s | Bosco<br>Protokoll: (SJ,<br>CMJ, DJ40<br>und<br>Elastizitäts-<br>index)                              |
| (Paula et al., 2012)     | Crosso. | gesunde Männer                   | 11<br>(m= 11<br>w= 0)  | pSD 3x 30s<br>oder 3 x60s                    | Isometr.<br>Handgriffkraft                                                                           |
| (Pearce et al., 2012)    | Crosso. | Gesunde, männliche Studenten     | 15<br>(m= 15<br>w= 0)  | pSD 2-4x 30s<br>oder<br>DD 2-4x 10Wh         | CMJ;<br>5WhCMJ ;505-<br>Test; 20m<br>Sprint                                                          |
| (Place et al., 2013)     | Crosso. | aktive, gesunde Männer           | 12<br>(m= 12<br>w= 0)  | CRAC 4x 15s                                  | aROM<br>Knieflex.<br>Hüftext.;<br>Isometr.<br>Knieext. und -<br>flex.; CMJ;<br>DJ30                  |
| (Power et al., 2004)     | Crosso. | gesunde Männer                   | 12<br>(m= 12<br>w= 0)  | pSD 3x 45s                                   | isometr.<br>Kniesext. und<br>Plantarflex.;<br>SJ; DJ30;<br>aROM Hüftext.<br>;S&R; pROM<br>Dorsalext. |
| (Reid et al., 2018)      | Crosso. | Gesunde, Krafttrainingserfahrene | 16<br>(m= 16<br>w= 0)  | pSD 3x 10s; 3x<br>20s oder<br>3x 40s         | pROM<br>Hüftflex.,<br>Knieflex.;<br>isometr.<br>Knieext. und -<br>flex.; CMJ                         |
| (Ribeiro et al., 2014)   | Crosso. | gesunde, junge Nicht-Sportler    | 15<br>(m= 15<br>w= 0)  | pSD 1x 30s                                   | Bankdrücken                                                                                          |
| (Rodrigues et al., 2017) | Crosso. | Freizeitsportler                 | 22<br>(m= 22<br>w= 0)  | pSD 3x 30s<br>VAS 7/10 oder<br>VAS 10/10     | Isokin.<br>Knieext.                                                                                  |
| (Ryan et al., 2008)      | Crosso. | Freizeitsportler*innen           | 13<br>(m= 7<br>w= 6)   | pSD 4x 30s, 8<br>x30s oder 16<br>x30s        | Isometr.<br>Plantarflex.;<br>pROM<br>Dorsalext.                                                      |
| (Sağıroğlu et al., 2017) | Crosso. | Gut trainierte Kampfsportler     | 16<br>(m= 16<br>w= 0)  | pSD 2x 30s                                   | CMJ; S&R                                                                                             |



|                              |         |                                                                               |                       |                                                   |                                                                                        |
|------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| (Sandberg et al., 2012)      | Crosso. | Trainierte, gesunde Männer                                                    | 16<br>(m= 16<br>w= 0) | pSD 3x 30s                                        | isokin. Knieext.; CMJ                                                                  |
| (Sayers et al., 2008)        | Crosso. | Elite Fußballspielerinnen                                                     | 20<br>(m= 0<br>w= 20) | pSD 3x 30s                                        | 30m Sprint                                                                             |
| (Sekir et al., 2010)         | Crosso. | Elite Leichtathletinnen                                                       | 10<br>(m= 0<br>w= 10) | pSD 2x 30s oder DD 2x (5Wh langsam+ 10Wh schnell) | Isokin. Knieflex. und Knieext.                                                         |
| (Sekir et al., 2015)         | Crosso. | Gesunde Leichtathletinnen                                                     | 11<br>(m= 0<br>w= 11) | pSD 2x 30s                                        | Isokin. Knieflex. und Knieext.                                                         |
| (Sim et al., 2015)           | Crosso. | Studenten                                                                     | 10<br>(m= 10<br>w= 0) | pSD 2x 20s                                        | Isokin. Knieext. und Knieflex.                                                         |
| (Stafilidis & Tilp, 2015)    | Crosso. | Student*innen, Hobbysportler*innen                                            | 11<br>(m= 8<br>w= 3)  | pSD 1x 15 oder 1x 60s                             | pROM Knieflex.; isometr. Knieext.; CMJ; SJ                                             |
| (Torres et al., 2008)        | Crosso. | NSCAA Dev. I Wurfathleten (Speer, Discus, Kugel...)                           | 11<br>(m= 11<br>w= 0) | pSD 2x 15s; DD 2x 30s oder pSD + DD               | Bankstoßen; Isometr. Bankdrücken; Medizinball Überkopfwurf und Rotationswurf im Sitzen |
| (Trajano et al., 2014)       | Crosso. | gesunde Männer                                                                | 18<br>(m= 18<br>w= 0) | pSD: 1x 5min oder 5x 1min                         | isometr. Plantarfex.                                                                   |
| (Trajano et al., 2013)       | Crosso. | Junge, gesunde Erwachsene ohne Beweglichkeitstraining                         | 13<br>(m= 13<br>w= 0) | pSD: 1x 5min                                      | Isometr. Plantarflex.                                                                  |
| (Unick et al., 2005)         | Crosso. | Div III Basketball Athletinnen                                                | 16<br>(m= 0<br>w= 16) | pSD: 3x 15s oder DD: 3x 15s                       | CMJ; DJ26cm                                                                            |
| (van Gelder & Bartz, 2011)   | RCT     | männliche Collage Basketballspieler (n=18 NCAA Dev II; n=39 Freizeitsportler) | 60<br>(m= 60<br>w= 0) | pSD: 1x 30s oder DD: 1x 10-20Wh                   | 505 Agility Test                                                                       |
| (Wakefield & Cottrell, 2015) | Crosso. | Hobbysportler                                                                 | 15<br>(m= 15<br>w= 0) | pSD 3x 30s Hüftbeuger oder Hüftstrecker           | pROM Hüftext.; mod. Thomas Test; CMJ                                                   |

|                          |         |                                             |                        |                                                                           |                                             |
|--------------------------|---------|---------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| (Walsh, 2017)            | Crosso. | gesunde Sportler*innen Ballsport, Studenten | 10<br>(m= 7<br>w= 3)   | pSD 1x 90s<br>oder<br>DD 3x 12Wh                                          | KJPS ; Isokin.<br>Knieext. und<br>Knieflex. |
| (Warren et al., 2014)    | Crosso. | gesunde Männer und Frauen                   | 20<br>(m= 20<br>w= 20) | pSD 4x 30s;<br>AC 4x 30s oder<br>BD 4x (5Wh<br>langsam +<br>10Wh schnell) | Isokin.<br>Knieflex.                        |
| (Werstein & Lund, 2012)  | Crosso. | Division I Fußball und Rugby Spielerinnen   | 15<br>(m= 0<br>w= 15)  | pSD 3x 30s<br>oder<br>DD 3x 10Wh                                          | DJ45cm                                      |
| (Winke et al., 2010)     | Crosso. | Aktive, gesunde Personen                    | 29<br>(m= 16<br>w= 13) | pSD 3x 30s                                                                | S&R Test;<br>Isokin.<br>Knieflex.           |
| (Yamaguchi et al., 2006) | Crosso. | gesunde, junge Männer                       | 12<br>(m= 12<br>w= 0)  | pSD 4x 30s                                                                | Isotone<br>Knieext.                         |
| (Young & Behm, 2003)     | Crosso. | gesunde, junge Freiwillige                  | 16<br>(m= 13<br>w= 3)  | pSD 1x 30s                                                                | SJ mit +10kg;<br>DJ30                       |
| (Zmijewski et al., 2020) | Crosso. | Volleyball Athletinnen                      | 13<br>(m= 0<br>w= 13)  | pSD 3x 20s<br>oder<br>DD 3x 20s                                           | Ergometer<br>Sprint (RSA<br>test 5x6s)      |

Anmerkung: Crosso. = Crossover Studien; m = männlich; w = weiblich

### 3.1 Studiendesign

Wie oben beschrieben wurden lediglich randomisierte Studien eingeschlossen. Die formale Benennung des jeweiligen Studiendesigns fiel sehr heterogen aus. Um unterschiedliche Bedeutungen und Irreführungen zu vermeiden, wurden die Designs auf drei Kategorien reduziert. Die folgenden Definitionen für diese Kategorien bauen auf dem *Cochrane Handbook for Systemtic Reviews* (Higgins et al., 2019) und der Arbeit von Aggarwal und Ranganathan (2019) auf.

Als RCTs wurden für diese Arbeit jene Studien bezeichnet, welche parallel zwei oder mehr Gruppen, die sich aus unterschiedlichen Personen ergeben, behandeln. Die Zuteilung muss zufällig geschehen und eine Gruppe muss als Kontrollgruppe definiert werden. Sechs der 88 Studien wurden als RCTs gekennzeichnet.

Eine Studie (Konrad et al., 2017) wurde als Cluster-RCT definiert, da sie unterschiedliche Gruppen an Proband\*innen, in diesem Fall Polizeirekrut\*innen und Sportstudent\*innen, für die Interventions- bzw. Kontrollgruppen verwendet.

Der Großteil der inkludierten Studien (82 von 88) weist ein Crossover-Design auf, welches im Unterschied zur parallelen Anordnung aus Interventions- und Kontrollgruppe einen seriellen Aufbau verwendet. Studien, bei denen die gleichen Teilnehmer\*innen mehreren Interventionen beziehungsweise Kontrollsituationen zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterzogen wurden und alle oben genannten Inklusionskriterien erfüllen (Kapitel 2.1), fielen in diese Kategorie.

### 3.2 Proband\*innen

Insgesamt wurden maximal 1877 Teilnehmer\*innen analysiert. Die genau Zahl lässt sich aufgrund der größtenteils fehlenden Dokumentation an Drop-out-Raten nicht festlegen. Durch die große Zahl an Crossover-Studien, die mit teilweise sechs unterschiedlichen Testtagen arbeiteten, wird nicht davon ausgegangen, dass diese Zahl akkurat ist. Die meisten Studien inkludierten nur Teilnehmer\*innen eines Geschlechts. Insgesamt wurden 1342 (71 %) männliche und 545 (29 %) weibliche Proband\*innen identifiziert. In der bisherigen Literatur wird nicht angenommen, dass es einen Geschlechterunterschied bei den akuten Auswirkungen von Stretching gibt (Kallerud & Gleeson, 2013; Shrier, 2004; Simic et al., 2013), wobei dieses Ergebnis auf Basis nur weniger Studien getroffen wird. In der vorliegenden Arbeit sind fünf Studien inkludiert, die einen direkten Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmer\*innen vornehmen (Christensen & Nordstrom, 2008; Fjerstad et al., 2018; Heuser & Pincivero, 2010; Knudson & Noffal, 2005). Lediglich Heuser und Pincivero (2010) finden einen Unterschied in den akuten Auswirkungen von Stretching zwischen den Geschlechtern. Der Unterschied ist jedoch auf das subjektive Anstrengungsempfinden (RPE) bei Kraftübungen beschränkt. Frauen zeigen hier ein höheres RPE nach einer Dehnintervention ( $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,35$ ) und Männer nach der Kontrollsituation, also ohne Dehnen ( $p = 0,047$ ,  $\eta^2 = 0,20$ ). Alle anderen genannten Studien, wie auch die eben genannte, zeigen keinen Unterschied in den Auswirkungen auf die objektiven Leistungsparameter zwischen Männern und Frauen. Die Ergebnisse werden daher in dieser Arbeit für die Geschlechter zusammengefasst ausgewertet.

Die sportliche Vorerfahrung der Teilnehmer\*innen in den inkludierten Arbeiten ist sehr heterogen. So arbeiten 44 der 88 Studien mit Sportler\*innen verschiedener Sportarten, während 26 Studien Menschen ohne sportliche Hintergrunderfahrung untersuchten oder nicht nach diesem Kriterium auswählten. Weitere 19 Studien beschreiben die Teilnehmer\*innen als „recreational“ oder Ausgleichs-/Hobby-Sportler\*innen.

### **3.3 Interventionen**

#### **3.3.1 Dehnmethoden**

Betrachtet wurden speziell pSD, aSD und DIK. Einige Studien vergleichen in einer weiteren Interventionssituation die Auswirkungen von dynamischem Dehnen (DD) oder Ballistischem Dehnen (BD) mit SD. Im Folgenden wird nach den angewandten Methoden differenziert und ausgewertet.

##### **3.1.1.1 Passives und aktives Dehnen**

Wie in der Einleitung dargestellt, können statische Dehnungen laut Alter (2004) nach Muskelaktivität in passive (pSD) und aktive Dehnungen (aSD) eingeteilt werden.

Nach dieser Einteilung verwendet nur eine Studie ein rein aktives Dehnprogramm in einer Interventionssituation, das mit einer pSD und DIK verglichen wurde (Pacheco et al., 2011). Zwei Studien verwenden eine Mischung aus pSD und aSD, ohne dass die Autoren eine Begründung dafür abgeben (Alp, 2020; Beedle et al., 2008). Eine weitere Studie vergleicht aktives Dynamisches Dehnen (aDD) mit pSD (Leone et al., 2014).

Zwei Studien verwenden eine andere Nomenklatur und bezeichnen scheinbar, jedoch nicht explizit, aSD als jene Dehnmethode, bei der es zu einer zusätzlichen Gewichtsbelastung der gedehnten Struktur durch das eigene Körpergewicht der Person kommt (Fjerstad et al., 2018; Gelen, 2010). Gelen (2010) bezieht sich mit den Dehnübungen explizit auf Alter (2004), wobei er dessen Definition nach Auffassung des Verfassers jedoch missversteht oder nicht anwendet. Rein mechanisch und physiologisch lässt sich mit jener Differenzierung bei Gelen (2010) und Fjerstad et al. (2018) kein Unterschied zu pSD-Methoden erkennen. Vorausgesetzt, die physische Kraft, die auf die Strukturen wirkt, und somit die Intensität der Dehnung sind gleich, sind diese beiden Dehnstrategien nach der vorliegenden Einteilung nicht differenzierbar. In der Studie von Fjerstad et al. (2018) kann auch kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden pSD-Interventionen in Bezug auf isometrische Kraft der Hüftadduktoren gefunden werden. Es bleibt anzumerken, dass die beiden verglichenen Interventionen Dehnungen in unterschiedlichen Bewegungsebenen anwenden. Eine Dehnung wird in 0° Hüftflexion, die andere in 90° Hüftflexion angewendet. Die Testung geschieht wieder in 0° Flexion. Auf diese Limitation soll in Kapitel 4, der Diskussion, noch näher eingegangen werden.

Eine Studie vergleicht aSD und pSD direkt (Pacheco et al., 2011). Hier zeigte sich eine signifikante Verbesserung der Sprunghöhe (SH) beim Countermovement Jump (CMJ) und Squat Jump (SJ) in allen Gruppen ( $p < 0,05$ ). Die Verbesserung der SH für CMJ, SJ und Drop Jump (DJ) aus 40 cm Höhe war in der aSD größer als in den anderen Interventionen.

Der Elastizitätsindex, der das Verhältnis zwischen SJ und CMJ repräsentiert (Pacheco et al., 2011), nahm nur in der pSD-Gruppe ab ( $-34\%$ ,  $p < 0,05$ ). Die Studie vermisst eine Analyse der Effektstärke und eine Erklärung, wie mit den elf Drop-outs verfahren wurde. Schließlich sind die Belastungszeiten für die aSD- und pSD-Gruppe sehr unterschiedlich und der Effekt könnte auch durch diesen Unterschied erklärt werden.

Eine weitere Forschergruppe vergleicht aktives mit passivem Dehnen (Leone et al., 2014). In dieser Untersuchung wurde jedoch pSD mit einem aDD der Schulteradduktoren und Ellbogenextensoren verglichen. Vor und nach den Interventionen wurde ein isometrischer maximaler Test im Bankdrücken an  $n = 30$  männlichen Studenten durchgeführt. Es zeigte sich eine Reduktion der maximalen isometrischen Kraft durch  $2 \times 30\text{ s}$  pSD (von  $895,7 \pm 232,1\text{ N}$  auf  $839,9 \pm 213,8\text{ N}$ ;  $-6\%$ ,  $p < 0,001$ ) und durch  $1 \times 10\text{ Wh}$  aDD ( $762 \pm 155,4\text{ N}$  auf  $734,6 \pm 136,6\text{ N}$ ;  $-4\%$ ,  $p < 0,05$ ). Das *Rate of Force Development* (RFD) blieb in beiden Gruppen gleich. Der direkte statistische Vergleich der Gruppen bleibt bei Prä- und Postintervention aus.

#### 3.1.1.2 Antagonistische Dehnung

Eine weitere Unterscheidung, die getroffen werden kann, ist, ob dieselbe Muskelgruppe gedehnt wird, welche auch auf ihre Leistungsfähigkeit getestet wird, oder die Antagonisten der Bewegung. Letzteres wird folgend als Antagonisten-Dehnung bezeichnet. Während der Großteil der Studien sich der Dehnung der Leistungserbringer widmet, betrachten drei Studien den Effekt durch Antagonisten-Dehnung (Miranda et al., 2015; Sandberg et al., 2012; Wakefield & Cottrell, 2015). Alle drei Studien zeigten eine signifikant bessere Leistung in der Gruppe der Antagonisten-Dehnungen gegenüber der Kontrollsituation ohne Dehnung.

Eine der drei Studien verglich die Antagonisten-Dehnung direkt mit der Agonisten-Dehnung (Wakefield & Cottrell, 2015). Dabei wurden einmal die Hüftflexoren und einmal die Hüftextensoren  $3 \times 30\text{ s}$  pro Bein gedehnt. Davor und danach wurde der CMJ der  $n = 15$  Freizeitsportler getestet. Es zeigte sich eine signifikant ( $p < 0,05$ ) bessere Sprungleistung nach Dehnung der Hüftbeuger ( $+1,74 \pm 0,73\%$ ) gegenüber der Situation, in der die Hüftstrecker gedehnt wurden ( $-1,74 \pm 0,65\%$ ) und gegenüber der Kontrollstation ohne Dehnung ( $-1,34 \pm 0,96\%$ ). Die Autoren betrachteten auch die Veränderung der pROM nach den Interventionen. Invers zu den Ergebnissen des CMJ zeigte sich hier eine sign. Verbesserung der pROM bei Hüftextension nach Dehnung der Hüftflexoren ( $+6,54 \pm 2,75\%$ ), nicht jedoch nach der Dehnung der Hüftextensoren ( $+1,84 \pm 2,79\%$ ) und der Kontrollsituation ( $-1,73 \pm 3,26\%$ ) (Wakefield & Cottrell, 2015).

Bei Sandberg et al. (2012) wurde die isokinetische Kraft bei konzentrischer Kniestreckung und Kniebeugung betrachtet. Die Gruppe nach  $3 \times 30$  s pSD der jeweiligen Gegenspieler zeigte signifikant höhere PT bei  $300^\circ/\text{s}$  Winkelgeschwindigkeit ( $102 \pm 27$  Nm vs.  $93 \pm 33$  Nm;  $p = 0,032$ ;  $d = 0,29$ ) und geringe Verbesserungen in der SH beim Jump-and-Reach Test ( $59,8 \pm 13,3$  cm vs.  $58,6 \pm 13,3$  cm;  $d = 0,09$ ;  $p = 0,011$ ), nicht jedoch für die isokinetische Testung bei  $60^\circ/\text{s}$ .

Miranda et al. (2015) betrachteten die durchgeführten maximalen Wiederholungen bis zur konzentrischen Erschöpfung bei hohen Ruderzügen am Gerät nach Dehnung der transversalen Schulteradduktoren. Die Studie weist Ungenauigkeiten in der Beschreibung des Designs auf und wurde möglicherweise ein zweites Mal leicht verändert publiziert (Paz et al., 2013). Mit diesem Vorbehalt zeigen Miranda et al. (2015) ein signifikant höheres Trainingsvolumen bei drei Sätzen Ruderzüge nach antagonistischen Dehnungen ( $1837 \pm 258,7$  kg) gegenüber der Kontrollgruppe ( $1640 \pm 138,6$  kg;  $p = 0,01$ ).

Die angeführte Evidenz deutet damit auf eine Leistungsverbesserung nach Dehnung der Antagonisten gegenüber keiner Dehnung und Dehnung der Agonisten hin.

### **3.1.1.3 Dehnungen mit Kontraktionen**

Mehrere Untersuchungen setzten Dehnungen mit isometrischen Kontraktionen (DIK) ein. Das genaue Protokoll der Kontraktionen unterschied sich in Dauer und Intensität voneinander. Sieben Studien verglichen dabei direkt pSD mit DIK (Barroso et al., 2012; Bradley et al., 2007; Konrad et al., 2017; Manoel et al., 2008; Miyahara et al., 2013; Pacheco et al., 2011; Warren et al., 2014).

Die Dehnungen mit eingebauten isometrischen Kontraktionen können nach ihrer Methode unterschieden und somit in drei Untergruppen eingeteilt werden. Weitere Untergruppen sind möglich, jedoch kommen nur die folgenden drei in den dargestellten Studien vor. Die Einteilung der Methoden geschieht nach der Muskelgruppe, die isometrisch kontrahiert wird in:

- Contract Relax (CR): Es wird die gedehnte Muskelgruppe kontrahiert.
- Agonist Contraction (AC): Es wird der Agonist der Bewegung und damit die Gegenspieler zur gedehnten Muskulatur kontrahiert.
- CRAC: Es werden hintereinander die Antagonisten der Bewegung und die Agonisten kontrahiert.

Barroso et al. (2012) zeigten an zwölf krafttrainierten Athleten keinen Unterschied in der Auswirkung auf das Einwiederholungsmaximum (1RM) und dem erreichten Trainingsvolumen mit 80 % des 1RM zwischen pSD, CR und ballistischem Dehnen (BD). Alle Methoden zeigten statistisch signifikante ( $p < 0,05$ ) geringere Leistungen im 1RM (CR

$-13 \pm 11,7$  kg; pSD:  $-4,7 \pm 14,5$  kg; BD:  $-5,5 \pm 17$  kg) und im Trainingsvolumen (CR  $-4,4 \pm 0,7$  Wh; pSD:  $-4 \pm 1,7$  Wh; BD:  $-3,3 \pm 2,5$  Wh) sowie größere ROM im Sit-and-Reach (CR:  $+8,5 \pm 3^\circ$ , pSD:  $+7,1 \pm 3,1^\circ$  BD:  $+6,2 \pm 3,4^\circ$ ) gegenüber der Kontrollgruppe. Die Werte für das Trainingsvolumen und den Sit-and-Reach wurden manuell aus der unbeschrifteten Tabelle extrahiert.

Bradley und Kollegen (2007) fanden in ihrem Crossover-Design keinen Unterschied in der Sprungleistung nach volumengleicher Intervention durch pSD und CR-Dehnungen der Beinmuskulatur. Beide Gruppen zeigten eine verringerte Sprungleistung beim SJ und CMJ. Die Studie weist dabei Ungenauigkeiten in der Dokumentation der Belastungsparameter auf und summiert die Sprungergebnisse der beiden Sprungtests, sodass keine absoluten Einzelwerte zu entnehmen sind.

Konrad und Kollegen (2017) verglichen volumengleiche Dehninterventionen der Methoden pSD, CRAC und DD miteinander. Die Forschergruppe zeigte eine ähnliche Verbesserung der ROM in allen drei Gruppen. Eine signifikant geringere maximale isometrische Kraftentwicklung der Plantarflexoren wurde nur im Rahmen der CRAC-Methode (von  $99,9 \pm 49,8$  Nm auf  $95,4 \pm 39,1$  Nm;  $p < 0,05$ ) gefunden.

Manoel et al. (2008) verglichen die Auswirkungen von pSD, AC und DD auf isokinetische Kniestreckung. Im Gegensatz zu den bisher genannten Studien war das Dehnvolumen nicht gleich. Die pSD und DD Gruppen dehnten jeweils  $3 \times 30$ s. Die AC-Gruppe verwendete drei Serien von 5 s maximaler antagonistischer isometrischer Kontraktion gefolgt von 15 s passiver Dehnung. Manoel et al. (2008) konnten keine Änderung der maximalen isokinetischen Kniestreckung bei  $60^\circ/\text{s}$  oder  $180^\circ/\text{s}$  finden. Die Studie hat eine geringe statistische Power (35 %) vorzuweisen. Vorsicht sollte auch bei der Darstellung der Ergebnisse geboten sein. Die Autoren geben den Mittelwert  $\pm$  SEM an, was eine Streuung der Daten geringer erscheinen lässt, als sie ist (Nagele, 2003).

Bei Miyahara et al. (2013), die eine RCT zum Vergleich der Dehnmethoden pSD und CRAC verwendeten, ist das Dehnvolumen in der CRAC-Gruppe nicht eindeutig, da sich die Angaben im Fließtext ( $5 \times \{10 \text{ s pSD} + 6 \text{ s Antagonistenkontraktion} + 30 \text{ s Agonistenkontraktion}\}$ ) von jenen der angeführten Tabelle ( $5 \times \{10 \text{ s pSD} + 6 \text{ s Antagonistenkontraktion} + 45 \text{ s Agonistenkontraktion}\}$ ) unterscheiden. In der pSD-Gruppe wurde  $5 \times 45$  s gedehnt. Die Veränderung der ROM war in der CRAC-Gruppe größer ( $+12 \pm 6^\circ$ ,  $p = 0,001$ ,  $d = 0,83$ ;) als in der pSD Gruppe ( $+4 \pm 4^\circ$ ,  $p = 0,01$ ,  $d = 0,26$ ). Beide Gruppen zeigten eine Reduktion der maximal isometrischen Kniebeugung in  $90^\circ$  Knie- und Hüftflexion (pSD:  $-6,9$  %,  $p > 0,05$ ; CRAC:  $-7,1$  %,  $p > 0,05$ ) ohne signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen.

Pacheco et al. (2011) verwendeten in ihrer Crossover-Studie bei n = 49 Proband\*innen vier sehr unterschiedliche Interventionen. Die Autoren konnten keine Unterschiede in der SH bei SJ, CMJ und DJ aus 40 cm zwischen pSD und CR feststellen. Wie bereits angeführt weist der Artikel methodische Mängel auf.

Warren et al. (2014) verglichen volumengleiche Dehnung der Kniebeuger an pSD (4 x 30 s) und CR (4 x {10 s *passiv* + 10 s *maximale Antagonistenkontraktion* + 10 s *passiv*}). Sie konnten keinen Unterschied in der konzentrischen isokinetischen Kniebeugung bei 60°/s und 180°/s feststellen.

Zwei inkludierte Studien beschränkten sich auf die Auswirkungen von CR-Dehnungen ohne eine direkte Vergleichsgruppe, die pSD oder aSD anwendet (Christensen & Nordstrom, 2008; Place et al., 2013). Keine der Studien zeigte Unterschiede in der SH beim CMJ und DJ sowie in der maximalen isometrischen Kontraktionskraft der Kniebeuger und -strecker (Place et al., 2013) im Vergleich zur Kontrollgruppe, die nicht dehnte. Place et al. (2013) wandten dabei ein Protokoll von 4 x {5 s *Agonistenkontraktion* + 5 s *passiv* + 5 s *Antagonistenkontraktion*}. Wobei die letzte Kontraktion nicht in der Dehnung durchgeführt wurde. Place zeigt außerdem eine ungewöhnliche Messmethode der aROM, die nicht validiert wurde. Darüber hinaus wurde, trotz Verwendung einer Kraftmessplatte, die SH über die Flugzeit anstelle der Impulserhaltung kalkuliert, was die Genauigkeit der Untersuchung hinterfragbar macht.

Insgesamt zeigt sich, dass die Begrifflichkeiten für Dehnungen mit Kontraktionen nicht einheitlich verwendet werden. In allen beschriebenen Studien wird die Methode „PNF“ genannt. Weiters deutet sowohl die traditionelle Nomenklatur (Voss et al., 1986) als auch die von der *National Strength and Conditioning Association* übernommene (Haff & Triplett, 2016) auf einen Unterschied zwischen *hold-relax* und *contract-relax* hin, der sich aus der Kontraktionsform – isometrisch haltend und konzentrisch überwindend – ergibt. Keine der Studien beschreibt konzentrische Kontraktionen, auch wenn vielfach der Wortlaut „contract-relax“ verwendet wird. Die Kontraktionen werden in der Dehnung oder außerhalb der Dehnung durchgeführt. Die Kontraktionsintensität ist durchgehend nahe der MVC oder nicht angeführt.

Fünf der Studien betrachten die Kontraktion der gedehnten Muskulatur, also die CR-Methode in vorliegender Nomenklatur. Eine Studie verwendet die Kontraktion der Gegenspieler zur gedehnten Muskulatur (AC). Drei Studien betrachten die kombinierte Kontraktion der Spieler und Gegenspieler (CRAC). Eine Übersicht der Arbeiten zur DIK Methode gibt Tabelle 4.



Tabelle 4: Dehnungen mit isometrischer Kontraktion, Studienübersicht

| Studie                          | IKD Methode                                              | Vergleich                                                    | Parameter                                                   | Ergebnis                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Barroso et al., 2012)          | CR<br>3x {5s relax + 5s contract "near max" + 20s relax} | pSD<br>3x 30s "mild discomfort"                              | S&R;<br>45°-Beinpresse:<br>(1RM, Volume Load)               | S&R:<br>↑ in CR > SD und BD<br><br>↓ Volume Load alle Interventionen (CR: -4,4±0,7WH; SD: -4±1,7WH; BD: -3,3±2,5WH)<br><br>↓ 1Rm alle Interventionen (CR -13±11,7kg; SD:-4,7±14,5kg; BD: -5,5±17kg) |
|                                 |                                                          | BD<br>3x 1min                                                |                                                             |                                                                                                                                                                                                     |
|                                 |                                                          | Kein Dehnen                                                  |                                                             |                                                                                                                                                                                                     |
| (Bradley et al., 2007)          | CR<br>4x {5s contract 100% MIVC + 25s relax}             | pSD<br>4x 30s "mild discomfort"                              | SJ; CMJ                                                     | ↓ SH durch SD und CR direkt nach Dehnen (SD: -4%, CR: -5,3%)<br><br>nicht sign. für BD (-2,7%)                                                                                                      |
|                                 |                                                          | BD<br>4x30s                                                  |                                                             |                                                                                                                                                                                                     |
|                                 |                                                          | Kein Dehnen                                                  |                                                             |                                                                                                                                                                                                     |
| (Christensen & Nordstrom, 2008) | CR 3x {2s contract, 5s relax}                            | Kein Dehnen                                                  | CMJ                                                         | Kein signifikanter Unterschied                                                                                                                                                                      |
| (Konrad et al., 2017)           | CRAC<br>4x {15s relax + 6s contract 80% MVC + 15s AC}    | pSD<br>4x 30s; "at the maximal dorsiflexion ROM"             | pROM<br>Dorsalextension;<br><br>isometr. Plantarflex. (MVC) | ↑ pROM alle Interventionen (SD: +1,4° CRAC: +1,1°, BD: +1,5°)<br><br>↓ MVC in CRAC (-4,6Nm)                                                                                                         |
|                                 |                                                          | BD<br>4x 30s                                                 |                                                             |                                                                                                                                                                                                     |
|                                 |                                                          | Kein Dehnen                                                  |                                                             |                                                                                                                                                                                                     |
| (Manoel et al., 2008)           | CR<br>3x {5s contract 100% MIVC + 15s relax}             | pSD<br>3x 30s; "to a point of mild discomfort, but not pain" | Isokin. Knieext. (P <sub>max</sub> )                        | Kein sign. Unterschied pre- und post Interventionen                                                                                                                                                 |

|                         |                                                                                          |                                                                      |                                                                                      |                                                                                                                                              |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |                                                                                          | DD                                                                   |                                                                                      |                                                                                                                                              |
|                         |                                                                                          | Kein Dehnen                                                          |                                                                                      |                                                                                                                                              |
| (Miyahara et al., 2013) | CRAC<br>5x {10s relax + 6s maximal contract + 45s AC}                                    | pSD<br>5x 45s; "to a point at which the subject first reported pain" | pROM<br>Hüftflexion;<br>isometr. Knieflex.<br>(MVC)                                  | pROM :<br>CRAC > pSD<br>↓ MVC:<br>(pSD: -6,9%<br>d=,044; CRAC: -7,1%)<br>CRAC = pSD                                                          |
|                         |                                                                                          | Kein Dehnen                                                          |                                                                                      |                                                                                                                                              |
| (Pacheco et al., 2011)  | CR<br>2x {4s contract + 15s relax}                                                       | pSD<br>2x30s;<br>"comfortable and relaxed"                           | Bosco Protokoll:<br>(SJ, CMJ, DJ40 und Elastizitätsindex)                            | SJ und CMJ:<br>↑ in alle Interventionen<br><br>Größte ↑ in aSD Gruppe bei SJ, CMJ und DJ<br><br>Elastizitätsindex<br>pSD ↓ (-34%,<br>p<0,05) |
|                         |                                                                                          | aSD<br>2x6s                                                          |                                                                                      |                                                                                                                                              |
|                         |                                                                                          | Kein Dehnen                                                          |                                                                                      |                                                                                                                                              |
| (Place et al., 2013)    | CRAC<br>4x {5s contract, 5s relax "until level of discomfort"; 5s AC in Neutralstellung} |                                                                      | aROM (Knieflex. Hüftext.);<br>Isometr. Knieext. und Knieflex. (MVC);<br>CMJ und DJ30 | keine sign. Unterschiede                                                                                                                     |
| (Warren et al., 2014)   | AC<br>4x{10s relax, 10s AC 100% MIVC, 10s relax}                                         | pSD 4x30s;<br>"until acknowledged pain"                              | Isokin. Knieflex.<br>(PT, $W_{total}$ , $P_{avg}$ )                                  | Keine sign. Unterschiede                                                                                                                     |
|                         |                                                                                          | Ballistisches Dehnen<br><br>4x {5Wh langsam + 10Wh schnell}          |                                                                                      |                                                                                                                                              |
|                         |                                                                                          | Kein Dehnen                                                          |                                                                                      |                                                                                                                                              |

Anmerkung:  $P_{avg}$  = durchschnittliche Leistung, PT = Peak Torque,  $W_{total}$  = Gesamte physikalische Arbeit

#### 3.1.1.4 Dynamisches und Ballistisches Dehnen

Dynamische Dehnungen werden in der praxisorientierten Literatur häufig in Aufwärm- und Vorbereitungsprogramme integriert, um eine potentiell höhere Leistungsfähigkeit zu

erreichen (Haff & Triplett, 2016; Jeffreys, 2007; Verstegen & Williams, 2014). Auch frühere vergleichende wissenschaftliche Arbeiten weisen auf eine Leistungsverbesserung oder unbeeinflusste Kraft- und Schnelligkeitsleistung durch dynamische Methoden hin (Behm & Chaouachi, 2011; Kallerud & Gleeson, 2013; Opplert & Babault, 2018). Ballistisches Dehnen (BD) kann als Unterform der dynamischen Methode betrachtet werden, wobei hier höhere Geschwindigkeiten und rhythmischer Schwung eingesetzt werden, um die volle ROM zu erreichen (Alter, 2004, S. 157; Haff & Triplett, 2016, S. 323).

In der vorliegenden Auswertung verglichen 29 Studien SD mit DD und davon bezeichnen vier Studien die Methode als ballistisch.

Eine heterogene Herangehensweise stellt sich bei der Bestimmung eines ähnlichen Volumens für die unterschiedlichen Interventionen heraus. In manchen Untersuchungen wird auf ein angeglichenes Volumen zugunsten praxisnaher Anwendungen verzichtet (Gelen, 2010; Torres et al., 2008). Manche Studien setzen auf die Abstimmung der Gesamtzeit der Intervention (Dalrymple et al., 2010; Kruse et al., 2013; van Gelder & Bartz, 2011; Walsh, 2017).

Da die Zeit in der Dehnung bei dynamischen Übungen je nach Kadenz geringer ist als bei statischen, setzen manche Autor\*innen auf eine abgestimmte Netto-Zeit. Bacurau et al. (2009), Barroso et al. (2012) sowie Beedle et al. (2008) setzen dementsprechend längere Gesamtzeiten für die DD-Methode ein. In den anderen Arbeiten, wie sie in Tabelle 5 beschrieben sind, wird die Brutto-Zeit in den Dehnungen gleichgesetzt.

Die Bewegungsgeschwindigkeit und Intensität beim DD sind in den verschiedenen Studien ebenfalls unterschiedlich. So setzten zum Beispiel Alp und Kollegen (2018) auf maximal schnelle Bewegungen, während andererseits Ayala et al. (2015) oder Leone et al. (2014) auf kontrollierte Bewegungen setzen. Wo angegeben, sind die Intensitäten und Geschwindigkeiten in Tabelle 5 vermerkt.

In 15 von 29 Studien wurden keinerlei Unterschiede der kraft- und schnelligkeitsorientierten Leistungsparameter zwischen den Methoden gefunden. In zehn von 29 Studien zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen, wobei durchgehend die DD-Methode bessere Leistungsergebnisse als SD zeigte. In vier Studien wurde kein direkter statistischer Vergleich der Studien signifikant oder kein solcher durchgeführt respektive dokumentiert. Bei diesen vier Studien zeigte sich jedoch ebenfalls eine Verschlechterung der Leistungen nach SD und keine signifikante Änderung nach DD oder gemischte Ergebnisse. In Studien, bei denen die ROM-Veränderung gemessen wurde, sind die Ergebnisse invers zu den Kraft- und Schnelligkeitsmessungen.

Tabelle 5: Dynamisch Dehnmethoden

| Studie                   | DD Methode                                                                  | SD Methode                                           | Paramter                                                                                             | Ergebnis                                                                                                                                                             |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Alp et al., 2018)       | DD: 3x 30s<br>4 Übungen<br>"as fast as they could"                          | pSD: 3x 30s<br>4 Übungen                             | Isokin.<br>Knieext. 60°/s<br>und 180°/s<br>(PT)                                                      | Kein sign. Unterschied                                                                                                                                               |
| (Ayala et al., 2015)     | DD: 2x 15Wh<br>5 Übungen<br>"controlled dynamic movements"                  | pSD: 2x 30s<br>5 Übungen                             | Isokin.<br>Knieflex. und<br>Kniext. bei<br>60°/s, 180°/s<br>und 240°/s<br>(PT und P <sub>avg</sub> ) | Keine sign. Unterschiede                                                                                                                                             |
| (Bacurau et al., 2009)   | BD: 3x 1min<br>6 Übungen<br>"bob in 1:1-second cycle"                       | pSD: 3x 30s;<br>6 Übungen                            | 45°<br>Beinpresse<br>(1RM);<br>S&R;<br>PSLR                                                          | PSLR:<br>↑ beide Interventionen;<br>↑ Verbesserung in SD > BD;<br>Beinpresse 1RM:<br>↓ beide Interventionen<br>CON > SD und BD<br>(BD: -2,2%, SD: -13,4%)<br>BD > SD |
| (Barroso et al., 2012)   | BD: 3x 1min<br>2 Übungen<br>1:1 bobs                                        | pSD: 3x 30s<br>2 Übungen                             | S&R;<br>45°-<br>Beinpresse:<br>(1RM,<br>Volume Load)                                                 | Volume Load<br>↓ in allen Interventionen<br>(SD: -4±1,7WH; BD: -<br>3,3±2,5WH)<br><br>BD = SD                                                                        |
| (Beedle et al., 2008)    | DD: 3x20Wh<br>2 Übungen<br>2s/WH                                            | aSD und<br>pSD:<br>3x 15s<br>4 Übungen               | Bankdrücken<br>und<br>Beinpresse<br>(1RM)                                                            | Keine sign. Unterschiede                                                                                                                                             |
| (Blazevich et al., 2018) | DD: 1x 5Wh<br>9 Übungen,<br>"secondary pulling motion with each repetition" | pSD: 1x 5s<br>9 Übungen<br>pSD: 3x 10s<br>9 Übungen  | S&R;<br>Running-<br>CMJ;<br>DJ40; T-test;<br>20m Sprint                                              | Keine sign. Unterschiede                                                                                                                                             |
| (Bradley et al., 2007)   | BD: 4x 30s<br>bob 1Hz<br>5 Übungen                                          | pSD 4x 30s<br>5 Übungen<br>CR<br>4x 30s<br>5 Übungen | SJ<br>CMJ                                                                                            | SH:<br>↓ in SD und CR direkt nach<br>Dehnen (SD: -4%, CR: -5,3%)<br>nicht sign. für BD (-2,7%)                                                                       |

|                                  |                                                                 |                                       |                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Curry et al., 2009)             | DD: 2x 10Wh<br>9 Übungen                                        | pSD: 3x 12s<br>6 Übungen              | Thomas Test;<br>CMJ;<br>isometr.<br>Knieext.<br>(PFT <sub>Time</sub> )                            | Keine sign. Unterschiede                                                                                                                                                                                         |
| (Dalrymple et al., 2010)         | DD: 2x 18m<br><br>8min<br>Gesamtzeit                            | pSD: 3x 15s<br><br>8min<br>Gesamtzeit | CMJ                                                                                               | Keine sign. Unterschiede                                                                                                                                                                                         |
| (Fletcher & Monte-Colombo, 2010) | DD: 2x12Wh<br>6 Übungen                                         | pSD: 1-2x<br>15s<br>8 Übungen         | CMJ Höhe;<br>20m Sprint;<br>Balson Agility<br>Run                                                 | CMJ SH:<br>DD > SD (+5,9%);<br>DD = CON<br><br>20m Sprintzeit:<br>DD < SD (-4,9%)<br>DD < CON (3%)<br><br>Balson Agility Zeit:<br>DD < CON (-2,5%) und SD<br>(3,8%)                                              |
| (Gelen, 2010)                    | DD: 1x 15m<br>12 Übungen                                        | SD: 1x 20s +<br>1x 30s<br>5 Übungen   | 30m Sprint;<br>Slalom<br>dribbling;<br>Penalty kicks<br>(Schussgeschwindigkeit)                   | ↓ in SD (Sprint +0,39s;<br>Dribbling +0,24s und Schuss -<br>2,09km/h)<br>↑ in DD Gruppe (Sprint -0,19s;<br>Dribbling -0,03s und Schuss<br>+3,31km/h);<br>Ein direkter stat. Vergleich wird<br>nicht durchgeführt |
| (Hough et al., 2009)             | DD: 1x {5Wh<br>05,Hz dann<br>10Wh max.<br>Geschw.}<br>5 Übungen | pSD: 1x 30s<br>5 Übungen              | SJ                                                                                                | SH<br>SD (26,9±4,5cm) < CON<br>(28,0±5,1cm)<br>DS (29,5±4,3cm) > CON                                                                                                                                             |
| (Kendall, 2017)                  | DD: 1x 20m<br>11 Übungen                                        | SD: 2x 30s<br>8 Übungen               | Wingate Test<br>(P <sub>max</sub> , P <sub>avg</sub> ,<br>Leistungs-<br>abfall, fatigue<br>index) | Keine sign. Unterschiede                                                                                                                                                                                         |
|                                  | Warm-up +<br>DD                                                 | Warm-up +<br>SD                       |                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                  |
| (Konrad et al., 2017)            | DD: 4x 30s 5°<br>Bewegung<br>bei @1Hz<br><br>1 Übung            | SD: 4x 30s<br>1 Übung                 | pROM<br>Dorsalext.;<br>isometr.<br>Plantarflex.<br>(MVC)                                          | pROM:<br><br>↑ in allen Interventionsgruppe<br>(SD: +1,4° CRAC: +1,1°, BD:<br>+1,5°)                                                                                                                             |
|                                  |                                                                 | CRAC<br>4x 36s<br>1 Übung             |                                                                                                   | MVC:                                                                                                                                                                                                             |

|                             |                                                             |                                                         |                                                                           |                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             |                                                             |                                                         |                                                                           | → DD und SD<br>↓ CRAC (-4,6%)                                                                                                                                     |
| (Kruse et al., 2013)        | DD: 1x 30s<br>14 Übungen<br>7min<br>Gesamtzeit              | SD: 1x 30s/<br>Seite<br>7 Übungen<br>7min<br>Gesamtzeit | CMJ                                                                       | SH:<br>DD > SD und CON post-1' und post-5'                                                                                                                        |
| (Kruse et al., 2015)        | DD: 1x 30s<br>14 Übungen                                    | SD: 1x 30s/<br>Seite<br>7 Übungen                       | CMJ<br>(PF, RFD <sub>avg</sub> ,<br>Absprungdauer)                        | PF:<br>DD > SD post-1' und CON (d=0,41),<br>DD = SD = CON post-15';<br><br>RFD:<br>DD > SD (d = 0,58) und CON (d = 0,36);<br>Absprungdauer:<br>DD < SD (d = 0.66) |
| (Leone et al., 2014)        | DD: 1x10 WH<br>6s/Wh;<br>„active controlled“<br>2 Übungen   | SD: 2x 30s<br>2 Übungen                                 | isometr.<br>Bankdrücken<br>(RFD, PF, PF <sub>Time</sub> )                 | PF:<br>DD =SD<br>↓ SD -6% und DD -4%                                                                                                                              |
| (Manoel et al., 2008)       | DD: 3x 30s<br>1 Übung                                       | pSD: 3x 30s<br>1 Übung                                  | Isokin.<br>Knieext. bei<br>60°/s und<br>180°/s (P <sub>max</sub> )        | Kein sign. Unterschied                                                                                                                                            |
|                             |                                                             | CR: 3x 20s                                              |                                                                           |                                                                                                                                                                   |
| (Morrin & Redding, 2013)    | DD: 2x 30s<br>3 Übungen                                     | pSD: 2x 30s<br>4 Übungen                                | CMJ SH;<br>ROM<br>Kniebeuger<br>ASLR;<br>posturaler<br>Sway<br>beidbeinig | ROM<br>DD (-2±2°) < SD (+4±3°), CON (+1±5°) und Kombination (+4±4°);<br><br>SH:<br>SD (38±4cm) < DD (+41±5cm) und Kombination (41±6cm)                            |
|                             |                                                             | Kombination<br>SD + DD                                  |                                                                           |                                                                                                                                                                   |
| (A. J. Murphy et al., 2010) | DD: 1x 20s<br>5x langsam<br>+10x max<br>speed<br>12 Übungen | pSD: 1x 20s<br>12 Übungen                               | S&R;<br>PSLR;<br>ROM<br>Knieflex.;<br>CMJ                                 | Keine sign. Unterschiede                                                                                                                                          |
| (Pearce et al., 2012)       | DD: 2-4x<br>10Wh<br>5 Übungen                               | pSD: 2-4x<br>30s<br>5 Übungen                           | CMJ;<br>5Wiederholungs-<br>CMJ;<br>505-Test;<br>20m Sprint                | CMJ SH:<br>↓ (-7%) nach SD gegenüber DD und CON<br>↑ in DD (+5%) und CON (+3%)                                                                                    |

|                            |                                                                                 |                                                            |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |                                                                                 |                                                            |                                                                                                                                                          | 5WhCMJ SH:<br>SD (-6,2%) < DD und CON<br>↑ in DD (+6,7%) und CON<br>(+7,4%)<br><br>keine sign. Ergebnisse für<br>20mSprint                                                              |
| (Sekir et al., 2010)       | DD: 2x 5Wh<br>langsam +<br>10wh schnell<br><br>4 Übungen                        | pSD: 2x 20s<br><br>4 Übungen                               | Isokin.<br>Knieflex. und<br>Knieext. 60°/s<br>und 180°/s                                                                                                 | PT:<br>↓ in pSD Gruppe                                                                                                                                                                  |
| (Torres et al., 2008)      | DD: 1x<br>30s/Seite<br><br>7 Übungen                                            | pSD: 2x<br>15s/Seite<br><br>7 Übungen                      | Bankstoßen<br>30% 1RM;<br>Isometr.<br>Bankdrücken<br>(P <sub>max</sub> );<br>3kg<br>Medizinball<br>Überkopfwurf<br>und<br>Rotationswurf<br>im Sitzen (v) | Keine sign. Unterschiede                                                                                                                                                                |
|                            |                                                                                 | Kombination<br>SD + DD                                     |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                         |
| (Unick et al., 2005)       | DD: 3x 15s<br>1bob/s<br><br>4 Übungen                                           | pSD: 3x 15s<br><br>4 Übungen                               | CMJ;<br>DJ26cm                                                                                                                                           | Keine sign. Unterschiede                                                                                                                                                                |
| (van Gelder & Bartz, 2011) | DD: 1x 10-<br>20Wh;<br><br>14 Übungen<br><br>8,5min<br>Gesamtzeit               | pSD: 1x 30s<br><br>10 Übungen<br><br>8,5min<br>Gesamtzeit  | 505 Agility<br>Test                                                                                                                                      | Laufzeit:<br>Kein sign. Unterschied zw. SD<br>und CON<br>DD < SD (d=0,81) und CON<br>(d=0,81)                                                                                           |
| (Walsh, 2017)              | DD: 3x 12Wh<br>Selbstgesteu-<br>erte<br><br>2 Übungen<br><br>Gesamtzeit<br>3min | pSD:<br>1x90s/Seite<br>2 Übungen<br><br>Gesamtzeit<br>3min | Isokin.<br>Knieext. und<br>Knieflex.<br>(PT)                                                                                                             | PT für Knieext.:<br>↓ in SD (159±31Nm auf<br>152±31Nm);<br><br>Extension, aber nicht Flexion<br>zeigt:<br>PT in SD < CON (152±31 vs.<br>168±27Nm)<br>SD < DD (152±31Nm vs.<br>164±28Nm) |

|                          |                                   |                              |                                                                                |                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Warren et al., 2014)    | BD: 4x 5Wh langsam + 10Wh schnell | pSD 4x 30s<br>1 Übung        | Isokin. Knieflex. (PT, $W_{total}$ , $P_{avg}$ )                               | Keine sign. Unterschiede der Gruppen<br><br>BD:<br>Bei Männern ↓ PT und $W_{total}$ (-20%) bei 180°/s                                                                                                   |
|                          | 1 Übung                           | AC: 4x 30s<br>1 Übung        |                                                                                |                                                                                                                                                                                                         |
| (Werstein & Lund, 2012)  | DD: 3x 10s<br>4 Übungen           | pSD: 3x 30s<br>4 Übungen     | DJ45cm (Reactive Strength Index; Flugzeit und Kontaktzeit)                     | <i>Reactive Strength Index:</i><br>DD (1,91±0,02) > SD (1,71±0,02) und CON (1,70±0,02);<br><br>Flugzeit:<br>DD (256±2ms) > SD (232±2ms) und CON (236±2ms)                                               |
| (Zmijewski et al., 2020) | DD: 3x 20s/Seite<br>1 Übung       | pSD: 3x 20s/Seite<br>1 Übung | Ergometer Sprint (RSA Test: 5x6s all-out Sprints) ( $P_{avg}$ und $P_{drop}$ ) | $P_{avg}$ :<br>am niedrigsten in SD (8,53±0,93W/kg) und am höchsten in DD (8,75±0,65W/kgKG);<br>"Kleiner", aber "wahrscheinliche" Unterschiede zw. DD und SD und "triviale" Unterschiede zw. SD und CON |

Anmerkung:  $P_{avg}$  = durchschnittliche Leistung,  $P_{drop}$  = Abfall der Leistung,  $P_{max}$  = maximale Leistung,  $PF_{Time}$  = Zeit bis zur maximalen Kraft, PT = Peak Torque,  $RFD_{avg}$  = durchschnittliche RFD,  $W_{total}$  = Gesamte physikalische Arbeit

#### 4.1.1 Belastungsparameter

##### 4.1.1.1 Dehnvolumen

Zehn Untersuchungen betrachteten die Auswirkung verschieden langer Dehninterventionen, was in Tabelle 6 ersichtlich wird (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Avloniti et al., 2016; Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Protopapa et al., 2016; Islamoglu et al., 2016; Kay & Blazeovich, 2008; Knudson & Noffal, 2005; Paula et al., 2012; Reid et al., 2018; Ryan et al., 2008; Stafilidis & Tilp, 2015; Trajano et al., 2014). Alle genannten Studien verwenden pSD. Alle Studien verwenden jeweils dieselbe Dehnintensität in den unterschiedlichen Interventionen.

Avloniti und Kolleg\*innen konnten in zwei Studien eine verbesserte Sprintzeit über 10 m bzw. 20 m nachweisen, solange die Dehnintervention 1 bis 2 x 10 bis 20 s nicht überschritt (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Avloniti et al., 2016; Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Protopapa et al., 2016). Gleichzeitig konnten die Teams, konsistent mit Islamoglu (2016),



keine Änderung von Läufen mit Richtungswechsel (COD) nachweisen. In beiden erstgenannten Arbeiten ist hervorzuheben, dass die Probanden geübte Sprinter waren (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Avloniti et al., 2016; Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Protopapa et al., 2016).

Islamogul et al. (2016) verglichen die Auswirkung unterschiedlich langer Einzelserien bei gleichem Gesamtvolumen von 120 s pSD auf ROM, Lauf- und Sprungparameter. In dieser Arbeit zeigte sich kein Unterschied zwischen den Interventionsgruppen. Den größten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und den Interventionsgruppen ergab sich für die ROM-Testung (Kontrollgruppe:  $10,56 \pm 4,4$  cm, SD 12 x 10:  $12,65 \pm 5,04$  cm, SD 6 x 20 s:  $14,4 \pm 5,05$  cm; SD 4 x 30 s:  $14,81 \pm 5,16$  cm; SD 3 x 40:  $15,91 \pm 4,88$ ). Im SJ zeigt sich eine geringere SH in den Interventionsgruppen gegenüber der Kontrollgruppe (Kontrollgruppe:  $39,42 \pm 4,06$  cm; SD12:  $37,57 \pm 4,09$  cm;  $p < 0,05$ ). Kein Unterschied ergab sich in den Lauftests. Dabei ist anzumerken, dass die Reihenfolge der Tests in dieser Untersuchung nicht randomisiert war und in der Reihenfolge ROM, dann SJ, dann Sprint und schließlich COD-Lauf getestet wurden, was zu den Auswirkungen der zeitlich immer weiter zurückliegenden Dehnungen passt.

Kay und Blazeovich (2008) beschrieben in ihrem Artikel die Auswirkungen von verschiedenen langen Dehnungen der Plantarflexoren auf deren isometrische Kraftentwicklung. Sie konnten mittels klarem Forschungssetting und stringenter Dokumentation einen linearen Zusammenhang ( $r = 0,6$ ;  $p < 0,01$ ) zwischen Dehndauer und Verlust an maximaler isometrischer Kraftentwicklung zeigen.

Zwei weitere Studien nutzten isometrische Plantarflexion um die Auswirkung verschieden langer Dehnungen zu vergleichen. Trajano et al. (2014) verwendeten volumengleiche Protokolle mit  $1 \times 5 \text{ min}$  und  $5 \times 1 \text{ min}$  Dehnung. Das maximale isometrische Drehmoment der Plantarflexoren verringerte sich nach  $5 \times 1 \text{ min}$  ( $-23,8 \pm 22,1$  %) sign. ( $p < 0,05$ ) mehr als nach  $1 \times 5 \text{ min}$  ( $-14 \pm 17,2$  %). Andererseits zeigte sich bei Ryan et al. (2008) keine Verminderung desselben Outcomes bei  $4 \times 30 \text{ s}$ ,  $8 \times 30 \text{ s}$  und  $16 \times 30 \text{ s}$  Dehnung gegenüber der Kontrollgruppe. Der Unterschied der beiden letztgenannten Studien lässt sich weder durch stark differierende Teilnehmer\*innen erklären noch durch eine andere Dehnintensität oder einen anderen Spunggelenks- oder Kniegelenkwinkel bei der Kraftmessung.

Zwei Studien betrachten die Auswirkungen einer Dehnung der Fingerflexoren auf deren isometrische Kraftentwicklung (Knudson & Noffal, 2005; Paula et al., 2012). Beide Studien dokumentierten adverse Effekte auf die Griffkraft, unterschieden sich jedoch stark im Effekt und dem minimalen wirksamen Volumen. Auch die Messsituation in den Arbeiten ist nicht

einheitlich, was den Vergleich weiter erschwert. Knudson und Noffall (2005) beziehen sich zwar in ihren Grundlagen zur Handdynamometrie auf die Arbeit von Mathiowetz et al. (1985), verwenden jedoch eine andere Ausgangsstellung der Proband\*innen als in der Originalarbeit.

Reid et al. (2018) verglichen  $3 \times 10 \text{ s}$ ,  $3 \times 20 \text{ s}$  und  $3 \times 40 \text{ s}$  Dehnung der Kniebeuger und Kniestrecker auf die isometrische Kraft in Extension und Flexion sowie die SH mittels CMJ. Das maximale Extensionsdrehmoment verringerte sich während der  $3 \times 40 \text{ s}$  um  $-7,2 \%$  (likely) direkt danach und  $-5,1 \%$  (likely) 10 min nach der Intervention. Die Flexion blieb unverändert. Der CMJ erhöhte sich in den Gruppen  $3 \times 10 \text{ s}$  und  $3 \times 20 \text{ s}$ , jedoch nicht so stark wie in der Kontrollgruppe. ( $6,2 \%$ );  $3 \times 10 \text{ s}$  ( $3,5 \%$ ) und  $3 \times 20 \text{ s}$  ( $11,8 \%$ )

*Tabelle 6: Auswirkungen von Dehnvolumen*

| Autoren                                                      | Dehndauer                                                                                                                  | Parameter                                             | Ergebnis                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Avloniti et al., 2016)  | 5 Übungen, jeweils 1 Satz:<br>10 s, 15 s, 20 s, 30 s, 40 s oder 60 s                                                       | 20 m Sprint, Agility T-Test                           | Sprintzeit:<br>↓ in SD 10 s und SD 15 s ( $2,8-3,2 \%$ , $\eta^2 = 0,12$ auf 10 m und $\eta^2 = 0,11$ auf 20 m);<br><br>Kein Unterschied in COD;<br>Jedoch ↑ bei Teilung am Median in der leistungsfähigeren Teilnehmergruppe                                                     |
| (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Protopapa et al., 2016) | 5 Übungen, je 20 s, 30 s, 40 s oder 60 s<br><br>In einem Satz oder in mehreren 10 s-Sätzen (2 x 10 s, 3x10s, 4x10s, 6x10s) | 10 m & 20 m Sprint, Agility T-Test                    | 10 m Sprintzeit:<br>↓ nach 1 x 20 s ( $-2,8 \%$ ) und 2 x 10 s ( $-2,2 \%$ ) Dehnung gegenüber CON ( $\eta^2 = 0,26$ )<br><br>Keine sign. Unterschied in Agility T-Test                                                                                                           |
| (Islamoglu et al., 2016)                                     | 4 Übungen: 12 x 10 s, 6 x 20 s, 4 x 30 s oder 3 x 40                                                                       | S&R Test; SJ, 20 m Sprint; COD-Lauf (18 m, 3 Hütchen) | S&R:<br>↑ alle Interventionen<br>Längste Einzeldehnungen ↑<br>Flexibilitätswert;<br><br>↓ SH alle Interventionen<br><br>Kein sign. Unterschied zw. Gruppen<br>(CON = $39,42 \pm 4,06\text{cm}$ ; SD 12 = $37,57 \pm 4,09 \text{ cm}$ );<br><br>Kein sign. Unterschied in COD-Lauf |

|                           |                                                            |                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Kay & Blazevich, 2008)   | 1 Übung: 1 x 5s, 1 x 15 s, 4 x 5 s oder 4 x 15 s           | Isometr. Plantarflex. in 20° (PT)                                  | PT:<br>↓ in SD 4 x 15 s (–16,7 %);<br>Linearer ↓ Dehnzeit zu Drehmoment (r = 0,68)                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| (Knudson & Noffal, 2005)  | 1 Übung: 10 x 10 s; jeweils zwischen den Serien Kraft-Test | Isometr. Griffkraft (PF)                                           | PF:<br>↓ ab dem vierten Satz;<br>(CON. von 97,9 ± 4,9 % auf 95,6 ± 9,3 %; SD: von 95,4 ± 5,2 % auf 89,5 ± 8,3 % in 10 Sätzen)                                                                                                                                                                                                                                      |
| (Paula et al., 2012)      | 1 Übung: 3 x 30 s oder 3 x 60 s;                           | Isometr. Griffkraft (PF)                                           | PF:<br>↓ nur mit SD 3 x 60 s (–5 %)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| (Reid et al., 2018)       | 2 Übungen: 3 x 10 s, 3 x 20 s oder 3 x 40 s                | isometr. Knieext. und Knieflex. (PT, PT <sub>100ms</sub> );<br>CMJ | PT Knieextension:<br>↓ in 3 x 40 s – 7,2 % (likely) direkt danach und –5,1 % (likely) nach 10 min;<br>→ durch 3 x 10 s, 3 x 20 s;<br><br>PT <sub>100ms</sub> :<br>↓ in 3 x 40 s –28,7 % (likely) direkt danach, Rückkehr nach 10 min;<br><br>CMJ SH:<br>↑ in CON (+6,2 %); SD 3 x 10 s (+3,5 %) und SD 3 x 20 s (+11,8 %)<br><br>ROM ↑ am meisten nach längster SD |
| (Ryan et al., 2008)       | 1 Übung: 4 x 30 s oder 8 x 30 s oder 16 x 30 s             | Isometr. Plantarflex. (PT)                                         | → PT<br>Keine sign. Unterschiede                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| (Stafilidis & Tilp, 2015) | 3 Übungen: 1 x 15 s oder 1 x 60s                           | isometr. Knieext. (PT);<br>CMJ und SJ                              | Keine sign. Unterschiede                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| (Trajano et al., 2014)    | 1 Übung: 1 x 5 min oder 5 x 1min                           | Isometr. Plantarflex. (PT)                                         | PT:<br>↓ SD 5 x 1 min (–23,8 ± 22,1 %) < SD 1 x 5 min (–14 ± 17,2 %)                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

Anmerkung: PF = Peak Force, PT = Peak torque, PT<sub>100ms</sub> = PT bis nach 100 ms

#### 4.1.1.2 Dehnintensität

Die Intensität der Dehnung wird in den meisten Studien über subjektive Parameter gesteuert. In den vorliegenden Arbeiten wird zumeist bis zu einem unangenehmen Empfinden (*discomfort*) gedehnt. Die genaue Beschreibung unterscheidet sich dabei nur minimal. Keine der Studien beinhaltet ein genaues Protokoll über die Aufklärung der Teilnehmer\*innen oder einen standardisierten Wortlaut. Dementsprechend werden Beschreibungen wie „up to a point of discomfort“ (zum Beispiel Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Avloniti et al., 2016) oder „mild discomfort, not pain“ (Ayala et al., 2015) als gleichwertig angesehen, da laut Kenntnis des Autors keine Daten zur Bewertung solcher verbaler Vorgaben vorliegen. Jedenfalls ist nicht klar, ob beispielsweise Beschreibungen wie bis zu einem „onset of soreness“ (Cè et al., 2008) oder „point of maximal tolerance“ (Curry et al., 2009) als höher oder niedriger eingestuft werden können als die oben beschriebenen Intensitäten.

Bei zwei Studien (Beedle et al., 2008; Islamoglu et al., 2016) wurden die Intensitätsangaben aus den jeweiligen Literaturangaben entnommen und sind nicht Teil der publizierten Studien.

Einige Autoren verwendeten eine subjektive Quantifizierung über die *Rate of perceived exertion* (RPE) (D. C. Andrade et al., 2015; Fjerstad et al., 2018), die zwanzigteilige BORG Skala (Winke et al., 2010), die Prozentanzahl der maximalen Dehnung (A. J. Murphy et al., 2010; Trajano et al., 2013; Trajano et al., 2014) oder über die optisch unterstützte *Visuell Analoge Skala* (VAS) (Rodrigues et al., 2017).

Letztere verglichen direkt die Intensitäten 7/10 und 10/10 auf der VAS. In ihrer Untersuchung zeigte sich ein geringeres maximales Drehmoment (= Peak torque PT) bei der isokinetischen Kniestreckung nur in der Gruppe mit maximaler Dehnintensität ( $246,00 \pm 13,1$  Nm) gegenüber der Kontrollgruppe ohne Dehnung ( $274,8 \pm 13,39$  Nm,  $p = 0,014$ ), nicht jedoch in der submaximalen Gruppe mit VAS 7/10 (Rodrigues et al., 2017).

Eine Schwierigkeit der Objektivierung zeigt sich bei Sayers et al. (2008). Die Autoren beschreiben Dehnungen bei 85 % der vorher gemessenen ROM. Jedoch gehen die Autoren in ihrer Methodik nicht konsistent vor und verwenden dazu die aktive ROM für die Messung der Kniebeuger und die passive ROM für die Messung der Plantaflexoren. Die Intervention geschieht dann über pSD. Darüber hinaus wurde die ROM der Kniebeuger im Sit-and-reach-Test, also bilateral unter Miteinbezug der Rückenstrecker, gemessen, jedoch unilateral und stärker isoliert nachfolgend in der Intervention gedehnt.

Rein metrisch quantifiziert wurde die Intensität der Dehnung nur in einer Studie mittels Goniometermessung und einer Dehnapplikation bei der so festgestellten maximalen ROM (Konrad et al., 2017).

Bei fünf Studien konnten keine Angaben zur Intensität gefunden werden (Kendall, 2017; Pearce et al., 2012; Sandberg et al., 2012; Simic et al., 2013; van Gelder & Bartz, 2011).

Bei Dehnungen mit isometrischer Kontraktion wurden die willentlichen Kontraktionen durch die Teilnehmer\*innen mit maximalem willentlichem Einsatz (MVC) (Bradley et al., 2007; Manoel et al., 2008; Miyahara et al., 2013; Warren et al., 2014), 75% der MVC (Molacek et al., 2010) oder 80% der MVC (Konrad et al., 2017) durchgeführt. Keine Angaben zur Stärke der Kontraktion gab es bei drei Studien (Christensen & Nordstrom, 2008; Pacheco et al., 2011; Place et al., 2013).

Ebenfalls sollte erwähnt werden, dass sich die Studien in der Art, wie die Dehnung appliziert wurde, unterschieden. In 64 Studien dehnten sich die Teilnehmer\*innen selbst durch Einsatz des eigenen Körpergewichts oder/und selbsterzeugtem Zug an den Extremitäten. In weiteren 15 Studien wurden die Dehnungen durch eine\*n Partner\*in oder durch Mitglieder des Forscherteams gedehnt. Vier Studien verwendeten eine Mischung aus Selbst- und Fremddehnungen (Kokkonen et al., 1998; Sandberg et al., 2012; Yamaguchi et al., 2006; Young & Behm, 2003). Keine der vier Studien gibt eine Begründung für die Mischung der Applikationsform ab.

Drei Studien verwendeten einen Dynamometer zur Steuerung einer konstanten passiven Spannung während der gesamten Dehndauer (Fowles et al., 2000; Trajano et al., 2013; Trajano et al., 2014). Zwei weitere Studien setzten ebenfalls auf den Einsatz eines Dynamometers. In diesen beiden Studien konnten jedoch die Teilnehmer\*innen die Dehnintensität selbst steuern (Konrad et al., 2019; Mizuno et al., 2013). Inwieweit die Applikationsform Auswirkungen auf die physikalische Spannung und Dehnung auf das Gewebe hat, ist nicht bekannt. Aktuelle Ergebnisse aus der Schmerzforschung deuten jedoch darauf hin, dass Schmerz durch viele psychische Prozesse wie Erwartungshaltungen gesteuert wird (Wiech, 2016). Auch zeigten Bertolaccini und Kollegen (2019) in einer klinischen Studie, dass selbstaufgelegter Schmerz als niedriger eingestuft wird als fremderzeugter Schmerz.

Insgesamt ist kein einheitliches Bild der Dehnintensität vorhanden und es kann keine Auskunft über die Auswirkung der Dehnintensität auf Leistungsparameter gegeben werden. Die gängigste Dehnintensität liegt im schmerzfreien Bereich bei leicht unangenehmer Sensation oder einer subjektiven Belastung von 70–80 %.

#### 4.1.1.3 Dauer zwischen Dehnung und Testung

Innerhalb der inkludierten Publikationen untersuchten 14 die Auswirkung verschieden langer Zeitabstände zwischen der Dehnintervention und der Leistungserbringung. Die Zeitabstände, die untersucht wurden, erstreckten sich zwischen Null Minuten (0') und 120 Minuten (120'). Die Studienteilnehmer\*innen wurden in der verstreichenden Zeit dazu angehalten, ruhig zu sitzen oder liegen (Brandenburg et al., 2007; Kruse et al., 2015; Mizuno et al., 2013; Place et al., 2013; Trajano et al., 2014). Die übrigen Studien gaben keine explizite Auskunft über das Verhalten der Studienteilnehmer\*innen zwischen den Messungen.

Eine weitere Studie (Pearce et al., 2012) ließ die Teilnehmer\*innen nach der Dehnintervention für 12 bis 15 Minuten ein zweites Warm-up mit dynamischen Bewegungen ausführen, bevor sie die Leistungstests, die aus CMJ und fünf aufeinanderfolgende CMJs bestehen, wiederholten. Hier zeigte sich ein Zurückkehren der Leistungsfähigkeit durch das zweite Aufwärmen beziehungsweise durch die verstrichene Zeit (Pearce et al., 2012). Diese Studie wurde aufgrund des grundsätzlich anderen Charakters nicht in **Fehler! V erweisquelle konnte nicht gefunden werden.** aufgenommen.

Tabelle 7: Zeit zwischen Intervention und Testung

| Studie                     | Intervention               | Zeit Post-Intervention [Minuten]                    | Parameter                   | Ergebnis                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Brandenburg et al., 2007) | pSD 3x 30s                 | 3', 6', 12', 24' (sitzend)                          | CMJ                         | pSD = CON<br>pSD: CMJ post-12' > post-24'                                                                                                                                                                                         |
| (Fowles et al., 2000)      | pSD 13x 135s mit 5s        | 0', 5', 8', 10', 15', 30', 45', 60' (keine Angaben) | isometr. Plantarflex. (MVC) | ↓ MVC<br>pSD um -28% (0'), -20% (5'), -13% (15'), -9% (60');<br>Keine Änderung in CON                                                                                                                                             |
| (Kruse et al., 2013)       | pSD 1x 30s; oder DD 1x 30s | 1', 5', 15', 25' (keine Angaben)                    | CMJ                         | pSD = CON;<br>CMJ: pSD post-5' > post-1'; post-25' > post-1'<br>post-1' DD (52,54± 3,05cm) > pSD (47,27±,64cm) und CON (48,91±3,08cm)<br><br>In DD post-1' > post-15'; post-1' > post-25'; post-5' > post-15'; post-5' > post-25' |
| (Kruse et al., 2015)       | pSD 1x 30s oder DD 1x 30s  | 1', 15' (sitzend)                                   | CMJ (PF, RFD)               | → PF und RFD<br>Post-1' DD > pSD<br>Post-15' DD = pSD                                                                                                                                                                             |

|                        |                                        |                                                                |                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        |                                        |                                                                |                                                                 | DD post 1' > post-15'                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| (McBride et al., 2007) | pSD 3x 33s                             | 0', 1', 2', 4', 8', 16' (keine Angaben)                        | Isometr. Knieext. und Kniebeuge (PF; RFD)                       | <p>↓ PF Knieext.:<br/>post-1' (-8,6%), 2', 8' und 16' (keine Rückkehr)</p> <p>↓ PF Kniebeuge:<br/>pSD post-0' (-8%)<br/>pSD post-4' &lt; pre-Interv.<br/>pSD = CON</p> <p>↓ RFD Kniebeuge:<br/>pSD post-0' &lt; per-Interv.<br/>pSD post-0' &lt; CON<br/>Rückkehr post-1', 2', 4', 8', 16'</p> |
| (Mizuno et al., 2013)  | pSD 5x 60s                             | 0', 5', 10', 15', 30' (sitzend)                                | Isometr. Plantarflex. (MVC; RFD)                                | <p>MVC:<br/>pSD post-0' &lt; pre-Interv.<br/>pSD post-5' &lt; pre-Interv.<br/>Rückkehr post-10', 15', 30'<br/>CON post-30' &gt; post-0'</p> <p>RFD:<br/>keine sign. Unterschiede</p>                                                                                                           |
| (Paula et al., 2012)   | pSD 3x30s oder 3x60s;                  | 0', 5'                                                         | Isometr. Griffkraft (PF)                                        | <p>PF:<br/>↓ nur SD 3x60s (-15%)<br/>Rückkehr post-5'</p>                                                                                                                                                                                                                                      |
| (Place et al., 2013)   | CRAC 4x {5s contract, 5s relax, 5s AC} | 0', 15' ("complete resting state" 6-7minuten vor zweitem Test) | Isometr. Knieext. und Knieflex. (MVC); CMJ; DJ30                | → MVC, CMJ und DJ30                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| (Power et al., 2004)   | pSD 3x 45s                             | 0', 30', 60', 90', 120' (keine Angaben)                        | isometr. Knieext. und Plantarflex.; SJ; DJ30                    | <p>MVC Knieext.:<br/>→ Post-0', 15'<br/>↓ Post-60', 90', 120': (-8,4 bis 10,4%);</p> <p>→ Plantarflex., SJ und DJ30</p>                                                                                                                                                                        |
| (Reid et al., 2018)    | pSD 3x10s, 3x 20s oder 3x40s           | 0', 10'                                                        | isometr. Knieext. und Knieflex. (PT, PT <sub>100ms</sub> ); CMJ | <p>PT Knieext.:<br/>↓ in 3x40s -7,2% (likely) post-0' und -5,1% (likely) post-0';</p> <p>PT<sub>100ms</sub>:<br/>↓ in 3x40s -28,7% (likely) post-0'; Rückkehr post-10';</p> <p>CMJ SH:<br/>↑ post-0' in CON (+6,2%), SD 3x10s (+3,5%) und SD 3x20s (+11,8%);</p>                               |

|                          |                              |                                                         |                            |                                                                                                  |
|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |                              |                                                         |                            | ↑ post-10' CON (+7,3%), SD 3x10s (+7,4%) und SD 3x20s (+6,7%)                                    |
| (Ryan et al., 2008)      | pSD 4x30s, 8x30s oder 16x30s | 10', 20', 30'                                           | Isometr. Plantarflex. (PT) | PT:<br>Keine sign. Unterschiede                                                                  |
| (Sağiroğlu et al., 2017) | pSD 2x 30s;                  | 0,25', 2', 4', 6', 8', 10', 15', 30'<br>(keine Angaben) | CMJ                        | SH:<br>↓ Post-0,25', 2', 4', 6', 8', 10', 15'                                                    |
| (Trajano et al., 2014)   | pSD: 1x 5min oder 5x 1min    | 0', 15', 30' (sitzend)                                  | isometr. Plantarflex. (PT) | PT:<br>post-0' pSD 5x 1min < pSD 1x 5min < CON<br>post-15', 30': pSD 5x 1min < pSD 1x 5min = CON |
| (Unick et al., 2005)     | pSD: 3x15s                   | 0', 15', 30' ("rest period")                            | CMJ DJ26                   | Keine sign. Unterschiede                                                                         |

Anmerkung: PF= Peak Force; PT= Peak Torque; post-x'= Testwerte nach x Minuten nach der Intervention

Bei sechs von den 14 Studien zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen pSD-Interventionen und den Kontrollsituationen direkt nach der Intervention (Brandenburg et al., 2007; Kruse et al., 2013, 2015; Place et al., 2013; Power et al., 2004; Unick et al., 2005).

Acht der 14 Studien fanden eine verringerte Leistungsfähigkeit direkt nach SD (Fowles et al., 2000; McBride et al., 2007; Mizuno et al., 2013; Paula et al., 2012; Reid et al., 2018; Sağiroğlu et al., 2017; Trajano et al., 2014) in isometrischen MVC-Testungen und Sprungleistungen.

Zu keiner vollständigen Rückkehr des Leistungsverlustes kam es auch nach einem maximalen Zeitraum der Wiederbefundung nach 60 Minuten für isometrische Plantarflexion (Fowles et al., 2000), nach 16 Minuten für isometrische Knieextension (McBride et al., 2007), nach 10 Minuten für Sprungkraft und isometrische Knieextension (Reid et al., 2018) und nach 15 Minuten für CMJ SH (Sağiroğlu et al., 2017).

Die verringerte RFD bei einer isometrischen Kniebeuge kehrte nach einer anfänglichen Verringerung bereits nach 1 Minute wieder zum Ausgangswert zurück (McBride et al., 2007). Bei Mizuno et al. (2013) kommt es nach 10 Minuten zu einem Washout der Leistungsverluste in isometrischer Plantarflexion. Die Leistungsfähigkeit kehrte nach 5



Minuten für isometrische Griffdynamometrie (Paula et al., 2012) wieder zurück und war statistisch nicht unterscheidbar von der Kontrollsituation und dem Anfangswert.

Bei Power et al. (2004) kam es nach 30, 60, 90 und 120 Minuten zu einer Verringerung der maximalen isometrischen Kontraktionsfähigkeit gegenüber der Kontrollsituation ohne Dehnen.

Insgesamt zeigt sich, dass SD zu einem zeitlich gebundenen Leistungsverlust bei isometrischer Kraft und bei Sprungleistung führen kann. Die Wash-out-Periode erstreckt sich dabei zwischen 5 Minuten und 60 Minuten bei keiner oder geringer Aktivität der Sportler\*innen. Nur wenige Untersuchungen beschäftigen sich mit einer Auslöschung oder Überlagerung dieser negativen Effekte durch weitere, nachfolgende Aktivität.

#### **4.1.2 Gedehte Muskelgruppen**

Alle Studien, die in diese Arbeit integriert wurden, bezeichneten in der Interventionsgruppe mit statischem Dehnen einzelne Muskeln beziehungsweise Muskelgruppen als Zielstruktur einer jeweiligen Intervention. Wie bereits beschrieben, wurde dabei in 85 von 88 Studien die leistungserbringende Muskulatur für die jeweils folgenden Leistungstests gedehnt.

Durch die multiplanaren, dreidimensionalen sowie überlappenden Muskelgruppen und individuellen Skelettmuskeln, die von anderem Gewebe umgeben und durchzogen sind, können naturgemäß viele Strukturen durch unterschiedliche Dehnübungen gedehnt werden (Roberts et al., 2019; Zügel et al., 2018). So lässt sich beispielsweise ischiocrurale Muskulatur in verschiedenen Körperlagen (sitzend, liegend, stehend), unilateral und bilateral sowie von proximal über die Hüftbeugung eingeleitet oder von distal über die Kniestreckung eingeleitet dehnen. Eine weitere Ebene an Komplexität ergibt sich bei flächigeren Muskelgruppen wie den Hüftadduktoren, die in mindestens fünf einzelne Muskeln mit unterschiedlichen Funktionen unterschieden werden können und somit auch durch unterschiedliche Dehninterventionen angesprochen werden können (Neumann, 2010). Schließlich wird mit ein und derselben Übung aufgrund des beschriebenen anatomischen Aufbaus auch eine Vielzahl unterschiedlicher Strukturen, kontraktile und nicht-kontraktile, Anteile des peripheren Nervensystems (R. J. Andrade et al., 1985), des kardiovaskulären Systems (Kruse & Scheuermann, 2017) oder des umgebenden Bindegewebes (Zügel et al., 2018) unter Spannung beziehungsweise in Verlängerung gebracht. Eine Bezeichnung einzelner Muskeln bei einer Dehnintervention wird dieser Komplexität nicht gerecht. Weil sich aus diesen Gründen eine Vielzahl an Herangehensweisen und Nomenklaturen für die Dehninterventionen ergeben, wurden diese in der weiteren Auswertung der Arbeit funktionell statt strukturell gruppiert. Diese funktionelle Klassifizierung bringt eine klare Zuordnung zu Interventionen. Zum Beispiel

kann eine Dehnung funktionell den Knieflexoren zugeschrieben werden, anstatt die ungenauere Beschreibung „hamstrings“ zu verwenden, die beispielsweise der Rolle des Gastrocnemius in selber Dehnung sowie in anschließender Testung der Kniebeuger nicht gerecht wird (Li et al., 2002). Diese Kategorisierung wird in Tabelle 8 angewandt.

Insgesamt ist die Untersuchung der unteren Extremität mit 77 Studien gegenüber 8 Studien an der oberen Extremität überrepräsentiert. Drei Studien können als Ganzkörper-Interventionen betrachtet werden (A. J. Murphy et al., 2010; Sim et al., 2015; van Gelder & Bartz, 2011). Von jenen drei Studien zeigen nur Murphy et al. (2010) eine kohärente Begründung für die Auswahl der gewählten Muskelgruppen. Alle drei Studien untersuchten die Leistungsfähigkeit bei unterkörperdominanten Bewegungen.

Physiologisch gesehen ist nicht klar, ob unterschiedliche Muskelgruppen gleich auf Dehninterventionen reagieren. Fünf Studien betrachteten die Auswirkungen von Dehnungen der Agonisten und Antagonisten einer Gelenkbewegung gleichermaßen. Alle dieser Studien betrachteten Kniestreckung und Kniebeugung in isokinetischer (Ayala et al., 2015; Sekir et al., 2010; Sekir et al., 2015; Walsh, 2017) oder auxotoner (Kokkonen et al., 1998) Kontraktion (siehe Tabelle 8).

Sekir et al. (2015) stellten ein Verhältnis der Kraft der Kniebeuger und -strecker her und konnten keine Veränderung des Kraftverhältnisses nach  $2 \times 30 \text{ s}$  pSD feststellen. Die übrigen vier Studien stellten keinen direkten statistischen Vergleich der Muskelgruppen auf. Drei der Studien zeigten jedoch vergleichbare Ergebnisse für die Testungen der Knieflexoren und -extensoren mit vergleichbarer Verringerung der Kraft (Kokkonen et al., 1998; Sekir et al., 2010) oder ohne Auswirkungen durch pSD (Ayala et al., 2015). Nur bei Walsh et al. (2017) ergab sich bei  $n = 10$  Proband\*innen eine Reduktion der Kraft der Kniestrecker, nicht jedoch der Kniebeuger nach pSD beider Muskelgruppen.

Zusammengefasst kann kein Unterschied in den Effekten durch pSD auf die Kniebeuger und Kniestrecker beobachtet werden, werden beide Muskelgruppen gleichermaßen gedehnt. Für andere Körperbereiche liegen keine Daten vor.

In Tabelle 8 sind ebenfalls die Gelenkwinkel für Knie- und Hüftgelenk bei der Krafttestung angegeben. Von einem veränderten Kraftverhältnis zwischen den Kniebeugern und Kniestreckern bei unterschiedlichen Hüftwinkeln wird aktuell nicht ausgegangen (Kellis et al., 2019).

*Tabelle 8: Effekt auf verschiedene Muskelgruppen*

| Studie | Dehnintervention | Krafttestung | Gelenkwinkel<br>bei Testung | Ergebnis |
|--------|------------------|--------------|-----------------------------|----------|
|--------|------------------|--------------|-----------------------------|----------|

|                         |                                                                                                                                |                                           |                                                                                                  |                                                                      |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| (Ayala et al., 2015)    | pSD 2 x 30 s<br>Hüftflexoren,<br>Hüftextensoren,<br>Hüftadduktoren,<br>Knieflexoren,<br>Knieextensoren                         | Isokin. Knieflex.<br>und Knieext.         | In Bauchlage<br>bei 10–20°<br>Hüftflexion;<br>Kniebewegung<br>0–90°                              | Keine sign.<br>Unterschiede<br>zwischen<br>Gruppen und<br>Bewegungen |
| (Kokkonen et al., 1998) | pSD 6 x 15 s<br>Knieflexoren,<br>Lumbalextensoren,<br>Hüftadduktoren,<br>Plantarflexoren,<br>Hüftextensoren,<br>Knieextensoren | Auxotone<br>Knieflex. und<br>Knieext. 1RM | Knieflexion in<br>Bauchlage,<br>Knieext. im<br>Sitzen (keine<br>Angaben zu den<br>Gelenkwinkeln) | ↓ 1RM<br>Knieext. und<br>Knieflex.                                   |
| (Sekir et al., 2010)    | pSD 2 x 30 s<br>Knieextensoren,<br>Knieflexoren                                                                                | Isokin. Knieext.<br>und Knieflex.         | Sitzend<br>(keine Angaben<br>der Winkel)                                                         | ↓ für Knieflex.<br>und Knieext.<br>nach pSD                          |
| (Sekir et al., 2015)    | pSD 2 x 30 s<br>Knieextensoren,<br>Knieflexoren                                                                                | Isokin. Knieext.<br>und Knieflex.         | Sitzend<br>10–90°<br>Kniewinkel                                                                  | ↓ für Knieflex.<br>und Knieext.<br>nach pSD                          |
| (Walsh, 2017)           | pSD 1 x 90 s<br>Knieextensoren,<br>Knieflexoren                                                                                | Isokin. Knieext.<br>und Knieflex.         | Sitzend,<br>Hüftwinkel 85°,                                                                      | ↓ Kraft in<br>Extension aber<br>nicht in Flexion<br>nach pSD         |

## 4.2 Outcome Parameter

Ein Großteil der Studien beschäftigt sich mit Leistungsparametern und Dehnung an der unteren Extremität (81 von 88 Studien). Die Anzahl der Studien, die Auswirkungen an der oberen Extremität betrachten, sind damit unterrepräsentiert. Bei jenen Studien, die Auswirkungen von Dehnen auf die Leistungsfähigkeit in der oberen Extremität untersuchten (9 von 88 Studien), wurden am häufigsten Bankdrückbewegungen untersucht (Beedle et al., 2008; Leone et al., 2014; Molacek et al., 2010; Ribeiro et al., 2014; Torres et al., 2008). Die übrigen Studien eruierten Griffkraft-Daten und einen hohen Ruderzug. Im Unterschied zu den Studien an der unteren Extremität liegen keine isokinetischen Kraftmessungen oder Schnelligkeitswerte vor. Ebenfalls wurde in keiner der Studien an der oberen Extremität die Veränderung der ROM mitdokumentiert. Ein direkter Vergleich zwischen oberer und unterer Extremität lässt sich daher nicht feststellen. Die Daten werden daher und aufgrund der oben beschriebenen Effekte (Kapitel 4.1.2) in allen folgen Auswertungen zusammengefasst.

Ebenfalls wurde kein Unterschied in den direkten Vergleichen zwischen pSD und DIK festgestellt (Kapitel 3.3.1). Auch hier wurden daher die Daten für alle statischen Dehnmethoden zusammen ausgewertet.

In Anlehnung an die beschriebene Nomenklatur zur Dehnung einzelner Muskeln wird auch bei den Ergebnis-Parametern eine phänomenologische Differenzierung und Auswertung

vorgenommen. Daher wird im Folgenden nicht, wie zum Beispiel bei Simic et al. (2013), eine Klassifizierung nach motorischen Fähigkeiten, sondern nach den jeweiligen durchgeführten Leistungstests angewandt. Dies kann in seiner Argumentationsform mit jener Differenzierung zwischen *postactivation potentiation* (PAP) und *postactivation performance enhancement* (PAPE) verglichen werden (Prieske et al., 2020).

Dementsprechend werden hier Effekte auf Sprintfertigkeiten im Sinn der linearen Laufbeschleunigung und -geschwindigkeit, COD-Fertigkeiten, Sprungfertigkeiten und Kraftfertigkeiten, wobei Kraft hier im Newtonschen Sinn gelesen werden kann, einzeln betrachtet.

#### 4.2.1 Sprint

Als häufigster Parameter der Schnelligkeit wurden Sprintzeiten untersucht. Eine Studie untersuchte 15 m-Sprints (Fortier et al., 2013), sieben Untersuchungen betrachteten 20 m-Sprints (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Avloniti et al., 2016; Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Protopapa et al., 2016; Blazeovich et al., 2018; Islamoglu et al., 2016; Nelson et al., 2005; Oliveira & Rama, 2016; Pearce et al., 2012). Zwei Studien nutzten 30 m (Gelen, 2010; Sayers et al., 2008), drei Studien 40 m-Sprints (Favero et al., 2009; Fletcher & Monte-Colombo, 2010; Loughran et al., 2017) und eine Studie 100 m-Sprints (Kistler et al., 2010). Zwei Studien verwendeten kombinierte, wiederholte Sprints von  $6 \times 20 \text{ m}$  (Beckett et al., 2009) und  $6 \times 35 \text{ m}$  (Harmanci & Karavelioğlu, 2017). Die Messmethode der Lauftests wird in Tabelle 9 zusammengefasst.

Die Tabelle zeigt, dass die meisten Studien einen fliegenden Sprinttest mit Lichtschranken oder Kontaktmatten verwendeten. Kistler et al. (2010) und Nelson (2005) wählten einen Start aus Blöcken. Bei beiden Studien nahmen jedoch ausschließlich geübte Sprinter\*innen teil (vergleiche Tabelle 3).

Ein methodischer Unterscheidungspunkt der Studien lässt sich anhand eines möglichen Einflusses durch weitere Leistungstests ausmachen. Bei vier Studien (Fletcher & Monte-Colombo, 2010; Islamoglu et al., 2016; Oliveira & Rama, 2016; Pearce et al., 2012) wurde vor den Lauftests mindestens ein Sprungtest durchgeführt. In keiner der vier Studien konnte ein Einfluss auf die Sprintleistung durch vorhergehendes SD festgestellt werden.

Bei zwei Studien aus derselben Forschergruppe verbesserte sich die Sprintleistung (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Avloniti et al., 2016; Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Protopapa et al., 2016) nach SD signifikant gegenüber der Kontrollsituation ohne Dehnen. Bei vier Studien (Gelen, 2010; Kistler et al., 2010; Nelson et al., 2005; Sayers et al., 2008) wurden die Proband\*innen nach der Dehnintervention signifikant langsamer.

Eine Studie wählte multiple Sprints und betrachtete die Auswirkungen von SD auf die *Repeated Sprintability* (RSA) (Beckett et al., 2009). Hier konnte kein Unterschied in der Gesamtzeit für 6 x 20 m Sprints mit 25 s Pause zwischen der Interventions- und Kontrollsituation festgestellt werden. Eine weitere Studie verwendete den RAST-Test für anaerobe Leistung bei 3 x 35 m Sprints mit 10 s Pause (Harmanci & Karavelioğlu, 2017). Die Autoren fanden eine geringere maximale Leistung (von 828,29 ± 155,11 W auf 777,36 ± 133,42 W, p < 0,05) und geringere mittlere Leistung (758,29 ± 152,67 W auf 689,57 ± 143,15 W, p < 0,05) nach 2 x 15 s pSD der unteren Extremitäten.

Insgesamt zeigt sich ein gemischtes Ergebnis beim Einfluss auf die Sprintfertigkeit. Die meisten Studien können keine Unterschiede feststellen. Jene signifikanten Effekte, die gefunden wurden, sind möglicherweise relevant in der Leichtathletik, jedoch weniger in komplexen Sportarten wie Spiel- oder Kampfsportarten.

*Tabelle 9: Sprintleistung und COD nach SD*

| Studie                                                       | Sprinttest<br>COD-Test | Messmethode                           | Einfluss<br>andere Tests | Ergebnis                                                               |
|--------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Avloniti et al., 2016)  | 20 m fliegend          | Lichtschraken bei 0 m und 20 m        | Random                   | ↓ Sprintzeit (2,9–3,2 %)                                               |
|                                                              | Agility T-Test         | Lichtschraken                         |                          | → COD Zeit                                                             |
| (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Protopapa et al., 2016) | 20 m fliegend          | Lichtschraken nach 0 m, 10 m und 20 m | Random                   | ↓ 10 m (–2,2–2,8 %) Sprintzeit durch 20 s pSD                          |
|                                                              | Agility T-Test         |                                       |                          | ↓ COD Zeit nach 20 s pSD<br>→ COD Zeit nach 20 s, 30 s, 40 s, 60 s pSD |
| (Bishop & Middleton, 2013)                                   | 20 m                   | Lichtschraken                         | Random                   | → alle Werte                                                           |
|                                                              | Illinois Agility Test  |                                       |                          |                                                                        |
| (Blazeovich et al., 2018)                                    | 20 m fliegend          | Lichtschraken nach 0 m und 20 m       | Random                   | → Sprintzeit                                                           |
|                                                              | Agility T-Test         | Lichtschraken                         |                          | → Zeit T-Test                                                          |
| (Favero et al., 2009)                                        | 40 m                   | Lichtschraken alle 10 m               | Nach S&R-Test            | → Sprintzeit                                                           |

|                                  |                                             |                                                                       |                                                       |                                           |
|----------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                  | fliegend                                    |                                                                       |                                                       |                                           |
| (Fletcher & Monte-Colombo, 2010) | 20 m fliegend                               | Lichtschraken nach 0 m und 20 m                                       | Reihenfolge: CMJ, 20 m Sprint, Balom Agility Run      | → Sprintzeit                              |
|                                  | Balsom Agility Run                          | Lichtschraken                                                         |                                                       | → COD-Zeit                                |
| (Fortier et al., 2013)           | 15 m aus Stand                              | Bodenkontaktm<br>atte bei 0 m und<br>Lichtschraken<br>bei 15 m        | Random                                                | → Sprintzeit                              |
| (Gelen, 2010)                    | 30 m aus Stand                              | Lichtschraken bei 0 m und 30 m                                        | Reihenfolge: Sprint, Slalom-Dribbling, Schusskraft    | ↑ Sprintzeit (+0,39 s)                    |
|                                  | Eigener Test (Slalom-Dribbling mit Fußball) | Lichtschraken                                                         |                                                       | → COD Zeit                                |
| (Islamoglu et al., 2016)         | 20 m<br>Keine Angaben                       | Keine Angaben                                                         | Reihenfolge: S&R, Sprungtest, 20 m Sprint, COD-Lauf   | → Sprintzeit                              |
|                                  | Eigener Test (18 m, 3 Hütchen)              |                                                                       |                                                       | → COD Zeit                                |
| (Kistler et al., 2010)           | 100 m Sprint aus Blöcken                    | Druckplatte bei 0 m und Lichtschraken nach 20 m, 40 m, 60 m und 100 m | Erster Test                                           | ↑ nur zwischen 20m und 40m Marker (1,38%) |
| (Loughran et al., 2017)          | 40 m fliegend                               | Lichtschraken bei 0m, 10m, 20m und 40m                                | Erster Test                                           | → Sprintzeit                              |
| (Nelson et al., 2005)            | 20m Sprint aus Blöcken                      | Kontaktplatte bei Start und Lichtschrake bei 20m                      | Erster Test                                           | ↑ Sprintzeit (+1,25 %)                    |
| (Oliveira & Rama, 2016)          | 20 Sprint aus Stand                         | Lichtschraken bei 0 m und 20 m                                        | Nach Sprungtest                                       | → Sprintzeit                              |
| (Pearce et al., 2012)            | 20 m Sprint<br>keine Angaben                | Keine Angaben                                                         | Reihenfolge: CMJ, 5 Wh CMJ, 505 Agility Lauf, Sprint, | → Sprintzeit                              |
|                                  | 505 Agility Lauf                            |                                                                       |                                                       | → COD Zeit                                |

|                            |                     |                                       |             |                                                                     |
|----------------------------|---------------------|---------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------|
| (Sayers et al., 2008)      | 30m Sprint fliegend | Lichtschranken bei 0 m, 10 m und 30 m | Erster Test | ↑ Sprintzeit 0–30 m (+2,4 %), 0–10 m (+2,95 %) und 10–30 m (2,34 %) |
| (van Gelder & Bartz, 2011) | 505 Agility         | Lichtschranken                        | Erster Test | → COD Zeit                                                          |

### 3.1.1 Richtungswechsel - COD

Zehn Studien untersuchten die Auswirkungen von SD auf die Laufergebnisse mit COD. Die Testmethodik und Ergebnisse wurden in Tabelle 9 aufgelistet. Drei der Studien verwendeten dazu den *Agility T-Test* (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Avloniti et al., 2016; Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Protopapa et al., 2016; Blazeovich et al., 2018). Dieser Test verlangt verschiedene Bewegungsrichtungen der Sportler\*innen sowie vier Richtungswechsel um 90° (Miller, 2012, 265ff). Eine Verbesserung der Laufzeit gegenüber der Kontrollsituation ergab sich in einer der Studien nach 10 s pSD der leistungserbringenden Muskeln ( $\eta^2 = 0,26$ ,  $p < 0,05$ ) (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Protopapa et al., 2016).

Eine Studie (Bishop & Middleton, 2013) verwendete den *Illinois Agility Test*, der mehrere Richtungswechsel und Slalomläufe aufweist und als reliabler und valider Test für Feldsportarten gilt (Hachana et al., 2013; Stewart et al., 2014). Die Autoren fanden keine signifikanten Veränderungen nach SD, diskutieren jedoch einen nicht signifikanten Trend in Richtung längerer Zeiten nach SD (Bishop & Middleton, 2013).

Zwei Studien (Pearce et al., 2012; van Gelder & Bartz, 2011) verwenden den *505-Agility Test*, der nur eine 180°-Drehung beinhaltet (Sheppard & Young, 2006; Stewart et al., 2014). Beide Studien konnten keine signifikanten Ergebnisse dokumentieren.

Eine Studie (Fletcher & Monte-Colombo, 2010) verwendet den für Fußball entwickelten *Balsom Agility Test*, der vier Richtungswechsel beinhaltet (Coulson & Archer, 2011) und für den keine Reliabilitätsdaten vorliegen. Fletcher et al. (2010) konnten keine veränderte Laufzeit nach SD feststellen. Jedoch lief die Gruppe, die als Kontrollgruppe definiert wurde, nach aktivem Warm-up ohne Dehnen signifikant schneller als die Interventionsgruppe (–1,4 %,  $p < 0,01$ ).

Drei Studien verwendeten eigene Testprotokolle (Beckett et al., 2009; Gelen, 2010; Islamoglu et al., 2016). Gelen et al. (2010) ließen die Teilnehmer, die ausschließlich Profifußballer waren, einen Ball durch einen Slalom dribbeln, was die Komplexität und die zugrunderliegenden motorischen Leistungsanforderungen nochmals erhöht und einen

Vergleich mit der restlichen Literatur erschwert. Keine der drei Studien konnte signifikante Änderungen der Leistungsfähigkeit in den COD-Tests feststellen.

Insgesamt können bei der Mehrheit der Studien keine Effekte gefunden werden. Die angewandten Tests werden häufig unter Agility-Tests geführt. Wie in der Einleitung (Kapitel 0) dargestellt, nimmt diese Arbeit nur Bezug auf den physischen Anteil der Agilität, der aus Geschwindigkeits- und Beschleunigungskomponenten mit vorher bekanntem Richtungswechsel besteht. In praxisorientierter Literatur werden die standardisierten Tests, wie *T-Test* und *Illinois Test*, mittels Stoppuhr gemessen und die Proband\*innen müssen auf ein Startsignal reagieren (Miller, 2012). Alle in dieser Arbeit dokumentierten Studien verwenden jedoch ein elektronisches Zeitnehmungssystem und erhöhen damit die Messgenauigkeit und exkludieren reaktionsbasierte Teilfähigkeiten. Sie können also im Sinne der vorliegenden Definition eher als COD- und weniger als Agility-Tests betrachtet werden.

### 3.1.2 Sprung

Tabelle 10 führt alle Studien an, die Sprungleistungen nach Dehninterventionen dokumentierten. Die angeführten 36 Studien verwendeten vor allem Counter Movement Jumps (CMJ), Squat Jumps (SJ) und Drop Jumps (DJ). Bei letzteren wurden die Sprünge aus verschiedenen Höhen zwischen 26 cm und 60 cm durchgeführt. In der Beschreibung wurde die Höhe als Zahl direkt nach dem Kürzel DJ angegeben (z. B. DJ30 für DJ aus der Höhe von 30 cm). Die Durchführungskriterien vielen sehr heterogen aus. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem systematischen Review von Petrigna et al. (2019), das sich der Standardisierung von Sprungtests widmet. Aufgrund dieser Heterogenität der Testverfahren, die in diesem Ausmaß bei den Lauftests (Kapitel 4.2.1) nicht besteht, wurde eine genauere Beschreibung in Tabelle 10 mit aufgenommen. Spalte 2 in der Tabelle berichtet die Sprungarten, wie oben beschrieben. Spalte 3 berichtet die Ausführung der Sprünge. Hier lässt sich ein Unterschied in der Verwendung der Arme als Schwungmittel erkennen. Während 10 Studien den Einsatz der Arme anweisen, wurden bei 13 Studien die Arme am Becken, an den Hüften oder in eine Akimbo-Position gebracht. Zusammengefasst wurde dieses Ausschalten der Arme in dieser Arbeit in Tabelle 10 als „Akimbo“. Die restlichen Studien dokumentierten die Armposition nicht explizit.

Sowohl Sprünge mit als auch ohne Arme zeigen sich in den Arbeiten von Hara et al. (2006) und Slinde et al. (2008) als reliable Methoden, wobei die absolute Sprungleistung mit Armen konsistent als 8–14 % höher ausfällt (Harman et al., 1990; Slinde et al., 2008). Inwieweit der Armschwung als Moderator-Variable zwischen Dehninterventionen und Sprungleistung agiert, ist jedoch nicht geklärt. Als Grundlage der Diskussion können die Ergebnisse von



Hara et al. (2006) herangezogen werden. Die Forschergruppe berichtet von einem höheren Einsatz der Beine durch höhere Bodenreaktionskräfte beim Springen mit Armeinsatz.

Eine zweite Unterscheidung der Sprünge betrifft die Tiefe der vorhergegangenen Kniebeuge beim SJ und CMJ. Beim CMJ wird von den meisten Studien eine selbstgewählte Tiefe durch die Teilnehmer\*innen angewandt oder die Autor\*innen geben keine genaueren Angaben zum zugelassenen Kniewinkel. Vier Studien geben einen zugelassenen Kniewinkel von 90° an, der mit elektronischen Goniometern (J. R. Murphy et al., 2010; Oliveira & Rama, 2016), durch visuelle Kontrolle der Forscher (Stafilidis & Tilp, 2015) oder durch eine horizontal gespannte Schnur, die die Teilnehmer\*innen mit dem Gesäß berühren sollten (Bradley et al., 2007), kontrolliert wurde. Eine Studie ließ einen Kniewinkel zwischen 60 und 80° zu (Pearce et al., 2012). Place (2013) gab einen Kniewinkel von 90° vor, ohne diesen zu kontrollieren.

Beim SJ wurde der Kniewinkel in drei Studien kontrolliert und auf 90° Kniewinkel limitiert (Bradley et al., 2007; Cè et al., 2008; Stafilidis & Tilp, 2015). Eine Studie versuchte den Kniewinkel in ein Verhältnis zur erreichten Sprungleistung zu setzen und einen Zusammenhang zur vorhergegangenen Dehnintervention herzustellen (La Torre et al., 2010). Die Autoren ließen die Studienteilnehmer nach SD oder ohne vorhergehende Dehnung aus den Kniewinkeln 50°, 70°, 90° und 110° abspringen und kontrollierten die Winkel mit einem elektronischen Goniometer. Geringe Kniewinkel gingen mit geringerer Sprungleistung in beiden Gruppen einher. Die SD-Gruppe weist in 50° und 90° eine signifikant geringere SH auf als die Kontrollgruppe. Die Autor\*innen stellten kleinere Unterschiede zwischen Interventions- und Kontrollgruppe bei tieferen Kniewinkeln graphisch und in der Diskussion dar. Sie schließen damit auf eine Veränderung des optimalen Kniewinkels nach vorhergehender Dehnintervention.

Die Spalte 4 in Tabelle 10 beschreibt die Messmethode. Die Messung der Sprungleistung geschah bei 10 Studien mit einer Kraftmessplatte, in 13 Studien mittels Kontaktmatten und in 7 mittels Jump-and-Reach am Vertec oder an einer Wand (Curry et al., 2009; J. R. Murphy et al., 2010). Eine Studie verwendete ein optisches Messsystem, bei dem eine Laserschranke knapp über dem Boden die Flugzeit bestimmen kann, was im Berechnungsprinzip der Sprungparameter mit den Kontaktmatten vergleichbar ist (Jorge et al., 2014). Eine Studie verwendete Feldtests und Sprünge auf Distanz, wobei keine genaueren Angaben zur Messmethode gemacht wurden (Handrakis et al., 2010). Eine weitere Studie verwendete eine 2D-Videoanalyse zur Bestimmung der Sprungleistung (Knudson et al., 2001). Eine Studie verwendete einen kommerziellen Beschleunigungsmesser am Handgelenk der Proband\*innen (Sağıroğlu et al., 2017).

Bei einigen Methoden kann die Messgenauigkeit speziell beleuchtet werden. Beim Jump-and-Reach an der Wand lassen sich laut Murphy et al. (2010) Unterschiede von bis zu 1 cm identifizieren. Die Berechnung der Sprunghöhe über den Impulserhalt an einer stationären Kraftmessplatte kann als Goldstandard betrachtet werden (Morin & Samozino, 2018, S. 156). Dalrymple et al. (2010) stellten die Sprungergebnisse einzelner Teilnehmer\*innen, gemessen mit einer Kraftmessplatte, graphisch dar und zeigten eine Leistungsveränderung von 3–8 %. Dies entspricht bei durchschnittlich 29 cm SH lediglich 0,87–2,32cm. Auch bei Sandberg et al. (2012) wurden Veränderungen in der SH einzelner Subjekte graphisch dargestellt. Die extrahierten Daten ergaben eine Leistungsänderung zwischen 1,5–8%. Dies wären im Fall diese Studie bei Sprunghöhen von 58cm am Vertec 0,87–4,6cm. Damit zeigt sich, dass insgesamt die Verwendung eines Jump-and-Reach-Tests an der Wand oder mit einem Vertec hinterfragt werden muss, da hier eine beschriebene Messgenauigkeit von 1 cm (J. R. Murphy et al., 2010) oder im Fall eines mehrfach in den angeführten Studien verwendeten Vertecs von 1,27 cm (0,5 Zoll) (Miller, 2012, S. 237; Sports Imports, 2021), erzeugt werden kann.

Aufgrund der sehr heterogenen Messmethoden wurden in Spalte 5 von Tabelle 10 die angegebenen Testgüten im Sinne der Reliabilität und Validität angegeben. Zehn der 36 angeführten Studien dokumentierten zumindest ein Gütekriterium. Lediglich zitierte, externe Reliabilitätswerte wurden hier nicht dargestellt. Der häufigste Reliabilitätswert, der angegeben wurde, ist der *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC). Nur eine Studie (Aguilar et al., 2012) gab jedoch die genaue Klasse des verwendeten ICC sowie den *Standard Error of Mean* (SEM) zusätzlich an (Koo & Li, 2016; Shrout & Fleiss, 1979). Insgesamt zeigt sich in vergleichender Literatur jedoch eine gute Reliabilität und Validität aller verwendeten Tests, mit  $ICC \geq 0,83$  und *Coefficient of Variation* (CV)  $\leq 6,4 \%$  bei kinetischer und kinematischer Messung vertikaler Sprünge mit hier angegebenen Messmethoden (McMaster et al., 2014). Eine absolute Vergleichbarkeit zwischen den Messmethoden im Sinn einer Interrater-Reliabilität ist jedoch nicht gegeben (McMaster et al., 2014).

Wie bereits im Kapitel zur Sprintleistung kann auch bei der Sprungleistung davon ausgegangen werden, dass vorhergehende Tests Auswirkungen auf das Ergebnis haben. Ein zeitlicher Effekt (siehe Kapitel 4.1.1.3) kann sich hier mit einem PAPE-Effekten (Prieske et al., 2020; Seitz & Haff, 2016) überlagern. Daher wurde in Spalte 6 die Testreihenfolge angegeben. Bei vier Studien wurden die Tests in randomisierter Reihenfolge abgehalten. Bei 23 Studien waren die Sprungtests die ersten oder einzigen Tests nach der Intervention oder einer vorhergehenden Beweglichkeitstestung. Bei sechs Studien wurde vorher ein Balance-Test (Handrakis et al., 2010), ein Sprint-Test (Loughran et al., 2017) oder Kraft-

Tests (Place et al., 2013; Power et al., 2004; Reid et al., 2018; Sandberg et al., 2012; Stafilidis & Tilp, 2015) durchgeführt.

Insgesamt wurde in 23 Studien kein Einfluss auf die SH der Sprungleistung durch Dehnen der leistungserbringenden Muskelgruppen erzielt. In zehn Studien wurde eine Verschlechterung der Sprungparameter direkt nach der Intervention gefunden. Zwei Studien fanden eine Verbesserung der Sprungparameter nach SD (Reid et al., 2018; Sandberg et al., 2012). Beide Studien testeten die Sprungparameter nach der Krafttestung. Diese Ergebnisse könnten damit durch die erwähnten Post-Aktivierungs-Effekte erklärt werden. Außerdem wurde bei Sandberg et al. (2012) die Gegenspielmuskulatur statt der leistungserbringenden Muskulatur gedehnt (siehe Kapitel 3.1.1.2) Eine Studie summierte, wie bereits kurz erwähnt, die Ergebnisse des CMJ und des SJ, gab aber keine Erklärung für diese Entscheidung ab. Die vorgestellte Fragestellung liefert ebenfalls keine Begründung. Die Einzelwerte wurden nicht dokumentiert und somit kann eine Variante des p-Hackings nicht ausgeschlossen werden (Bradley et al., 2007).

*Tabelle 10: Sprungleistungen nach SD*

| Studie                       | Tests                               | Sprung Beschreibung        | Messmethode                       | Testgüte                                                    | Testreihenfolge | Ergebnis nach SD                            |
|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------|
| (Aguilar et al., 2012)       | CMJ (SH, P)                         | Akimbo                     | Kraftmessplatte (Bertec 4060-08A) | ICC(2, k) = 0,99<br>SEM = 1 (Höhe)<br>SEM = 86,5 (Leistung) | Random          | → SH<br>→ P                                 |
| (D. C. Andrade et al., 2015) | DJ60 (Kontaktzeit); CMJ und SJ (SH) | Akimbo                     | Kontaktmatte (AXON Jump 4.0)      | k.A.                                                        | Random          | → SH SJ und CMJ<br>→ Kontaktzeiten bei DJ60 |
| (Barbosa et al., 2020)       | CMJ als Volleyballblock (SH)        | Volleyballblock (mit Arm)  | Kontaktmatte (k.A. zu Produkt)    | k.A.                                                        | Random          | → SH                                        |
| (Bishop & Middleton, 2013)   | CMJ (SH)                            | Selbstgewählter Kniewinkel | Kontaktmatte (Just Jump System)   | TEM = 0,26%                                                 | Random          | → SH                                        |

|                                  |                                                                                |                                         |                                                      |                        |                                                                                       |                                             |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| (Bradley et al., 2007)           | SJ; CMJ (SH-summe)                                                             | 90° Kniewinkel mit Schnur als Referenz  | Kraftmessplatte ( <i>Kistler Instrument 9281CA</i> ) | k.A.                   | Erst SJ dann CMJ                                                                      | ↓ SH-Summe direkt nach SD (-4%)             |
| (Brandenburg et al., 2007)       | CMJ (SH)                                                                       | Akimbo                                  | Kontaktmatte ( <i>Just Jump System</i> )             | k.A.                   | Erster Test                                                                           | → SH                                        |
| (Cè et al., 2008)                | SJ, CMJ (Flugzeit, Kraftmax. und Leistungsmax.)                                | SJ: 90° Kniewinkel, Goniometerkontrolle | Kraftmessplatte ( <i>Kistler 4 Jump</i> )            | k.A.                   | Erst SJ, dann CMJ                                                                     | → bei SD<br>↑ bei aktivem Warm-up + SD      |
| (Christensen & Nordstrom, 2008)  | CMJ (SH)                                                                       | Selbstgewählte Absprungtiefe            | Kontaktmatte ( <i>Just Jump System</i> )             | k.A.                   | Erster Test                                                                           | → SH                                        |
| (Curry et al., 2009)             | CMJ (SH)                                                                       | k.A.                                    | Jump-and-Reach an Wand                               | k.A.                   | Nach Beweglichkeitstest                                                               | → SH                                        |
| (Dalrymple et al., 2010)         | CMJ                                                                            | Armschwingung                           | Kraftmessplatte ( <i>Kistler 9286AA</i> )            | ICC= 0,95<br>CV = 3,9% | Erster Test                                                                           | → SH                                        |
| (Fletcher & Monte-Colombo, 2010) | CMJ                                                                            | Akimbo                                  | Kontaktmatte ( <i>Just Jump System</i> )             | ICC =0,98              | Erster Test                                                                           | ↓ SH (+4,1%)                                |
| (Handrakis et al., 2010)         | Broad-Jump, Single-Hop, Triple-hop, 6m-timed hop, crossover hop (Sprungweiten) | k.A.                                    | Als Feldtests; k.A. zur Messmethode                  | k.A.                   | Reihenfolge: Balance, Broad-Jump, Single-Hop, Triple-hop, 6m-timed hop, crossover hop | → alle Sprünge                              |
| (Hough et al., 2009)             | SJ (SH und Flugzeit)                                                           | Akimbo                                  | Kontaktmatte ( <i>Power Timer 1.0</i> )              | k.A.                   | Erster Test                                                                           | ↓ SH (-4,09%)<br>Kein Ergebnis für Flugzeit |

|                          |                                                                                                 |                                                                                             |                                                                                   |                   |                                  |                                                                         |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| (Islamoglu et al., 2016) | SJ (SH)                                                                                         | k.A.                                                                                        | Kontaktmatte (Newtest Power timer 300)                                            | k.A.              | Nach S&R-Test                    | ↓ SH (-4,92%)                                                           |
| (Jorge et al., 2014)     | CMJ (SH, Flugzeit und Power)                                                                    | k.A.                                                                                        | Optisches System (System Optical, Cefise)                                         | k.A.              | Erster Test                      | ↓ SH (3,71±1,51%)<br>↓ Leistung (1,94±0,63%)<br>↓ Flugzeit (1,88±0,77%) |
| (Knudsen et al., 2001)   | CMJ (Absprunggeschw., Tiefstniewinkel und Dauer der Sprungphasen (exzentrisch zu konzentrisch)) | Akimbo                                                                                      | Kinematisch, 2D Videoanalyse, Modell für COM Bestimmung (Peak Motus, heute Vicon) | k.A.              | Erster Test                      | → alle Werte                                                            |
| (Kruse et al., 2013)     | CMJ (SH)                                                                                        | Jump-and-Reach Sprung                                                                       | Jump-and-reach (Vertec)                                                           | ICC= 0,98         | Erster Test                      | ↓ SH direkt nach SD (-3,47%)                                            |
| (Kruse et al., 2015)     | CMJ (Kraftmax.RFD, Absprungsdauer)                                                              | Jump-and-Reach Sprung                                                                       | Kraftmessplatte (Kistler 9290AD)                                                  | ICC = 0,963-0,976 | Erster Test                      | → für alle Werte                                                        |
| (La Torre et al., 2010)  | SJ (Leistungsmax., Absprunggeschw. SH)                                                          | SJ mit Kniewinkel 50°, 70°, 90° und 110° kontrolliert mit elektronischem Goniometer; Akimbo | Kraftmessplatte (Kistler 4 Jump)                                                  | k.A.              | Reihenfolge: 50°, 70°, 90°, 110° | ↓ SH bei 50° (-21%)<br>↓ Leistungsmax. bei 50° (-24,6%)                 |
| (Loughran et al., 2017)  | CMJ (P <sub>max</sub> , SH)                                                                     | Akimbo                                                                                      | Kraftmessplatte (Kistler 9286BA)                                                  | k.A.              | Nach Sprinttest                  | ↓ P <sub>max</sub> (-8,1%) und SH (-12%)                                |
| (Morrin &                | CMJ (SH)                                                                                        | k.A.                                                                                        | Kontaktmatte (Just                                                                |                   | Erster Test                      | → SH                                                                    |

|                             |                                                            |                                                            |                                                                   |                                    |                                                        |                                                 |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Redding, 2013)              |                                                            |                                                            | Jump System)                                                      |                                    |                                                        |                                                 |
| (A. J. Murphy et al., 2010) | CMJ                                                        | Jump-and-Reach Sprung mit Arme, maximal 90° Kniewinkel     | Jump-and-Reach (Vertec)                                           | ICC = 0,966                        | Nach ROM Testungen                                     | → SH                                            |
| (J. R. Murphy et al., 2010) | CMJ                                                        | Jump-and-Reach Sprung; Armschwingung; selbstgewählte Tiefe | Jump-and-Reach an der Wand                                        | Messgenauigkeit = 1cm              | Reihenfolge: Gleichgewicht, singuläre Reaktion, CMJ    | → SH                                            |
| (Oliveira & Rama, 2016)     | CMJ                                                        | 90° Kniewinkel ; Akimbo                                    | Kontaktmatte (Ergojump Platform)                                  | k.A.                               | Erster Test                                            | → SH                                            |
| (Pacheco et al., 2011)      | Bosco Protokoll: SJ, CMJ , DJ40 (SH und Elastizitätsindex) | k.A.                                                       | Kontaktmatte (Ergojump Platform)                                  | k.A.                               | Reihenfolge: SJ, CMJ, DJ40                             | → nach pSD<br>↑ nach aSD (+7,9%)                |
| (Pearce et al., 2012)       | CMJ; 5WhCMJ (SH und Leistungsmax.)                         | Akimbo; 60-80° Kniewinkel elektronisch kontrolliert        | Kontaktmatte (Smart Jump)                                         | TEM= 0,51-0,66cm<br>CV=0,58 - 8,1% | Reihenfolge: CMJ, 5WHCMJ                               | ↓ SH direkt nach SD (-7%)                       |
| (Place et al., 2013)        | CMJ DJ30                                                   | Akimbo; CMJ: 90° Kniewinkel                                | Kraftmessplatte (Kistler 9281B) Jedoch SH über Flugzeit berechnet | k.A.                               | Reihenfolge: ROM, evozierte Kontraktion , MVC, CMJ, DJ | → SH                                            |
| (Power et al., 2004)        | CMJ und DJ30 (SH, Kontaktzeit)                             | Unilateral; Akimbo                                         | Kontaktmatte (Innervations)                                       | ICC = 0,79-0,93                    | Nach Krafttestungen                                    | → SH und Kontaktzeit (nicht-sign. Verringerung) |

|                              |                                                            |                                                         |                                                            |                   |                                |                                                                   |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| (Reid et al., 2018)          | CMJ (SH)                                                   | Jump-and-Reach Sprung; Armschwung; selbstgewählte Tiefe | Jump-and-Reach (Vertec)                                    | ICC= 0,96         | Nach Krafttestungen            | ↑ SH (+3,5%)                                                      |
| (Saġiroġlu et al., 2017)     | CMJ (SH)                                                   | Akimbo; selbstgewählte Tiefe                            | Endverbraucher Accelerometer ( <i>Myotest Sports Pro</i> ) | k.A.              | Erster Test                    | ↓ SH (-3,25%)                                                     |
| (Sandberg et al., 2012)      | CMJ (SH und Leistung)                                      | Jump-and-Reach Sprung; Armschwung; selbstgewählte Tiefe | Jump-and-Reach (Vertec)                                    | k.A.              | Nach Krafttests                | ↑ SH (2,1%) und Leistung (10%)<br><br>Nach Antagonisten pSD       |
| (Staflidis & Tilp, 2015)     | CMJ und SJ                                                 | Akimbo; 90° Kniebeugung visuell kontrolliert            | Portable Kraftmessplatte ( <i>Quattro Jump, Kistler</i> )  | k.A.              | Reihenfolge: ROM, MVC, SJ, CMJ | → SH                                                              |
| (Unick et al., 2005)         | CMJ und DJ26cm (SH)                                        | Jump-and-Reach Sprung; Armschwung, selbstgewählte Tiefe | Jump-and-Reach (Vertec)                                    | ICC = 0,980-0,996 | Reihenfolge: CMJ, DJ           | → SH                                                              |
| (Wakefield & Cottrell, 2015) | CMJ (SH)                                                   | Jump-and-Reach Sprung; Armschwung; selbstgewählte Tiefe | Jump-and-Reach (Vertec)                                    | k.A.              | Nach ROM Test                  | ↑ SH nach Antagonisten Dehnung<br><br>→ SH nach Agonisten Dehnung |
| (Werstein & Lund, 2012)      | DJ45cm (Reactive Strength Index; Flugzeit und Kontaktzeit) | Anweisung : minimale Kontaktzeit und maximale Flugzeit  | Kraftmessplatte; k.A. zum Modell                           | k.A.              | Erster Test                    | → alle Werte                                                      |

|                      |                                                                                        |                                           |                                   |      |                       |                                                     |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|------|-----------------------|-----------------------------------------------------|
| (Young & Behm, 2003) | SJ mit 10kg Zusatzgewicht in Smith Maschine (SJ+10kg); DJ30 (PF, RFD, SH, Kontaktzeit) | 100° Kniewinkel , Hände an Gewichtsstange | Kraftmessplatte (Kistler Z4852/C) | k.A. | Reihenfolge: SJ, DJ30 | → für alle Werte außer<br>↓ für Kraft bei SJ (6,4%) |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|------|-----------------------|-----------------------------------------------------|

### 3.1.3 Wurftests

Eine Studie untersuchte die Explosivität am Oberkörper mittels Wurftests (Torres et al., 2008). In dieser Studie wurden elf Athleten aus wurfdominanten Sportarten im Bankstoßen mit 30 % ihres 1RM sowie im Drei-Kilo-Medizinball-Überkopfwurf und Rotationswurf im Sitzen getestet. An einem der randomisierten Testtage dehnten die Teilnehmer die leistungserbringenden Muskeln statisch, an einem dynamisch und an einem mittels beider Methoden in Serie oder sie dehnten nicht. Die Autoren beschreiben keine Unterschiede, die die statistische Signifikanz erreichen (Torres et al., 2008).

### 3.1.4 Krafttests

Von den inkludierten Studien beschrieben 42 die Auswirkungen von Dehnen auf Krafttests. Die Studien sind in Tabelle 11 aufgelistet. Davon testeten 14 mittels Isokineten. Weitere 20 Studien betrachteten isometrische Kraft. Auxotone Kraftmessungen wurden in sechs Arbeiten eingesetzt. Eine Studie verwendete eine isotone Kraftmessung mit der Begründung, dass dies sportlichen Anforderungen näher käme als die üblicheren untersuchten – isokinetischen – Kontraktionsformen (Yamaguchi et al., 2006).

Die isokinetischen Krafttests wurden rein konzentrisch (konz), rein exzentrisch (exz) oder gemischt durchgeführt. Die gemischten Krafttests wurden in der Tabelle 11 Spalte 3 mit (konz/konz) oder (exz/exz) für wechselnde Bewegungswiderstände oder (konz/exz) für vektoriell gleichbleibende Bewegungswiderstände bezeichnet. Die Winkelgeschwindigkeit wurde in allen inkludierten Studien beschrieben und lag zwischen 60°/s und 240°/s.

Bei isometrischen Tests wurden die Gelenkwinkel der beteiligten Gelenke angegeben. Die Angaben der Gelenkwinkel wurden hierbei für eine bessere Vergleichbarkeit auf die Neutral-Null-Durchgangsmethode vereinheitlicht (Meinecke & Gräfe, 2002).

Die Testprotokolle für auxotone Kraftmessungen können als stark heterogen bezeichnet werden. Besondere Vorsicht ist daher bei der Interpretation jener Studien geboten, die eigene Testprotokolle implementierten und auf die Darstellung von Reliabilitäts- oder



Agreement-Werten verzichteten (Bacurau et al., 2009; Beedle et al., 2008; Kokkonen et al., 1998; Yamaguchi et al., 2006).

Die Testgüte wurde in 16 Studien zumindest teilweise mittels ICC oder Pearson-Korrelation ( $r$ ) angegeben (vergleiche Kapitel 3.1.2). Die Testreihenfolge wurde in Spalte 5 angegeben. In keiner der Studien wurden Testungen mit höheren Bewegungsgeschwindigkeiten vor Testungen niedriger Geschwindigkeiten durchgeführt. Bei drei Studien (Sekir et al., 2010; Sekir et al., 2015; Sim et al., 2015) konnte die genaue Testreihenfolge der Dokumentation nicht entnommen werden.

Von den 42 Studien konnten in 17 keine Unterschiede der untersuchten Parameter zwischen Interventions- und Kontrollsituation festgestellt werden.

Vier Studien konnten eine verminderte maximale Kraftleistung nur ab einem bestimmten Dehnvolumen feststellen (Kay & Blazeovich, 2008; Knudson & Noffal, 2005; Paula et al., 2012; Reid et al., 2018) (vergleiche Kapitel 4.1.1.1). Ein signifikanter Rückgang der maximalen Kraftleistung gegenüber der Kontrollsituation konnte in 16 Studien gezeigt werden. Diese Reduktion verringerte sich, falls in der jeweiligen Studie untersucht, mit dem zeitlichen Abstand zur Testung (siehe Kapitel 4.1.1.3).

Die verbesserte Knieflexion bei 180°/s isokinetischer Kraftmessung, wie sie bei Sim et al. (2015) gemessen wurde, wird auch von den Autor\*innen als Zufallsergebnis oder als Resultat verdeckter Faktoren beschrieben.

In den präsentierten Ergebnissen von Tabelle 11 sollen besonders Trajano und Kollegen (2014) hervorgehoben werden. Die Studie weist eine umfangreiche Dokumentation der Methoden und Ergebnisse auf und verglich ein kontinuierliches Dehnprogramm ( $1 \times 5 \text{ min}$ ) mit einem volumengepaarten, intermittierendem Dehnprogramm ( $5 \times 1 \text{ min}$ ). Die Ergebnisse stimmten mit der Hypothese der Autoren überein und es kam zu einer stärkeren und längeren Reduktion der isometrischen, maximalen Kraft nach dem intermittierenden Programm (post-0':  $-23,8 \% \pm 22,1 \%$ , post-15':  $-5,7 \% \pm 5,11 \%$ , post-30':  $-5,6 \% \pm 5,8 \%$ ) als nach dem kontinuierlichen (post-0':  $-14,3 \% \pm 17,3 \%$ ; keine sign. Veränderung post-15' und post-30'). Die Autoren führen diesen Effekt auf die wiederholte Ischämie und Wiederdurchblutung des Gewebes zurück (Trajano et al., 2014). Diese ist die einzige Studie in dieser Arbeit, welche lokale Stoffwechselprozesse mit akuten Dehneffekten in Verbindung bringt.

Insgesamt zeigt sich ein potenziell negativer Effekt durch statisches Dehnen auf die darauffolgende Kraftfähigkeit der gedehnten Muskulatur. Dieser Effekt ist abhängig vom Dehnvolumen und vom zeitlichen Abstand zwischen Dehnung und Testung.

Tabelle 11: Kraftleistung nach SD

| Studie                 | Krafttest                                                | Beschreibung                                                           | Testgüte  | Testreihenfolge                                                                                     | Ergebnis                                                                            |
|------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| (Aguilar et al., 2012) | Isokin. Knieflex. und Knieext. (PT)                      | (konz/exz)<br>60°/s                                                    | k.A.      | Random                                                                                              | → PT                                                                                |
| (Alp, 2020)            | Isokin. Kniext. (PT)                                     | (konz)<br>60°/s und 180°/s                                             | k.A.      | Reihenfolge:<br>60°/s, 180°/s                                                                       | → PT                                                                                |
| (Alp et al., 2018)     | Isokin. Kniext. und Plantarflex. (PT)                    | (konz)<br>60°/s und 180°/s                                             | k.A.      | Reihenfolge:<br>60°/s, 180°/s                                                                       | → PT                                                                                |
| (Ayala et al., 2015)   | Isokin. Knieflex. und Kniext. (PT und P <sub>avg</sub> ) | (konz/konz) und (exz/exz)<br>60°/s, 180°/s und 240°/s                  | k.A.      | Reihenfolge:<br>(konz/konz)<br>60°/s, 180°/s und 240°/s;<br>dann (exc/exc)<br>60°/s, 180°/s, 240°/s | → PT<br>→ P <sub>avg</sub>                                                          |
| (Bacurau et al., 2009) | 45° Beinpresse (1RM)                                     | Eigenes Testprotokoll 4%, 3% und 3% Gewichtssteigerung über 4 Versuche | k.A.      | Nach S&R Test                                                                                       | ↓ 1RM (-13,4%)                                                                      |
| (Barroso et al., 2012) | 45° Beinpresse (1RM, Volume Load)                        | Guideline nach Brown und Weir (2001)                                   | ICC= 0,96 | Random an unterschiedlichen Tagen                                                                   | ↓ Volume (DIK: -4,4±0,7WH; SD: -4±1,7WH)<br>↓ 1RM (DIK: -13±11,7kg; SD:-4,7±14,5kg) |
| (Beedle et al., 2008)  | Bankdrücken und Beinpresse (1RM)                         | 2-3min zwischen Versuchen für 1RM, keine weiteren Angaben              | k.A.      | Reihenfolge:<br>Bankdrücken, Beinpresse                                                             | → 1RM                                                                               |

|                            |                                       |                                                                                                                             |                                  |                                            |                                                     |
|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| (Behm et al., 2004)        | isometr. Knieext. (MVC)               | 90° Knieflexion, 90° Hüftflexion                                                                                            | ICC(c,k)= 0,9                    | Random                                     | → MVC                                               |
| (Cometti et al., 2011)     | Isometr. Knieext. (MVC)               | 75° Knieflexion, 95° Hüftflexion                                                                                            | ICC= 0,97-0,99<br>CV= 5,80-8,98% | Erster Test                                | → MVC                                               |
| (Fortier et al., 2013)     | Isometr. Knieext. (MVC)               | 90° Knieflexion sitzend                                                                                                     | ICC= 0,992<br>CV= 6,4%           | Random                                     | → MVC                                               |
| (Fowles et al., 2000)      | isometr. Plantarflex. (MVC)           | 0°, 10° und 20° Dorsalextension, 90° Knieflexion, 90° Hüftflexion                                                           | k.A.                             | Random                                     | ↓ MVC (-28% post-0', -9% post-60')                  |
| (Heuser & Pincivero, 2010) | Isokin. Kneeflex. (PF; WH bei 50%PF)  | (konz) bei 90°/s                                                                                                            | ICC= 0,98<br>SEM= 5,25%          | Reihenfolge: PF, WH bei 50%PF              | → PF<br>→ WH                                        |
| (Kay & Blazeovich, 2008)   | Isometr. Plantarflex. (PT)            | Bauchlage, 20° Kniewinkel, 20° Dorsalextension                                                                              | k.A.                             | Nach Passivem Drehmoment und ROM Testung   | ↓ PT bei SD 4x15s (-16,7%)                          |
| (Knudson & Noffal, 2005)   | Isometr. Griffkraft (MVC)             | Gestreckte Ellbogen, Semipronation                                                                                          | k.A.                             | Erster Test                                | ↓ PF ab dem vierten Satz SD                         |
| (Kokkonen et al., 1998)    | Auxotone Knieflex. und Knieext. (1Rm) | An Nautilus© Geräten; eigenes Protokoll: Standardisiertes Startgewicht für Frauen und Männer; lineare Steigerung +5kg/Serie | k.A.                             | Reihenfolge: S&R-Test, Knieflex., Knieext. | ↓ 1Rm Knieextension (-8,1%) und Knieflexion (-7,3%) |

|                         |                                                     |                                                                        |                                     |                                                        |                                                                                   |
|-------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| (Konrad et al., 2019)   | Isometr. Plantarflex. (MVC)                         | 110° Hüftwinkel,<br>0° Kniewinkel,<br>10°<br>Dorsalextension           | k.A.                                | Reihenfolge:<br>ROM,<br>Passives<br>Drehmoment,<br>MVC | ↓ MVC<br>(-13,1Nm post-0', -5Nm post-5', -6,5Nm post-10')                         |
| (Konrad et al., 2017)   | Isometr. Plantarflex. (MVC)                         | 0°<br>Dorsalextension<br><br>Bauchlage<br><br>0° Knieflexion           | ICC(3,k) ≥ 0,96                     | Reihenfolge:<br>ROM,<br>Passives<br>Drehmoment,<br>MVC | MVC:<br>→ SD<br>↓ CRAC (-4,6%)                                                    |
| (Leone et al., 2014)    | isometr. Bankdrücken (RFD, PF, PF <sub>Time</sub> ) | Ellbogen gebeugt und Schultern 90°<br>Abduktion                        | k.A.                                | Erster Test                                            | ↓ PF (-6%)<br>→ RFD<br>→ PF <sub>Time</sub>                                       |
| (Manoel et al., 2008)   | Isokin. Knieext. (P <sub>max</sub> )                | (konz/konz)<br>60°/s und 180°/s                                        | 60°/s: r ≥ 0,90<br>180°/s: r ≥ 0,84 | Reihenfolge:<br>60°/s,<br>180°/s                       | → P <sub>max</sub>                                                                |
| (McBride et al., 2007)  | Isometr. Knieext. und Kniebeuge (PF; RFD)           | Knieext.: Sitzend, 100° Knieflexion<br><br>Kniebeuge: 100° Knieflexion | k.A.                                | Erster Test post-0', 1', 2', 4', 8', 16'               | ↓ PF Knieext. (-8,6%)<br><br>↓ PF Kniebeuge: pSD post-0' (-8%)<br>↓ RFD Kniebeuge |
| (Miranda et al., 2015)  | Hohe Ruderzüge (WH und Volume Load)                 | Sitzender Ruderzug am Gerät mit Brustunterstützung, 10RM 3 Serien      | 10RM-Test ICC= 0,95                 | Erster Test 3x max WH                                  | ↑ Volume Load (antagonisten pSD: -11%)                                            |
| (Miyahara et al., 2013) | isometr. Knieflex. (MVC)                            | Sitzend, 90° Knieflexion                                               | ICC= 0,921                          | Reihenfolge:<br>ROM,<br>MVC                            | ↓ MVC:<br>(pSD: -6,9% d=,044; CRAC: -7,1%)<br>CRAC = pSD                          |
| (Mizuno et al., 2013)   | Isometr. Plantarflex. (MVC; RFD)                    | 0° Knieflexion                                                         | ICC ≥ 0,90                          | Erster Test                                            | ↓ MVC (Rückkehr post-10', 15', 30')                                               |

|                        |                                                            |                                                                                                                  |                                                                                                         |                                                       |                                                                                                                                                                              |
|------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        |                                                            | 0°<br>Dorsalextension                                                                                            |                                                                                                         |                                                       | → RFD                                                                                                                                                                        |
| (Molacek et al., 2010) | Bankdrücken (1RM)                                          | Guideline nach ACSM (American College of Sports Medicine, 2017)                                                  | k.A.                                                                                                    | Erster Test                                           | → 1RM                                                                                                                                                                        |
| (Paula et al., 2012)   | Isometr. Griffkraft (PF)                                   | k.A.                                                                                                             | k.A.                                                                                                    | Erster Test                                           | PF:<br>↓ nur SD 3x60s (-15% Rückkehr post-5')                                                                                                                                |
| (Place et al., 2013)   | Isometr. Knieext. und Knieflex. (MVC)                      | 90° Knieflexion, 100° Hüftflexion                                                                                | k.A.                                                                                                    | Reihenfolge: ROM, evozierte Kontraktion, MVC, CMJ, DJ | → MVC                                                                                                                                                                        |
| (Power et al., 2004)   | isometr. Knieext. und Plantarflex. (MVC)                   | Knieext.: 90°<br>Knieflexion, 90°<br>Hüftflexion<br><br>Plantarflex.: 90°<br>Knieflexion, 10°<br>Dorsalextension | ICC= 0,85-0,97                                                                                          | Erster Test                                           | MVC Knieext.:<br>→ Post-0', 15'<br>↓ Post-60', 90', 120': (-8,4 bis 10,4%);                                                                                                  |
| (Reid et al., 2018)    | isometr. Knieext. und Knieflex. (PT, PT <sub>100ms</sub> ) | Sitzend, 60°<br>Knieflexion                                                                                      | PT: ICC= 0,77-0,9<br><br>CV= 10,1-13,6%<br><br>PT <sub>100ms</sub> :<br>ICC= 0,79-0,89<br>CV= 21,3-39,2 | Erster Test                                           | PT Knieext.:<br>↓ in 3x40s -- 7,2% (likely) post-0' und -- 5,1% (likely) post-0';<br><br>PT <sub>100ms</sub> :<br>↓ in 3x40s - 28,7% (likely) post-0';<br>Rückkehr post-10'; |
| (Ribeiro et al., 2014) | Bankdrücken (Volumen, Fatigue Index)                       | Volumen über 4 Serien bei 80% des 1RM; Fatigue Index = (WH                                                       | ICC≥ 0,98<br><br>SEM= 3,3kg<br><br>CV≤ 0,06                                                             | Erster Test                                           | → Volumen und Fatigue Index                                                                                                                                                  |

|                              |                                              |                                                    |                   |                                                    |                                                                                                            |
|------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              |                                              | Serie1) / (Wh<br>Serie 4)                          |                   |                                                    |                                                                                                            |
| (Rodrigues<br>et al., 2017)  | Isokin.<br>Knieext. (PT)                     | (Konz) 30°/s                                       | k.A.              | Erster Test                                        | ↓ PT                                                                                                       |
| (Ryan et al.,<br>2008)       | Isometr.<br>Plantarflex.<br>(PT)             | 0° Knieflexion,<br>0°<br>Dorsalextension           | k.A.              | Erster Test                                        | → PT                                                                                                       |
| (Sandberg<br>et al., 2012)   | isokin.<br>Knieext. (PT)                     | (konz) 60°/s und<br>300°/s                         | k.A.              | Erster Test                                        | ↑ PT (+8%)<br><br>nach<br>Antagonisten<br>pSD                                                              |
| (Sekir et al.,<br>2015)      | Isokin.<br>Knieext. und<br>Knieflex.<br>(PT) | (konz) dann (exz)<br>60°/s und 180°/s              | k.A.              | Genaue<br>Reihenfolge<br>unklar; konz.<br>vor exz. | ↓ PT (-10%) in<br>allen Tests                                                                              |
| (Sekir et al.,<br>2010)      | Isokin.<br>Knieext. und<br>Knieflex.<br>(PT) | (konz) dann (exz)<br>60°/s und 180°/s              | ICC=<br>0,90-0,98 | Genaue<br>Reihenfolge<br>unklar; konz.<br>vor exz. | ↓ PT in allen<br>Tests                                                                                     |
| (Sim et al.,<br>2015)        | Isokin.<br>Knieext. und<br>Knieflex.<br>(PT) | (konz/konz)<br>60°/s und 180°/s                    | k.A.              | k.A.                                               | → PT für<br>Knieext 60°/s<br>und 180°/s<br><br>→ PT Knieflex<br>60°/s<br><br>↑ PT Knieflex<br>180°/s (+9%) |
| (Stafilidis &<br>Tilp, 2015) | Isometr.<br>Knieext. (PT)                    | 110°Hüftflexion<br>60°Knieflexion                  | k.A.              | Reihenfolge:<br>ROM, MVC,<br>SJ, CMJ               | → PT                                                                                                       |
| (Trajano et<br>al., 2014)    | Isometr.<br>Plantarflex.<br>(PT)             | Sitzend<br>0° Knieflexion<br>0°<br>Dorsalextension | k.A.              | Erster Test                                        | PT:<br><br>↓ SD 5x1min (-<br>23,8±22,1%) <<br>SD 1x5min (-<br>14±17,2%)                                    |

|                          |                                                                                                |                                                      |          |                                                                                         |                                                                                                         |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Trajano et al., 2013)   | Isometr.<br>Plantarflex.<br><br>(PT)                                                           | Sitzend<br>0° Knieflexion<br>0°<br>Dorsalextension   | k.A.     | Reihenfolge:<br>evozierte<br>Kontraktion,<br>MVC                                        | ↓ PT<br>(15,7±19,6%)<br>→ PT post-15'                                                                   |
| (Walsh, 2017)            | Isokin.<br>Knieext. und<br>Knieflex.<br><br>(PT)                                               | (konz/konz)<br>120°/s                                | k.A.     | nach Knee<br>Joint Position<br>Sense                                                    | ↓ PT Knieext.<br>(-4%)                                                                                  |
| (Warren et al., 2014)    | Isokin.<br>Knieflex.<br><br>(PT, PT <sub>BW</sub> ,<br>W <sub>total</sub> , P <sub>avg</sub> ) | (konz)<br>60°/s und 180°/s                           | k.A.     | Reihenfolge:<br>60°/s, 120°/s                                                           | → PT, PT <sub>BW</sub> ,<br>W <sub>total</sub> , P <sub>avg</sub>                                       |
| (Winke et al., 2010)     | Isokin.<br>Knieflex.<br><br>(PT)                                                               | (konz) und (exz)<br>60°/s und 210°/s                 | k.A.     | Reihenfolge:<br>ROM, (konz)<br>60°/s, (konz)<br>210°/s, (exz)<br>60°/s, (exz)<br>210°/s | → PT                                                                                                    |
| (Yamaguchi et al., 2006) | Isotone<br>Knieext.<br><br>(PT, P <sub>peak</sub> ,<br>RFD)                                    | (konz)<br>Anlage über<br>Kabelzug und<br>Dynamometer | r ≥ 0,85 | Reihenfolge:<br>5%, 30%, 60%<br>MVC                                                     | ↓ P <sub>peak</sub><br>(bei 5% (-<br>12%), 30% (-<br>6%) und 60%<br>(-9%) MVC)<br><br>→ RFD<br><br>→ PT |

## 5 Diskussion

Im folgenden Kapitel soll auf die Anwendbarkeit der Ergebnisse eingegangen werden. Darüber hinaus werden mögliche Effekte beschrieben, die für zukünftige Untersuchungen relevant sein können und als Hypothesenbildung genutzt werden können. Limitationen der Arbeit bilden den Abschluss dieses Kapitels.

### 5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass statisches Dehnen mögliche kurzfristige leistungslimitierende Effekte auf Schnelligkeit, Explosivität und Kraft der

leistungserbringenden Muskeln bei gesunden Erwachsenen und Sportler\*innen erzeugen kann. Diese verminderte Leistung ist abhängig von der Dehndauer und möglicherweise von der Anzahl der Dehnungen sowie der Intensität. Für die letzten beiden Parameter ist nur eingeschränkte Evidenz vorhanden. Die Ergebnisse für Dehnen mit zwischengeschalteten Kontraktionen und rein passive SD sind in dieser Arbeit gleich. Für aktive statische Dehnungen liegen kaum Daten vor. Wird in Studien SD mit DD verglichen, so ergibt sich durchgehend eine bessere Leistungsfähigkeit nach dynamischen Dehnmethoden als nach statischen.

Teilt man die Bereiche der physischen Leistungsfähigkeit phänomenologisch auf, so wurden isokinetische und isometrische Widerstandsmessungen an den unteren Extremitäten am häufigsten untersucht und zeigen eine konsistente Methodik. Die maximale Kraftleistung nimmt je nach Studie zwischen 5 % und 28 % ab. Die meisten Studienergebnisse erreichten jedoch keine Signifikanz.

Weiters wurde die Sprungfähigkeit der Proband\*innen häufig als Ergebnisparameter betrachtet. Eine heterogene Messmethodik der zumeist vertikalen, beidbeinigen Sprungvarianten SJ, CMJ und DJ ist hervorzuheben. Insgesamt zeigt sich eine Reduktion der Ergebnisparameter zwischen –1 % und –8 %. Die meisten Studien zeigten wieder kein signifikantes Ergebnis.

Die Lauffähigkeit wurde vorrangig an 20 m- bis 40 m-Sprints sowie an unterschiedlichen COD-Läufen untersucht. Die linearen Sprints wurden primär unter Ausschluss der Reaktion, mittels fliegenden Starts und elektronischer Zeitnehmung, durchgeführt. Auch hier zeigte sich ein gemischtes Bild mit möglichen Leistungsminderungen um < 5 %.

Die möglichen negativen Effekte sind nur kurzzeitig nachgewiesen und reduzieren sich in allen betrachteten Studien innerhalb weniger Minuten. Manche Studien können aber auch adverse Effekte bis zu 90 Minuten nach der Intervention aufweisen. Alle Untersuchungen, welche zwischen der Dehnintervention und der Testung weitere Aktivitäten forderten – sei es durch zwischengeschaltete, nicht randomisierte Tests oder durch eine weitere Intervention – zeigen eine Auslöschung/Überlagerung der adversen Effekte durch SD.

### **Praktisch orientierte Interpretation der Ergebnisse:**

Aus den vorliegenden Daten kann darauf geschlossen werden, dass direkt nach SD die Möglichkeit einer geringeren Leistungsfähigkeit besteht. Diese hält nur kurz an und kann durch weitere Aufwärmstrategien reduziert werden. Der Einsatz von SD vor sportlicher Leistungserbringung muss dementsprechend zielgerichtet eingesetzt werden. In komplexen Sportarten wie Spiel- oder Kampfsportarten kann SD vor der sportlichen Tätigkeit eingesetzt werden, wenn eine erhöhte ROM für die Sportart



leistungsdeterminierend ist oder andere positive Effekte davon erhofft werden. Bei Sportarten, die eine spezialisiertere Kraft- oder Schnelligkeitsleistung erfordern, wie Leichtathletik oder reine Kraftsportarten, sollte von SD vor der sportlichen Tätigkeit wenn möglich abgeraten werden. Die einzige mögliche Ausnahme bietet hier das Dehnen der Gegenspielermuskulatur. Diese Methode ist vielversprechend, jedoch noch wenig erforscht. Das Dehnen der Gegenspieler zur leistungserbringenden Muskulatur, zum Beispiel dehnen der Hüftbeuger vor Sprüngen, könnte zu besseren Leistungen führen.

In allen Fällen sollten nach dem SD weitere aktivierende, sportartspezifische Aufwärmmethoden eingesetzt werden. Die scheinbar stark individuellen Effekte sollten mitbedacht werden. Die in den letzten Jahren zunehmend einfacher gewordene Feldmessung von Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Sprunghöhen etc. (Morin & Samozino, 2018) kann gerade bei Kraftsportler\*innen oder Leichtathlet\*innen ein schnelles Feedback über den möglichen Einsatz vorbereitender Methoden wie SD bringen. Als generelle Empfehlung kann zum Einsatz dynamischer Dehnmethode vor sportlicher Leistungserbringung geraten werden.

## **5.2 Offene Fragen und zukünftige Forschungspunkte**

### **Muskuläre Vordehnung bei Testung**

Muskelkraft ist abhängig vom Gelenkwinkel und unterschiedliche Muskeln weisen verschiedene Kraft-Längenkurven auf (Kellis et al., 2019; Yamauchi & Koyama, 2019; Yang et al., 2014). Wie in Tabelle 8 und Tabelle 11 ersichtlich, wurden unterschiedliche Ausgangslagen und Gelenkwinkel zur Testung der Kraft ausgewählt. Diese Krafttestungen sind dabei häufig historisch gewachsen und richten sich nach klinischen Tests (Janda, 2013), nach apparativem Aufbau oder nach der stärksten Gelenkposition (Konrad et al., 2017; Konrad et al., 2019). Diskutabel wird diese Messmethode am Beispiel der Testung der Kniestrecker und Kniebeuger, die insgesamt häufig untersucht wurden. Tabelle 9 zeigt alle Studien, die isokinetisch oder isometrisch Kniestrecker und Kniebeuger testeten. Wurden die Proband\*innen dabei im aufrechten Sitz getestet, ergibt sich für die zweigelenkige Muskulatur der Hüftbeuger, also die ischiocrurale Gruppe, eine Vordehnung. Für die Kniestrecker ergibt sich nur für einen Anteil der primären arbeitenden Muskelgruppe, M. quadrizeps femoris, eine proximale Verkürzung. Inwieweit die Kraftentwicklung nach Dehninterventionen von diesem Unterschied modifiziert wird, wird in keinem der hier analysierten Artikel untersucht.

Eine Autor\*innengruppe betrachtete jedoch die isometrische Kraft der Plantarflexoren in drei unterschiedlichen Winkeln nach pSD (Fowles et al., 2000). Die Autor\*innen konnten keinen Unterschied zwischen den isometrischen Kraftwerten bei 10°, 20° und 30°

Plantarflexion nach  $13 \times 2 \text{ min}$  pSD finden. Die Autor\*innen erruieren die Effekte auf die unterschiedlichen Winkel jedoch erst 30 min und 60 min nach der Intervention. Hier zeigen sich keine Veränderungen der Kraft im Verhältnis zur Gelenksstellung.

Einen weiteren Ansatz zur Analyse von Gelenkwinkel und Leistungserbringung unter Einfluss von pSD bieten La Torre et al. (2010). Die Autor\*innen betrachteten die Sprungleistung bei einem Squat Jump aus verschiedenen, vorher festgelegten Kniewinkeln nach pSD. In der Studie zeigte sich, laut Interpretation der Autor\*innen, eine Veränderung des optimalen Absprungwinkels nach Dehnung der Knieextensoren und Plantarflexoren. Mit zunehmender Kniebeugung beim Squat Jump verringert sich der negative Effekt durch vorhergehende Dehnung (La Torre et al., 2010). Es sollte jedoch angemerkt werden, dass in dieser Studie keine Randomisierung der Absprungwinkel geschah und der Effekt auch durch ein Aufwärmen erklärt werden könnte. Außerdem bleibt damit offen, ob der sich ändernde, potenziell optimale Kniewinkel sich selbstregulierend im System Athlet\*in anpasst.

Als Limitierung der Methodik von La Torres et al. (2010) ist die Messmethode zu nennen. So analysierten die Autor\*innen die kinematischen Daten über eine markerlose, zweidimensionale Videoaufnahme und eine nicht validierte Berechnungsmethode. Damit bleibt die Frage offen, ob die Leistungsfähigkeit nach SD abhängig von der getesteten Winkelstellung beziehungsweise der Länge des Muskels während der Testung ist.

### **Zusammenhang akuter ROM-Veränderung und Testergebnisse**

Dehnen wird vorrangig zur kurzfristigen oder langfristigen Verbesserung der Beweglichkeit eingesetzt und es zeigt sich in Übersichtsarbeiten, dass SD effektiv ist, um die ROM akut zu verändern (Behm, Blazeovich et al., 2016). In vorliegender Arbeit wurden die Effekte von Dehnen auf andere Leistungsparameter betrachtet. Hier zeigen sich gemischte Ergebnisse mit insgesamt möglichen negativen Auswirkungen von SD auf Kraft, Schnelligkeit und Explosivität. Nicht betrachtet werden konnte jedoch, ob es einen Zusammenhang zwischen der Veränderung der ROM und dem Einfluss auf obige Leistungsparameter gibt. Zwei der inkludierten Studien diskutieren einen solchen Einfluss.

Favero et al. (2016) betrachten an zehn männlichen Studenten die Auswirkungen von SD auf den Sit-and-Reach-Test und einen 40 m-Sprint. Insgesamt zeigt sich kein Einfluss von SD auf die Sprintleistung. Der Sit-and-Reach-Test verändert sich erwartungsgemäß nur in der Interventionsgruppe ( $p < 0,05$ ). Post hoc fanden die Autor\*innen einen linearen Zusammenhang zwischen Beweglichkeit vor der Intervention und Sprintleistung nach der Intervention, wobei unbeweglichere Probanden schneller liefen ( $p = 0,03$ ,  $r = -0,68$ ). Darüber hinaus zeigten die Autor\*innen einen linearen Zusammenhang zwischen

Beweglichkeit vor der Intervention und Verbesserung der ROM durch die Intervention. Je höher die Beweglichkeit vorher, desto eher vergrößerte sich die ROM durch SD akut ( $p = 0,006$ ;  $r = -0,8$ ). Kritisiert werden kann hier, dass dies nicht die eigentliche Fragestellung der Forschungsarbeit von Favero et al. (2009) war, jedoch das einzige Ergebnis, das Signifikanz erreichte sowie vollständig dokumentiert wurde. Nur neun von zehn Datenpunkten sind in der Auswertung aufzufinden, ohne dass die Autor\*innen hierfür eine Erklärung abgeben.

Wakefield und Cottrell (2015) testen die Auswirkungen von pSD der Hüftbeuger und Hüftstrecker auf die Sprunghöhe beim CMJ an 15 männlichen Hobbysportlern. Zusätzlich zur Sprunghöhe am Vertec maßen die Autor\*innen die ROM der Hüfte in der Sagittalebene mit einer eigenen Messmethode. Im Gegensatz zu Favero fanden die Autor\*innen keinen Zusammenhang zwischen Beweglichkeit vor der Intervention und Veränderung der Beweglichkeit. Auch zeigte sich bei Wakefield und Cottrell (2015) kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Veränderung der Hüftextensionsfähigkeit und Sprunghöhe. Auch in dieser Studie wurden Datenpunkte in den Punktdiagrammen vorenthalten, ohne dass das Verbleiben der drei Datenpunkte erläutert wird. Außerdem berichtet die Studie Ergebnisse scheinbar willkürlich in Prozentpunkten oder in Absolutwerten und gibt in Balkendiagrammen den Mittelwert  $\pm$  SEM anstelle der Standardabweichung an (vergleiche Nagele, 2003).

Insgesamt kann mit nur wenigen inkludierten Studien nicht davon ausgegangen werden, dass die Veränderung der ROM durch SD eine Moderatorvariable der Veränderung der Kraft, Schnelligkeits- oder Explosivitätsfertigkeiten ist. Weitere Studien, die sich explizit mit dieser Fragestellung beschäftigen, sind von Nöten.

### **Interindividuelle Effekte:**

Mehrere inkludierte Studien weisen in deren Diskussionsteil auf einen möglichen interindividuellen Effekt hin. Individuell variable Effekte durch Interventionen werden bereits in verschiedenen Bereichen der Trainingswissenschaften diskutiert (Peltonen et al., 2018; Williams et al., 2017). Während sich frühere Beschreibungen mit einer Dichotomie zwischen *Responder* und *Non-Responder* zufriedengaben, wird heute klar, dass Variabilität aus mehreren Faktoren besteht, die mithilfe von Crossover-Studien betrachtet werden können und spezifische statistische Auswertungen benötigen (Atkinson et al., 2019). In keiner der hier betrachteten Studien wurde eine solche Analyse gewählt und die Interpretation der interindividuellen Effekte muss daher mit Vorsicht betrachtet werden.

In einer Studie zur Sprintleistung wurden die Probanden nach der Auswertung am Median in zwei Leistungsgruppen geteilt. Die Autor\*innen (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros,

Protopapa et al., 2016) beschrieben, dass sich die sogenannten „moderate performer“ durch 10 und 15 s pSD in ihrer Sprintleistung um +4,2 % und +4,1 % mehr verbesserten als die „high performer“ ( $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,25$  für 10 m und  $\eta^2 = 0,35$  für 20 m). Auch ist eine Verbesserung des *Agility T-Tests* bei den „moderate performers“ signifikant, was sie in der gesamten Gruppe nicht wurde. Die Teilung am Median wurde von den Autor\*innen jedoch nicht begründet und eine Regressionsanalyse, wie sie von Voisin et al. (2019) vorschlagen wird, fehlt.

Bishop und Middleton (2013) merken interindividuelle Unterschiede lediglich in der Diskussion an und begründen damit die nicht signifikanten Ergebnisse ihrer Untersuchung. Sie stellen die individuellen Ergebnisse jedoch nicht dar. In gleicher Weise gehen Curry et al. (2009) vor. Auch Dalrymple et al. (2010) berichten von Proband\*innen mit Verbesserungen und jenen mit Verschlechterungen der Sprunghöhen nach SD. Sie geben jedoch zusätzlich an, dass die individuellen Unterschiede größer wären als der typische Messfehler der Sprunghöhe mittels Kraftmessplatte.

Auch Knudson et al. (2001) konnten insgesamt kein Signifikanzlevel erreichen, berichten aber von einer Verbesserung der Sprungleistung bei 35 % der Proband\*innen und einer Verschlechterung bei 10 %. Die Autoren diskutieren hierzu die Erwartungshaltung der Proband\*innen als Einflussfaktor, den sie nicht vorab erfragt haben.

Murphy et al. (2010) werteten die Interaktion der Sprunghöhe mit der Prä- und Postintervention einzelner Probanden statistisch aus. Sie zeigten eine Effektstärke von  $\eta^2 = 0,105$  für die Interaktion. Diese Effektstärke beschreiben sie als „Medium“, was nicht mit Cohen's (2013) Definition, die sie als Grundlage angeben, übereinstimmt.

Sandberg et al. (2012) beschreiben interindividuelle Effekte auf die Sprunghöhe beim CMJ und auf Kraft und Leistung bei isokinetischer Knieextension und Knieflexion. Die Autor\*innen diskutieren die Ursprungsbeweglichkeit vor der Intervention als Modulator, haben aber keine Messung der ROM durchgeführt.

Insgesamt beschreiben alle hier genannten Studien interindividuelle Effekte, ohne ein klares methodisches Vorgehen zu dokumentieren. Es ist auffällig, dass lediglich Studien mit nicht signifikantem Ergebnis von interindividuellen Effekten berichten und keine der hier dargestellten Studien solche Effekte aus a priori gesetzten Hypothesen verfolgt haben. Zusammengefasst bleibt hiermit die Frage nach interindividuellen Effekten offen und sollte in zukünftigen Untersuchungen betrachtet werden.

### **Erwartungshaltungen:**

Ein weiterer von einigen Autor\*innen diskutierter Faktor ist die Erwartungshaltung der Proband\*innen und Forscher\*innen in Bezug auf die Wirksamkeit der Interventionen. Wie

in Kapitel 2.3 ersichtlich, ist die Verblindung der Studien nur sehr eingeschränkt gegeben beziehungsweise schwierig durchzuführen. Dies macht die Erwartungshaltung zu einem Risikofaktor für Verzerrungen (Higgins et al., 2019).

Jedoch hat auch nur eine Studie zumindest die Erwartungshaltung ihrer männlichen Probanden vor der Intervention abgefragt und analysiert (Blazevich et al., 2018). Die hier analysierten Teamsportler ( $21,1 \pm 3,1$  Jahre) glaubten insgesamt, dass DD vor den Leistungstests besser sei als SD. Jedoch konnten Blazevich et al. (2018) keinen Zusammenhang mit den Ergebnissen der Sprungtests beobachten.

Beckett et al. (2009) fragten die männlichen Teamsportathleten ( $23 \pm 0,4$  Jahre), ob sie gerne zwischen Übungen dehnen würden. Dabei gaben 50 % der Teilnehmer an, dass sie dies gerne tun würden. Auch hier ergaben sich keine Zusammenhänge zwischen der Präferenz und den Auswirkungen der Dehnungen auf RSA-Tests.

Fletcher et al. (2010) und Knudson et al. (2001) nehmen an, dass Partizipant\*innen SD bevorzugen beziehungsweise glauben, dass es besser sei, zu dehnen. Beide Studien gaben dafür jedoch keine Begründung an.

Sekir et al. (2010) nahmen genau entgegengesetzt an, dass die Teilnehmer „wüssten“ dass statisches Dehnen die Leistung minimiert. Sie beschrieben aber ebenfalls nicht den Ursprung dieser Aussage.

Insgesamt kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob Proband\*innen starke Erwartungen gegenüber den Interventionen hatten. Es kann angenommen werden, dass sich das Vorwissen innerhalb der Studien stark unterscheidet, da sehr unterschiedliche Stichproben analysiert wurden. Es gibt in den vorliegenden Studien keine Hinweise darauf, dass Erwartungshaltungen die Ergebnisse der Interventionen beeinflussen.

### 5.3 Limitationen

Wie bereits in Kapitel 2.3 ersichtlich, ist die Qualität der einzelnen integrierten Studien eingeschränkt. Große Limitation ergeben sich naturgemäß bei der Verblindung der Studienteilnehmer\*innen und Untersucher\*innen. Aufgrund der Menge an Crossover Studien, soll hier zusätzlich auf Einschränkungen, die sich aus diesem Studiendesign ergeben können, eingegangen werden.

Die Wash-out Phasen zwischen den Interventionen wurde als Inklusionskriterium auf mindestens einen Tag gelegt (Siehe Kapitel 2.1). Aus den gesammelten Daten zu den akuten Effekten durch SD, wurde die Annahme, dass dies eine ausreichende Zeitspanne ist, verifiziert. Ein zweites Problem bei Crossover-Studien können laut dem Cochrane Handbook *period effects*, aufgrund ablaufender Zeit sein (Higgins et al., 2019). Jedoch

wurde bei allen inkludierten Studien eine gleiche Anzahl an Proband\*innen in die Gruppen aufgenommen.

Schließlich wird als weitere Problematik ein erhöhtes Risiko an Dropouts angeführt. Diese Limitation muss in der vorliegenden Arbeit ernst genommen werden. Wie mehrmals in den Ergebnissen angemerkt, wurden offensichtlich nicht immer alle Proband\*innen in die Resultate aufgenommen. Dies zeigte sich dann, wenn die Ergebnisse für einzelne Proband\*innen zum Beispiel als Punktdiagramme dargestellt wurden. Dabei kam es oft dazu, dass weniger Punkte als angegebene Proband\*innen eingezeichnet waren. Ob dies aufgrund (gezielter) Exklusion von Daten oder aufgrund der Drop-outs geschah, konnte dann jedoch nicht immer eruiert werden (Bacurau et al., 2009; Dalrymple et al., 2010; Favero et al., 2009; Stafilidis & Tilp, 2015; Wakefield & Cottrell, 2015).

Eine weitere Limitation der Studienqualität, die nicht durch die PEDro Skala abgebildet wurde, betrifft die Darstellung der Ergebnisse. Einige Studien begnügen sich mit einer Darstellung der Ergebnisse in Balkendiagrammen, ohne die Werte hierzu anzugeben. In diesen Fällen wurden, wenn nötig die Werte mittels graphischer Analyse extrahiert. Dies weist naturgemäß eine Unschärfe auf. Teilweise wurden die Ergebnisse mit dem arithmetischen Mittelwert angegeben und als Streuwert die SEM (Behm et al., 2004; Manoel et al., 2008; Place et al., 2013; Wakefield & Cottrell, 2015) oder es wird auf Streuungsmaße ganz verzichtet, was ein falsches Bild der Ergebnisse zeigen kann.

Zusammengenommen zeigt sich eine große Heterogenität in den Test-Parametern als auch in den Dehninterventionen. Die Dehnintensität wird in fast allen Studien lediglich subjektiv definiert. Diese Limitation sollte in zukünftigen Studien durch den Einsatz von Dynamometern oder externen Gewichten reduziert werden.

Eine Limitation der gesamten Arbeit ist, dass lediglich englische und deutsche Artikel inkludiert werden konnten. Einige auf Grund des *Abstracts* relevante Studien wurden jedoch zum Beispiel in japanischer Sprache verfasst und konnten nicht inkludiert werden da ein Volltextstudium nicht möglich war. Mine et al. (2016) analysierten japanisch sprachige Literatur zum Dehnen. Sie kamen bei sieben RCTs zu dem Schluss, dass diese Studien keine zusätzlichen Informationen beinhalten.

Schließlich kann die alleinige Verfassung durch einen Autor dieses systematischen Artikels als Limitation betrachtet werden. Mehrere Gutachter, können die Validität der Ergebnisse heben.

## Literaturverzeichnis

- Aggarwal, R. & Ranganathan, P. (2019). Study designs: Part 4 - Interventional studies. *Perspectives in clinical research*, 10(3), 137–139.  
[https://doi.org/10.4103/picr.PICR\\_91\\_19](https://doi.org/10.4103/picr.PICR_91_19)
- Aguilar, A. J., DiStefano, L. J., Brown, C. N., Herman, D. C., Guskiewicz, K. M. & Padua, D. A. (2012). A dynamic warm-up model increases quadriceps strength and hamstring flexibility. *Journal of strength and conditioning research*, 26(4).  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822e58b6>
- Alp, M. (2020). Acute effects of static and dynamic stretching exercises on isokinetic strength of hip flexion-extension in male handball players. *Progress in Nutrition*, 22(1), 161–166. <https://doi.org/10.23751/pn.v22i1.9209>
- Alp, M., Çatıkkaş, F. & Kurt, C. (2018). Acute effects of static and dynamic stretching exercises on lower extremity isokinetic strength in taekwondo athletes. *Isokinetics and Exercise Science*, 26(4), 307–311. <https://doi.org/10.3233/IES-183159>
- Alter, M. J. (2004). *Science of flexibility* (3. ed.). Human Kinetics.
- American College of Sports Medicine. (2017). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (Tenth edition). Lippincott Williams & Wilkins.
- Andrade, D. C., Henriquez–Olguín, C., Beltrán, A. R., Ramírez, M. A., Labarca, C., Cornejo, M., Álvarez, C. & Ramírez-Campillo, R. (2015). Effects of general, specific and combined warm-up on explosive muscular performance. *Biology of Sport*, 32(2), 123–128. <https://doi.org/10.5604/20831862.1140426>
- Andrade, R. J., Freitas, S. R., Hug, F., Le Sant, G., Lacourpaille, L., Gross, R., Quillard, J.-B., McNair, P. J. & Nordez, A. (1985). Chronic effects of muscle and nerve-directed stretching on tissue mechanics. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 129(5), 1011–1023. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00239.2019>
- Atkinson, G., Williamson, P. & BATTERHAM, A. M. (2019). Issues in the determination of 'responders' and 'non-responders' in physiological research. *Experimental physiology*, 104(8), 1215–1225. <https://doi.org/10.1113/EP087712>
- Avloniti, A., Chatzinikolaou, A., Fatouros, I. G., Avloniti, C., Protopapa, M., Draganidis, D., Stampoulis, T., Leontsini, D., Mavropalias, G., Gounelas, G. & Kambas, A. (2016). The Acute Effects of Static Stretching on Speed and Agility Performance Depend on Stretch Duration and Conditioning Level. *Journal of strength and conditioning research*, 30(10), 2767–2773. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000568>
- Avloniti, A., Chatzinikolaou, A., Fatouros, I. G., Protopapa, M., Athanailidis, I., Avloniti, C., Leontsini, D., Mavropalias, G. & Jamurtas, A. Z. (2016). The effects of static stretching

- on speed and agility: One or multiple repetition protocols? *European journal of sport science*, 16(4), 402–408. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1028467>
- Ayala, F., Ste Croix, M. de, Sainz de Baranda, P. & Santonja, F. (2015). Acute effects of two different stretching techniques on isokinetic strength and power. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 8(3), 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2014.06.003>
- Bacurau, R. F., Monteiro, G. A., Ugrinowitsch, C., Tricoli, V., Cabral, L. F. & Aoki, M. S. (2009). Acute effect of a ballistic and a static stretching exercise bout on flexibility and maximal strength. *Journal of strength and conditioning research*, 23(1). <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181874d55>
- Barbosa, G. M., Dantas, G. A. F., Pinheiro, S. M., Rêgo, J. T. P., Oliveira, T. L. C., Silva, K. K. F., Dantas, P. M. S. & Brito Vieira, W. H. (2020). Acute effects of stretching and/or warm-up on neuromuscular performance of volleyball athletes: a randomized cross-over clinical trial. *Sport Sciences for Health*, 16(1), 85–92. <https://doi.org/10.1007/s11332-019-00576-8>
- Barroso, R., Tricoli, V., Santos Gil, S. D., Ugrinowitsch, C. & Roschel, H. (2012). Maximal strength, number of repetitions, and total volume are differently affected by static-, ballistic-, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. *Journal of strength and conditioning research*, 26(9), 2432–2437. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f2b4d>
- Beckett, J. R. J., Schneiker, K. T., Wallman, K. E., Dawson, B. T. & Guelfi, K. J. (2009). Effects of static stretching on repeated sprint and change of direction performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(2), 444–450. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181867b95>
- Beedle, B., Rytter, S. J., Healy, R. C. & Ward, T. R. (2008). Pretesting static and dynamic stretching does not affect maximal strength. *Journal of strength and conditioning research*, 22(6), 1838–1843. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181821bc9>
- Behm, D. G. (2019). *The science and physiology of flexibility and stretching: Implications and applications in sport performance and health*. Routledge.
- Behm, D. G., Bambury, A., Cahill, F. & Power, K. (2004). Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time, and movement time. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(8), 1397–1402. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000135788.23012.5f>
- Behm, D. G., Blazevich, A. J., Kay, A. D. & McHugh, M. (2016). Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* =



*Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 41(1), 1–11.

<https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0235>

- Behm, D. G., Cavanaugh, T., Quigley, P., Reid, J. C., Nardi, P. S. M. & Marchetti, P. H. (2016). Acute bouts of upper and lower body static and dynamic stretching increase non-local joint range of motion. *European journal of applied physiology*, 116(1), 241–249. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3270-1>
- Behm, D. G. & Chaouachi, A. (2011). A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *European journal of applied physiology*, 111(11), 2633–2651. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1879-2>
- Bertolaccini, A. L., da Silva, A. A., Teixeira, E. L., Schoenfeld, B. J. & Salles Painelli, V. de (2019). Does the Expectancy on the Static Stretching Effect Interfere With Strength-Endurance Performance? *Journal of strength and conditioning research*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003168>
- Bishop, D. & Middleton, G. (2013). Effects of static stretching following a dynamic warm-up on speed, agility and power. *Journal of Human Sport and Exercise*, 8(2), 391–400. <https://doi.org/10.4100/jhse.2012.82.07>
- Blazevich, A. J., Gill, N. D., Kvorning, T., Kay, A. D., Goh, A. G., Hilton, B., Drinkwater, E. J. & Behm, D. G. (2018). No Effect of Muscle Stretching within a Full, Dynamic Warm-up on Athletic Performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 50(6), 1258–1266. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001539>
- Bohannon, R. W. (2015). Muscle strength: clinical and prognostic value of hand-grip dynamometry. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, 18(5), 465–470. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000202>
- Bradley, P. S., Olsen, P. D. & Portas, M. D. (2007). The effect of static, ballistic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on vertical jump performance. *Journal of strength and conditioning research*, 21(1), 223–226. <https://doi.org/10.1519/00124278-200702000-00040>
- Brandenburg, J., Pitney, W. A., Luebbers, P. E., Veera, A. & Czajka, A. (2007). Time course of changes in vertical-jumping ability after static stretching. *International journal of sports physiology and performance*, 2(2), 170–181. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2.2.170>
- Brown, L. & Weir, J. (2001). ASEP Procedures recommendation I: Accurate assessment of muscular strength and power. *Journal of Exercise Physiology Online*, 4, 1–21.
- Cè, E., Margonato, V., Casasco, M. & Veicsteinas, A. (2008). Effects of stretching on maximal anaerobic power: the roles of active and passive warm-ups. *Journal of*

*strength and conditioning research*, 22(3), 794–800.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a4353>

Chaabène, H., Behm, D. G., Negra, Y. & Granacher, U. (2019). Acute Effects of Static Stretching on Muscle Strength and Power: An Attempt to Clarify Previous Caveats. *Frontiers in physiology*, 10, 1468. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01468>

Christensen, B. K. & Nordstrom, B. J. (2008). The effects of proprioceptive neuromuscular facilitation and dynamic stretching techniques on vertical jump performance. *Journal of strength and conditioning research*, 22(6).

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31817ae316>

Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>

Cometti, C., Deley, G. & Babault, N. (2011). Effects of Between-Set Interventions on Neuromuscular Function During Isokinetic Maximal Concentric Contractions of the Knee Extensors. *Journal of Sports Science & Medicine*, 10(4), 624–629.

Coulson, M. & Archer, D. (2011). *Practical Fitness Testing: Analysis in Exercise and Sport. Fitness Professionals Ser.* Bloomsbury Publishing PLC.

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=5548502>

Cramer, J. T., Housh, T. J., Weir, J., Johnson, G. O., Coburn, J. W. & Beck, T. W. (2005). The acute effects of static stretching on peak torque, mean power output, electromyography, and mechanomyography. *European journal of applied physiology*, 93(5-6), 530–539. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1199-x>

Curry, B. S., Chengkalath, D., Crouch, G. J., Romance, M. & Manns, P. J. (2009). Acute effects of dynamic stretching, static stretching, and light aerobic activity on muscular performance in women. *Journal of strength and conditioning research*, 23(6), 1811–1819. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b73c2b>

Dalrymple, K. J., Davis, S. E., Dwyer, G. B. & Moir, G. L. (2010). Effect of static and dynamic stretching on vertical jump performance in collegiate women volleyball players. *Journal of strength and conditioning research*, 24(1), 149–155.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b29614>

Evetovich, T. K., Nauman, N. J., Conley, D. S. & Todd, J. B. (2003). Effect of Static Stretching of the Biceps Brachii on Torque, Electromyography, and Mechanomyography During Concentric Isokinetic Muscle Actions. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(3), 484. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0484:EOSSOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0484:EOSSOT>2.0.CO;2)

- Favero, J. P., Midgley, A. W. & Bentley, D. J. (2009). Effects of an acute bout of static stretching on 40 m sprint performance: influence of baseline flexibility. *Research in sports medicine (Print)*, 17(1). <https://doi.org/10.1080/15438620802678529>
- Fjerstad, B. M., Hammer, R. L., Hammer, A. M., Connelly, G., Lomond, K. V. & O'Connor, P. (2018). Comparison of Two Static Stretching Procedures on Hip Adductor Flexibility and Strength. *International Journal of Exercise Science*, 11(6), 1074–1085.
- Fletcher, I. M. & Monte-Colombo, M. M. (2010). An investigation into the effects of different warm-up modalities on specific motor skills related to soccer performance. *Journal of strength and conditioning research*, 24(8), 2096–2101. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e312db>
- Fortier, J., Lattier, G. & Babault, N. (2013). Acute effects of short-duration isolated static stretching or combined with dynamic exercises on strength, jump and sprint performance. *Science & Sports*, 28(5), e111-e117. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2012.11.003>
- Fowles, J. R., Sale, D. G. & MacDougall, J. D. (2000). Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 89(3), 1179–1188. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.3.1179>
- Fradkin, A. J., Zazryn, T. R. & Smoliga, J. M. (2010). Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with meta-analysis. *Journal of strength and conditioning research*, 24(1). <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c643a0>
- Freitas, S. R., Mendes, B., Le Sant, G., Andrade, R. J., Nordez, A. & Milanovic, Z. (2018). Can chronic stretching change the muscle-tendon mechanical properties? A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 28(3), 794–806. <https://doi.org/10.1111/sms.12957>
- Gelen, E. (2010). Acute effects of different warm-up methods on sprint, slalom dribbling, and penalty kick performance in soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 24(4), 950–956. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cb703f>
- Hachana, Y., Chaabène, H., Nabli, M. A., Attia, A., Moualhi, J., Farhat, N. & Elloumi, M. (2013). Test-retest reliability, criterion-related validity, and minimal detectable change of the Illinois agility test in male team sport athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(10), 2752–2759. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182890ac3>
- Haff, G. G. & Triplett, N. T. (Hrsg.). (2016). *Essentials of strength training and conditioning* (4th edition). Human Kinetics.

- Handrakis, J. P., Southard, V. N., Abreu, J. M., Aloisa, M., Doyen, M. R., Echevarria, L. M., Hwang, H., Samuels, C., Venegas, S. A. & Douris, P. C. (2010). Static stretching does not impair performance in active middle-aged adults. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 825–830. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ad4f89>
- Hara, M., Shibayama, A., Takeshita, D. & Fukashiro, S. (2006). The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping. *Journal of biomechanics*, 39(13), 2503–2511. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.07.030>
- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N. & Rosenstein, R. M. (1990). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22(6), 825–833. <https://doi.org/10.1249/00005768-199012000-00015>
- Harmancı, H. & Karavelioğlu, M. (2017). Effects of different warm-up methods on repeated sprint performance. *Biomedical Research*, 28, 7540–7545.
- Hartmann, H., Wirth, K., Keiner, M., Mickel, C., Sander, A. & Szilvas, E. (2015). Short-term Periodization Models: Effects on Strength and Speed-strength Performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(10), 1373–1386. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0355-2>
- Heuser, M. & Pincivero, D. M. (2010). The effects of stretching on knee flexor fatigue and perceived exertion. *Journal of sports sciences*, 28(2), 219–226. <https://doi.org/10.1080/02640410903460718>
- Higgins, J. P., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J. & Welch, V. A. (Hrsg.). (2019). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 6.0 (updated July 2019)*. Cochrane. [www.training.cochrane.org/handbook](http://www.training.cochrane.org/handbook)
- Hottenrott, K. & Neumann, G. (2020). *Trainingswissenschaft: Ein Lehrbuch in 14 Lektionen* (4. Aufl.). *Sportwissenschaft studieren: Bd. 7*. Meyer et Meyer Verlag.
- Hough, P. A., Ross, E. Z. & Howatson, G. (2009). Effects of dynamic and static stretching on vertical jump performance and electromyographic activity. *Journal of strength and conditioning research*, 23(2), 507–512. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181818cc65d>
- Islamoglu, I., Atan, T., Unver, S. & Cavusoglu, G. (2016). Effects of Different Durations of Static Stretching on Flexibility, Jumping, Speed and Agility Performance. *The Anthropologist*, 23(3), 454–461. <https://doi.org/10.1080/09720073.2014.11891966>
- Janda, V. (2013). *Muscle Function Testing*. Elsevier Science. <http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1817646>

- Jeffreys, I. (2007). Jeffreys I (2007) Warm-up revisited: The ramp method of optimizing warm-ups. *Professional Strength and Conditioning*. (6) 12-18. *Professional Strength and Conditioning*, 12–18.
- Jelmini, J. D., Cornwell, A., Khodiguian, N., Thayer, J. & Araujo, A. J. (2018). Acute effects of unilateral static stretching on handgrip strength of the stretched and non-stretched limb. *European journal of applied physiology*, 118(5), 927–936.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-018-3810-6>
- Jorge, F., Rangel, L., Mota, H. R., Morales, A., Costa, L., Coelho, G. & Ribeiro, B. (2014). Acute effects of passive stretching on muscle power performance. *Journal of Exercise Physiology Online*, 17, 81–89.
- Kallerud, H. & Gleeson, N. (2013). Effects of stretching on performances involving stretch-shortening cycles. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(8), 733–750.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-013-0053-x>
- Kay, A. D. & Blazeovich, A. J. (2008). Reductions in active plantarflexor moment are significantly correlated with static stretch duration. *European journal of sport science*, 8(1), 41–46. <https://doi.org/10.1080/17461390701855505>
- Kellis, E., Ellinoudis, A. & Kofotolis, N. (2019). Effect of Hip Flexion Angle on the Hamstring to Quadriceps Strength Ratio. *Sports*, 7(2).  
<https://doi.org/10.3390/sports7020043>
- Kendall, B. J. (2017). The Acute Effects of Static Stretching Compared to Dynamic Stretching with and without an Active Warm up on Anaerobic Performance. *International Journal of Exercise Science*, 10(1), 53–61.
- Killen, B. S., Zelizney, K. L. & Ye, X. (2019). Crossover Effects of Unilateral Static Stretching and Foam Rolling on Contralateral Hamstring Flexibility and Strength. *Journal of sport rehabilitation*, 28(6), 533–539. <https://doi.org/10.1123/jsr.2017-0356>
- Kistler, B. M., Walsh, M. S., Horn, T. S. & Cox, R. H. (2010). The acute effects of static stretching on the sprint performance of collegiate men in the 60- and 100-m dash after a dynamic warm-up. *Journal of strength and conditioning research*, 24(9).  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e58dd7>
- Knudson, D. V. (2009). Correcting the use of the term "power" in the strength and conditioning literature. *Journal of strength and conditioning research*, 23(6), 1902–1908. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b7f5e5>
- Knudson, D. V., Bennett, K., Corn, R., Leick, D. & Smith, C. M. (2001). Acute effects of stretching are not evident in the kinematics of the vertical jump. *Journal of strength and conditioning research*, 15(1), 98–101.

- Knudson, D. V. & Noffal, G. (2005). Time course of stretch-induced isometric strength deficits. *European journal of applied physiology*, 94(3). <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1309-9>
- Kokkonen, J., Nelson, A. G. & Cornwell, A. (1998). Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Research quarterly for exercise and sport*, 69(4), 411–415. <https://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607716>
- Konrad, A., Reiner, M. M., Thaller, S. & Tilp, M. (2019). The time course of muscle-tendon properties and function responses of a five-minute static stretching exercise. *European journal of sport science*, 19(9), 1195–1203. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1580319>
- 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. <https://doi.org/10.1111/sms.12725>
- Koo, T. K. & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of chiropractic medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Kruse, N. T., Barr, M. W., Gilders, R. M., Kushnick, M. R. & Rana, S. R. (2013). Using a practical approach for determining the most effective stretching strategy in female college division I volleyball players. *Journal of strength and conditioning research*, 27(11), 3060–3067. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828bf2b6>
- Kruse, N. T., Barr, M. W., Gilders, R. M., Kushnick, M. R. & Rana, S. R. (2015). Effect of different stretching strategies on the kinetics of vertical jumping in female volleyball athletes. *Journal of Sport and Health Science*, 4(4), 364–370. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.06.003>
- 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>
- La Torre, A., Castagna, C., Gervasoni, E., Cè, E., Rampichini, S., Ferrarin, M. & Merati, G. (2010). Acute effects of static stretching on squat jump performance at different knee starting angles. *Journal of strength and conditioning research*, 24(3). <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c7b443>
- Lefebvre, C., Manheimer, E. & Glanville J. (2019). Chapter 6: Searching for studies. In J. P. Higgins, J. Thomas, J. Chandler, M. Cumpston, T. Li, M. J. Page & V. A. Welch

(Hrsg.), *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. Version 5.1.0* (updated March 2011). [www.cochrane-handbook.org](http://www.cochrane-handbook.org)

- Leone, D. C., Pezarat, P., Valamatos, M. J., Fernandes, O., Freitas, S. R. & Moraes, A. C. (2014). Upper body force production after a low-volume static and dynamic stretching. *European journal of sport science*, 14(1).  
<https://doi.org/10.1080/17461391.2012.729089>
- Li, L., Landin, D. K., Grodesky, J. & Myers, J. (2002). The function of gastrocnemius as a knee flexor at selected knee and ankle angles. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 12(5), 385–390. [https://doi.org/10.1016/s1050-6411\(02\)00049-4](https://doi.org/10.1016/s1050-6411(02)00049-4)
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J. & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS medicine*, 6(7), e1000100.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
- Lopez, P., Pinto, R. S., Radaelli, R., Rech, A., Grazioli, R., Izquierdo, M. & Cadore, E. L. (2018). Benefits of resistance training in physically frail elderly: a systematic review. *Aging clinical and experimental research*, 30(8), 889–899.  
<https://doi.org/10.1007/s40520-017-0863-z>
- Loughran, M., Glasgow, P., Bleakley, C. & McVeigh, J. (2017). The effects of a combined static-dynamic stretching protocol on athletic performance in elite Gaelic footballers: A randomised controlled crossover trial. *Physical therapy in sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 25, 47–54.  
<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.11.006>
- Lum, D., Haff, G. G. & Barbosa, T. M. (2020). The Relationship between Isometric Force-Time Characteristics and Dynamic Performance: A Systematic Review. *Sports (Basel, Switzerland)*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/sports8050063>
- Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M. & Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Physical therapy*, 83(8), 713–721.
- Manoel, M. E., Harris-Love, M. O., Danoff, J. V. & Miller, T. A. (2008). Acute effects of static, dynamic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle power in women. *Journal of strength and conditioning research*, 22(5), 1528–1534.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31817b0433>

- Mathiowetz, V., Kashman, N., Volland, G., Weber, K., Dowe, M. & Rogers, S. (1985). Grip and pinch strength: normative data for adults. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 66(2), 69–74.
- 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). <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00495.x>
- McGowan, C. J., Pyne, D. B., Thompson, K. G. & Rattray, B. (2015). Warm-Up Strategies for Sport and Exercise: Mechanisms and Applications. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(11), 1523–1546. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0376-x>
- McHugh, M. & Cosgrave, C. H. (2010). To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(2), 169–181. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01058.x>
- McKenzie, J. E., Brennan, S. E., Ryan, R. E., Thomson, H. J., Johnston, R. V. & Thomas, J. (2019). Chapter 3: Defining the criteria for including studies and how they will be grouped for the synthesis. In J. P. Higgins, J. Thomas, J. Chandler, M. Cumpston, T. Li, M. J. Page & V. A. Welch (Hrsg.), *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. Version 5.1.0 (updated March 2011)*. [www.training.cochrane.org/handbook](http://www.training.cochrane.org/handbook)
- McMaster, D. T., Gill, N. D., Cronin, J. & McGuigan, M. (2014). A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(5), 603–623. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0145-2>
- Medeiros, D. M., Cini, A., Sbruzzi, G. & Lima, C. S [Cláudia S.] (2016). Influence of static stretching on hamstring flexibility in healthy young adults: Systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy theory and practice*, 32(6), 438–445. <https://doi.org/10.1080/09593985.2016.1204401>
- Medeiros, D. M. & Lima, C. S [C. S.] (2017). Influence of chronic stretching on muscle performance: Systematic review. *Human movement science*, 54, 220–229. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.05.006>
- Meinecke, R. & Gräfe, K. (2002). *Bewegungs-, Längen- und Umfangmessungen: (Neutral-Null-Durchgangsmethode)* [4., überarb. Aufl.]. Lau-Verl.
- Miller, T. A. (2012). *NSCA's guide to tests and assessments. Science of strength and conditioning series*. Human Kinetics. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=703879>



- Mine, K., Nakayama, T., Milanese, S. & Grimmer, K. (2016). Acute effects of stretching on maximal muscle strength and functional performance: A systematic review of Japanese-language randomised controlled trials. *Manual therapy*, 21.  
<https://doi.org/10.1016/j.math.2015.10.008>
- Miranda, H [H.], Maia, M. F., Paz, G. A. & Costa, P. B. (2015). Acute effects of antagonist static stretching in the inter-set rest period on repetition performance and muscle activation. *Research in sports medicine (Print)*, 23(1).  
<https://doi.org/10.1080/15438627.2014.975812>
- Miyahara, Y., Naito, H., Ogura, Y., Katamoto, S. & Aoki, J. (2013). Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching and static stretching on maximal voluntary contraction. *Journal of strength and conditioning research*, 27(1), 195–201.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182510856>
- Mizuno, T., Matsumoto, M. & Umemura, Y. (2013). Stretching-Induced Deficit of Maximal Isometric Torque Is Restored Within 10 Minutes. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 28.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182964220>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Molacek, Z. D., Conley, D. S., Evetovich, T. K. & Hinnerichs, K. R. (2010). Effects of low- and high-volume stretching on bench press performance in collegiate football players. *Journal of strength and conditioning research*, 24(3), 711–716.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c7c242>
- Morin, J.-B. & Samozino, P. (2018). *Biomechanics of training and testing: Innovative concepts and simple field methods*. Biomedicine. Springer.
- Morrin, N. & Redding, E. (2013). Acute effects of warm-up stretch protocols on balance, vertical jump height, and range of motion in dancers. *Journal of dance medicine & science : official publication of the International Association for Dance Medicine & Science*, 17(1), 34–40. <https://doi.org/10.12678/1089-313x.17.1.34>
- Murphy, A. J., C, J., Nagle, E., Robertson, J. R., McCrory & L, J. (2010). Effect of Single Set Dynamic and Static Stretching Exercise on Jump Height in College Age Recreational Athletes. *International Journal of Exercise Science*.
- Murphy, J. R., Di Santo, M. C., Alkanani, T. & Behm, D. G. (2010). Aerobic activity before and following short-duration static stretching improves range of motion and performance vs. a traditional warm-up. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* =

*Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 35(5), 679–690.

<https://doi.org/10.1139/H10-062>

Nagele, P. (2003). Misuse of standard error of the mean (SEM) when reporting variability of a sample. A critical evaluation of four anaesthesia journals. *British journal of anaesthesia*, 90(4), 514–516. <https://doi.org/10.1093/bja/aeg087>

Nelson, A. G., Driscoll, N. M., Landin, D. K., Young, M. A. & Schexnayder, I. C. (2005). Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance. *Journal of sports sciences*, 23(5), 449–454. <https://doi.org/10.1080/02640410410001730205>

Neumann, D. A. (2010). Kinesiology of the hip: a focus on muscular actions. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 40(2), 82–94. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3025>

Oliveira, F. C. L. de & Rama, L. M. P. L. (2016). Static stretching does not reduce variability, jump and speed performance. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 11(2), 237–246.

Opplert, J. & Babault, N. (2018). Acute Effects of Dynamic Stretching on Muscle Flexibility and Performance: An Analysis of the Current Literature. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(2), 299–325. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0797-9>

Pacheco, L., Balius, R., Aliste, L., Pujol, M. & Pedret, C. (2011). The acute effects of different stretching exercises on jump performance. *Journal of strength and conditioning research*, 25(11), 2991–2998. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318212dac0>

Pati, D. & Lorusso, L. N. (2018). How to Write a Systematic Review of the Literature. *HERD*, 11(1), 15–30. <https://doi.org/10.1177/1937586717747384>

Paul, D. J. & Nassis, G. P. (2015). Testing strength and power in soccer players: the application of conventional and traditional methods of assessment. *Journal of strength and conditioning research*, 29(6). <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000807>

Paula, G., Koch, A., Cerqueira, M., Rocha, J., Borges, L., Schettino, L., Machado, M. & Pereira, R. (2012). Time Course Effect of Static Stretching on Maximum Grip Strength. *Journal of Exercise Physiology Online*, 15, 31–36.

Paz, G. A., Willardson, J. M., Simão, R. & Miranda, H [Humberto] (2013). EFFECTS OF DIFFERENT ANTAGONIST PROTOCOLS ON REPETITION PERFORMANCE AND MUSCLE ACTIVATION – ORIGINAL RESEARCH. *Medicina Sportiva*, 17(3), 106–112. <https://doi.org/10.5604/17342260.1068221>

Peake, J. M., Markworth, J. F., Nosaka, K [Kazunori], Raastad, T., Wadley, G. D. & Coffey, V. G. (2015). Modulating exercise-induced hormesis: Does less equal more?

*Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 119(3), 172–189.

<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01055.2014>

Pearce, A. J., Latella, C. & Kidgell, D. J. (2012). Secondary warm-up following stretching on vertical jumping, change of direction, and straight line speed. *European journal of sport science*, 12(2), 103–112. <https://doi.org/10.1080/17461391.2010.551412>

PEDro - Physiotherapy Evidence Database. (2020, 9. September). *PEDro scale - PEDro*. PEDro - Physiotherapy Evidence Database.

<https://pedro.org.au/english/resources/pedro-scale/>

Peltonen, H., Walker, S., Hackney, A. C., Avela, J. & Häkkinen, K. (2018). Increased rate of force development during periodized maximum strength and power training is highly individual. *European journal of applied physiology*, 118(5), 1033–1042.

<https://doi.org/10.1007/s00421-018-3836-9>

Petrigna, L., Karsten, B., Marcolin, G., Paoli, A., D'Antona, G., Palma, A. & Bianco, A. (2019). A Review of Countermovement and Squat Jump Testing Methods in the Context of Public Health Examination in Adolescence: Reliability and Feasibility of Current Testing Procedures. *Frontiers in physiology*, 10.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01384>

Place, N., Blum, Y., Armand, S., Maffiuletti, N. A. & Behm, D. G. (2013). Effects of a short proprioceptive neuromuscular facilitation stretching bout on quadriceps neuromuscular function, flexibility, and vertical jump performance. *Journal of strength and conditioning research*, 27(2), 463–470. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182576ffe>

Power, K., Behm, D. G., Cahill, F., Carroll, M. & Young, W. B. (2004). An acute bout of static stretching: effects on force and jumping performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(8), 1389–1396.

<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000135775.51937.53>

Prieske, O., Behrens, M., Chaabène, H., Granacher, U. & Maffiuletti, N. A. (2020). Time to Differentiate Postactivation "Potentiation" from "Performance Enhancement" in the Strength and Conditioning Community. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(9), 1559–1565. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01300-0>

Reid, J. C., Greene, R., Young, J. D., Hodgson, D. D., Blazeovich, A. J. & Behm, D. G. (2018). The effects of different durations of static stretching within a comprehensive warm-up on voluntary and evoked contractile properties. *European journal of applied physiology*, 118(7), 1427–1445. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3874-3>

Ribeiro, A. S., Romanzini, M., Dias, D. F., Ohara, D., da Silva, D. R. P., Achour, A., Avelar, A. & Cyrino, E. S. (2014). Static stretching and performance in multiple sets in

- the bench press exercise. *Journal of strength and conditioning research*, 28(4), 1158–1163. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000257>
- Roberts, T. J., Eng, C. M., Sleboda, D. A., Holt, N. C., Brainerd, E. L., Stover, K. K., Marsh, R. L. & Azizi, E. (2019). The Multi-Scale, Three-Dimensional Nature of Skeletal Muscle Contraction. *Physiology (Bethesda, Md.)*, 34(6), 402–408. <https://doi.org/10.1152/physiol.00023.2019>
- Rodrigues, P., Hernandez, S. G., Macedo Salgueirosa, F. de, Novack, L. F., Wassmansdorf, R., Wharton, L. & Osiecki, R. (2017). The influence of two static stretching protocols with different intensities on concentric knee extension strength. *Isokinetics and Exercise Science*, 25(1), 41–46. <https://doi.org/10.3233/IES-160643>
- Ruan, M., Li, L., Chen, C. & Wu, X. (2018). Stretch Could Reduce Hamstring Injury Risk During Sprinting by Right Shifting the Length-Torque Curve. *Journal of strength and conditioning research*, 32(8), 2190–2198. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002645>
- Ryan, E. D., Beck, T. W., Herda, T. J., Hull, H. R., Hartman, M. J., Stout, J. R. & Cramer, J. T. (2008). Do practical durations of stretching alter muscle strength? A dose-response study. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(8), 1529–1537. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31817242eb>
- Sağiroğlu, İ., Kurt, C., Pekünlü, E. & Özsü, İ. (2017). Residual effects of static stretching and self-myofascial-release exercises on flexibility and lower body explosive strength in well-trained combat athletes. *Isokinetics and Exercise Science*, 25(2), 135–141. <https://doi.org/10.3233/IES-160656>
- Sandberg, J. B., Wagner, D. R., Willardson, J. M. & Smith, G. A. (2012). Acute effects of antagonist stretching on jump height, torque, and electromyography of agonist musculature. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(5), 1249–1256. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824f2399>
- Sayers, A. L., Farley, R. S., Fuller, D. K., Jubenville, C. B. & Caputo, J. L. (2008). The effect of static stretching on phases of sprint performance in elite soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 22(5), 1416–1421. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318181a450>
- Seitz, L. B. & Haff, G. G. (2016). Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(2), 231–240. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0415-7>

- Sekir, U., Arabaci, R. & Akova, B. (2015). Acute effects of static stretching on peak and end-range hamstring-to-quadriceps functional ratios. *World journal of orthopedics*, 6(9), 719–726. <https://doi.org/10.5312/wjo.v6.i9.719>
- Sekir, U., Arabaci, R., Akova, B. & Kadagan, S. M. (2010). Acute effects of static and dynamic stretching on leg flexor and extensor isokinetic strength in elite women athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(2). <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00923.x>
- Sharman, M. J., Cresswell, A. G. & Riek, S. (2006). Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching : mechanisms and clinical implications. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 36(11), 929–939. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636110-00002>
- Sheppard, J. M. & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of sports sciences*, 24(9), 919–932. <https://doi.org/10.1080/02640410500457109>
- Shrier, I. (2004). Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 14(5), 267–273. <https://doi.org/10.1097/00042752-200409000-00004>
- Shrout, P. E. & Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin*, 86(2), 420–428. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.86.2.420>
- Sim, Y.-J., Byun, Y.-H. & Yoo, J. (2015). Comparison of isokinetic muscle strength and muscle power by types of warm-up. *Journal of physical therapy science*, 27(5), 1491–1494. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.1491>
- Simic, L., Sarabon, N. & Markovic, G. (2013). Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23(2), 131–148. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01444.x>
- Slinde, F., Suber, C., Suber, L., Edwén, C. E. & Svantesson, U. (2008). Test-retest reliability of three different countermovement jumping tests. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 640–644. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181660475>
- Sports Imports. (2021, 21. Mai). *Vertec Vertical Jump Trainer* | Sports Imports. <https://www.sportsimports.com/product/jump-trainer/>

- Stafilidis, S. & Tilp, M. (2015). Effects of short duration static stretching on jump performance, maximum voluntary contraction, and various mechanical and morphological parameters of the muscle-tendon unit of the lower extremities. *European journal of applied physiology*, 115(3), 607–617. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3047-y>
- Stewart, P. F., Turner, A. N. & Miller, S. C. (2014). Reliability, factorial validity, and interrelationships of five commonly used change of direction speed tests. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(3), 500–506. <https://doi.org/10.1111/sms.12019>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R. & Stone, M. H. (2018). The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(4), 765–785. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z>
- Torres, E. M., Kraemer, W. J., Vingren, J. L., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Spiering, B. A., Ho, J. Y., Fragala, M. S., Thomas, G. A., Anderson, J. M., Häkkinen, K. & Maresh, C. M. (2008). Effects of stretching on upper-body muscular performance. *Journal of strength and conditioning research*, 22(4), 1279–1285. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816eb501>
- Trajano, G. S., Nosaka, K [Kazunori], B Seitz, L. & Blazeovich, A. J. (2014). Intermittent stretch reduces force and central drive more than continuous stretch. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(5), 902–910. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000185>
- Trajano, G. S., Seitz, L. B., Nosaka, K [Kasunori] & Blazeovich, A. J. (2013). Contribution of central vs. peripheral factors to the force loss induced by passive stretch of the human plantar flexors. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 115(2), 212–218. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00333.2013>
- Unick, J., Kieffer, H. S., Cheesman, W. & Feeney, A. (2005). The acute effects of static and ballistic stretching on vertical jump performance in trained women. *Journal of strength and conditioning research*, 19(1), 206–212. <https://doi.org/10.1519/R-14843.1>
- van Gelder, L. H. & Bartz, S. D. (2011). The effect of acute stretching on agility performance. *Journal of strength and conditioning research*, 25(11), 3014–3021. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318212e42b>
- Verstegen, M. & Williams, P. (2014). *Core performance: Das revolutionäre Workout-Programm für Körper und Geist* (11 [komplett überarbeitete Neuauagabe]. Riva.

- Voisin, S., Jacques, M., Lucia, A., Bishop, D. J. & Eynon, N. (2019). Statistical Considerations for Exercise Protocols Aimed at Measuring Trainability. *Exercise and sport sciences reviews*, 47(1), 37–45. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000176>
- Voss, D. E., Ionta, M. K. & Myers, B. J. (1986). *Proprioceptive neuromuscular facilitation: Patterns and techniques* (3. ed., 3. print). Harper & Row.
- Wakefield, C. B. & Cottrell, G. T. (2015). Changes in hip flexor passive compliance do not account for improvement in vertical jump performance after hip flexor static stretching. *Journal of strength and conditioning research*, 29(6), 1601–1608. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000794>
- Walsh, G. S. (2017). Effect of static and dynamic muscle stretching as part of warm up procedures on knee joint proprioception and strength. *Human movement science*, 55, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.08.014>
- Warren, A. J., Coble, A. B., O'Brien, M. S., Smith, D. B., Wheeler, A. A., Hetzler, T. & Cramer, J. T. (2014). Acute Effects of Practical Hamstring Stretching: Implications for Clinical Practice in the Sports Medicine Setting. *Athletic Training & Sports Health Care*, 6(2), 59–66. <https://doi.org/10.3928/19425864-20140306-01>
- Werstein, K. M. & Lund, R. J. (2012). The effects of two stretching protocols on the reactive strength index in female soccer and rugby players. *Journal of strength and conditioning research*, 26(6), 1564–1567. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318231ac09>
- Wiech, K. (2016). Deconstructing the sensation of pain: The influence of cognitive processes on pain perception. *Science (New York, N.Y.)*, 354(6312), 584–587. <https://doi.org/10.1126/science.aaf8934>
- Williams, C. J., Williams, M. G., Eynon, N., Ashton, K. J., Little, J. P., Wisloff, U. & Coombes, J. S. (2017). Genes to predict VO2max trainability: a systematic review. *BMC genomics*, 18(Suppl 8), 831. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-4192-6>
- Winke, Jones, N. B., Berger, C. G. & Yates, J. W. (2010). Moderate static stretching and torque production of the knee flexors. *Journal of strength and conditioning research*, 24(3). <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c7c557>
- Yamaguchi, T., Ishii, K., Yamanaka, M. & Yasuda, K. (2006). Acute effect of static stretching on power output during concentric dynamic constant external resistance leg extension. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 804–810. <https://doi.org/10.1519/R-18715.1>

- Yamauchi, J. & Koyama, K. (2019). Relation between the ankle joint angle and the maximum isometric force of the toe flexor muscles. *Journal of biomechanics*, 85, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.12.010>
- Yang, J., Lee, J [Joongsook], Lee, B., Kim, S., Shin, D., Lee, Y., Lee, J [Jaeseok], Han, D. & Choi, S. (2014). The effects of elbow joint angle changes on elbow flexor and extensor muscle strength and activation. *Journal of physical therapy science*, 26(7), 1079–1082. <https://doi.org/10.1589/jpts.26.1079>
- Young, W. B. & Behm, D. G. (2003). Effects of running, static stretching and practice jumps on explosive force production and jumping performance. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 43(1), 21–27.
- Zmijewski, P., Lipinska, P., Czajkowska, A., Mróz, A., Kapuściński, P. & Mazurek, K. (2020). Acute Effects of a Static Vs. a Dynamic Stretching Warm-up on Repeated-Sprint Performance in Female Handball Players. *Journal of human kinetics*, 72, 161–172. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0043>
- Zügel, M., Maganaris, C. N., Wilke, J., Jurkat-Rott, K., Klingler, W., Wearing, S. C., Findley, T., Barbe, M. F., Steinacker, J. M., Vleeming, A., Bloch, W., Schleip, R. & Hodges, P. W. (2018). Fascial tissue research in sports medicine: from molecules to tissue adaptation, injury and diagnostics: consensus statement. *British journal of sports medicine*, 52(23), 1497. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099308>



## Abkürzungsverzeichnis

|      |                                                                |
|------|----------------------------------------------------------------|
| 1RM  | Einwiederholungsmaximum                                        |
| AC   | Agonst Contraction - Antagonisten Kontraktion                  |
| aSD  | aktives statisches Dehnen                                      |
| BD   | Ballistisches Dehnen                                           |
| COD  | Change of Direction                                            |
| CON  | Kontrollgruppe / Kontrollsituation                             |
| CR   | Contract Relax Dehnen                                          |
| CRAC | Contract Relax Agonist Contraction                             |
| DD   | Dynamisches Dehnen                                             |
| DIK  | Dehnmethoden mit Isometrischen Kontraktionen                   |
| MVC  | Maximal Voluntary Contraction                                  |
| pSD  | passives statisches Dehnen                                     |
| RCT  | Randomized Clinical Trial                                      |
| RFD  | Rate of force development                                      |
| ROM  | Range of Motion                                                |
| RPE  | Rate of perceived exertion - subjektives Anstrengungsempfinden |
| SD   | Statisches Dehnen                                              |
| SH   | Sprunghöhe                                                     |
| VAS  | Visuell Analoge Skala                                          |

## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Flussdiagramm nach PRISMA Statement (mod. n. Moher et al., 2009) ..... | 7  |
| Abbildung 2: Histogramm PEDro Skala .....                                           | 12 |

## Tabellenverzeichnis

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Suchkriterien PICOS Modell (Liberati et al., 2009).....         | 6  |
| Tabelle 2: PEDro-Skala .....                                               | 9  |
| Tabelle 3: Studienübersicht.....                                           | 14 |
| Tabelle 4: Dehnungen mit isometrischer Kontraktion, Studienübersicht ..... | 28 |
| Tabelle 5: Dynamisch Dehnmethoden .....                                    | 31 |
| Tabelle 6: Auswirkungen von Dehnvolumen .....                              | 37 |
| Tabelle 7: Zeit zwischen Intervention und Testung .....                    | 41 |
| Tabelle 8: Effekt auf verschiedene Muskelgruppen .....                     | 45 |
| Tabelle 9: Sprintleistung und COD nach SD .....                            | 48 |
| Tabelle 10: Sprungleistungen nach SD .....                                 | 54 |
| Tabelle 11: Kraftleistung nach SD .....                                    | 61 |

## Appendix A

### Pubmed Suche

Letzter Aufruf am 29.09.2020

| Nr. | Suchtext                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Ergebnis   |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| #1  | stretch* OR "static stretch*" OR "flexibility exercise" OR "flexibility training" OR "PNF stretch*" OR "proprioceptive neuromuscular facilitation" OR "active stretch*" OR "ROM training" OR "range of motion" OR ROM                                                                                                                                                                                                                                           | 157,348    |
| #2  | Strength OR "maximal strength" OR "muscle strength" OR dynamometer OR dynamometric OR "peak torque" OR "mean torque" OR speed OR "strength-speed" OR explosiveness OR "explosive power" OR power OR "muscle performance" OR "rate of force development" OR "athletic performance" OR "jump and reach" OR "counter movement jump" OR "stretch shortening cycle" OR "sprint performance" OR sprinting OR jump* OR "change of direction" performance OR isokinetic | 262,187    |
| #3  | athlete OR human OR sports OR healthy OR asymptotic                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 19,700,802 |
| #4  | random* OR RCT OR randomization OR random-allocation OR crossover                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1,434,834  |
| #5  | patient OR disease OR chronic OR elderly OR old OR children OR child OR animal OR mice OR rodent OR rabbit OR injury                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,726,914 |
| #7  | #1 AND #2 AND #3 AND #4 NOT #5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 574        |

### SPORTdiscus Suche

Letzter Aufruf am 29.09.2020

| Nr. | Suchtext                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Ergebnis |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| S1  | stretch* OR "static stretch*" OR "flexibility exercise" OR "flexibility training" OR "PNF stretch*" OR "proprioceptive neuromuscular facilitation" OR "active stretch*" OR "ROM training" OR "range of motion" OR ROM                                                                                                               | 35,562   |
| S2  | Strength OR "maximal strength" OR "muscle strength" OR dynamometer OR dynamometric OR "peak torque" OR "mean torque" OR speed OR "strength-speed" OR explosiveness OR "explosive power" OR power OR "muscle performance" OR "rate of force development" OR "athletic performance" OR "jump and reach" OR "counter movement jump" OR | 188,439  |

|    |                                                                                                                            |           |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|    | "stretch shortening cycle" OR "sprint performance" OR sprinting OR jump OR "change of direction" performance OR isokinetic |           |
| S3 | athlete OR human OR sports OR healthy OR asymptotic                                                                        | 1,091,959 |
| S4 | random* OR RCT OR randomization OR random-allocation OR crossover                                                          | 61,818    |
| S5 | patient OR disease OR chronic OR elderly OR old OR children OR child OR animal OR mice OR rodent OR rabbit OR injury       | 507,540   |
| S7 | #S1 AND #S2 AND #S3 AND #S4 NOT #S5                                                                                        | 725       |

## Cochrane CENTRAL Suche

Letzter Aufruf am 29.09.2020

| Nr. | Suchtext                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Ergebnis  |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| #1  | stretch* OR "static stretch*" OR "flexibility exercise" OR "flexibility training" OR "PNF stretch*" OR "proprioceptive neuromuscular facilitation" OR "active stretch*" OR "ROM training" OR "range of motion" OR ROM                                                                                                                                                                                                                                           | 19,477    |
| #2  | Strength OR "maximal strength" OR "muscle strength" OR dynamometer OR dynamometric OR "peak torque" OR "mean torque" OR speed OR "strength-speed" OR explosiveness OR "explosive power" OR power OR "muscle performance" OR "rate of force development" OR "athletic performance" OR "jump and reach" OR "counter movement jump" OR "stretch shortening cycle" OR "sprint performance" OR sprinting OR jump* OR "change of direction" performance OR isokinetic | 86,413    |
| #3  | athlete OR human OR sports OR healthy OR asymptotic                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 677,461   |
| #4  | random* OR RCT OR randomization OR random-allocation OR crossover                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1,182,504 |
| #5  | patient OR disease OR chronic OR elderly OR old OR children OR child OR animal OR mice OR rodent OR rabbit OR injury                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 853,699   |
| #7  | #1 AND #2 AND #3 AND #4 NOT #5 in Trials                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1053      |

## Appendix B

| Studie                                                        | Eigener Auswertung | PEDro Homepage (PEDro - Physiotherapy Evidence Database, 2020) | (Fradkin et al., 2010) modifizierte Skala | (Kallerud & Gleeson, 2013) modifizierte Skala |
|---------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| (Aguilar et al., 2012)                                        | 6                  | 5                                                              |                                           |                                               |
| (Andrade et al., 2015)                                        | 4                  | 4                                                              |                                           |                                               |
| (Avloniti, Chatzinikolaou, Fatouros, Protopapa, et al., 2016) | 4                  | 4                                                              |                                           |                                               |
| (Beckett et al., 2009)                                        | 4                  |                                                                |                                           | 6                                             |
| (Bradley et al., 2007)                                        | 2                  |                                                                | 8,5                                       | 6                                             |
| (Brandenburg et al., 2007)                                    | 4                  |                                                                |                                           | 5                                             |
| (Cè et al., 2008)                                             | 4                  |                                                                |                                           | 6                                             |
| (Christensen & Nordstrom, 2008)                               | 4                  |                                                                |                                           | 5                                             |
| (Curry et al., 2009)                                          | 6                  | 6                                                              |                                           |                                               |
| (Dalrymple et al., 2010)                                      | 4                  | 4                                                              |                                           | 6                                             |
| (Favero et al., 2009)                                         | 4                  |                                                                |                                           | 6                                             |
| (Fletcher & Monte-Colombo, 2010)                              | 4                  |                                                                |                                           | 6                                             |
| (Hough et al., 2009)                                          | 4                  | 4                                                              |                                           | 6                                             |
| (Kistler et al., 2010)                                        | 3                  |                                                                |                                           | 5                                             |
| (Molacek et al., 2010)                                        | 5                  | 3                                                              |                                           |                                               |
| (Morrin & Redding, 2013)                                      | 3                  | 3                                                              |                                           |                                               |
| (Pacheco et al., 2011)                                        | 6                  |                                                                |                                           | 6                                             |
| (Place et al., 2013)                                          | 4                  |                                                                |                                           | 6                                             |
| (Power et al., 2004)                                          | 3                  |                                                                | 7,5                                       |                                               |
| (Sayers et al., 2008)                                         | 4                  | 2                                                              |                                           | 5                                             |
| (Sekir et al., 2010)                                          | 7                  |                                                                |                                           |                                               |
| (Sekir et al., 2015)                                          | 4                  |                                                                |                                           |                                               |

|                            |   |   |  |   |
|----------------------------|---|---|--|---|
| (Sim et al., 2015)         | 4 |   |  |   |
| (Stafilidis & Tilp, 2015)  | 5 |   |  |   |
| (Torres et al., 2008)      | 4 | 3 |  |   |
| (van Gelder & Bartz, 2011) | 5 |   |  | 7 |
| (Werstein & Lund, 2012)    | 3 |   |  | 5 |

## **Eidesstattliche Erklärung:**

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht (z. B. für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen (z. B. Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.

Wien, Juli 2021