



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Die Auswirkungen von Krafttraining auf die Leistungsfähigkeit
von AusdauerläuferInnen“: Systematischer Review

Verfasst von / submitted by

Christian Schörg

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

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

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

UA 190 482 313

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

Lehramtsstudium
UF Bewegung und Sport
UF Geschichte, Sozialkunde, Politische
Bildung

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

I. Danksagung

Diese Arbeit bedeutet einerseits nicht nur das Ende meines Studiums, sondern gleichsam gilt es einen sehr prägenden Abschnitt meines Lebens Revue passieren zu lassen. Die Zeit des Studiums war für mich einerseits durch viele Dummheiten geprägt, jedoch überwiegen die positiven Erfahrungen, die ich machen durfte und konnte. Zu Beginn gebührt mein Dank den Institutionen der Universität Wien, die mich für den Lehramtsberuf in den Unterrichtsfächern Sport und Geschichte meines Erachtens sehr gut vorbereitet haben. Die teils schwierige Aufgabe der Selbstorganisation wurde durch kompetente Fachkräfte der Universität ausschlaggebend unterstützt.

An dieser Stelle gilt ein riesengroßer Dank meinem Diplomarbeitsbetreuer, Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan, der mich trotz des vorherrschenden Chaos bezüglich der Diplomstudenten an der Universität Wien, immer mit bestem Wissen und Gewissen betreut und beruhigt hat. Ich kann mich sehr glücklich schätzen, ein durch und durch spannendes Themengebiet erforschen zu dürfen. Während dem kompletten Prozess der Diplomarbeit habe ich mich mithilfe der Betreuung immer sehr wohl und unterstützt gefühlt.

Im Laufe meines Studiums an der Sportuniversität habe ich Freunde fürs Leben gefunden. Sie haben mich nicht nur in Hinblick des Studiums, sondern auch im privaten Leben unglaublich unterstützt und meine Zeit in Wien zu den schönsten Jahren meines Lebens gemacht. Hier gilt der besondere Dank dem legendären Lexi, dem Goldkehlchen Dani Lena, dem unheimlich reflektierten Maxl Lindinger und der Spaßkanone Claudsch. Auch meine Dodos, die mich immer wieder auf den Boden der Tatsachen, nämlich auf den schneebedeckten Berg gebracht haben, gebührt mein außerordentlicher Dank.

Ein großer Dank gebührt auch den Freundesfreunden aus Hollabrunn. Freunde fürs Leben findet man nicht so leicht, doch diese Burschen haben es mir nicht sonderlich schwer gemacht.

Und last but not least, gilt der größte Dank meiner Familie und meiner Freundin Beatrice. Ohne dem starken Rückhalt zuhause, und die seelische Unterstützung in einem unglaublich nervenaufreibenden letzten Semester wäre das alles nicht möglich gewesen.

II. Zusammenfassung

Hintergrund: Seitdem Hickson (1980) zu Beginn der 80er Jahre jenes Werk veröffentlichte, das für einige Autoren als die Grundlage für das *concurrent training* angesehen wurde, folgten zahlreiche Studien über die Auswirkung des gleichzeitigen Einsatzes von Kraft- und Ausdauertraining (Wilson et al., 2012). Der Ausdauersport ist einer der wichtigsten Bereiche, in denen die Untersuchung von parallel verlaufenden Trainingseffekten von großem Interesse war. Es soll dahingehend anhand dieses Systematischen Reviews überprüft werden, ob Evidenz für einen positiven Effekt von systematischem Krafttraining auf die Ausdauerleistung von Athletinnen und Athleten besteht, welche Faktoren der Ausdauerleistungsfähigkeit eine Rolle spielen und ob eventuell auch ein negativer Effekt erfolgen kann.

Methodik: Anhand einer systematischen Literaturrecherche wurde eine wissenschaftlich fundierte und umfassende Beantwortung der zuvor formulierten Fragestellung angestrebt. Zur Erstellung des Systematischen Reviews wurden die beiden Referenzdatenbanken *PubMed* und *Web of Science* systematisch nach relevanten Forschungen durchsucht. Für die Auswertung standen letztendlich neun Studien zur Verfügung, welche die Einschlusskriterien erfüllten, und im Umkehrschluss kein Ausschlusskriterium zutraf. Diese Studien unterschieden sich voneinander, hinsichtlich der Testpopulation, Studiendauer, den eingesetzten Testungen, dem angewandten Krafttraining und den untersuchten Faktoren der sportlichen Leistungsfähigkeit.

Ergebnisse: Die teils fundamentalen Unterschiede hinsichtlich der Studiendesigns machen eine gemeinsame Interpretation der Ergebnisse zu einem sehr schwierigen Vorhaben. Nichtsdestotrotz wurden übersichtliche Tabellen angefertigt, welche bei der Übersicht der Ergebnisse helfen können. Die dargestellten Ergebnisse veranschaulichen, dass systematisches Krafttraining durchaus einen positiven Effekt auf die Ausdauerleistungsfähigkeit von Athletinnen und Athleten haben kann, wobei sich aufgrund der Datenlage eine konsistente und eindeutige Aussage sehr schwer tätigen lässt. Ein negativer Effekt kann jedoch sehr wohl ausgeschlossen werden.

Schlussfolgerung: Die teilweise konträren Studienergebnisse machen deutlich, dass dringend weitere Forschungen als wesentlich erscheinen. Durch den erweckten Anschein, dass systematisches Krafttraining durchaus einen positiven Effekt auf die Leistungsfähigkeit von AusdauersportlerInnen haben kann, ist der Bedarf an weiteren Forschungen unumgänglich, um die Studienergebnisse vergleichen zu können.

III. Abstract

Background: Since Hickson (1980) published his studies in the early 1980s, which was considered by some authors to be the basis for concurrent training, numerous studies on the effects of the simultaneous use of strength and endurance training have followed (Wilson et al., 2012). Endurance sport is one of the most important areas where the study of concurrent training effects has been of great interest. The aim of these systematic review is, to examine whether there is evidence of a positive effect of systematic strength training on the endurance performance of athletes, which factors play a role in endurance performance and whether a negative effect may follow.

Methods: A systematic literature search was conducted in order to find a scientifically based and comprehensive answer to the previously formulated research questions. For the preparation of the systematic review, the two reference databases *PubMed* and *Web of Science* were systematically searched for relevant research. Nine studies were available for the evaluation, which fulfilled the inclusion criteria and, conversely, no exclusion criteria were applicable. These studies differed from one another in terms of the test population, study duration, the tests used, the applied strength training and the factors of athletic performance examined.

Results: The fundamental differences in the study designs make a common interpretation of the results a very difficult task. Nevertheless, clear tables have been prepared, which may help to provide an overview of the results. The results presented here illustrate that systematic strength training can have a positive effect on the endurance performance of athletes, although it is very difficult to make a consistent and unambiguous statement based on the data available. However, a negative effect can be excluded.

Conclusion: The partly contradictory study results make it clear that further research seems to be essential. Due to the appearance that systematic strength training can have a positive effect on the performance of endurance athletes, the need for further research is inevitable in order to compare the study results.

Inhaltsverzeichnis

I.	Danksagung	2
II.	Zusammenfassung	3
III.	Abstract	4
	Inhaltsverzeichnis	5
1	Einleitung	7
1.1	Gliederung der Arbeit	8
1.2	Forschungsfragen	9
2	Theoretische Grundlagen	10
2.1	Ausdauer und Ausdauertraining	10
2.1.1	Die Wichtigkeit einer optimalen Energienutzung	12
2.1.2	Unterschiedliche Ausprägungsformen von Ausdauer	15
2.1.3	Ausdauerleistungsfähigkeit	18
2.2	Kraft und Krafttraining	20
2.2.1	Erscheinungsformen von Kraft	21
2.2.2	Kontraktionsformen	22
2.2.3	Systematik	22
2.2.4	Methodik	23
2.3	<i>Concurrent Training Effect</i>	26
2.3.1	Theoretische Grundlagen	26
2.3.2	Aus molekularbiologischer Sicht	27
3	Methoden	29
3.1	Systematic Review	29
3.2	Datenbankrecherche	29
3.3	Ein- und Ausschlusskriterien	32
3.3.1	Studiendesign	32
3.3.2	Population	32
3.3.3	Studiendurchführung	33

3.3.4	Ausschlusskriterien	33
3.3.5	Eingeschlossene Studien	34
4	Ergebnisse	36
5	Diskussion.....	54
6	Ausblick.....	63
7	Literaturverzeichnis	64
8	Eingeschlossene Studien	68
9	Abbildungsverzeichnis.....	69
10	Tabellenverzeichnis	69
11	Eidesstattliche Erklärung	70

1 Einleitung

Vor 40 Jahren erkannte Dr. Robert Hickson (1980) eine beeinträchtigte Kraftentwicklung bei untrainierten Männern, die sowohl Kraft- als auch Ausdauertraining in ein 10-wöchiges Trainingsprogramm einbezogen hatten. Hickson nannte die beeinträchtigten Kraftzuwächse bei gleichzeitigem Kraft- und Ausdauertraining den „*Concurrent Training Effect*“ (dt.: „*Interferenzeffekt*“). Seit dieser bahnbrechenden Arbeit bestätigen die Ergebnisse der meisten Studien, dass die Zunahme der Muskelhypertrophie und -kraft beeinträchtigt wird, wenn gleichzeitig Kraft- und Ausdauertraining durchgeführt wird (Dudley & Djamil, 1985; Hennessy & Watson, 1994; Kraemer et al., 1995; Bell et al., 2000; Chtara et al., 2008; Jones et al., 2013). In diversen Publikationen kann erkannt werden (McCarthy et al., 1995, 2002; Balabinis et al., 2003; Häkkinen et al., 2003; Hendrickson et al., 2010; Lundberg et al., 2013), dass dieser Effekt auf den Umfang und die Quantität des Trainings, eine begrenzte Interventionsdauer und/oder die körperlichen Voraussetzungen der Probanden zurückgeführt werden kann. In der Tat zeigt eine Metaanalyse des gleichzeitigen Kraft- und Ausdauertrainings von Wilson (2012) deutlich den negativen Effekt von Ausdauertraining auf Muskelhypertrophie und Kraft, der frequenz- und dauerabhängig auftritt. Die Art des Trainings kann sich auch auf die Stärke des Interferenzeffekts auswirken, während das Laufen wahrscheinlich einen größeren negativen Einfluss auf die Kraftentwicklung hat als auf das Radfahren.

Aufgrund dieser Erkenntnis ist das Interesse groß, ob die Implementierung von Krafttraining auch einen Einfluss auf die Ausdauerleistung von AthletInnen haben kann. Die Leistung des Ausdauersports beruht auf einem komplexen Zusammenspiel physiologischer und biomechanischer Faktoren. Die kardiovaskuläre Kapazität wurde oft als einschränkender Faktor für die Ausdauerleistung angesehen. Paavolainen (2000) postuliert, dass Krafttraining durch neuromuskuläre Anpassungen (Rekrutierung und Synchronisation motorischer Einheiten, Frequenzkodierung, intra- und intermuskuläre Koordination und neuronale Hemmung) die Leistungsfähigkeit von Ausdauersportlern durch mehr Wirtschaftlichkeit und ausdauerspezifische Muskelkraft verbessern kann.

In diesem Rahmen wird mit dieser Diplomarbeit ein Systematischer Review erstellt, der die Auswirkungen von Krafttraining auf die Leistungsfähigkeit von Ausdauerläuferinnen und Ausdauerläufern in übersichtlicher und nachvollziehbarer Weise darstellt und erläutert. Hierbei werden nicht nur die Forschungsergebnisse präsentiert, sondern weiterführend Forschungslücken und -missstände aufgezeigt.

1.1 Gliederung der Arbeit

Die vorliegende Diplomarbeit ist in sechs Hauptkapitel eingeteilt. Nach der kurzen Einleitung wird näher auf die theoretischen Grundlagen eingegangen, um ein Fundament für die weiteren Arbeitsschritte zu legen. Der theoretische Teil behandelt die wichtigsten Eckpunkte zum Thema Kraft und Ausdauer und deren Training und wirft einen näheren Blick auf den „*Concurrent Training Effect*“, und dessen vermutete molekularbiologische Hintergründe. Das Grundgerüst dieses Systematic Reviews bildet die Literaturrecherche, die in Kapitel 3 näher erläutert wird. Die Erklärung dieser Methode veranschaulicht einerseits wie die zu analysierenden Studien gefunden wurden, und andererseits unter welchen Ein- und Ausschlusskriterien geforscht wurde.

Das vierte Kapitel setzt sich zum Ziel, die zuvor präsentierten Studien anhand ihrer Ergebnisse in Tabellenform zu veranschaulichen, um im späteren Prozess näher analysiert werden zu können. Hierbei wird das Hauptaugenmerk auf die relevanten Parameter der zuvor deklarierten Forschungsfragen gelegt.

Im Kapitel fünf und sechs stehen die zuvor präsentierten Ergebnisse zum Vergleich und zur Interpretation bereit. So sollen einerseits die Ergebnisse verglichen und eingeordnet werden, und gleichsam etwaige Forschungslücken aufgezeigt werden. Das Ende dieser Arbeit befasst sich mit einem Fazit, das sich zum Ziel setzt, die Forschungsfragen mit bestem Wissen und Gewissen beantworten zu können.

1.2 Forschungsfragen

In diesem Kapitel werden die Forschungsfragen geschildert, die anhand des Systematischen Reviews behandelt und bestmöglich beantwortet werden sollen. Hierfür werden alle relevanten Artikel und Publikationen gesucht, gefiltert und ausgewertet. Die Auswertung soll klare Ergebnisse darüber liefern, ob Krafttraining einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von AusdauerathletInnen hat. In Hinblick auf die Thematik ergeben sich folgende Forschungsfragen für die vorliegende Arbeit:

Hauptforschungsfrage

- Wirkt sich die Implementierung von Krafttrainingseinheiten auf die Laufleistung von Ausdauerathleten positiv aus?

Unterforschungsfragen

- Kann durch gezieltes Krafttraining die maximale Sauerstoffkapazität ($VO_2\text{max}$) positiv beeinflusst werden?
- Kann durch systematisch angewandtes Krafttraining eine positive Veränderung der *running economy* bewirken?
- Besteht Evidenz dahingehend, dass durch den *concurrent training effect* ein negativer Einfluss des Krafttrainings auf die Ausdauerleistungsfähigkeit auftritt?

Hat zwar die Beantwortung der beschriebenen Forschungsfragen eine hohe Priorität, liegt jedoch ein weiteres Anliegen dieser Arbeit am Aufzeigen der Qualität, der aus der Literaturrecherche stammenden Studien. Diese können hinsichtlich des Studiendesigns, der Durchführung oder Sinnhaftigkeit großen Schwankungen unterliegen. Darüber hinaus soll diese Literarische Übersichtsarbeit als Orientierung für künftige Forschungen dienen, da sie auf Wissens- und Forschungslücken, Fehler und Mängel aufmerksam macht.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Ausdauer und Ausdauertraining

Tritt der Begriff „Ausdauer“ in Erscheinung, so wissen zwar im alltäglichen Sprachgebrauch alle, was damit grob gemeint ist, eine genaue Begriffsklärung erfolgt jedoch nur selten. In diesem Kapitel ist es daher von Bedeutung kurz anzuschneiden, was den Ausdauerbegriff überhaupt ausmacht und ihn charakterisiert.

Wird er aus trainingswissenschaftlicher Sicht betrachtet, so zeigen sich oftmals unterschiedliche Ansätze, Ausprägungen und Bedeutungscharakteristiken von Ausdauer. In der Trainingslehre beschreibt Schnabel (2008) zunächst einmal Ausdauer, gemeinsam mit Kraft- und Schnelligkeitsfähigkeiten, als entscheidende energetische Komponenten im Zusammenhang mit der Fähigkeit der Leistungserbringung eines Sportlers. Diese sind für den Antrieb der Muskulatur zuständig und so ausschlaggebend für die Leistungsfähigkeit in sportlichen Disziplinen. (Schnabel, 2011, S. 155) Schnabel definiert Ausdauer als entscheidend, um sportliche Leistung erbringen zu können.

Wie Ausdauer nun aber im Zusammenhang mit Kraft und Muskulatur steht, soll im Anschluss noch genauer erläutert werden. Allgemein kann gesagt werden, dass Ausdauer eine *„grundlegende motorische (konditionelle) Fähigkeit ist“* und in verschiedenen Formen und Ausprägungen in Erscheinung treten kann. Auf jeden Fall steht der Begriff immer im Zusammenhang mit dem Durchhaltevermögen eines Menschen, um so einer motorischen Beanspruchung und Belastung standhalten zu können (Hottenrott, Neumann, 2016, S. 108).

Bezieht man sich nun auf das Durchhaltevermögen einer Leistung genauer, so lässt sich schnell erkennen, dass auch dies nicht wieder einfach definierbar ist. Von Interesse ist, dass der Ausdauerbegriff durch zahlreiche Möglichkeiten der Kombination mit unterschiedlichen konditionellen Fähigkeiten, stark ausgedehnt werden kann. Es ist schwierig, den Begriff anhand eines konkreten Beispiels festzuhalten. Betrachtet man hierbei zum Beispiel Ausdauer in Hinblick der Sportart des Laufens, so treten bereits hier zahlreiche unterschiedliche Formen in Erscheinung. Unterscheiden lassen sich die *„Sprintausdauer“*, demnach also die Ausdauer eines Sprinters, die Ausdauer des Mittelstreckenläufers, welche die *„Schnelligkeitsausdauer“* darstellt und die Ausdauer eines Marathonläufers, *„Langzeitausdauer“* genannt (Hottenrott, Neumann, 2016, S. 108).

Was hat nun also eine Sprintausdauer überhaupt mit einer allgemeinen Annahme von Ausdauerfähigkeit zu tun, da sie ja nicht über einen längeren Zeitraum durchgeführt wird, wie es viele Menschen definieren würden? Auch viele Wissenschaftler beziehen sich nun sehr gerne auf die Dauer einer Belastung, um von Ausdauerleistung sprechen zu können.

„Ausdauer ist eine einfache trainierbare Einflussgröße sportlicher Leistungen. Sie beschreibt den Teilaspekt der sportlichen Leistungsfähigkeit, sportliche Belastungen über eine längere Dauer ausführen zu können.“ (Olivier, Marshall, Büsch, 2008, S. 141)

So wird es in Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre beschrieben. Von Wichtigkeit ist also nicht nur der Aspekt der Dauer, sondern auch der, der Belastung und des Durchhaltevermögens. Ausdauer nur durch die Dauer einer sportlichen Leistung zu definieren, wäre demnach nicht richtig. Im bedeutenden Zusammenhang steht immer die Belastungsfähigkeit des Körpers, die je nach unterschiedlichen Ausführungen, in unterschiedlicher Weise auftritt. Auch hier berufen sich die Autoren daher auf die wesentlichen Unterschiede zwischen Kurz-, Mittel- und Langzeit-Ausdauerleistungen. Wiederum stellen die Belastungsdauer und eine höchstmögliche Intensität, ausschlaggebende Faktoren für die Leistung im Ausdauerprozess dar. Als Beispiel wird der 100-m-Lauf mit einem länger andauernden verglichen und die unterschiedlichen Belastungskonzeptionen aufgezeigt.

Der 100-m-Lauf zeichnet sich dabei durch eine kurze Dauer mit einer hohen Belastung und Beanspruchungen aus, wodurch andere Prozesse gefordert werden, als bei längeren Läufen. Der 10.000-m-Lauf aber bringt eine längere Dauer und eine niedrige Belastungs- und Beanspruchungsintensität hervor. (Olivier, Marshall, Büsch, 2008, S. 144) Dies wird im Anschluss noch genauer ausgeführt.

Insgesamt kann gesagt werden, dass Ausdauer in der Trainingswissenschaft zwar sehr heterogen dargestellt wird und unterschiedliche Versuche der Definierbarkeit beinhaltet, die sich aber dennoch sehr wohl ergänzen. (Olivier, Marshall, Büsch, 2008 S. 141)

2.1.1 Die Wichtigkeit einer optimalen Energienutzung

Was sich mit Sicherheit sagen lässt, ist, dass die Ausdauerfähigkeit mit dem Durchhaltevermögen in engem Zusammenhang steht, wie es so oft definiert wird. Um den Begriff ein bisschen einzugrenzen, lässt sich auch davon sprechen, wie sehr der Sportler eine Widerstandsfähigkeit gegen die beginnende Ermüdung hervorbringt und ausprägt. Gleichzeitig wird diese Tendenz zur Ermüdung, mit der Erholungsfähigkeit nach der vorangehenden Belastung in Verbindung gesetzt. So zeigt sich eine Abhängigkeit der Intensität der sportlichen Belastung und der nachfolgenden Ermüdung, was wiederum die Ausdauerfähigkeit prägt. Ziel eines jeden Ausdauertrainings ist es demnach, die Leistung möglichst lange und ohne Unterbrechung auszuführen und durchzuhalten. Die Ermüdung soll also längst möglich hinausgeschoben werden. (Hottenrott, Neumann, 2016, S. 109) Aus diesem Grund wird die Ausdauer oftmals auch als „*Ermüdungswiderstandsfähigkeit*“ bezeichnet. (z.B.: Zintl & Eisenhut, 2004, S.30; Schnabl et al., 2005). Hierbei ist von Interesse, dass sich mit der steigenden Zunahme der Ausdauerfähigkeit, auch die Erholungsphase verbessert und beschleunigt. Der Ausdauerathlet braucht nun weniger lang, um sich von den vorangegangenen Strapazen zu regenerieren.

Bei einer länger dauernden Belastung, kann also die sportliche Leistungsfähigkeit durch Prozesse der Ermüdung eingeschränkt werden, was wiederum das Durchhaltevermögen stärkt.

„Ausdauer als Leistungsvoraussetzung sichert eine zuverlässige Dauerbeanspruchung mit optimaler Intensität und stabiler Technik im Training und im Wettkampf und begrenzt oder verhindert gar ermüdungsbedingte Leistungseinschränkungen.“
(Schnabel, 2011, S. 179)

Eine wichtige Funktion im Ausdauerprozess ist es daher die „optimale Einsatzfähigkeit“ anzutrainieren und taktisch gut zu nutzen, um über die Gesamtdauer durchhalten zu können. Ist dies nicht der Fall und werden die Energiereserven und Belastungsanforderungen nicht funktional umgesetzt, zeigt sich dies schnell an körperlichen Ermüdungs- und Erschöpfungserscheinungen. Diese können sich anhand von nachlassender Intensität, Kraftverlusten, Störungen in Bewegungsabläufen und Bewegungskoordinationen und Störungen in der Konzentration bemerkbar machen, denn Energiesubstrate sind nicht allgegenwärtig vorhanden, sie müssen sich regenerieren. Eine Anhäufung von Ermüdungssubstanzen kann zu Stände kommen

(z.B.: Laktat), daraus ergeben sich nun die nachfolgenden Störungen in der Koordinationsfähigkeit etc. Ebenso kommt es durch den Energieverlust zu einer Abschwächung von Hormonen und Enzymen, was eine Ermüdung auslöst (Schnabel, 2011, S. 179).

Ausdauer ist also eine „*Widerstandsfähigkeit gegenüber Ermüdung, die bei sportlichen Belastungen ermüdungsbedingte Leistungsverluste mindert*“. (Schnabel, 2011, S. 180) Durch eine vermehrte zunehmende Ausdauerfähigkeit, erhöhen sich physische und psychische Prozesse des Durchhaltens; leistungslindernde Ermüdungserscheinungen werden weiter hinausgezögert (Schnabel, 2011, S 180).

Es stellt sich nun die Frage, wie dieser Energieverlust längst möglich hinausgezögert werden kann? Die Antwort bietet eine optimale Umsetzung der Energiespeicherung, was nur durch aerobe Leistungsprozesse erreicht werden kann.

Betrachtet man demnach also einen kurzen Lauf im Unterschied zu einem Langstreckenlauf, so zeigen sich folgende Komponente:

Der 100-m-Lauf zeichnet sich durch eine kurze Dauer mit einer hohen Belastung und Beanspruchungen aus, wodurch anaerobe ATP-Resyntheseprozesse gefordert werden. Der 10.000-m-Lauf aber bringt eine längere Dauer und eine niedrige Belastungs- und Beanspruchungsintensität durch aerobe Prozesse hervor. (Olivier, Marshall, Büsch, 2008, S. 144)

Um dies verstehen zu können, muss kurz analysiert werden, was bei Ausdauerprozessen überhaupt im Körper passiert, was nun die sogenannte aerobe Ausdauer auszeichnet und wie sie sich zu anaeroben Prozessen abgrenzen lässt? Dies soll noch kurz geklärt werden, um die Dynamik um den Ausdauerprozess verstehen zu können.

„Von aerober Ausdauer ist die Rede, wenn an der ATP-Resynthese vorrangig Sauerstoff verbrauchende Prozesse beteiligt sind, sonst von anaerober Ausdauer.“
(Olivier, Marshall, Büsch, 2008, S. 144)

Was heißt das nun? Hier lässt sich das Laufen, das mit dem Wechsel von muskulärer Anspannung und Entspannung einhergeht, mit dem Aufrechterhalten der Abfahrtshocke des alpinen Skilaufes, gegenüberstellen. Laufen bringt einen dynamischen Ausdauerprozess hervor, wobei die Durchhaltung der Hocke eher durch eine statische Ausdauerleistung gekennzeichnet ist. (Olivier, Marshall, Büsch, 2008, S. 144) Eine Verbesserung in der Ausdauer-Leistungsfähigkeit zeigt sich vor allem durch eine

vermehrte Energiespeicherung und die darauffolgende Freisetzung. Durch die erhöhte Anzahl von Mitochondrien in der ausdauertrainierten Muskulatur, kann mehr Sauerstoff verwertet werden. Dies führt unter gegebener Leistung dazu, dass weniger Laktat hergestellt wird und mehr Fette zur ATP-Resynthese verwertet werden. Dies soll nun die aerobe Beanspruchung erklären.

Im Gegensatz dazu, können anaerobe Beanspruchungen (Kurzzeit-Ausdauer 400m-Lauf) diesen Effekt aber negativ beeinflussen. Es kann aber durch die Erhöhung der Speicherung von energiereichen Phosphaten eine zielführende Verbesserung des anaeroben Stoffwechsels gelingen (Olivier, Marshall, Büsch, 2008, S. 147).

Es kann demnach also festgehalten werden, dass Ausdauer etwas mit der Widerstandsfähigkeit des Körpers und der Erholung zu tun hat. Jedoch gibt es so vielseitige Definitionen, welche nur wieder die Schwierigkeit einer genauen, allgemeingültigen Begriffsbestimmung konkretisieren. Eine begriffliche Komplexität des Ausdauerbegriffes lässt sich wohl nicht vermeiden. (Hottenrott, Neumann, 2016, S. 109) Zusammenfassend versuchen Hottenrott und Neumann trotzdem jedoch, eine Definition vorzulegen, die ihnen brauchbar erscheint:

„Die Ausdauer ist eine konditionelle Fähigkeit, die eine belastungsadäquate Energieversorgung des Organismus sichert, ermüdungsbedingte Leistungs- oder Geschwindigkeitsabnahmen bei sportlichen Belastungen verzögert und die Erholungsfähigkeit beeinflusst.“ (Hottenrott, Neumann, 2016, S. 110)

Genau aus diesem Grunde, ist die Ausdauerfähigkeit und Kombination der Ermüdung auch für diese Arbeit von so großer Bedeutung. Ermüdung spielt auch im „Kraftbereich“ eine wichtige Rolle. Gekoppelt an die Energieversorgung des Körpers, ist sie von zentraler Bedeutung bei der Leistungserbringung. All diese Faktoren der Belastung bilden zwar Muskulatur hervor, inwieweit Kraft und Ausdauerverhalten sich jedoch gegenseitig beeinflussen und aufeinander Wirkung erzielen, wird in späteren Kapiteln noch genauer erläutert und einer detailreichen Analyse unterzogen.

Nun stellt sich abschließend noch die Frage, welche Faktoren den Menschen überhaupt dazu motivieren, Ausdauertraining durchzuführen. Als entscheidender Aspekt tritt hierbei die eigene Bedeutsamkeit hervor, was die psychische Komponente der eigenen Motivation beinhaltet. Neben physischen Voraussetzungen, die vorhanden sein müssen, wie bereits oben erklärt, kommen demnach auch die psychischen ins Spiel. Umwelteinflüsse, einschließlich dem sozialen Umfeld und den eigenen konstitutionellen

physischen und psychischen Leistungsfähigkeiten und -voraussetzungen, stellen einen entscheidenden Stellenwert dar, um Ausdauer überhaupt erlangen zu wollen. Alle drei Ebenen, die Aufgabenmerkmale, Umweltmerkmale und Personenmerkmale, stehen daher in gegenseitiger Abhängigkeit und alle sind für den Athleten von Bedeutung, um Ausdauertraining durchführen zu können (Hottenrott, Neumann, 2016, S. 110). Willensspannkraft und Durchhaltevermögen sind demnach leistungsentscheidende Voraussetzungen, um energetisches Potenzial bei fortlaufender Ermüdung ganzheitlich nutzen zu können (Schnabel, 2011, S. 179).

2.1.2 Unterschiedliche Ausprägungsformen von Ausdauer

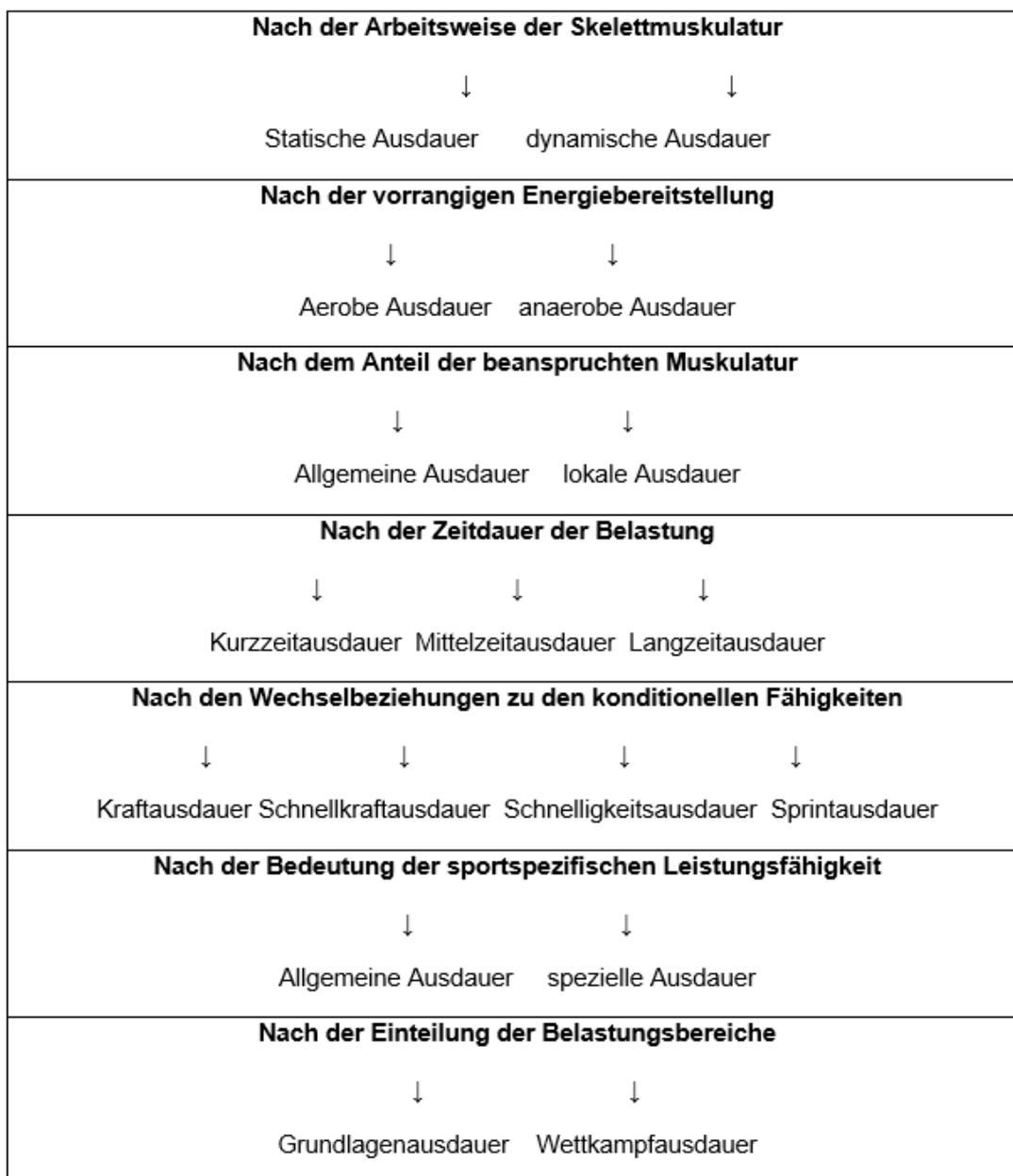


Abbildung 1: Ausprägungsformen von Ausdauer (Hottenrott, Neumann, 2016, S.111)

2.1.2.1 Ausdauer in der Arbeitsweise der Skelettmuskulatur

Hierbei müssen die Prozesse einer statischen und dynamischen Umsetzung unterschieden werden. Die statische Ausdauer setzt sich aus einer Muskulaturbeanspruchung aufgrund von „Arbeit“ zusammen. Diese setzt eine isometrische Muskelaktion voraus, um funktionieren zu können. Ein gutes Beispiel hierfür brachte oben schon die Abfahrtshocke im alpinen Skilauf, im Gegensatz zum dynamischen Laufprozess, hervor. Auch das Inlineskating und Elemente aus dem Geräteturnen und Boxen bringen diese Art von Beanspruchung mit sich. Dynamische Ausdauerprozesse müssen meist durch systematische Stabilisierungen ergänzt werden, um diese ausbauen zu können. Die Skelettmuskulatur muss somit eine dynamische Muskelarbeit leisten, welche von Notwendigkeit ist, um bei der zyklischen Belastung im Ausdauerprozess durchhalten zu können. (Hottenrott, Neumann, 2016, S. 112)

2.1.2.2 Unterschiedliche Energiebereitstellungen

Grundsätzlich stellen im Ausdauertraining vor allem aerobe Prozesse an Wichtigkeit für die Durchführung dar. Dieser Energiestoffwechsel, wobei Sauerstoff zur Energiegewinnung genutzt wird, der aus Glukose und freien Fettsäuren kommt, ist notwendig, um die Dauer des Ausdauerprozesses voranzutreiben.

Demnach gibt es aber auch anaerobe Prozesse, die sich über die Glykose ihre Energie holen und keinen Sauerstoff brauchen (Hottenrott, Neumann, 2016, S. 112). Hier tritt wieder der Unterschied eines Langstrecken Laufes im Gegensatz zu Kurzstrecken in Erscheinung. Beide benötigen ein anders Ausmaß an Beanspruchungen und holen sich ihre Energie demnach durch unterschiedliche körperliche Stoffe.

2.1.2.3 Der Anteil der beanspruchten Muskulatur

Hollmann und Hettinger (2000) setzen sich mit der Kennzeichnung von Ausdauer durch unterschiedliche Größen der bei der Belastung verwendeten Muskelmasse auseinander. Dies ist jedoch in den Sportarten kaum relevant. Sie unterscheiden zwischen einer „allgemeinen“ und „lokalen“ Ausdauer. Die allgemeine kennzeichnet sich durch eine Inanspruchnahme von mehr als 15 Prozent der gesamten Muskulatur.

Beide betrachten dennoch aus sportmedizinischer Sicht wieder die vorherrschenden Energieprozesse (aerob und anaerob) und statisch und dynamische Ausdauer, als ausschlaggebend, wie es bereits analysiert wurde (Hottenrott, Neumann, 2016, S. 113).

2.1.2.4 Die Zeitdauer der Belastung

Auch dies wurde bereits im einleitenden Kapitel angeschnitten und soll hier nur kurz angeführt werden. Diese Ausdauerkennzeichnung nach Harre (1970) lässt sich demnach in eine „Kurzzeitausdauer (KZA)“, „Mittelzeitausdauer (MZA)“ und eine „Langzeitausdauer (LZA)“ einteilen. Hierbei wurden Wettkampfdisziplinen im Schwimmen, in der Leichtathletik oder im Radsport durch unterschiedliche Zeitbereiche gekennzeichnet. Diese wurden im Laufe der Zeit jedoch immer wieder verändert, da diese Streckenfestlegungen nur durch die Häufungen bestimmter Stoffwechselforgängen gekennzeichnet waren (Harre 1970, S.114).

2.1.2.5 Die Wechselbezügen zu den konditionellen Fähigkeiten Kraft und Schnelligkeit

Kraftausdauer gilt als wichtige Komponente für die Wettkampfleistung. Da die Kraftfähigkeit die konditionelle Leistungsfähigkeit und so die Ausdauer, durch ermüdungslindernde Erscheinungen hinausschiebt.

Der Krafteinsatz ist dabei aber in unterschiedlichen Sportarten variabel. Man unterscheidet zwischen einer „Schnellkraftausdauerfähigkeit“, „Schnelligkeitsausdauerfähigkeit“, „Sprintausdauerfähigkeit“. Ausdauer, Schnellkraft und Kraft in gegenseitiger Abhängigkeit.

2.1.2.6 Die Bedeutung für die sportartspezifische Leistungsfähigkeit

Wichtig ist es, die allgemeine Ausdauer und spezielle Ausdauer zu unterscheiden. Allgemeine definiert sich wie oben erläutert, durch eine Ausbildung von Grundkondition, um die Ermüdung bei Belastungen hinauszuzögern und ihr über einen bestimmten Zeitraum standzuhalten.

Eine spezielle Ausdauer entwickelt der Athlet nur durch sportartspezifische Trainingsbelastungen. Wobei sich je nach Art der Belastung unterschiedliche Komponenten herausbilden (Harre 1970, S.117).

2.1.2.7 Die Einteilung der Belastungsbereiche

Durch eine Festlegung von unterschiedlichen Trainingsbereiche, kommt es zu differenzierten Belastungsgrenzen. Oftmals tritt hier die Leistungsdiagnostik in Erscheinung, die dabei hilft, die Bereiche optimal einzuteilen.

Grundlagenausdauer – Kraftausdauer – Wettkampfspezifische Ausdauer. All dies benötigen unterschiedliche Vorbereitungen, differenzierte Ausdauerarten und allgemeines athletisches Trainingsprogramm (Harre 1970, S.118).

2.1.3 Ausdauerleistungsfähigkeit

Es gibt drei Hauptfaktoren, die für die interindividuelle Varianz der Ausdauerleistung verantwortlich sind, obwohl andere Faktoren zur Leistung im tatsächlichen Wettkampf beitragen können: maximaler Sauerstoffverbrauch, *running economy* (Laufökonomie) und die Laktatschwelle

2.1.3.1 Maximaler Sauerstoffverbrauch VO₂max

Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max) kann als die höchste Rate definiert werden, mit der Sauerstoff während der maximalen Belastung vom Körper transportiert und verwertet werden kann. Die VO₂max wird seit langem als einer der wichtigsten Faktoren bei der Bestimmung der Ausdauerleistung angesehen und ist das am häufigsten verwendete Maß zur Bestimmung der aeroben Fitness. Die VO₂max wird durch Verbesserungen der zentralen und peripheren Mechanismen erhöht, die in erster Linie durch ein periodisiertes Ausdauertrainingsprogramm ergänzt werden, das den Schwerpunkt auf ein Training mit systematischen Variationen in Frequenz, Dauer und Intensität legt (Bassett, 2000).

Es gibt derzeit keine Literatur, die darauf hinweist, dass Krafttraining einen signifikanten positiven Effekt auf die VO₂max von trainierten Ausdauersportlern hat. Es wird jedoch angenommen, dass eine verbesserte Herz-Kreislauf-Funktion möglicherweise durch hochintensives Krafttraining, wie z.B. eine verringerte submaximale Herzfrequenz bei einer bestimmten Trainingsintensität, induziert werden kann.

2.1.3.2 *Running economy*

Nach der Definition von Saunders et al. (2004) ist die Trainingsökonomie der Sauerstoffverbrauch, der bei einer gegebenen absoluten submaximalen Trainingsintensität erforderlich ist. Es wurde angenommen, dass die Übungsökonomie bei gut trainierten Ausdauersportlern die größte interindividuelle Variation aufweist. Costill (1976) skizzierte die ähnlichen VO₂max-Werte, die zwischen gut trainierten Ausdauersportlern gefunden wurden, was die Forscher dazu veranlasste, andere

Determinanten der Ausdauerleistung zu untersuchen. Daher wird die Bedeutung der *running economy* bei der Bestimmung der Variabilität in Wettkämpfen betont.

Hoff et al. (2002) fanden heraus, dass schweres Krafttraining mit Belastungen von mehr als 85% der 1RM bei gut trainierten Skilangläufern Verbesserungen der sportspezifischen Übungsökonomie hervorrief. Darüber hinaus wiesen Hoff und Kollegen darauf hin, dass ein Training mit Schwerpunkt auf der maximalen Mobilisierung der Kraft in der konzentrischen Aktion die Übungsökonomie durch Verbesserung der neuromuskulären Funktion verbessern sollte. Darüber hinaus schlugen Hoff et al. (2002) vor, dass eine Erhöhung der RFD und der Maximalkraft die Schwelle senken kann, die notwendig ist, um die gleiche absolute Kraft zu erzeugen. Es wurde berichtet, dass ein hochintensives Krafttraining Veränderungen der neuromuskulären Funktion induziert, die es einem Athleten ermöglichen, mit jedem Schritt eine größere Nettokraft zu erzeugen, was in erster Linie auf eine erhöhte Synchronisierung der motorischen Einheiten und eine erhöhte Schussfrequenz zurückzuführen ist. Daher kann ein Athlet die gleiche absolute Kraft bei einer geringeren relativen Intensität erzeugen.

2.1.3.3 Laktatschwelle

Die Laktatschwelle („*lactat threshold*“, LT) kann als der Anteil der maximalen Sauerstoffaufnahme beschrieben werden, bei dem die Konzentration von Laktat im Blut rasch ansteigt. Die LT wird im Allgemeinen als Prozentsatz der VO₂max beschrieben, die, so wurde argumentiert, vom Widerstandstraining weitgehend unbeeinflusst bleibt (Bassett, 2000). In mehreren Studien wurde jedoch über einen Anstieg der Geschwindigkeit bei der LT während anaerober Lauf- und Zyklusversuche berichtet (Mikkola et. al., 2007; Ronnestad et. al., 2015). Es kann daher die Hypothese aufgestellt werden, dass die LT durch eine Verbesserung der Arbeitseffizienz erhöht werden kann, wenn die Körpermasse des Athleten und die absolute VO₂max konstant bleiben.

Mikkola et al. (2007) zeigten eine Erhöhung aller submaximalen Laufgeschwindigkeiten während eines maximalen anaeroben Lauftests nach acht Wochen Explosivkrafttraining in Kombination mit Ausdauertraining. Diese Beobachtung wurde von anderen Forschungsgruppen durch verschiedene Messungen identifiziert, die Berichte über eine erhöhte Geschwindigkeit bei einer bestimmten Laktatkonzentration beinhalten.

Darüber hinaus kann theoretisch angenommen werden, dass durch eine Verbesserung der Trainingsökonomie der Energieaufwand für eine bestimmte Menge an Arbeit abnimmt. Ein verringerter Energieverbrauch über einen längeren Wettkampfzeitraum könnte zu einer signifikanten Gesamtreduzierung des Energieverbrauchs für den

Wettkampf führen. Ein verringerter Energieverbrauch könnte dazu beitragen, die Glykogenspeicher zu erhalten, die Ermüdung zu verzögern und schließlich die Leistung zu verbessern. Darüber hinaus könnte eine Senkung der Energieausgaben zur Aufrechterhaltung des kurz- und langfristigen Energiegleichgewichts beitragen, das mit dem Übertrainingsmilieu in Verbindung gebracht wurde (Lehman, 1993).

2.2 Kraft und Krafttraining

Dieses Kapitel soll einen Überblick über die theoretischen und praktischen Grundsätze von Kraft und Kraftentwicklung schaffen. Dieses umfangreiche und komplexe Themengebiet wird auf die Sphäre dieser Diplomarbeit spezifisch behandelt. Der Fokus liegt auf der überblicksmäßigen Erläuterung von grundlegenden Prinzipien, der Systematik und Methodik von Kraftfähigkeiten und Kraftentwicklungsprozessen.

Olivier, Marschall und Büsch (2008) erklärten im Bezug der Begriffsbestimmung der Kraft, dass sportliche und alltägliche Bewegungen nur dann erfolgen können, wenn – neben der essenziellen motorischen Kontrolle – genügend Muskelkraft vorhanden ist. Die Muskelkraft stellt eine relativ unabhängige Einflussgröße sportlicher Leistungen dar, und ist eine durch Training veränderbare konditionelle Ressource. Olivier, Marschall und Büsch (2008, S. 93) definieren Kraft wie folgt:

„Kraft ist eine einfache trainierbare Einflussgröße sportlicher Leistungen. Sie beschreibt den Teilaspekt der sportlichen Leistungsfähigkeit, sportliche Bewegungen gegen höhere Widerstände ausführen zu können“

Hottenrott und Neumann (2016) versuchen Kraft durch grundlegendere, physikalische Ansätze zu definieren. Erst durch die optimierte Interaktion von Muskelkräften kommt eine Körperbewegung zustande. Hierbei sind Kraftübertragungen in verschiedenen Formen erforderlich (Brems- und Beschleunigungskräfte, statische Kräfte und Hubkräfte). Außerdem spielen Trägheits-, Reibungs- und Strömungskräfte eine Rolle. Jede ausgeführte Technik im Sport benötigt einen dazu passenden Krafteinsatz und im Umkehrschluss kann ohne Krafteinsatz keine Technik durchgeführt werden. Für Hottenrott und Neumann (2016, S. 141) spielt das zweite Newtonsche Axiom nicht nur in physikalischer, sondern auch in sportliche Hinsicht eine wichtige Rolle. Es besagt:

„Kraft = Masse x Beschleunigung ($F = m \times a$)“

Aus trainingswissenschaftlicher Betrachtungsweise ist für Hottenrott und Neumann (2016) Kraft eine konditionelle Fähigkeit, die sich in verschiedenen Ausprägungs- und Erscheinungsformen erkennen lässt. Mithilfe der Muskelkraft ist es möglich, Widerstände zu überwinden, ihnen nachgebend entgegenzuwirken oder zu halten. Dies ergibt vier zu differenzierende Arten von Muskelaktivitäten: Konzentrische, exzentrische, isometrische und reaktive Bewegungen. Hottenrott und Neumann (2016, S. 141) definieren Kraft in Hinblick auf die Trainingswissenschaft wie folgt:

„Kraft ist eine motorische (konditionelle) Fähigkeit des Menschen, die es ermöglicht, durch Muskelaktivität Widerstände zu überwinden, ihnen entgegenzuwirken oder sie zu halten. Die Muskelkraft ist die Voraussetzung, um Körperbewegungen auszuführen.“

2.2.1 Erscheinungsformen von Kraft

In verschiedensten Sportarten werden die sportlichen Leistungen von Kraft und Kontraktionsgeschwindigkeit der Muskeln eingeschränkt. Das Ziel in sportmotorischen Bewegungen besteht darin hohe Wiederholungszahlen zu erreichen (z.B.: Rudern), maximale Widerstände bewältigen (z.B.: Gewichtheben) oder eine hohe Geschwindigkeit zu erreichen oder zu halten (z.B.: Sprints). Für diese Anforderungen werden jeweils individuelle Krafftfähigkeiten vorausgesetzt.

Das Ergebnis von Krafteinsatz führt einerseits zur Veränderung von Bewegungszuständen, und andererseits zur Deformation. Sportgeräte oder Teile des Körpers werden durch die Einwirkung von Kraft, die von der Muskulatur des Sportlers ausgeht, beschleunigt. In diesem Vorgang treten unterschiedlichste Geschwindigkeiten auf, die vom Krafteinsatz und der Masse des bewegten Körpers abhängig sind. Geht man davon aus, dass jeweils ein maximaler Krafteinsatz erfolgt, setzen hohe Bewegungsgeschwindigkeiten Schnellkrafftfähigkeiten und eine hohe Last Maximalkrafftfähigkeiten voraus. Das ziehen einer Trennlinie zwischen diesen Fähigkeiten erweist sich jedoch als unmöglich.

Krafteinwirkungen können hinsichtlich der Art des Widerstandes ebenfalls unterteilt werden: z.B.: Luftwiderstand, Wasserwiderstand, Schwerkraft, uvm.). So unterscheidet sich beispielsweise die Eigenschaft der Kraftentwicklung beim Überwinden von Luftwiderständen deutlich von der Überwindung einer trägen Masse. So nimmt beispielsweise die benötigte Krafteinwirkung beim Start eines Radrennens stetig ab, während beim Schwimmen der Zugwiderstand bei höherer Zuggeschwindigkeit stetig ansteigt.

Unter dem Blickwinkel der Systematik von Kräfteinsätzen in sportlichen Bewegungen auch noch in vier Kategorien einteilen: Statisch (z.B.: Armdrücken), dynamisch (z.B.: Sprung), azyklisch (z.B: Wurf) und zyklisch (z.B: Radsport) (Hottenrott, 2017, S. 171f.).

2.2.2 Kontraktionsformen

Die Entfaltung der Kraft, die von den Skelettmuskeln ausgeht, kann durch verschiedene Kontraktionsformen hervorgerufen werden. Die am häufigsten vorkommende Kontraktionsform der menschlichen Bewegung ist die konzentrische (auxotonische) Kontraktion. Hierbei verändert sich die intramuskuläre Spannung, und der Muskel verkürzt sich. Wird beispielsweise versucht, den Körper für einen Klimmzug an der Reckstange hochzuziehen, muss der Oberarm gebeugt werden. Hierbei arbeitet der Bizeps konzentrisch.

Isometrische Kontraktionen rufen keine Veränderung der Muskellänge und der Gelenksposition hervor. Dabei werden die Muskelfasern gar nicht, oder nur minimal verkürzt. Es treten intramuskuläre Spannungsveränderungen auf, ohne dass es zu einer Längenänderung des Muskels kommt. Bleibt man beispielsweise während des Klimmzugs in einer bestimmten Position hängen und verharrt in dieser Position, leistet der Muskel statische Arbeit und verkürzt sich in kleinem Ausmaß isometrisch.

Exzentrische Kontraktionen werden durch eine Dehnung des Muskels in der Kraftentfaltung charakterisiert. Es kommt zu einer Spannungsänderung und Verlängerung bzw. Dehnung. Wird ein Muskel auseinandergezogen, bremst dieser die Bewegung ab. Wird beispielsweise der Körper nach einem Klimmzug wieder herabgelassen, bremst der Bizeps durch seine Kontraktion die Bewegung ab.

Isokinetische Muskelkontraktionen setzen Verkürzungen des Muskels mit konstanter Geschwindigkeit voraus. In der Praxis erfolgen diese beim Training mit motorgesteuerten Geräten. Isokineten bewegen die beanspruchten Körperpartien mit konstanter Geschwindigkeit (Hottenrott, 2017, S. 172).

2.2.3 Systematik

Um Kräftefähigkeiten systematisch einordnen zu können, wird nach der Höhe des Widerstandes bzw. der Geschwindigkeit in vier Kategorien eingeteilt: Maximalkraftfähigkeit, Schnellkraftfähigkeit, Reaktivkraftfähigkeit und Kraftausdauerfähigkeit

• **Maximalkraft:** ist jene maximale Krafteinwirkung, die willkürlich gegen einen unüberwindlichen Widerstand aufgebracht werden kann. Die Maximalkraft wird bei statischer Arbeitsweise der Muskulatur gemessen, da hier die höchsten willkürlichen Kräfte entwickelt werden können. In der Regel wird der Maximalkraftwert über die größtmöglich überwundene Last gekennzeichnet (1RM = *one repetition maximum*). Der 1RM Wert ist immer geringer als das Maximum der isometrischen Kraft.

• **Schnellkraft:** wird als die Fähigkeit definiert, in möglichst kurzer Zeit und mit maximaler Geschwindigkeit, die gegebenen Bewegungswiderstände zu überwinden. Aus physikalischer Betrachtungsweise kann die Schnellkraft mit dem „Kraftstoß“ oder „Impuls“ definiert werden.

• **Reaktivkraft:** gilt als die Fähigkeit, einen Impuls im Dehnungs-Verkürzungszyklus (DVZ) zu erzeugen. Bei Reaktivbewegungen (Bsp.: Niedersprünge) kommt es zu einer aktiven Verlängerung der Muskulatur, gefolgt von der Kontraktion des Muskels. Dabei kommt es nach der Verlängerung zu Beginn zu einer exzentrischen, danach zu einer konzentrischen Kontraktion. Der DVZ ist durch die gespeicherte Energie aus der Dehnung schnell und energiesparend.

• **Kraftausdauer:** definiert die von der Maximalkraft abhängige Fähigkeit, die Kraftleistung entgegen der Ermüdung in einem Belastungszeitraum bestmöglich aufrecht zu erhalten.

Die Schnellkraft und Kraftausdauer unterscheiden sich von Schnelligkeit und Ausdauer dadurch, dass zusätzliche Widerstände überwunden werden. Die Reaktivkraft kann als Spezialform der Schnellkraftfähigkeit gesehen werden. Die Reaktivkraft wird für Auftaktbewegungen benötigt. Hierbei können durch optimale Voraussetzungen höhere Endgeschwindigkeiten als bei konzentrischen Muskelkontraktionen erzielt werden (Hottenrott, 2017, S. 173).

2.2.4 Methodik

Die Leistungsfähigkeit Kraft ist spezifisch für die etwaige Sportart ausgebildet. Ist bei einem Kraftsportler die Maximalkraft die ausschlaggebende Komponente, so ist sie bei einem Sprinter beispielsweise lediglich als „Unterstützer“ der Schnellkraft tätig. Die für die Sportart abgestimmten Krafftfähigkeiten können durch gezieltes und systematisches

Training gezielt angepasst werden. Im folgenden Kapitel soll ein genauerer Blick auf die systematische Methodik des Krafttrainings gerichtet werden.

Für das Krafttraining stehen diverse Methoden zur Verfügung. Die Belastung des Trainings lässt sich in verschiedene Bereiche einteilen. Die sogenannten Belastungsnormative des Krafttrainings benennen: Trainingshäufigkeit, Belastungsdichte, Umfang, Dauer und Intensität. Die Belastungsintensität im Krafttraining beschreibt nicht immer das Ausmaß der Last, die im Training bewegt wird. So werden beispielsweise, um an der

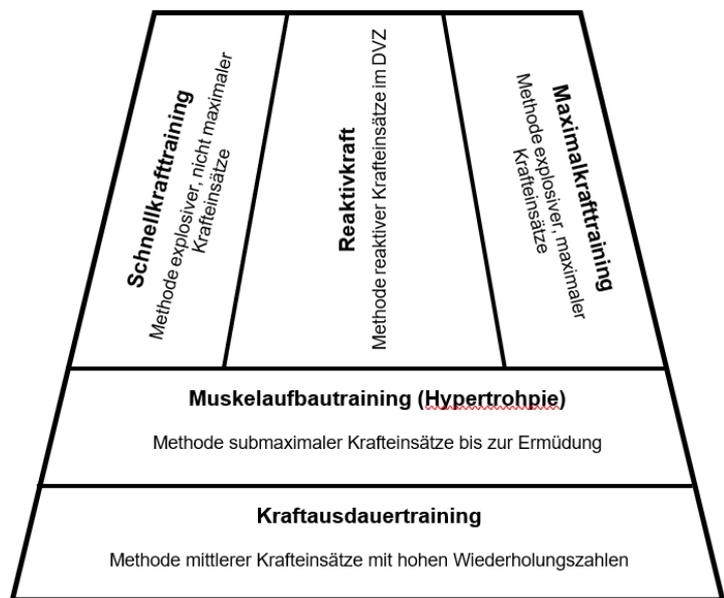


Abbildung 2: Methoden des Krafttrainings zur spezifischen Kraftfähigkeit (mod. nach Hottenrott, & Neumann, 2010, S. 190)

Schnellkraftleistung zu arbeiten, Trainingsserien mit geringen Lasten, jedoch mit hoher Geschwindigkeit durchgeführt. Trotz niedriger Last kann jedoch die Intensität des Trainings im maximalen Bereich sein. Trainiert man die Maximalkraftleistung, wählt man die Trainingslast jedoch meistens proportional zur Trainingsintensität (% von 1RM). Das Krafttraining hat zum Ziel, die Kraftfähigkeiten Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer zu verbessern. Hierbei können jedoch mit Fokus auf die sportartspezifischen Gegebenheiten, dem Trainingszustand und der aktuellen Trainingsphase bestimmte Akzente gesetzt werden (Hottenrott, 2017, S. 173).

2.2.4.1 Kraftausdauertraining

Das Kraftausdauertraining ist in den meisten Sportarten das Fundament für die darauffolgenden spezifischen Methoden des Krafttrainings. Für Kraftausdauersportarten zählt es bis zur Wettkampfphase zum wichtigsten Inhalt des Trainings. Im Gesundheits- und Fitnesssport ist das Kraftausdauertraining ebenfalls ein Kernthema des Trainings, jedoch mit deutlich geringerer Intensität als im Leistungssport.

Die Methoden des Kraftausdauertrainings beziehen sich auf geringen bis mittleren Kräfteinsatz (~60% 1RM) bei einer hohen Anzahl an Wiederholungen (20–50 Wiederholungen). In der Praxis beträgt der Umfang 2–4 (Gesundheits- und Fitnesssport)

bzw. 3–6 (Leistungssport) Sätze, und die Pause zwischen den Sätzen 30–60 Sekunden (Zirkeltraining) bis 3 Minuten (spezifisches Kraftausdauertraining). Das Kraftausdauertraining im Leistungssport kann ebenfalls eine Wiederholungsmethode beinhalten, die laktatfördernde Langzeitintervalle von 2–5 Minuten benutzt, hierbei sind längere Erholungsphasen essenziell (Hottenrott, 2017, S. 191).

2.2.4.2 Muskelaufbau und Maximalkrafttraining

Die Steigerung der Maximalkraft eines Muskels kann durch zwei verschiedene Arten erzielt werden: Durch die Steigerung des Muskelquerschnitts (Hypertrophie), und durch die Zunahme der Aktivierungsquote (gleichzeitig aktive motorische Einheiten). Um diese beiden Anforderungen zu bedienen, liegen zwei Methoden vor, um die Maximalkraftleistung zu steigern:

- **• Methode zur Entwicklung des Muskelquerschnitts (Q)**

Das Ziel der Methode zur Entwicklung des Muskelquerschnitts ist eine Maximierung der muskulären Proteinsynthese. Hierfür sind im Trainingsalltag kurze Sätze und hohe Lasten zu wählen. Im besten Fall soll nach der letzten Wiederholung eines Satzes keine weitere vollständige Ausübung möglich sein. Methodisches Ziel soll eine Wiederholungszahl von 4–12 bei ca. 75–90% des 1RM sein.

- **• Methode zur Verbesserung der intramuskulären Koordination (IK)**

Die Methode zur Verbesserung der intramuskulären Koordination ist sehr ähnlich zur vorher erklärten Methode Q. Ihr Unterschied besteht jedoch darin, dass die Lasten höher zu wählen sind (ca. 85–100% 1RM), bei einer geringeren Wiederholungszahl (1–5 Wiederholungen). Dabei sollen längere Phasen der Erholung beachtet werden.

Die Voraussetzung für eine Hypertrophie im Muskel ist die Proteinsynthese. Um diese Proteinsynthese in Gang zu setzen, muss der Körper Kontraktionsspannungen im Muskel, ein Energiesubstrat-Defizit und eine Anhäufung von Laktat erzeugen. Die Kombination dieser Bedingungen führt zu Reaktionen, die in einer Bildung von Myofibrillen und Sarkomeren enden (Hottenrott, 2017, S. 192).

2.2.4.3 Schnellkraft und Reaktivkrafttraining

Bei der Entwicklung der Schnell- und Reaktivkraft liegt das Hauptaugenmerk auf der maximalen Bewegungsgeschwindigkeit, die entgegen des Widerstandes angewandt werden soll. Vergleicht man die Lasten des Trainings, liegt der Wert mit rund 20–60% des 1RM, verglichen zum Maximalkraft- und Hypertrophietraining sehr gering. Trotz

dieser geringen Lasten bleibt die Intensität im maximalen Bereich, da die Bewegung in maximaler Geschwindigkeit erfolgen soll. Dies hat zur Folge, dass die Anzahl der Sätze und Serien trotzdem sehr gering ausfallen sollte. Wichtig hierbei zu erwähnen ist, dass ein Fortführen von Schnellkraftübungen bei akuter Ermüdung zu kontraproduktiven Ergebnissen führt.

Das Reaktivkrafttraining ist als eine Sonderform des Schnellkrafttrainings zu sehen. Gleichsam wie beim Schnellkrafttraining wird mit geringen Widerständen und mit explosiver Geschwindigkeit trainiert. Gleichfalls wird ein sehr kurzer DVZ praktiziert.

2.3 Concurrent Training Effect

Erfolgreiche sportliche Leistung erfordert eine optimale Entwicklung eines breiten Spektrums an körperlichen Qualitäten, was daher einen durchdachten Ansatz bei der Trainingsplanung erfordert. Für viele Sportarten ist ein Trainingsprogramm, das sowohl die kraft- als auch die ausdauerbezogenen Qualitäten verbessern soll, unerlässlich. Ausdauersportarten wie Langstreckenlauf, Rudern und Triathlon verwenden traditionell eine hohe Trainingsfrequenz und einen hohen Trainingsumfang bei niedrigeren Intensitäten, um aerobe Qualitäten zu entwickeln, aber das Potenzial für Krafttraining zur Leistungssteigerung ist ebenfalls offensichtlich. Es ist daher unvermeidlich, dass für bedeutende Teile des Trainingsjahres eines Sportlers Kraft- und Ausdauertraining gleichzeitig durchgeführt werden. Die Unvereinbarkeit zwischen Kraft- und Ausdauertraining ist seit langem bekannt, wobei viele Studien der letzten Jahrzehnte einen Interferenzeffekt nachgewiesen haben. Es scheint, dass das gleichzeitige Training im Vergleich zum reinen Krafttraining die kraftbezogenen Anpassungen kompromittiert.

2.3.1 Theoretische Grundlagen

Seit der von Hickson und Mitarbeitern veröffentlichten bahnbrechenden Studie, in der zunächst festgestellt wurde, dass die Kraftverbesserungen bei gleichzeitigem Training kompromittiert wurden, haben Folgeuntersuchungen diese frühen Befunde weitgehend bestätigt. Andere haben jedoch die Existenz eines Interferenzphänomens selbst widerlegt. Es scheint jedoch, dass die widersprüchlichen Befunde teilweise durch Unterschiede im Studiendesign erklärt werden können, einschließlich der zur Entwicklung von Kraft und Ausdauer verwendeten Stimuli, der Abfolge und Erholung zwischen den Trainingsläufen und der für die Messung ausgewählten abhängigen Variablen. Der in den Studien verwendete Trainingshintergrund und die Charakteristika

der Teilnehmer scheinen ebenfalls ein wichtiger Faktor zu sein und sollten beeinflussen, wie ein Trainer die Ergebnisse interpretiert, wenn er mit Athleten aus verschiedenen Sportarten arbeitet.

2.3.2 Aus molekularbiologischer Sicht

Die jüngsten Fortschritte in der Biotechnologie haben es den Wissenschaftlern ermöglicht, die potenziellen Mechanismen zu identifizieren, die für die Störungswirkung auf zellulärer Ebene verantwortlich sind. Nach einer Trainingseinheit werden eine Reihe von primären und sekundären Signalbotenstoffen für 3-12 Stunden hochreguliert, wodurch eine Reihe von molekularen Ereignissen ausgelöst wird, die zur Aktivierung oder Unterdrückung bestimmter Gene dienen (Bickel, 2005). Die aktivierten Signalbotenstoffe stehen im Zusammenhang mit dem spezifischen Stress, der auf die physiologischen Systeme, die an einem Wettkampf beteiligt sind, ausgeübt wird. Krafttraining verursacht mechanische Störungen in der Muskelzelle, die eine Vielzahl von Signalwegen auslösen, die zu einer Hypertrophie-Reaktion führen (Bolster, 2003).

Insbesondere die Sekretion von insulinähnlichem Wachstumsfaktor-1 (igf-1) als Folge einer intensiven Muskelkontraktion führt wahrscheinlich zu einer Vielzahl von Signalereignissen, die die Aktivität der Phosphoinositid-3-abhängigen Kinase (PI-3k) und das Ziel des Rapamycin (mTor) erhöhen (Vary, 2006). Es gibt starke Hinweise darauf, dass mTor für die Vermittlung von Skelettmuskelhypertrophie durch Aktivierung von Ribosomenproteinen, die die Proteinsynthese hochregulieren, verantwortlich ist. Längere Trainingseinheiten, wie z.B. solche, die mit Ausdauertraining verbunden sind, aktivieren metabolische Signale, die mit Energieverarmung, Aufnahme und Freisetzung von Kalziumionen aus dem sarkoplasmatischen Retikulum und oxidativem Stress in den Zellen zusammenhängen (Blagrove 2013).

Die Adenosinmonophosphat-aktivierte Kinase (aMPK) ist ein potenter sekundärer Botenstoff, der zur Überwachung der Energiehomöostase dient. Wenn sie aktiviert ist, moduliert die aMPK die Freisetzung des Peroxisom-Proliferators co-activator1 α (Pgc-1 α), der zusammen mit den Calcium-Calmodulin-abhängigen Kinasen (Ca²⁺+CaM) die mitochondriale Funktion erhöht, um die aerobe Kapazität zu verbessern. Entscheidend ist jedoch, dass aMPK auch die PI-3k/mTor-Stufe des Signalwegs über die Aktivierung des tuberösen Sklerosekomplexes (TSC2) hemmt, wodurch die durch Krafttraining induzierte Hochregulierung der Proteinsynthese unterdrückt wird. Genau hier geschieht die Blockade, die als *concurrent training effect* vermutet wird (Baar, 2006).

In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu erwähnen, dass dieser Effekt lediglich dann auftritt, wenn die ausgeführten Trainingsreize in unmittelbarer Folge bzw. in nur sehr geringem Zeitabstand gesetzt werden. Obwohl eine etwas zu stark vereinfachte Darstellung, bietet Abbildung 3 ein visuelles Schema der hier beschriebenen mutmaßlichen molekularen Signalprozesse. Es wurden auch mehrere andere antagonistische Signalwege impliziert, wobei die Hemmung der mit dem Krafttraining verbundenen Signalantworten eine Rolle spielt. Der aMPK-TSC2-Signalweg bietet jedoch derzeit die überzeugendste Erklärung (Chromiak, 2007, Blagrove 2013).

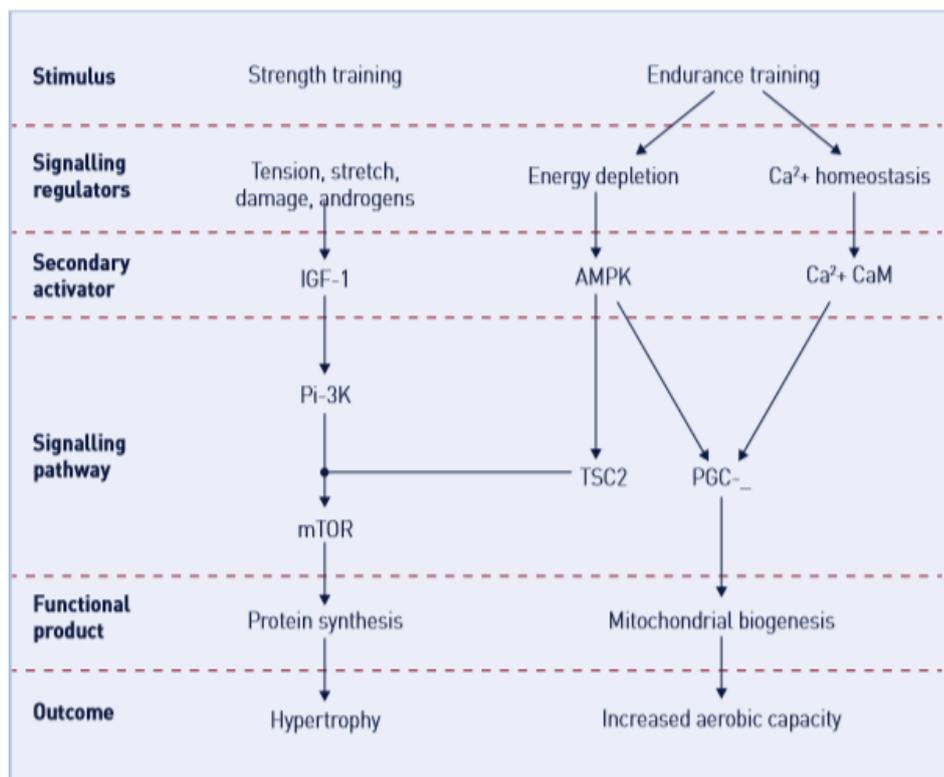


Abbildung 3: Molekulare Signalwege, die als Reaktion auf Kraft- und Ausdauertraining aktiviert werden (Blagrove, 2013, S. 11)

Der schwarze Kreis zeigt eine wahrscheinliche Interferenzquelle durch die Interaktion zwischen den Bahnen an. IGF-1 = Insulin-Wachstumsfaktor-1; PI-3k = Phosphoinositid3-abhängige Kinase; mTOR = Ziel von Rapamycin; Ca²⁺+CaM = Calcium-Calmodulin-abhängige Kinasen; AMPK = Adenosinmonophosphat-aktivierte Kinase; PGC-1α = Peroxisom-Proliferator-Koaktivator-1α; TSC2 = tuberöse Sklerose Komplex.

3 Methoden

Dieses Kapitel erläutert die angewandte Methode der vorliegenden Arbeit, um die Forschungsfragen zu bearbeiten. Dies passiert auf hermeneutische Art und Weise, mithilfe einer systematischen Literaturrecherche. Es wird erläutert wie ein Systematischer Review funktioniert, welche Strategie bei der Suche angewandt wurde, wie und warum Ein- und Ausschlusskriterien definiert wurden und welche Studien letzten Endes zu dieser Arbeit herangezogen wurden.

3.1 Systematischer Review

Für Higgins und Green (2008) liegt dem Systematic Review (zu Deutsch systematische Übersichtsarbeit) ein Ziel zu Grunde: Alle empirischen Erfahrungswerte zu sammeln, die bestimmten Ein- und Ausschlusskriterien entsprechen und behilflich sind, um zuvor festgelegte Forschungsfragen beantworten zu können. Es werden explizite systematische Methoden verwendet, die ausgewählt werden, um die möglichen Verzerrungen in den Forschungsergebnissen zu minimieren. Aus den Ergebnissen sollen Schlussfolgerungen gezogen und Forschungslücken aufgezeigt werden. Für Higgins und Green (2008, S.6) kristallisierten sich folgende Merkmale als die wichtigsten heraus:

- Klar bestimmte Ziele mit vordefinierten Zulassungskriterien für Studien
- Eine explizite, reproduzierbare Methodik
- Eine systematische Suche, bei der versucht wird alle Studien zu erfassen, welche die Zulassungskriterien erfüllen
- Eine systematische Darstellung und Erläuterung der Merkmale und Ergebnisse der eingeschlossenen Studien

3.2 Datenbankrecherche

Mithilfe zuvor definierten Keywords wurde in *PubMed* und *Web of Science* – zwei Meta-Datenbanken mit Referenzen auf medizinische Artikel – recherchiert, um alle für die Forschungsfrage relevanten Artikel herauszufiltern und zu speichern. Das Ziel war es hierbei, alle Publikationen zu finden, die sich mit Krafttraining und deren Verbindung mit Leistungsfähigkeit von Mittel- und Langstreckenläufern befassen. Die zuvor erwähnten Datenbanken wurden mit den folgenden Suchwörtern (Keywords) durchsucht:

- strength training
- resistance training
- weight training
- weight lifting
- concurrent training
- plyometrics
- runners
- running
- marathon
- marathoners

Diese Operatoren wurden dann in folgender Weise in den Suchmaschinen verwendet:

("strength training" OR "resistance training" OR "weight training" OR "weight lifting" OR "concurrent training" OR "plyometrics") AND ("runners" OR "running" OR "marathon" OR "marathoners")

Das Suchergebnis brachte in den Referenzdatenbanken *PubMed* 644 Treffer und in *Web of Science* 537, somit eine Gesamtmenge von 1181 wissenschaftlicher Artikel. Im nächsten Arbeitsschritt wurden die Ergebnisse in der Hilfsdatenbank *Zotero* zusammengeführt und einer automatischen Filterung der Dubletten unterzogen. Somit wurde die Anzahl der Dokumente auf insgesamt 891 reduziert.

Jene 891 vorliegenden Artikel wurden in weiteren Schritten einem Filterungsprozess unterzogen, beginnend mit einem Screening der Titel. Anhand dieses Screenings mussten schon 857 Dokumente aussortiert werden. Dabei wurden jene Titel entfernt, bei denen keine eindeutige Überschneidung mit der Thematik erkennbar war, sowie alle Titel, die ein Ausschlusskriterium enthalten bzw. nicht alle Einschlusskriterien erfüllen können. Zur weiteren Untersuchung lagen nun 44 Dokumente vor.

Im folgenden Arbeitsschritt wurden die restlichen 44 Titel anhand ihrer Abstracts untersucht. Hierbei galt wiederum: Ist anhand des Abstracts erkennbar, dass keine Relevanz für die vorliegende Thematik herrscht, wird das Dokument herausgefiltert. Nach der Durchsicht der Abstracts und der Entfernung aller irrelevanten Titel, blieben 20 Dokumente für die Volltextuntersuchung übrig.

Im letzten Teil der Filterung wurden anhand einer Volltextanalyse noch weitere 11 Titel entfernt, da diese entweder die Einschlusskriterien nicht erfüllten bzw. nicht in englischer oder deutscher Sprache publiziert wurden.

Abbildung 4 verdeutlicht anhand eines PRISMA-Flow-Diagramms den Prozess der Datenfilterung.



PRISMA 2009 Flow Diagram

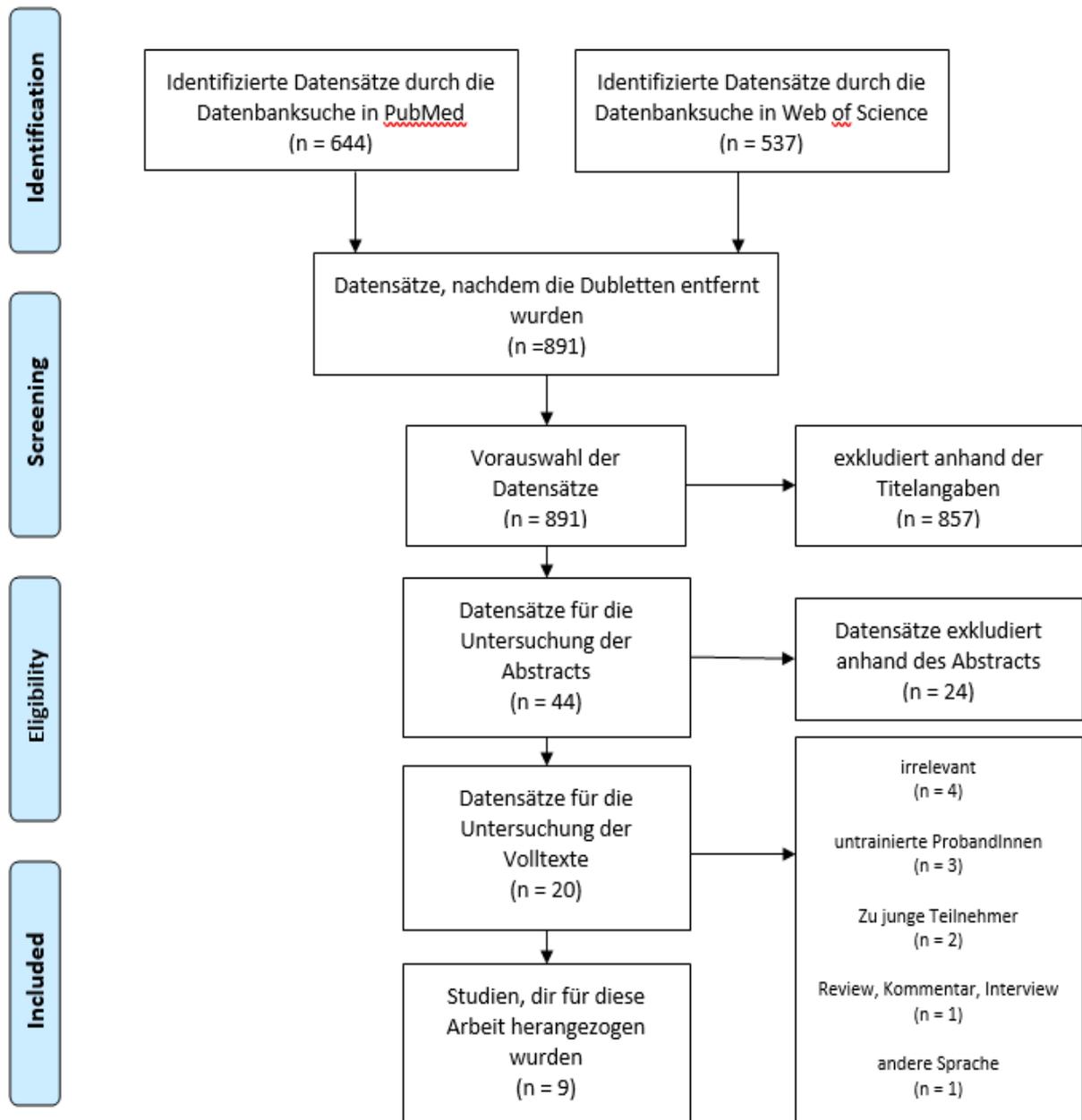


Abbildung 4: PRISMA-Flow-Diagramm (mod. n. Moher, 2009, S. 3)

3.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Im folgenden Kapitel werden genaue Ein- und Ausschlusskriterien formuliert, die einen wichtigen Baustein für die Filterung der Suchergebnisse in den Datenbanken darstellen. Alle Titel, Abstracts und Volltexte wurden anhand dieser Kriterien untersucht. Alle Dokumente die ein oder mehrere Ausschlusskriterien aufwiesen wurden aussortiert. Für die Analyse der Ergebnisse wurden ausnahmslos lediglich jene Artikel verwendet, die den Einschlusskriterien entsprachen.

3.3.1 Studiendesign

Für die vorliegende systematische Übersichtsarbeit beschränkt sich die Analyse ausschließlich auf Primärstudien. Reviews, Kommentare, etc. werden nicht herangezogen.

Um die Studienergebnisse bestmöglich analysieren und bewerten zu können, werden lediglich Publikationen in deutscher und englischer Sprache berücksichtigt. Studien in anderen Sprachen fließen nicht in das Spektrum dieser Arbeit ein.

3.3.2 Population

Um hinsichtlich der Thematik die Auswirkung von Krafttraining auf die Ausdauerleistungsfähigkeit von Athleten und Athletinnen diagnostizieren zu können, werden alle Primärstudien eingeschlossen, die sich ausschließlich männlichen Probanden bzw. weiblichen Probandinnen, oder beide Geschlechter untersuchen. Dabei spielt die sportliche Aktivität eine wichtige Rolle. Die Testpersonen müssen einen sportlichen Lebensstil vorweisen.

Um ein möglichst aussagekräftiges Ergebnis präsentieren zu können, werden BehindertensportlerInnen nicht miteinbezogen, da hierbei eine weitere Interpretation der physiologischen Faktoren notwendig wäre.

Die Anzahl der Studienteilnehmer muss einen Mindestwert von 16 Testpersonen erreichen, da eine zu kleine Gruppe an Teilnehmern die Aussagekraft einer Studie drastisch senken kann. Auf diesen relativ niedrigen Wert wird im Diskussionsteil noch näher eingegangen.

3.3.3 Studiendurchführung

Im Zusammenhang mit dieser Thematik ist es wesentlich, dass sich die berücksichtigten Studien mit zumindest einem Parameter der sportlichen Leistungsfähigkeit auseinandersetzen.

Um die Auswirkung von Krafttraining analysieren zu können, scheint es logisch, dass in den berücksichtigten Studien relevantes Krafttraining angewandt wird. Folgende Arten des Krafttrainings werden für diese Übersichtsarbeit herangezogen:

- Heavy resistance training (weniger als 9 maximale Wiederholungen (RM) und/oder 80% des 1RM)
- Isometric resistance training (HRT)
- Moderate load resistance training (9-15 RM und/oder 60–80% 1RM)
- Explosive resistance training (ERT)
- Reactive strength training (RST)
- Plyometric training (PT)

3.3.4 Ausschlusskriterien

Bereits aus der Umkehr der Einschlusskriterien können die Ausschlusskriterien erkannt werden. Doch eine Ausformulierung der Ausschlusskriterien erwies sich als sehr hilfreich beim Screening der Suchergebnisse. War bereits ein Ausschlusskriterium bei der Durchsicht der Titel, Abstracts oder Volltexte erkennbar, schied dieses Dokument aus. Die Kriterien für einen Ausschluss lauten wie folgt:

- Keine Primärstudie (Review, Kommentar, Report, etc.)
- Einzelfallstudien
- Studienteilnehmer sind keine trainierte Ausdauerathleten
- Kein Krafttraining wurde angewandt. Relevantes Krafttraining wird definiert als:
 - Heavy resistance training (weniger als 9 maximale Wiederholungen (RM) und/oder 80% des 1RM)
 - Isometric resistance training (HRT)
 - Moderate load resistance training (9-15 RM und/oder 60–80% 1RM)
 - Explosive resistance training (ERT)
 - Reactive strength training (RST)
 - Plyometric training (PT)
- Der Einsatz des Krafttrainings erstreckt sich auf weniger als 6 Wochen
- Eine Studienteilnehmerzahl von mindestens 16 Personen nicht erfüllt

- Keine Erfassung von Parametern der Leistungsfähigkeit
- Das Krafttraining wurde unzureichend konzipiert oder kontrolliert
- ProbandInnen mit Behinderung bzw. Krankheit (physisch und/oder psychisch)
- Vor dem Jahr 2008 publiziert
- Nicht in deutscher oder englischer Sprache publiziert

3.3.5 Eingeschlossene Studien

Nach einem ausgiebigen Filterungsprozess erfüllten neun Studien die Einschlusskriterien, um im Anschluss umfassend analysiert zu werden. Der Untersuchungszeitraum wurde bei der Erstellung des systematischen Übersichtsarbeit darauf beschränkt, dass keine Publikationen berücksichtigt werden, die vor dem Jahr 2008 publiziert wurden. Somit ergibt sich ein Untersuchungszeitraum von 12 Jahren (2008-2019). Mittels der folgend angeführten Tabelle ist zu erkennen, dass der Großteil der relevanten Studien im Zeitraum von 2013 bis 2016 publiziert wurde. Der Umstand, dass in den vergangenen drei Jahren keine, für diesen Systematischen Review relevante Studie herausgegeben wurde, wird im Diskussionsteil näher behandelt.

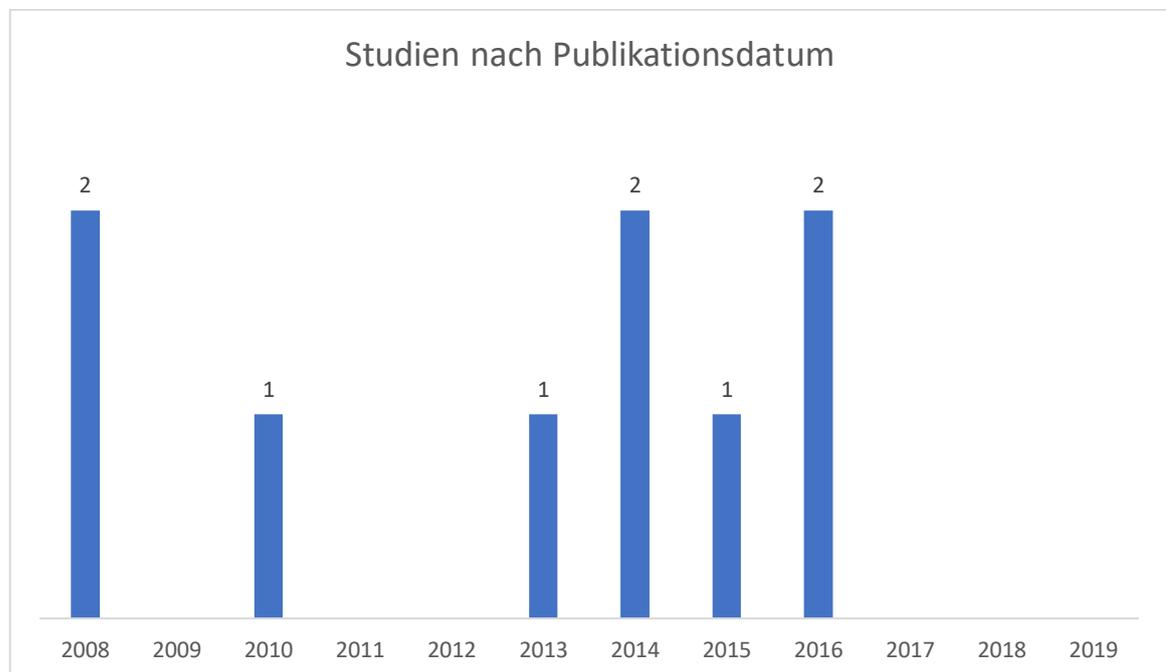


Abbildung 5: Studien nach Publikationsdatum

Studie	Teilnehmereigenschaften					Studiendesign			
	n (E/K)	Geschlecht	Alter (Jahre)	VO ₂ max mL kg ⁻¹ min ⁻¹	Trainingserfahrung	Dauer (Wochen)	Randomisiert?	Krafttraining impliziert oder ersetzt Ausdauertraining?	PEDro score
Beattie et al., 2016	20 (11/9)	M = 19 W = 1	23,45	61,4	"collegiate and national level"	40	nein	impliziert	5
Vikmoen et al., 2016	19 (11/8)	W	33,2	53,3	"well-trained" (duathletes)	11	ja	impliziert	5
Damasceno et al., 2015	18 (9/9)	M	33,5	55,05	"local 10km (35-45 min) race competitors"	8	ja	impliziert	6
Ramírez-Campillo et al., 2014	36 (18/18)	M=22 W=14	22,1	keine Angaben	"national and international level"	6	ja	impliziert	6
Skovgaard et al., 2014	23 (12/11)	M	31,8	59	experienced (7.5 years)	8	ja	ersetzt	6
Piacentini et al., 2013	16 (11/5)	M=16 W=5	44,1	keine Angaben	"well trained master runners"	6	ja	impliziert	6
Ferrauti et al., 2010	22 (11/11)	M=14 W=8	40	51,55	experienced (8,7 years)	8	ja	impliziert	6
Kelly et al., 2008	16 (9/11)	W	20,7	39,2	"recreationally fit students"	10	ja	impliziert	5
Storen et al., 2008	17 (8/9)	M=9 W=8	29,15	58,95	"well trained"	8	ja	impliziert	6

E=Experimentalgruppe, K=Kontrollgruppe, M=männlich, W=weiblich

Abbildung 6: Übersicht der inkludierten Studien

Abbildung 6 zeigt eine Übersicht der neun inkludierten Studien. Hierbei sind Teilnehmerzahlen, Geschlechterverteilung, Durchschnittsalter, maximale Sauerstoffaufnahme zu Beginn der Testung, Trainingserfahrung sowie Eckdaten des Studiendesigns zu erkennen.

4 Ergebnisse

Dieses Kapitel setzt sich mit den Ergebnissen der neun berücksichtigten Studien auseinander. Diese werden aufgrund der Übersichtlichkeit in tabellarischer Form dargestellt, um im Anschluss zusammengefasst und geordnet beschrieben werden zu können. Hierbei wird eine gute Übersicht geboten und AutorInnen, Publikationsdatum, ProbandInnen, Dauer der Studie, Art des Kraft- und Ausdauertrainings, Studiendesign, Testungen und Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 1: Ergebnisse der Studien

AutorInnen / Jahr	Beattie et al., 2016	
ProbandInnen	30 gut trainierte Ausdauerläufer, 20 davon beendeten die Studie Alter = 28.2 ± 8.6 Jahre Körpergewicht = 71.6 ± 6.6 kg Körpergröße = 1.80 ± 0.07 cm $VO_2\text{max} = 61.3 \pm 3.2$ mL/kg/min	
Dauer	40 Wochen	
Krafttraining	<p>Woche 1–20:</p> Primärer Fokus: Maximalkraft (z.B.: Back Squads) Sekundärer Fokus: Reaktivkraft (z.B.: Drop Jumps) Frequenz: 2x pro Woche mit mindestens 48 Stunden Erholungsphase	<p>Woche 21–40:</p> Primärer Fokus: Explosiv- und Reaktionskraft (z.B.: Jump-Squads) Sekundärer Fokus: Aufrechterhaltung der Maximalkraft Frequenz: 1x pro Woche
Ausdauertraining	Reguläres Ausdauertraining	
Studiendesign	20 Studienteilnehmer absolvierten eine 40 Wochen andauerndes Krafttraining um die Effekte auf Maximal- und Reaktivkraft, physiologische Ausdauerfähigkeit ($VO_2\text{max}$ und RE) und Körperaufbau zu testen. Das Studiendesign wurde wie folgt gewählt: die Teilnehmer wurden in zwei nicht randomisierte Gruppen eingeteilt (Kraft & Ausdauertraining $n=11$, Ausdauertraining $n=9$) und wurden in Woche 0, 20 und 40 getestet.	
Testungen	Körperaufbau, Maximalkraft (Back Squat 1RM), Counter-Movement-Jump, Drop Jump, Laufband ($VO_2\text{max}$, RE, $v_2\text{mmol/L}$ & $v_4\text{mmol/L}$ BLa)	
Ergebnisse	<p>Die Studie zeigt, dass sich Krafttraining auf die Maximal- und Reaktivkraftleistung, RE von Ausdauerleistungssportler positiv auswirkt. Auffallend ist, dass sich diese Steigerung ohne signifikante Änderung des Körperaufbaus manifestiert. Diese Ergebnisse sollen den Einsatz von Krafttraining innerhalb der Community von Ausdauerläufern maßgeblich unterstützen.</p> <p>Die Experimentalgruppe zeigte einen signifikanten 3.5 ± 3.2 % Zuwachs in der RE von Woche 0 bis Woche 40 ($p = 0.18$). In der Kontrollgruppe konnte kein signifikanter Zuwachs erkannt werden.</p>	
Positiver Effekt?	Ja (↑ Maximal- und Reaktivkraft; RE)	
Negativer Effekt?	Nein	

AutorInnen / Jahr	Vikmoen et al., 2016
ProbandInnen	<p>26 sehr gut trainierte Ausdauerläuferinnen (mindestens 5.8h / Woche), 18 beendeten die Studie</p> <p>Alter = 33,2 ± 7,9 Jahre</p> <p>Körpergewicht = keine Angabe</p> <p>Körpergröße = keine Angabe</p> <p>VO₂max = 53.2 ± 2.9 mL/kg/min</p>
Dauer	11 Wochen
Krafttraining	<p>Half Squat, Leg Press (Einbeinig), Standing one-legged Hip Flexion, Ankle Plantar Flexion</p> <p>Frequenz: 2x pro Woche</p>
Ausdauertraining	4.3 Trainings pro Woche
Studiendesign	<p>18 Ausdauerathletinnen wurden per Zufallsprinzip in zwei verschiedene Testungsgruppen eingeteilt (E+S n=11, E n=8). Das Krafttraining beinhaltete vier Übungen für die Beinmuskulatur, zwei Einheiten pro Woche für elf Wochen. Muskelkraft, 40min all-out Laufdistanz, Leistungsfähigkeitsparameter für den Ausdauerlauf und die Steifigkeit der Patellarsehne wurden in Woche 0 und Woche 11 getestet.</p>
Testungen	<p>Body Mass , Muskelbiopsie des rechten medium vastus lateralis, Physiologisch-mechanische Eigenschaften der linken Patellarsehne, Squat Jumps, Counter-Movement-Jump, Maximalkraft Half Squat, Maximalkraft einbeinige Beinpresse, Laufband Test (VO₂max, Spitzengeschwindigkeit), 40 min. all-out performance</p>
Ergebnisse	<p>Die Experimentalgruppe (E+S) steigerte die Beinkraft (40±15%) und die maximale Sprunghöhe von Counter-Movement-Jumps (6±6%) und Squat Jumps (9±7%, p<0.05). Weder die Experimental-, noch die Kontrollgruppe konnten eine Steigerung der zentralen Indikatoren für die Ausdauerleistungsfähigkeit (VO₂max, VO₂max RE) aufweisen. Es war ebenfalls keine positive Veränderung auf die Laufdistanz bei der 40min all-out Laufleistung zu erkennen.</p>
Positiver Effekt?	Nein
Negativer Effekt?	Nein

AutorInnen / Jahr	Damasceno et al., 2015
ProbandInnen	<p>26 trainierte Freizeitathleten (mindestens 37km / Woche), 18 beendeten die Studie</p> <p>Alter = 33.5 ± 9.2 Jahre Körpergewicht = 69.3 ± 13.1 kg Körpergröße = 174 ± 11.7 cm VO₂max = 55.1 ± 6.4 mL/kg/min</p>
Dauer	8 Wochen
Krafttraining	<p>Half Squat, Leg Press, Plantar Flexion, Knee Extension</p> <p>Frequenz: 2x pro Woche</p>
Ausdauertraining	Regulär weiter geführtes Ausdauertraining bei 50–70% VO ₂ max
Studiendesign	<p>19 Freizeitlangstreckenläufer wurden per Zufallsprinzip computergeneriert in zwei verschiedene Testungsgruppen eingeteilt (STG <i>strength training group</i> n=10, CG <i>control group</i> n=9). Das Krafttraining beinhaltete vier Übungen für die Beinmuskulatur, zwei Einheiten pro Woche für acht Wochen. Die Testungen wurden in Woche 0 und Woche 8 durchgeführt.</p>
Testungen	<p>Antropometrische Testungen, Drop Jump, Maximalkraft Half Squat, Elektromyographie, Laufband Test (RE, VO₂max, Spitzengeschwindigkeit), 10 km Ausdauerlauf, 30-s Wingate anaerobic test</p>
Ergebnisse	<p style="text-align: center;">Parameter für die Leistungsfähigkeit</p> <p>Sowohl vor, als auch nach der 8-wöchigen Trainingsphase konnten keine signifikanten Unterschiede der wichtigsten Parameter (VO₂max, RE, RCP) zwischen den Testungsgruppen festgestellt werden ($P = 0.198–0.895$). Ein signifikanter Unterschied zwischen den Testungsgruppen konnte bei der Spitzengeschwindigkeit auf dem Laufband festgestellt werden (PTS): die STG hatte einen größeren prozentuellen Zuwachs als die CG ($P = 0.0013$).</p> <p style="text-align: center;">10 km Ausdauerlauf</p> <p>Vor der 8-wöchigen Trainingsphase konnten keine signifikanten Unterschiede der Leistung im 10 km Ausdauerlauf zwischen den Testungsgruppen festgestellt werden (STG = 2626 ± 307 s; CG = 2514 ± 226 s; $p = 0.393$). Nach der Trainingsphase konnte die STG einen höheren Leistungszuwachs (2.5%) als die CG (1.8%) vorweisen ($p = 0.039$).</p>
Positiver Effekt?	Ja (↑ 10km Ausdauerlauf)
Negativer Effekt?	Nein

AutorInnen / Jahr	Ramírez-Campillo et al., 2014
ProbandInnen	<p>36 Wettkampfmittel- und LangsteckenläuferInnen Alter = 22.1 ± 2.7 Jahre Körpergewicht = 59.9 ± 6.2 kg Körpergröße = Keine Angaben VO₂max = keine Angaben</p> <p>Ausdauertrainingseinheiten pro Woche: 6.94 ± 1.8</p> <p>Laufpensum pro Woche: 67.2 ± 18.9 km</p>
Dauer	6 Wochen
Krafttraining	<p>Plyometrisches Krafttraining</p> <p>60 Bounce Drop Jumps pro Einheit (2 x 10 aus jeder Höhe; 20, 40 und 60cm) mit 15 Sekunden Pause pro Wiederholung und 2 Minuten pro Satz</p> <p>Frequenz: 2x pro Woche</p>
Ausdauertraining	<i>High intensity interval training</i>
Studiendesign	<p>36 Wettkampfmittel- und Langstreckenläufer wurden per Zufallsprinzip in zwei verschiedene Testungsgruppen eingeteilt (TG <i>strength training group</i> n=10, CG <i>control group</i> n=9). Das Krafttraining beinhaltete 60 Bounce Drop Jumps pro Einheit, zwei Einheiten pro Woche für sechs Wochen. Die Testungen wurden in Woche 0 und Woche 6 durchgeführt.</p>
Testungen	<p>Drop Jump, Counter Movement Jump with Arms, 20-m Sprint Zeitmessung, 2.4km Running Endurance Test, Combined Standardized Performance (CSP)</p>
Ergebnisse	<p>Während der kompletten Dauer der Studie konnten keine signifikanten Unterschiede von Größe, Körpergewicht oder BMI identifiziert werden.</p> <p>Nach sechs Wochen des Krafttrainings konnte ein signifikanter Leistungszuwachs der TG gegenüber der CG in Bezug auf den 2.4km Ausdauerlauf ($p < 0.05$) und den 20m Sprint ($p < 0.05$) erkannt werden.</p> <p>Die Hauptidee der Studie ist, dass die Kombination aus plyometrischen Übungen und Ausdauertraining die Explosivkraft und Ausdauerleistungsfähigkeit von Mittel- und Langstreckenläufern signifikant verbessert. Bei der TG konnte eine dreimal so hohe relative Zeitreduktion im 2.4km Ausdauerlauf festgestellt werden (TG= -3,9%; CG= -1.3%)</p>
Positiver Effekt?	Ja (↑ 2.4km Ausdauerlauf; 20m Sprint)
Negativer Effekt?	Nein

AutorInnen / Jahr	Skovgaard et al., 2014
ProbandInnen	23 trainierte Ausdauerläufer (Laufeinheiten pro Woche: 3.3 ± 0.5 ; Laufpensum pro Woche: 29.7 ± 6.1 km) Alter = 31.1 ± 1.8 Jahre Körpergewicht = 76.9 ± 1.8 kg Körpergröße = 180 ± 0.8 cm $VO_2\max = 59.4 \pm 1.1$ mL/kg/min
Dauer	8 Wochen
Krafttraining	<p style="text-align: center;">High Resistance Training (Squat, Deadlift, Leg Press)</p> <p style="text-align: center;">Frequenz: 2x pro Woche</p> <p style="text-align: center;">Speed Endurance Training (30s all-out running, 3 Minuten Pause)</p> <p style="text-align: center;">Frequenz: 2x pro Woche</p>
Ausdauertrainings	<p style="text-align: center;">Lauftraining bei $>85\%$ HR_{\max} (4x4min, 2min <i>passive rest</i>)</p> <p style="text-align: center;">Lauftraining bei $> 75-85\%$ HR_{\max} (40–70min)</p>
Studiendesign	<p style="text-align: center;">23 trainierte Hobbyausdauerläufer wurden per Zufallsprinzip in zwei verschiedene Testungsgruppen eingeteilt (<i>HICT high-intensity concurrent training group</i> n=12, <i>CON control group</i> n=11). Das Krafttraining beinhaltete <i>High Resistance Training</i> sowie <i>Speed Endurance Training</i>. Die Testungen wurden in Woche 0, 4 und 8 durchgeführt.</p>
Testungen	<p style="text-align: center;">Body Mass, Squat (1RM), Leg Press (1RM), Dead Lift (5RM), Yo-Yo Intermittent Recovery Level 2 Test, Laufband ($VO_2\max$, RE), 1,5km und 10km Ausdauerlauf, Muskelbiopsien, Blutproben</p>
Ergebnisse	<p style="text-align: center;">10km, 1500m und Yo-Yo IR2</p> <p>Verbesserte Leistungsfähigkeit bei 10km ($42:30 \pm 1:07$ vs. $44:11 \pm 1:08$ min) und 1500m ($5:10 \pm 0:05$ vs. $5:27 \pm 0:08$ min) Ausdauerläufen sowie bei Yo-Yo IR2 Tests (705 ± 97 vs. 491 ± 6) und bessere RE (3.1% <i>improvement</i>, $p < 0.01$). Die Veränderungen in der Kontrollgruppe (<i>CON</i>) waren nicht signifikant.</p> <p style="text-align: center;">$VO_2\max$</p> <p>Die Testergebnisse zeigen keine Veränderung ($p = 0.78$) bei $VO_2\max$, weder bei der <i>HICT</i> (60.7 ± 1.2 vs. 59.5 ± 0.8 mL/kg/min), noch bei der <i>CON</i> (58.9 ± 2.1 vs. 58.2 ± 2.3 mL/kg/min).</p>
Positiver Effekt?	Ja (↑ 10km; 1500m; Yo-Yo IR2; RE)
Negativer Effekt?	Nein

AutorInnen / Jahr	Piacentini et al., 2013								
ProbandInnen	21 sehr gut trainierte AusdauerathletInnen, 16 beendeten die Studie Alter = 44.1 ± 8.7 Jahre Körpergewicht = 70.4 ± 17.2 kg Körpergröße = 171.9 ± 15.4 cm VO ₂ max = keine Angaben								
Dauer	6 Wochen								
Krafttraining	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; width: 50%;"><i>MST</i></th> <th style="text-align: center; width: 50%;"><i>RT</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">sets/reps: 4 x 3–4</td> <td style="text-align: center;">sets/reps: 3 x 10</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Pause zw. sets: 3–4 min</td> <td style="text-align: center;">Pause zw. sets: 2–3 min</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">%1RM: 85–90</td> <td style="text-align: center;">%1RM: 70</td> </tr> </tbody> </table> <hr style="border: 0.5px solid black; margin: 5px 0;"/> <i>1/2 Squat with arm weights, calf exercise (leg press), lunges with arm weights, eccentric quadriceps contractions, leg press, seated calf raise, bench press, lat machine, pulldown machine, push up, cable machine (pushdown), triceps extensions, core strength,</i>	<i>MST</i>	<i>RT</i>	sets/reps: 4 x 3–4	sets/reps: 3 x 10	Pause zw. sets: 3–4 min	Pause zw. sets: 2–3 min	%1RM: 85–90	%1RM: 70
<i>MST</i>	<i>RT</i>								
sets/reps: 4 x 3–4	sets/reps: 3 x 10								
Pause zw. sets: 3–4 min	Pause zw. sets: 2–3 min								
%1RM: 85–90	%1RM: 70								
AAusdauertraining	<i>slow runs</i> , Intervalltraining, <i>tempo runs</i> (inkl. Berücksichtigung der Veränderung von VO ₂ max)								
Studiendesign	16 sehr gut trainierte AusdauerathletInnen wurden per Zufallsprinzip in drei verschiedene Testgruppen eingeteilt (<i>MST maximal strength training</i> n = 6, <i>RT resistance training</i> n = 5, <i>CG control group</i> n = 5). Die Testungen wurden in Woche 0 und Woche 6 durchgeführt.								
Testungen	Antropometrische Messungen, <i>resting metabolic rate</i> (RMR), Leg Press (1RM), Squat Jump, Counter Movement Jump, Laufband (VO ₂ max, RE)								
Ergebnisse	Die Studienergebnisse zeigen eine signifikante Verbesserung der RE ($p < 0.05$) für die <i>MST</i> (6.17%), jedoch nur bei <i>marathon pace</i> . Bei allen anderen Geschwindigkeiten konnte keine signifikante Veränderung festgestellt werden.								
Positiver Effekt?	Ja (↑ RE nur bei <i>marathon pace</i>)								
Negativer Effekt?	Nein								

AutorInnen / Jahr	Ferrauti et al., 2010	
ProbandInnen	22 erfahrene Freizeitausdauerläufer, 20 absolvierten die Studie Alter = 40.0 ± 11.4 Jahre BMI = 22.6 ± 2.1 VO ₂ max = 51.6 ± 8.0 mL/kg/min	
Dauer	8 Wochen	
Krafttraining	<p><i>Dienstag</i></p> <p>sets/reps: 4 x 3–5</p> <p>Pause zw. sets: 3 min</p> <p>3–5 RM</p> <p><i>leg Press</i></p> <p><i>knee extension</i></p> <p><i>knee flexion</i></p> <p><i>hip extension</i></p> <p><i>ankle extension</i></p>	<p><i>Donnerstag</i></p> <p>sets/reps: 3 x 20–25</p> <p>Pause zw. sets: 1.5 min</p> <p>20–25 RM</p> <p><i>reverse fly</i></p> <p><i>bench press</i></p> <p><i>lateral flexion</i></p> <p><i>trunk extension</i></p> <p><i>trunk flexion</i></p> <p><i>trunk rotation</i></p>
Ausdauertraining	<p>Reguläres Ausdauertraining</p> <p>15km Ausdauerlauf bei 90–95% der erwarteten Marathon Geschwindigkeit (1x pro Woche)</p> <p>Ausmaß des Ausdauertrainings unterschied sich nicht signifikant zwischen den Testungsgruppen</p>	
Studiendesign	<p>Nach einer unkontrollierten, aber überwachten 6-monatigen Grundausdauertrainingsperiode wurde über einen Zeitraum von 8 Wochen eine Interventionsstudie durchgeführt, bei der beide Gruppen (<i>E endurance running n = 9</i>, <i>ES combined endurance running and strength training n = 11</i>) ein Ausdauertrainingsvolumen von ca. 250 Minuten pro Woche, und die Gruppe ES ein zusätzliches Krafttraining von ca. 120 Minuten pro Woche absolviert haben. Das Ausdauertrainingsvolumen wurde basierend auf der Trainingsvergangenheit des Läufers empfohlen. Das Krafttrainingsvolumen wurde durch das maximale Zeitbudget der Teilnehmer begrenzt.</p>	
Testungen	<p>Antropometrische Messungen, <i>trunk flexors</i>, <i>trunk extensors</i>, <i>leg flexors</i>, <i>leg extensors</i>, Laufband (VO₂max, HR, RPE, Biomechanische Parameter)</p>	

<p>Ergebnisse</p>	<p style="text-align: center;">Körpergewicht und maximales Drehmoment</p> <p>Weder bei <i>E</i>, noch bei <i>ES</i> konnte ein signifikanter Unterschied bei dem Körpergewicht erkannt werden. Das maximale Drehmoment der Beinstrecker ($p = 0.000$; <i>effect size</i> = 1.65, <i>statistical power</i> = 0.982) und Rumpfbeuger ($p = 0.012$; <i>effect size</i> = 0.61, <i>statistical power</i> = 0.749) zeigten bei der <i>ES</i> eine signifikante Steigerung.</p> <p style="text-align: center;">Ausdauerleistung</p> <p>Eine Verbesserung bei $VO_2\text{max}$ ($p = 0.034$) konnte bei beiden Testungsgruppen festgestellt werden. Bei Laufgeschwindigkeit und VO_2 bei submaximalen Laktatwerten konnten ebenfalls eine signifikante positive Veränderung bewirkt werden. Jedoch trat kein signifikanter Unterschied zwischen den Testungsgruppen auf.</p> <p style="text-align: center;">RE</p> <p>Für RE konnte keine signifikante Steigerung festgestellt werden ($p > 0.05$).</p>
<p>Positiver Effekt?</p>	<p style="text-align: center;">Nein</p>
<p>Negativer Effekt?</p>	<p style="text-align: center;">Nein</p>

AutorInnen / Jahr	Kelly et al., 2008
ProbandInnen	<p>16 trainierte Ausdauerläuferinnen</p> <p>Alter = 20.7 ± 4.4 Jahre</p> <p>Körpergewicht = 62.8 ± 11.9 kg</p> <p>Körpergröße = 163.9 ± 18.8 cm</p> <p>VO₂max = 39.7 ± 6.2 mL/kg/min</p>
Dauer	10 Wochen
Krafttraining	<p>Squats, Calf Raises, Hip Extension, Hip Flexion, Hamstring Curl, Seated Row, Bench press</p> <p>Frequenz: 3x pro Woche</p>
Ausdauertraining	<p>Langsame Ausdauerläufe (<i>long distance, race distance</i>), 4–8min</p> <p>Intervalltraining, 3– 5min Intervalltraining,</p> <p>30s–3min Läufe bei maximaler Herzfrequenz</p>
Studiendesign	<p>16 trainierte Ausdauerläuferinnen wurden per Zufallsprinzip in zwei verschiedene Testungsgruppen eingeteilt (<i>EO endurance only</i> n = 9, <i>CSE concurrent strength and endurance</i> n=11). Das Ausdauertraining für beide Testungsgruppen beinhaltete 3 Trainings pro Woche. Für die CSE wurden zusätzlich 3 Einheiten Krafttraining pro Woche impliziert. Die Testungen wurden in Woche 0 und Woche 11 durchgeführt.</p>
Testungen	<p>3 km Zeitmessung, Antropometrische Messungen, Squat, Calf Raises, Hamstring Curl, Bench Press, Laufband (VO₂max, RE, HR, MHR)</p>
Ergebnisse	<p style="text-align: center;">Laufleistung</p> <p>Beide Testungsgruppen konnten eine Leistungssteigerung bei der 3km Testung verzeichnen. Bei der CSE konnte eine größere Leistungssteigerung (106.7 ± 91.4 Sekunden; 11.2%) als die EO (77.3 ± 93.0 Sekunden; 7.6%) verzeichnet werden.</p> <p style="text-align: center;">VO₂max und RE</p> <p>Nach der 10-wöchigen Trainingsphase konnten keine signifikanten Unterschiede von VO₂max und RE (p > 0.05) zwischen den Testungsgruppen erkannt werden.</p>
Positiver Effekt?	Nein
Negativer Effekt?	Nein

AutorInnen / Jahr	Støren et al., 2008
ProbandInnen	<p>17 trainierte gut trainierte Ausdauerläufer</p> <p>Alter = 29.2 ± 10.6 Jahre</p> <p>Körpergewicht = 65.7 ± 17.4 kg</p> <p>Körpergröße = 175.0 ± 13.0 cm</p> <p>VO₂max = 59.0 ± 10.7 mL/kg/min</p>
Dauer	8 Wochen
Krafttraining	<p>4 x 4 RM Half Squats</p> <p>Frequenz: 3 x pro Woche</p>
Ausdauertraining	Weiterführen des regulären Ausdauertrainings
Studiendesign	<p>17 gut trainierte Ausdauerläufer wurden per Zufallsprinzip computergeneriert in zwei verschiedene Testungsgruppen eingeteilt (<i>I intervention group</i> n = 8, <i>CG control group</i> n= 9). Das Krafttraining beinhaltete eine Übung für die Beinmuskulatur, drei Einheiten pro Woche für acht Wochen. Die Testungen wurden in Woche 0 und Woche 8 durchgeführt.</p>
Testungen	Half Squat, Laufband (VO ₂ max, RE, BLA)
Ergebnisse	<p>Nach der 8-wöchigen Krafttrainingsphase konnten bei der <i>intervention group</i> Leistungssteigerungen in folgenden Punkten erkannt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1RM Half Squat (33.2%, <i>p</i> < 0.01) • RFD Half Squat (26.0%, <i>p</i> < 0.01) • RE bei 70% VO₂max (5.0%, <i>p</i> < 0.01) <p>Keine dieser signifikanten Verbesserungen konnte in der <i>control group</i> festgestellt werden.</p>
Positiver Effekt?	Ja (↑ RE bei 70% VO ₂ max)
Negativer Effekt?	Nein

In Tabelle 1 sieht man alle Studien, welche die Basis für diesen Systematic Review darstellen. Hierbei können diverse Unterschiede festgestellt werden, sei es bei der Stichprobengröße, beim Alter der ProbandInnen, der Trainingserfahrung und der Studiendauer. Zu Beginn ist es zu erwähnen, dass in neun Primärstudien 187 Probandinnen und Probanden getestet und analysiert wurden, unter denen sich 82 Frauen und 105 Männer befanden. Dies lässt im Großen und Ganzen, hinsichtlich der Geschlechterverteilung, eine ausgewogene Analyse zu. Zwei Studien testeten nur Frauen (Vikmoen et al., 2016; Kelly et al., 2008) und eine lediglich Männer (Damasceno et al., 2015). Ein komplett ausgewogenes Geschlechterverhältnis ließ sich bei keiner der angegebenen Studien wiederfinden, bei jedoch zwei Studien war der Unterschied mit nur einer Person sehr gering (Skoovgaard et al., 2014; Støren et al., 2008). Auf die größte Stichprobe, mit insgesamt 36 Testpersonen konnte Ramírez-Campillo et al. (2014) zurückgreifen. Anhand der Grafik ist gut zu erkennen, dass die restlichen Studien mit einem ProbandInnen-Pool von 15-25 Personen arbeiten konnten.

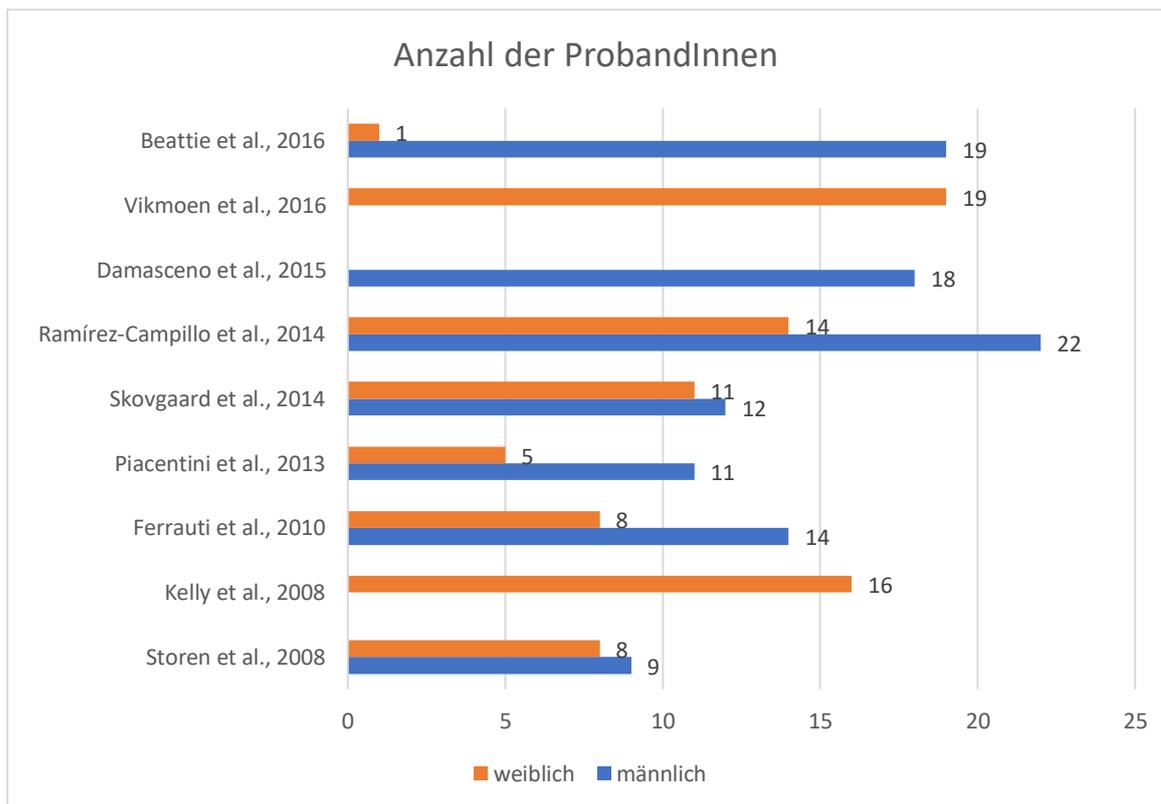


Abbildung 7: Anzahl der ProbandInnen

Die Gruppen der getesteten Personen setzten sich aus verschiedenen Altersgruppen zusammen. In der Abbildung 8 ist zu erkennen, dass Piacentini et. al. (2013) ProbandInnen mit dem höchsten Durchschnittsalter (44,1 Jahre) testete. Kelly et. al. (2008) hingegen untersuchte die durchschnittlich jüngste Gruppe (20,7 Jahre). Hierbei ist anzumerken, dass in dieser Grafik die Varianz nicht veranschaulicht wird. Gezeigt wird, dass durch die Auswahl der Studien ein breites Spektrum des Lebensalters einbezogen wird.

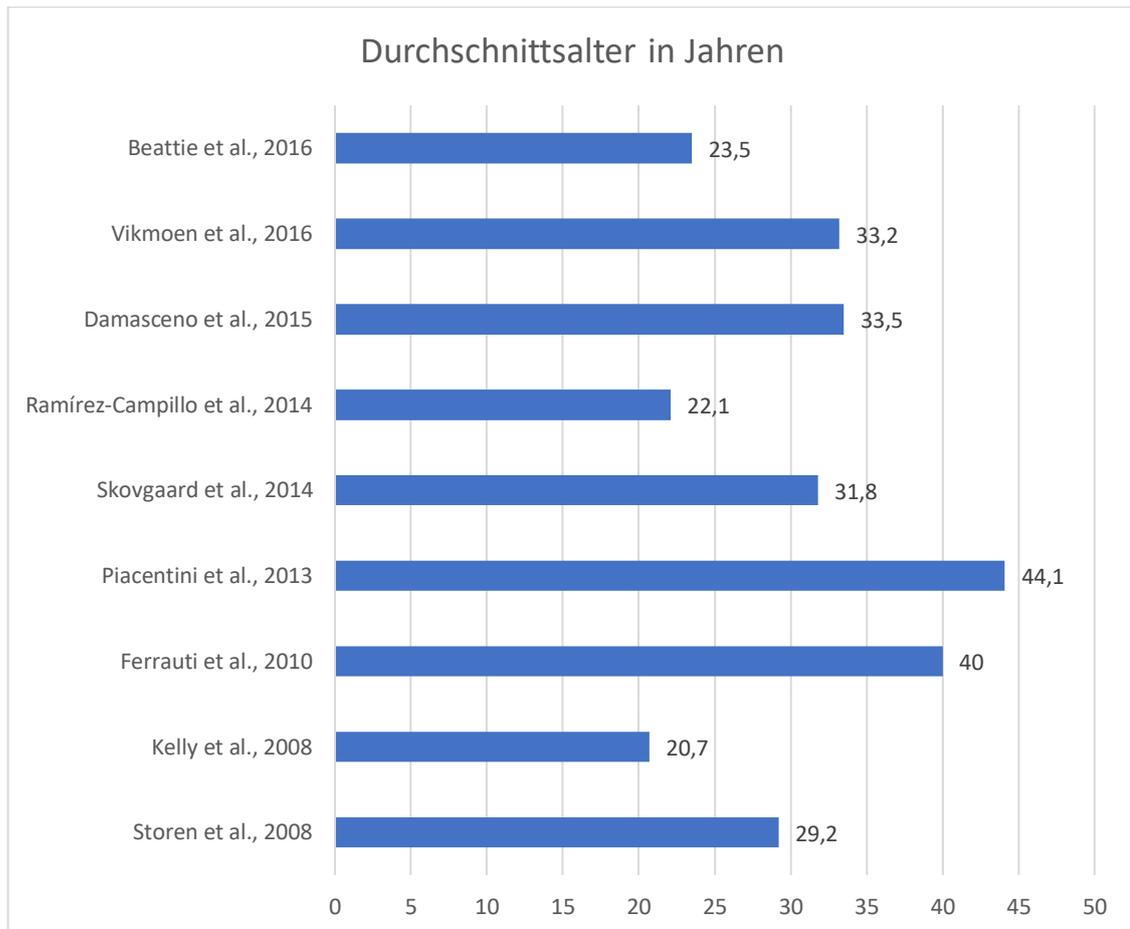


Abbildung 8: Durchschnittsalter in Jahren

Hinsichtlich der Testungsdauer kann ebenfalls ein Unterschied erkannt werden. Wie in Abbildung 9 ersichtlich ist, hat lediglich Beattie et. al. (2016) die Grenze der drei Monate überschritten, und dies deutlich (40 Wochen). Die restlichen Publikationen berufen sich auf einen Zeitraum zwischen acht und elf Wochen. Da die Dauer des angewandten Krafttrainings eine sehr große Rolle auf die physiologische Veränderung des Körpers eine große Rolle spielt, wird auf diesen Aspekt im folgenden Kapitel der Diskussion noch näher eingegangen.

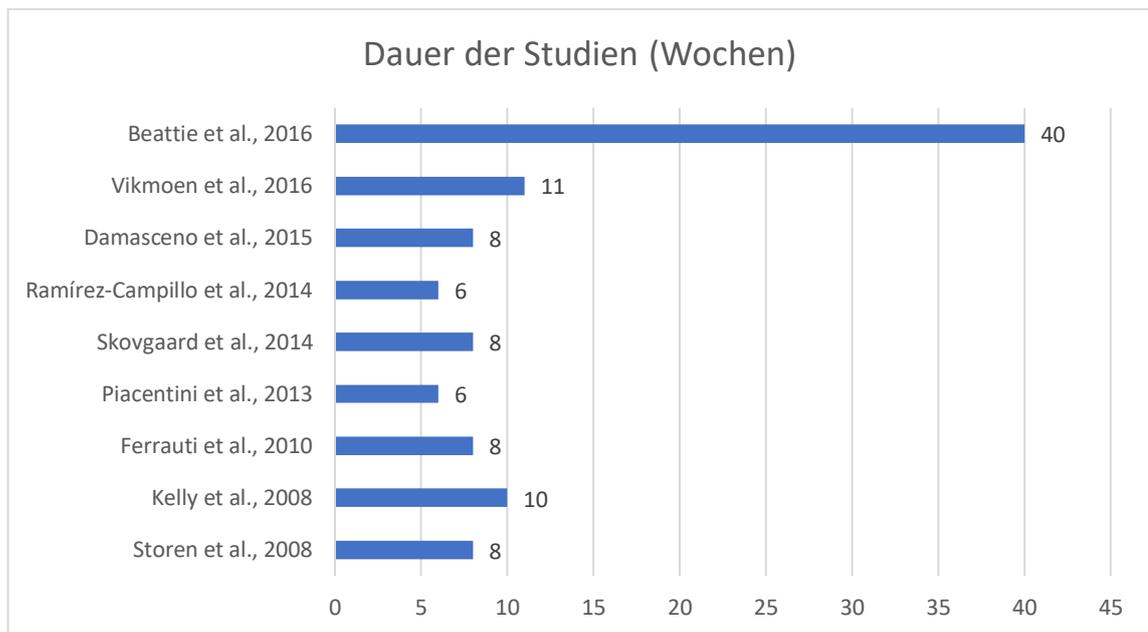


Abbildung 9: Dauer der Studien (Wochen)

Die Publikationen stammen allesamt aus Journals, wobei fünf davon im *Journal of Strength and Conditioning Research* (Beattie et al., 2016; Ramírez-Campillo et al., 2014; Piacentini et al., 2013; Ferrauti et al., 2010; Kelly et al., 2008) veröffentlicht wurden. Damasceno et al. (2015) und Skovgaard et al. (2014) publizierten im *European Journal of Applied Physiology*. Støren et al. (2008) schafften es mit seiner Publikation ins *Medicine and Science in Sports and Exercise Journal*. Vikmoen et al. (2016) brachten ihren Artikel im Online-Journal *PLOS ONE* heraus. Alle einbezogenen Studien wurden in englischer Sprache verfasst, haben ihren Ursprung jedoch in Universitäten verschiedenster Länder. Die Studienergebnisse von Beattie et al. (2016) stammen aus Irland, unterstützt durch die *University of Limerick*. Zwei Forschungen finden ihren Ursprung in Norwegen, Vikmoen et al. (2016) im *Lillehammer University College*, Støren et al. (2008) in der *Norwegian University of Science and Technology*. Von der in Deutschland gelegenen Ruhr-Universität liefern Ferrauti et al. (2010) ihre Daten. Im benachbarten Dänemark brachten die Kollegen der *University of Copenhagen* (Skovgaard et al., 2014) ihre Forschungsergebnisse mit ein. Piacentini et al. (2013) forschten mithilfe der *University of Rome* in Italien. Die restlichen Studienergebnisse kamen aus Übersee. Aus dem sonnigen São Paulo in Brasilien (Damasceno et al., 2015), Los Lagos in Chile (Ramírez-Campillo et al., 2014) und dem australischen Perth (Kelly et al., 2008).

Logischerweise unterscheiden sich die Publikationen hinsichtlich der Art des eingesetzten Krafttrainings voneinander. Erstaunlich ist jedoch, dass sich die Frequenz der eingesetzten Trainingseinheiten bei allen Studien zwischen 2 und 3 Einheiten pro Woche festsetzt.

Um die vorliegenden Resultate im Diskussionsteil gemeinsam interpretieren zu können, erscheint es sinnvoll zuerst kurz und prägnant die Ziele, die formulierten Ergebnisse und das Design der Studien einzeln zu erläutern.

In der Studie von Beattie et. al. (2016) gehen die Forscher vom Standpunkt aus, dass die Folgen einer Implementierung von Krafttraining von mehr als 10 Wochen noch nicht erforscht sei. Das selbst ernannte Ziel war daher, die Wirkung einer 40-wöchigen Krafttrainingsphase auf Maximal- und Reaktivkraft, auf die Leistungsphysiologischen Schlüsselfaktoren (VO_2max , RE) sowie auf die Körperzusammensetzung zu untersuchen. Hierfür wurde das Design einer kontrollierten Längsschnittstudie gewählt, bestehend aus einer Kontroll- und einer Experimentalgruppe. Zusätzlich zum üblichen Ausdauertraining war es die Aufgabe der Experimentalgruppe zwei Krafttrainingseinheiten pro Woche zu absolvieren. Das Hauptergebnis dieser Studie war, dass Krafttraining die Maximal- & Reaktivkraft und wichtige physiologische Leistungsindikatoren, insbesondere RE und VO_2max , bei Wettkampf-Distanzläufern signifikant verbessern kann. Interessanterweise wurden die Verbesserungen der Kraft, des RE und der VO_2max ohne signifikante Veränderungen der Körperzusammensetzung (Körpermasse, Fett- & Magergewebsmasse) erreicht. Beattie et. al. (2016) postulieren, dass diese Ergebnisse die Anwendung des Krafttrainings in der Gemeinschaft der Distanzläufer stark unterstützen.

Vikmoen et. al. (2016) setzten sich als Ziel ihrer Studie, die Auswirkung einer Ergänzung des normalen Ausdauertrainings durch Krafttraining auf die Laufleistung und Laufökonomie bei gut trainierten Sportlerinnen zu testen. 18 Ausdauerathletinnen wurden per Zufallsprinzip in zwei verschiedene Testungsgruppen eingeteilt. Das Krafttraining beinhaltete vier Übungen für die Beinmuskulatur, zwei Einheiten pro Woche für elf Wochen. Im Gegensatz zu ihrer Hypothese (Vikmoen et. al., 2016), hat das Implementieren von schwerem Krafttraining zum Ausdauertraining von gut trainierten weiblichen Ausdauersportlern keinen positiven Einfluss auf die Laufleistung gehabt, die anhand eines 40-minütigen All-Out-Test gemessen wurde. Der fehlende Effekt auf die Leistung ist laut Vikmoen et. al. (2016) darauf zurückzuführen, dass die

Krafttrainingsintervention keine Verbesserung der Laufökonomie oder eine Veränderung der mechanischen Eigenschaften der Patellarsehne zur Folge hatte. Das Krafttraining hatte jedoch auch keine negative Auswirkung.

Selbsternanntes Ziel der Studie von Damasceno et. al. (2015) war es, die Auswirkungen eines 8-wöchigen Krafttrainingsprogramms auf die neuromuskulären Eigenschaften und das Lauftempo zu analysieren, das von Läufern während eines *self paced* Ausdauerlaufs getestet wird. Hierfür wurden 19 Freizeitlangstreckenläufer per Zufallsprinzip, computergeneriert in zwei verschiedene Testungsgruppen eingeteilt. Das Krafttraining beinhaltete vier Übungen für die Beinmuskulatur, zwei Einheiten pro Woche für acht Wochen. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass ein 8-wöchiges Krafttraining die neuromuskulären Eigenschaften von AusdauerläuferInnen verbessert, was zu einem schnelleren und nachhaltigeren Endspurt während eines 10-km-Laufzeitversuchs führt. Diese Ergebnisse deuten darauf hin (Damasceno et. al., 2015), dass die neuromuskulären Eigenschaften eine wichtige Bestimmungsgröße für die Trainingsintensität während der mittleren bis zur letzten Phase eines 10-km-Laufs sein könnten. Darüber hinaus ist es möglich, dass der Kraftzuwachs nach einem Krafttrainingsprogramm zu einer reduzierten peripheren Ermüdung bei LangstreckenläuferInnen während der letzten Phasen eines Ausdauerlaufs beitragen kann, was zu einer verbesserten Gesamtleistung führt.

Das Forscherteam von Ramírez-Campillo et al. (2014) legte ihr Hauptaugenmerk auf das plyometrische Training und dessen Auswirkung auf die Explosivkraft- und Ausdauerleistung von hochleistungsfähigen Mittel- und LangstreckenläuferInnen. Um die Auswirkungen testen zu können, griffen Sie auf eine Studienteilnehmerzahl von 36 Personen zurück, welche 6 Wochen lang das vorgegebene Trainingsprogramm verfolgten. Ramírez-Campillo et al. (2014) erkannten, dass die Kombination von hochintensiven plyometrischen Übungen (Drop Jumps) und Laufausdauertraining nach 6 Wochen Training bei leistungsorientierten Mittel- und Langstreckenläufern zu einer Steigerung der Explosivkraft und der Laufausdauerleistung führt. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass zur Optimierung der Laufausdauerleistung und der Anpassung der Explosivkraft bei Mittel- und Langstreckenläufern ein plyometrisches Trainingsprogramm in das reguläre Lauftraining integriert werden sollte.

Die TeilnehmerInnen der Untersuchung von Skoovgaard et. al. (2014) nahmen an der Studie teil, um zu erfahren, ob am selben Tag ausgeführtes Ausdauer- und Krafttraining

kompatibel sind, und zu Verbesserungen der kurz- und langfristigen Ausdauerleistung führen. Für diesen Zweck wurden 23 trainierte Hobbyausdauerläufer per Zufallsprinzip in zwei verschiedene Testungsgruppen eingeteilt. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie waren, dass ein Einsatz von gleichzeitigem Ausdauer- und schwerem Widerstandstraining, einschließlich zwei wöchentlichen Sitzungen mit aerobem Training, die Leistung von 10 km, 1.500 m und Yo-Yo IR2-Test bei mäßig trainierten Ausdauerläufern verbesserte. Darüber hinaus führte das Training zu einer besseren Laufökonomie, einer erhöhten dynamischen Maximalkraft und einem höheren Gehalt an Muskel NHE1, während VO_2max unverändert blieb.

Für Piacentini et al. (2013) forschten über den Zusammenhang von gleichzeitigem Ausdauer- und Krafttraining, jedoch mit einer zusätzlichen Komponente: dem Alter. Ihr Zweck der Studie war es, die Frage zu beantworten, ob die Aufnahme von regelmäßigen Krafttraining zusätzlich zum normalen Laufprogramm für *master endurance athletes*, also Ausdauersportlern in einer höheren Altersklasse, einen positiven Einfluss auf die Ausdauerleistung verspricht. Für diese Untersuchung konnten 16 Personen überzeugt werden, die in der Studie als *well trained master runners* beschrieben werden. Die sechs Wochen andauernde Forschung brachte laut Piacentini et al. (2013) folgendes Ergebniss: Master-Ausdauersportler scheinen einen Nutzen von gleichzeitigem Kraft- und Ausdauertraining ziehen zu können, da die Geschwindigkeit der Kraftentwicklung einen entscheidenden Faktor für die Laufökonomie darstellt, einer der wichtigsten Determinanten der Ausdauerleistungsfähigkeit.

Ferrauti et al. (2010) definierten das Ziel ihrer Studie wie folgt: Die Auswirkungen eines gleichzeitigen Kraft- und Ausdauertrainingsprogramms auf die Laufleistung und Laufökonomie von Läufern mittleren Alters während der Marathonvorbereitung zu untersuchen. Sie schafften es 22 Testpersonen zu überzeugen, teilzunehmen. Darunter 14 Männer und acht Frauen, mit einem Durchschnittsalter von 40 Jahren. Die wichtigste Erkenntnis der vorliegenden Studie ist, dass die Laufkoordination (z.B. Schrittlänge und Schrittfrequenz) und die üblichen Parameter zur Messung der Laufökonomie (z.B. VO_2max) trotz einer deutlichen Verbesserung der Beinkraft als Reaktion auf ein von MarathonläuferInnen durchführbares Krafttraining mit geringem Volumen unverändert blieben. Zusätzlich zum Krafttraining empfehlen die AutorInnen (Ferrauti et al., 2010) in der Anfangsphase des Ausdauertrainings ein Lauftechniktraining (z.B. Lauf-ABC) im Freien, um die koordinative Lücke zwischen Krafttraining und Laufen zu schließen.

Kelly et. al. (2008) befassten sich mit Frauen aus dem Ausdauersport. Ihre Studie hatte zum Ziel, den Effekt von Krafttraining auf die Laufleistung bei 3km-Läufen zu untersuchen. Für diesen Zweck konnten sie 16 Athletinnen überzeugen teilzunehmen. Das Forscherteam ist auf das Ergebnis gestoßen, dass eine 10-wöchiges Implizieren von Krafttraining keinen Einfluss auf die Laufleistung in der 3km Distanz mit sich bringt.

Bei den Forschungen von (Støren et al., 2008) wurden, um die Auswirkungen von Maximalkrafttraining auf die Laufökonomie von Ausdauerläufern zu herauszufinden, 17 Personen rekrutiert. Acht Personen aus der Experimentalgruppe hatten die Aufgabe, zusätzlich zum normal durchgeführten Ausdauertraining, Maximalkrafttrainings durchzuführen. Das Team rund um Støren et. al. (2008) kam anhand dieser Studie zum Entschluss, dass acht Wochen Maximalkrafttraining zu einer deutlich erhöhten Laufökonomie (RE) und Zeit bis zur Erschöpfung bei gut trainierten AusdauerläuferInnen führt. Diese physiologische Veränderung geschieht, ohne gleichzeitiger Veränderung der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. des Körpergewichts.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass die neun Studien aus der Literaturrecherche keine konsistenten Ergebnisse liefern, dies wird später in der Diskussion erneut aufgegriffen. Die Tabelle 2 zeigt eine simple Darstellung der Studienergebnisse um sie nun gemeinsam interpretieren zu können. Hierbei ist anzumerken, dass die Frage der Auswirkung des Krafttrainings auf die Ausdauerleistungsfähigkeit nicht per se mit Ja oder Nein zu beantworten ist. Diese Tabelle soll lediglich den Zweck erfüllen, der Übersicht zu dienen und eine Basis zur Diskussion schaffen. Es ist zu sehen, dass fünf Studien (Beattie et. al., 2016; Damasceno et. al., 2015; Ramírez-Campillo et al., 2014; Skovgaard et al., 2014; Støren et al., 2008) den Anspruch erheben, dass sich die Intervention von Krafttraining positiv auf die Ausdauerleistungsfähigkeit auswirkt. Piacentini et al. (2013) sehen ebenfalls einen positiven Effekt, dieser ist der positive Effekt auf die Laufökonomie nur in Marathontempo erkennbar. Drei Forschungen sahen keine positive Entwicklung der Ausdauerfähigkeit nach dem Anwenden von Krafttraining (Vikmoen et al., 2016; Ferrauti et al., 2010; Kelly et al., 2008). Einklang herrscht in der Hinsicht des negativen Effekts. Hierbei sind sich alle Forscherteams einig, dass regelmäßiges Krafttraining keinen negativen Aspekt auf die physiologischen Parameter der Ausdauerleistung mit sich bringt.

Tabelle 2: Ergebnisdarstellung in kurzer Form

Studie	Positiver Effekt?	Negativer Effekt?
Beattie et al., 2016	Ja (↑ Maximal- und Reaktivkraft; RE)	Nein
Vikmoen et al., 2016	Nein	Nein
Damasceno et al., 2015	Ja (↑ 10km Ausdauerlauf)	Nein
Ramírez-Campillo et al., 2014	Ja (↑ 2.4km Ausdauerlauf; 20m Sprint)	Nein
Skovgaard et al., 2014	Ja (↑ 10km; 1500m; Yo-Yo IR2; RE)	Nein
Piacentini et al., 2013	Ja (↑ RE nur bei <i>marathon pace</i>)	Nein
Ferrauti et al., 2010	Nein	Nein
Kelly et al., 2008	Nein	Nein
Støren et al., 2008	Ja (↑ RE bei 70% VO ₂ max)	Nein

5 Diskussion

Ziel dieser Arbeit ist es, anhand eines Systematischen Reviews den Effekt von Krafttraining auf die Ausdauerleistungsfähigkeit von AusdauerläuferInnen darzustellen und die Ergebnisse übersichtlich zu veranschaulichen, um diese besser vergleichen zu können. Weiter soll durch diese Arbeit ein wissenschaftlicher Beitrag geleistet werden, da ein Systematischer Review ebenfalls Forschungslücken aufzeigen soll. In der Diskussion folgt eine Auseinandersetzung mit den im Kapitel 4 präsentierten Forschungsergebnissen, wobei dabei einige Punkte kritisch beleuchtet werden. Weiters werden so manche möglichen Einschränkungen dieser Arbeit diskutiert. Neun Studien aus der Literaturrecherche stehen für diese Diskussion zur Verfügung. Alle dieser Studien erfüllten die Einschlusskriterien, außerdem traf kein Ausschlusskriterium auf die zu. Zu Beginn erfolgt eine Interpretation der Studien im Einzelnen, um im weiteren Verlauf Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Zusammenhänge zu verdeutlichen.

Die Studie von Beattie et. al. (2016), die aktuellste Studie aus der Literaturrecherche, sticht mit der mit Abstand längsten Studiendauer heraus: 40 Wochen. Die Forschung begann mit 30 motivierten AthletInnen, von denen leider anhand von Verletzungen oder

Zeitproblemen nur 20 bis zum Schluss teilnehmen konnten. Das wichtigste Einschlusskriterium für das Forscherteam war es, dass die Teilnehmer keine Vorerfahrung mit Krafttraining hatten. Was hierbei positiv anzumerken ist, dass die Einführung und Kontrolle der Krafttrainingseinheiten von einem UKSCA akkreditierten S&C Coach geführt wurde. Würde nämlich ein Krafttraining bei unerfahrenen Athleten ohne umfassende Begleitung durchgeführt werden, bestünde die Gefahr von Verletzungen und unerwünschten Nebenwirkungen. Weiters positiv anzumerken ist, dass eine breite Palette an Testungen zur Anwendung kam. In Woche 0, 20 und 40 wurden anthropometrische Messungen vollzogen, Maximalkraft (Back Squat 1RM), Counter-Movement-Jump, Drop Jump und physiologische Leistungsindikatoren ($VO_2\max$, RE, $v_2\text{mmol/L}$ & $v_4\text{mmol/L}$ BLA) getestet. Dies erscheint durchaus sinnvoll, um verschiedene Parameter einer Leistungssteigerung abzudecken. Das eingesetzte Krafttraining wurde in zwei Hälften definiert. In den Wochen 0 bis 20 lag der primäre Fokus auf der Entwicklung von Maximalkraft, und der sekundäre Fokus am Zuwachs der Reaktivkraft. In den Wochen 21 bis 40 lag der primäre Fokus auf der Explosiv- und Reaktivkraft, und der sekundäre Fokus auf der Aufrechterhaltung der Maximalkraft. Diese Zielsetzungen sind durchaus sinnvoll in Anbetracht der formulierten Zielsetzung der Studie. Die Studie zeigt, dass sich impliziertes Krafttraining positiv auf die Maximal- und Reaktivkraft, und die *running economy* auswirkt. Auffallend ist, dass diese Steigerung ohne bemerkenswerte Änderung des Körperaufbaus manifestiert. Der einzig auffallende Kritikpunkt dieser Studie ist, dass zwar das Krafttraining einer ausreichenden Kontrolle unterzogen wurde, jedoch das Ausdauertraining ohne Beobachtung oder Nachvollziehbarkeit geschah. Hierbei wäre es wichtig zu wissen, ob alle Studienteilnehmer die gleiche Intensität und Qualität des Ausdauertrainings wahren konnten.

Vikmoen et. al. (2016) testeten in einer elf Wochen andauernden Studie zu Beginn 26 gut trainierte, weibliche Ausdauerläuferinnen, von denen lediglich 18 die Studie beenden konnten. Leider konnten anhand der Publikation und deren Daten keine Angaben zum Alter gefunden werden. Für eine umfassende Analyse und Interpretation wäre diese Information sehr hilfreich. Die Dauer und Intensität der Krafttrainings wurden anhand der gemessenen Herzfrequenz der Teilnehmerinnen konzipiert, und von einem ausgebildeten Supervisor beobachtet und kontrolliert. Die hohe Anzahl an Testungen kann sich sehen lassen. Anthropometrische Messungen, Muskelbiopsien, Messungen der physiologisch-mechanischen Eigenschaften der linken Patellarsehne, Squat Jumps und Counter-Movement-Jumps, Maximalkraft der einbeinigen Beinpresse, ein

Laufbandtest (VO_2max , Spitzengeschwindigkeit) und die Messung der 40min. all-out performance wurden durchgeführt. Diese große Anzahl an Daten lassen eine umfangreiche Analyse und Auswertung zu. Das Forscherteam rund um Vikmoen (2016) kam zu dem Entschluss, dass sich das durchgeführte Krafttraining nicht positiv auf die Ausdauerleistung der Athletinnen auswirkt. Weder die Experimental-, noch die Kontrollgruppe konnten eine Steigerung der zentralen Indikatoren für die Ausdauerleistungsfähigkeit (VO_2max , $\text{VO}_2\text{max RE}$) aufweisen. Es war ebenfalls keine positive Veränderung auf die Laufdistanz bei der 40min all-out Laufleistung zu erkennen. Die Tatsache, dass diese Studie nur weibliche Athleten einschließt, während die meisten früheren Studien entweder nur männliche oder eine Mischung aus männlichen und weiblichen Läufern einschließen, kann vielleicht erklären, warum keine Auswirkungen des Krafttrainings auf die Ökonomie des Laufens beobachtet wurden. Es wurde jedoch in früheren Studien berichtet, dass Krafttraining die Laufökonomie von Läuferinnen verbessert (Johnston 1997) was diese Erklärung unwahrscheinlich macht. Einer der am häufigsten vorgeschlagenen Mechanismen für die mögliche ergonomische Wirkung von Krafttraining auf die Laufökonomie ist die Steifigkeit der Muskel- oder Sehnenansätze in den Beinen (Guglielmo 2009). Trotz dieser Spekulation haben Studien noch nicht die Wirkung von Schwerlasttraining auf die mechanischen Eigenschaften der Patellarsehnen in Verbindung mit der Laufökonomie untersucht. In dieser Studie deuten die veränderte Sehnensteifigkeit und die erhöhte Kraft darauf hin, dass während der Standphase möglicherweise mehr elastische Energie im Kniescheibengarten gespeichert wird, die die muskuläre Leistung und Effizienz verstärkt. Das Ausbleiben von Änderungen der Laufökonomie unterstützt diese Hypothese jedoch nicht, und die Schlussfolgerung kann in der vorliegenden Studie nicht in Bezug auf den Einfluss der Patellarsehnen-Eigenschaften gezogen werden. Die maximale Sauerstoffaufnahme im Muskel wurde im Labor bei der Messung der Spitzenleistung bei verschiedenen Laufstrecken gemessen und kann tatsächlich als Maß für die Laufleistung angesehen werden (Hill 1996). Das Ausbleiben eines erhöhten VO_2max zeigt, dass schweres Krafttraining in der aktuellen Studie nicht zu einer Verbesserung der Laufleistung geführt hat.

Die Forschungen von Damasceno et. al. (2015) dauerten 8 Wochen an und begleiteten zu Beginn 26 trainierte Freizeitathleten, von denen 19 die Studie beenden konnten. Schon bei der Auswahl der Testpersonen fallen ausgeprägte Ausschlusskriterien auf. Neben den üblichen und durchwegs als sinnvoll erscheinenden Ausschlusskriterien wie Neuromuskulären Störungen, Vorerfahrungen mit Krafttraining oder Kardiovaskulären

Dysfunktionen, war ein weiteres Kriterium angegeben: Vegetarier. Vor einigen Jahren konnten Craddock, Probst, und Peoples (2016) die schon in der Gesellschaft angekommene Ansicht, dass die rein auf Pflanzen basierende Ernährung keine negativen Effekte auf die sportliche Leistungsfähigkeit mit sich bringt, bestätigen. Somit erscheint dieses Ausschlusskriterium, ohne es in ihrer Publikation näher zu diskutieren, als nicht sinnvoll. Ein weiterer Kritikpunkt an dieser Studie ist, dass sich das Krafttraining ausschließlich mit den Beinstreckern befasst. Hierbei wäre es sinnvoll gewesen, auch Beuger zu trainieren, um einen Einfluss auf die Ausdauer- und Laufleistung besser untersuchen zu können. Außerdem wurde das Volumen auf lediglich vier Übungen beschränkt, somit lässt sich das Ergebnis sehr schwer mit der „reale Welt“ des Krafttrainings vergleichen. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass sich eine Leistungssteigerung bemerkbar machte, jedoch nur bei der Testung des 10km Ausdauerlaufs. Bei den gängigen Parametern der Leistungsfähigkeit konnte kein Zuwachs festgestellt werden.

Ramírez-Campillo et al. (2014) lieferten mit ihrer Studie einen weiteren Beitrag zur Analyse. Sofort fällt die kurze Studiendauer auf. Sechs Wochen Krafttraining erscheinen für körperliche Adaptionen denkbar kurz. Ein weiterer Kritikpunkt ist der Umfang der durchgeführten Testungen. Es wurden der Körperaufbau, Counter-Movement Jumps, Drop-Jumps, 20m Sprints und 2.4km Laufzeiten getestet, jedoch bleibt eine Messung der physiologischen Leistungsindikatoren völlig aus. Diese Indikatoren sind jedoch essenziell, um eine Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit gründlich zu analysieren. Weiters fällt auf, dass sich das Ausmaß des Krafttrainings lediglich auf 60 Bounce-Drop-Jumps pro Einheit beruhen. Um eine generelle Einschätzung der Auswirkungen von Krafttraining tätigen zu können, müsste der Umfang des Krafttrainings erhöht werden. Umso erstaunlicher ist, dass diese Studie trotzdem einen positiven Zusammenhang von Krafttraining auf die Ausdauerleistungsfähigkeit herstellen kann. Die Haupteckenerkenntnis der Studie ist, dass die Kombination aus plyometrischen Übungen und Ausdauertraining die Explosivkraft und Ausdauerleistungsfähigkeit von Mittel- und Langstreckenläufern signifikant verbessert. Bei der TG konnte eine dreimal so hohe relative Zeitreduktion im 2.4km Ausdauerlauf festgestellt werden.

Der Forschungsauftrag von Skoovgaard et. al. (2014) war deutlich ersichtlich und wurde schon in der Einleitung der Publikation skizziert. Sie stellten die Hypothese auf, dass *concurrent speed endurance und resistance training* die Leistung, Laufökonomie und

Muskel NHE1 in von gut trainierten LäuferInnen verbessert. Die acht Wochen andauernde Studie überzeugt mit einer sehr breit angelegten und gut konzipierten Kombination aus Testverfahren und einem sportwissenschaftlich nachvollziehbaren Trainingsplan. Hinsichtlich der Kontrolle und Beobachtung ist hierbei anzumerken, dass lediglich die Interventionsgruppe ausreichend betreut wurde, die Kontrollgruppe wurde damit beauftragt ihr gewöhnliches Ausdauertraining weiterhin zu verfolgen. Diese Tatsache könnte die Vergleichbarkeit der beiden Gruppen in Frage stellen. Das Team rund um Skoovgaard et. al. (2014) kam zu dem Ergebnis, dass der Einsatz von parallel verlaufendem Ausdauer- und Krafttraining, einschließlich zweier wöchentlicher Aerobic-Trainingseinheiten die Leistungsfähigkeit bei 10km und 1500m Ausdauerläufen sowie bei Yo-Yo IR2 Tests bei mäßig trainierten Ausdauerläufern verbesserte. Außerdem führten die Trainingseinheiten zu einer besseren RE. Die Testergebnisse zeigen keine Veränderung bei $VO_2\text{max}$, weder bei der Kontrollgruppe, noch bei der Interventionsgruppe. Anhand des Studiendesigns (*high resistance training* und *speed endurance training* wurden immer am selben Tag, direkt hintereinander durchgeführt) lässt sich sehr schwer eruieren, ob nun das HRT oder SET ausschlaggebend für die Veränderungen der Ausdauerleistungsfähigkeit waren.

Piacentini et. al. (2013) wählten *master endurance runners*, also eine deutlich ältere Gruppe an Testpersonen, um ihre Forschungsfrage zu beantworten. Das Durchschnittsalter der TeilnehmerInnen lag bei 44,1 Jahren (± 8.7 Jahre). Gleich wie der bei Studie von Ramírez-Campillo et al. (2014) liegt hier der erste Kritikpunkt an der Dauer der Studie, die sich bei 6 Wochen einpendelt. Positiv anzumerken ist die Ausführung der Krafttrainings. Das Forscherteam kann mit einem erstaunlich umfangreichem, gut konzipiertem und kontrolliertem Trainingsprogramm aufzeigen. In der Tabelle 1 ist der Umfang des Krafttrainings ersichtlich. Die Studienergebnisse zeigen eine signifikante Verbesserung der RE ($p < 0.05$) für die *MST* (6.17%), jedoch nur bei *marathon pace*. Bei allen anderen Geschwindigkeiten konnte keine signifikante Veränderung festgestellt werden.

Ferrauti et. al. (2010) erklärten in der Einleitung, die Auswirkungen eines gleichzeitigen Kraft- (z.B. komplexes Krafttrainingsprotokoll) und Ausdauertrainingsprogramms auf die Laufleistung und Laufökonomie von LäuferInnen mittleren Alters während ihrer Marathonvorbereitung zu untersuchen. Von den 22 erfahrenen Freizeitläufern, die zu Beginn der Studie rekrutiert werden konnten, haben diese 20 absolviert und die Dauer

belieft sich auf acht Wochen. Die vorliegende Studie kann durch eine sehr gut durchdachte und durchgeführte Krafttrainingsintervention überzeugen. Lediglich die Art des Ausdauertrainings kann in Frage gestellt werden. Dies beschränkte sich auf eine Einheit pro Woche. Die ForscherInnen kamen zu dem Ergebnis, dass sich ein achtwöchiges Krafttraining auf keinen der Indikatoren für die Ausdauerleistungsfähigkeit auswirkt, weder positiv noch negativ.

Für Kelly et. al. (2008) bildeten 16 gut trainierte AusdauerläuferInnen die Basis für ihre Forschung. Verglichen mit den anderen eingeschlossenen Studien, ist dieser Forschung mit einer Dauer von 10 Wochen im oberen Drittel angesiedelt. Das Krafttraining beinhaltete sieben Übungen für Unter- und Oberkörper. Positiv anzumerken ist, dass dies das einzige Studiendesign vorweist, dass nicht nur das Krafttraining, sondern auch das Ausdauertraining kontrolliert und protokolliert. Dies lässt einen Vergleich beider Gruppen bestmöglich zu. Kelly et. al. (2008) kamen zu dem Ergebnis, dass das angewandte Krafttraining zwar die Laufleistung bei der 3km Testung erhöhen konnte, jedoch keine Steigerung von $VO_2\text{max}$ oder RE mit einhergeht. Somit besteht nur ein geringer positiver Zusammenhang von Krafttraining und der Ausdauerleistungsfähigkeit in diesem Studiendesign.

In der letzten Studie aus der Literaturrecherche konnten Støren et. al. (2008) 17 AusdauerathletInnen gewinnen, teilzunehmen. Verglichen zu den Anderen, lässt diese Studie ein geringes Ausmaß an Testverfahren erkennen. Es wurden lediglich die Maximalkrafttestung im *half squat* und ein Laufbandtest ($VO_2\text{max}$, RE, BLA) durchgeführt. Außerdem kann man die Intervention des Krafttrainings in Frage stellen. Aus dem Paper ist zu entnehmen, dass die StudienteilnehmerInnen 4 x 4 *RM half squats* durchzuführen hatten, und dies 3x pro Woche. Geht man davon aus, die Auswirkungen von Krafttraining im Allgemeinen erforschen zu wollen, erscheint es sinnvoll ein breiteres Spektrum an Übungen durchzuführen. Die ForscherInnen kamen zu dem Ergebnis, dass das achtwöchige Krafttraining zu einer Steigerung der Laufökonomie in der Interventionsgruppe führte, ohne einhergehende Steigerung von $VO_2\text{max}$ oder Erhöhung des Körpergewichts.

An diesem Punkt der Diskussion ist die Zeit gekommen, die zu Beginn formulierten Forschungsfragen zu beantworten. Hierfür werden diese erneut angeführt, um danach in möglichst kurzer und prägnanter Form beantwortet zu werden. Der Zweck dieses

Systematischen Reviews ist es, die Forschungsfragen so eindeutig wie möglich beantworten zu können, und den Weg für zukünftige Forschungen zu ebnen. Hierbei sollen Lücken, Missstände und Limitationen der analysierten Forschungen und Ergebnisse erläutert werden. Im Anschluss gibt das letzte Kapitel *Ausblick* Empfehlungen und Anliegen für künftige wissenschaftliche Abhandlungen zu Auswirkungen von Krafttraining auf die Leistungsfähigkeit von AusdauerathletInnen.

Hauptforschungsfrage: *Wirkt sich die Implementierung von Krafttrainingseinheiten auf die Laufleistung von Ausdauerathleten positiv aus?*

Wie aus den Ergebnissen abzulesen, kann diese Frage anhand der neun aus der Literaturrecherche stammenden Studien nicht eindeutig beantwortet werden. Was zu erwähnen ist, dass einige Studien positive Auswirkungen nachweisen konnten, wie Damasceno et. al. (2015), die eine Verbesserung der Laufzeit beim 10km Ausdauerlauf anführen. Ramírez-Campillo et al. (2014) verweisen auf eine Leistungssteigerung im 2.4km Ausdauerlauf und im 20m Sprint, während Beattie et. al. (2016) auf eine signifikante positive Auswirkung auf Maximal- und Reaktivkraft sowie die *running economy* verweisen. Die Forschung von Skoovgaard et. al. (2014) erkannte die meisten positiven Aspekte des Krafttrainings, hierbei bewirkte es eine Leistungssteigerung im 10km Ausdauerlauf, im 1500m Lauf, bei dem durchgeführten Yo-Yo IR2 Test und ebenfalls in der Laufökonomie. In Hinblick auf die Laufökonomie konnten Piacentini et. al (2013) und Støren et. al. (2008) ebenfalls eine positive Auswirkung des implizierten Krafttrainings feststellen, jedoch sei gesagt, dass dies lediglich bei Marathontempo (Piacentini et. al., 2013) und bei der Schwelle von 70% VO_{2max} (Støren et. al., 2008) erkennbar war. Betrachtet man lediglich diese Ergebnisse, so könnte man durchaus davon ausgehen, dass Krafttraining ein entscheidender Faktor für die Verbesserung der Laufleistung angesehen werden kann, doch wäre diese einseitige Sicht ein Trugschluss. Es sollten diese Forschungsergebnisse zwar sicherlich Beachtung finden, so sind sie doch in Anbetracht der restlichen Studien aus der Literaturrecherche widersprüchlich. Die Forschungen von Vikmoen et. al. (2016), Ferrauti et. al. (2010) und Støren et. al. (2008) konnten anhand einer breiten Palette von Testverfahren und Krafttrainingsplänen keine signifikante positive Veränderung der Leistungsfähigkeit von AusdauerathletInnen ausfindig machen. Als Gründe für die inkonsistenten Ergebnisse können höchstwahrscheinlich die verschiedenen Studiendesigns, der große Unterschied am angewandten Krafttraining und die Diversität hinsichtlich der Testverfahren angeführt werden. Um eindeutige und aussagekräftige Ergebnisse liefern zu können, wäre es

sinnvoll für die künftigen Forschungen die soeben genannten Aspekte zu vereinheitlichen und wiederholen.

Unterforschungsfrage: *Kann durch gezieltes Krafttraining die maximale Sauerstoffkapazität (VO_2max) gesteigert werden?*

Diese Forschungsfrage kann mit einem *Nein* beantwortet werden, obwohl aufgrund diverser Begebenheiten zum derzeitigen Zeitpunkt keine eindeutige Aussage getätigt werden kann. Beispielsweise verzichtet das Studiendesign von Ramírez-Campillo et al. (2014) komplett auf einen Laufbandtest, somit fehlt der Parameter der maximalen Sauerstoffaufnahme komplett. Weiters ist zu erwähnen, dass alleine aufgrund der gesetzten Forschungsziele in weiteren drei Publikationen (Skoovgard et. al., 2014; Piacentini et. al. 2013; Kelly et. al., 2008) das Hauptaugenmerk eher an den gemessenen Laufzeiten angesiedelt ist, die physiologischen Parameter spielen hierbei eine untergeordnete Rolle. Jene fünf Studien (Beattie et al., 2016; Vikmoen et al., 2016; Damasceno et al., 2015; Ferrauti et al., 2010; Støren et al., 2008) die VO_2max und RE als die Hauptindikatoren für eine Verbesserung der Laufleistung definiert haben, und diese auch ausreichend untersuchen konnten, zeigen keinen signifikanten positiven Zusammenhang zwischen systematisch durchgeführtem Krafttraining und der Ausdauerleistungsfähigkeit von erfahrenen Athletinnen und Athleten.

Unterforschungsfrage: *Kann durch systematisch angewandtes Krafttraining eine positive Veränderung der RE bewirken?*

Hinsichtlich der physiologischen Ausdauerleistungsindikatoren spielt neben der maximalen Sauerstoffaufnahme im Muskel auch die *running economy* eine wichtige Rolle. Anders als bei den Ergebnissen über die Veränderung von VO_2max , konnten vier Studien (Beattie et. al., 2016; Skoovgaard et. al., 2014; Piacentini et. al., 2013; Støren et al., 2008) eine Steigerung der RE verbuchen. Es erscheint jedoch sinnvoll diese Ergebnisse näher zu betrachten. Die Forschungen von Beattie et. al. (2016) und Skoogaard et. al. (2014) erkannten, dass das angewandte Krafttraining eine allgemeine Verbesserung der RE zur Folge hatte, hingegen stellten Piacentini et. al. (2013) nur eine Steigerung bei *marathon pace* fest, und Støren et al. (2008) lediglich bei einer Schwelle von 70% VO_2max . Zwei Studien verzichteten komplett auf die Messung von RE (Vikmoen et. al., 2016; Ramírez-Campillo et. al., 2015), und können somit keinen Aufschluss über diese Fragestellung liefern. Die Forscherteams unter der Leitung von Damasceno et. al. (2015), Ferrauti et. al. (2010) und Kelly et. al. (2008) hatten zwar den

Anspruch anhand von Laufbandtests die *running economy* zu testen, kamen jedoch auf das Ergebnis, dass ihr jeweilig ausgeführtes Krafttraining keinen signifikanten Einfluss auf den Parameter RE hatte. Somit erscheint ein eindeutiges Fazit als schlicht unmöglich. Die Auswirkungen von Krafttraining auf die *running economy* scheint von diversen Faktoren abhängig zu sein, wie z.B. von der Art und Dauer des Krafttrainings, Alter und Geschlecht. Um hinsichtlich dieser Fragestellung eindeutige Ergebnisse liefern zu können, wäre es sinnvoll diesen Zusammenhang anhand von ähnlicheren Studiendesigns zu testen.

Unterforschungsfrage: *Besteht Evidenz dahingehend, dass durch den concurrent training effect ein negativer Einfluss des Krafttrainings auf die Ausdauerleistungsfähigkeit auftritt?*

Scheint die Frage einer positiven Auswirkung von Krafttraining auf die Ausdauerleistungsfähigkeit noch so schwer, herrscht in der Frage der negativen Auswirkungen Einklang. Aus allen vorliegenden Studien kommt hervor, dass sich das Hinzufügen von Krafttraining zum regulären Ausdauertraining nicht negativ auf die Leistungsfähigkeit auswirken kann. Diese Erkenntnis erscheint in Anbetracht der gängigen Meinung über Krafttraining im Ausdauersport als höchst relevant, da Kraft und Ausdauer traditionell als zwei bedingte Fähigkeiten galten, die dem entgegengesetzten Spektrum entsprechen (Ahmad & Roach 2014, Knuttgen 2007). Der *concurrent training effect* scheint in Anbetracht der vorliegenden Studien nicht in Erscheinung zu treten. Jedoch ist hierbei zu erwähnen, dass die analysierten Studien größtenteils zwischen dem angewandten Kraft- und Ausdauertraining sehr viel Zeit liegen. Um eine genauere Betrachtung dieses Effekts gewährleisten zu können, müsste das angewandte Krafttraining zumindest in einem Zeitraum von ein paar Stunden getätigt werden.

6 Ausblick

Betrachtet man die Ergebnisse kommt man zu der Erkenntnis, dass seitens der Forscherinnen und Forscher auf jeden Fall Handlungsbedarf besteht. Lediglich neun Studien konnten für diesen Systematischen Review aus der Literaturrecherche gefunden werden, die alle Einschlusskriterien erfüllten, und auf die im Umkehrschluss kein Ausschlusskriterium zutraf. Bezüglich dieser Kriterien könnte bestimmt das Argument geltend gemacht werden, dass diese bereits sehr großzügig definiert waren, sodass nach Möglichkeit viele Publikationen aufgenommen werden konnten. Analysiert und interpretiert man diese Ergebnisse, kann, wie zuvor mehrfach erwähnt, keine klare Aussage hinsichtlich der positiven Auswirkung von Krafttraining auf die Ausdauerleistungsfähigkeit von Athletinnen und Athleten gemacht werden. Dies deutet darauf hin, dass hierfür noch intensivere und konsistentere Forschungen und Studiendesigns als wichtig erscheinen, um dieser Frage nachzugehen.

Aufgrund der Tatsache, dass Krafttraining im Hobby- sowie im Leistungssport in den vergangenen Jahren deutlich an Beliebtheit gewinnt, erscheint eine weitere sportwissenschaftliche Betrachtung als nahezu unumgänglich. Die Tatsache, dass auf jeden Fall kein negativer Effekt auf die Ausdauerleistung auftreten kann, verstärkt die Ansicht den Einsatz von Krafttraining im Ausdauersport auszuweiten.

Rekapitulierend kann verdeutlicht werden, dass segmentiert auf die formulierten Forschungsfragen eingegangen wurde und diese ebenso bestmöglich beantwortet wurden. Der erstrebte Vergleich der vorliegenden Studien stellt sich als erdenklich schwierig heraus, da die unterschiedlichen Studiendesigns und Testpopulationen eine konsistente Gegenüberstellung schlichtweg unmöglich machen. Dies hat zur Folge, dass nur sehr Allgemeine Aussagen getätigt werden können, jedoch zeichnet jede einzelne Studie für sich ein klares Bild.

Der hier vorliegende Systematische Review lässt leider nur die Vermutung zu, dass sich ein systematisch durchgeführtes Krafttraining positiv auf die Ausdauerleistungsfähigkeit auswirken kann. Eine genauere Aussage hinsichtlich des positiven Zusammenhangs lässt sich leider nicht tätigen. Künftig erscheinende Systematic Reviews sollten engere Einschlusskriterien verwenden, um konsistentere Ergebnisse liefern zu können. Ein negativer Effekt kann jedoch ausgeschlossen werden.

7 Literaturverzeichnis

- Ahmad, S., & Roach, R. (2014).** Strength versus endurance. *Austin Journal of Orthopedics & Rheumatology*, 1(2), 42–49.
- Aagaard, P., & Mayer, F. (2007).** Neuronal adaptations to strength training. *Deutsche Zeitschrift Fur Sportmedizin*, 58(2), 50–53.
- Baar, K. (2006).** Training for endurance and strength: Lessons from cell signalling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(11): 1939-1944. 2006.
- Bachl, N., Löllgen, H., Tschann, H., Wackerhage, H., Wessner, B. (2018).** Molekulare Sport- und Leistungsphysiologie: molekulare, zellbiologische und genetische Aspekte der körperlichen Leistungsfähigkeit (B. Wessner Ed.): Wien: Springer.
- Bassett, D, Howley, E. (2000).** Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32(1): 70-84.
- Bazyler, C. D., Abbott, H. A., Bellon, C. R., Taber, C. B., & Stone, M. H. (2015).** Strength training for endurance athletes: Theory to practice. *Strength and Conditioning Journal*, 37(2), 1–12.
- Blagrove, Richard. (2013).** Programmes of concurrent strength and endurance training: how to minimise the interference effect. Part 1: Evidence and mechanisms of interference. *Professional Strength and Conditioning*. 31. 7-14.
- Blagrove, R., Howatson G., Hayes P. (2018).** "Effects of Strength Training on the Physiological Determinants of Middle- and Long-Distance Running Performance: A Systematic Review." *Sports Medicine* 48.5
- Bickel, C S, Slade, J, Mahoney, E, Haddad, F, Dudley, G. Adams, G. (2005).** Time course of molecular responses of human skeletal muscle to acute bouts of resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 98(2): 482-488.
- Bolster, D R., Kimball, S R. Jefferson, L S. (2003).** Translational control mechanisms modulate skeletal muscle gene expression during hypertrophy. *Exercise and Sport Science Reviews*, 31(3): 111-116.
- Craddock, J; Probst, Y; Peoples, G. (2016).** Vegetarian and Omnivorous Nutrition - Comparing Physical Performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 26, 212–220.

- Chromiak, J., Mulvaney, D. (2007).** A Review: The effects of combined strength and endurance training on strength development. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4(2): 55-60. 1990. 17. Coffey, V G and Hawley, J A. The molecular bases of training adaptation. *Sports Medicine*, 37(9): 737-763.
- Conley, D. (1979).** *THE RELATIONSHIP OF MAXIMAL OXYGEN UPTAKE AND RUNNING EFFICIENCY TO DISTANCE RUNNING PERFORMANCE.* ProQuest Dissertations and Theses. Web.
- Costill, D. (1967).** The relationship between selected physiological variables and distance running performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 7(2): 61-66.
- Di Prampero, P. E., Atchou, G., Brückner, J. C., & Moia, C. (1986).** The energetics of endurance running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(3), 259–266.
- Ellery, S. T., Keogh, J. W. L., & Sheerin, K. R. (2012).** Does maximal strength training improve endurance performance in highly trained cyclists: A systematic review. *European Journal of Sports and Exercise Science*, 1(3), 90–102.
- Fröhlich, M., Emrich, E., Pieter, A., & Stark, R. (2009).** Outcome effects and effects sizes in sport sciences. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 3(3), 175–179.
- García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., Carrasco, L., Díaz, A., & Izquierdo, M. (2009).** Endurance and neuromuscular changes in world-class level kayakers during a periodized training cycle. *European Journal of Applied Physiology*, 106(4), 629–638.
- Guglielmo, L.G., Greco, C.C., Denadai, B.S. (2009).** Effects of strength training on running economy. *Int J Sports Med*, 30, 27–32.
- Güllich, A., & Krüger, M. (2013).** *Sport: das Lehrbuch für das Sportstudium:* Springer Verlag.
- Higgins, J.P., & Green S. (2008).** *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions:* Chichester (UK): John Wiley & Sons.
- Hickson, R. C. (1980).** Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 45, 255–263
- Hill, D.W., Rowell, A.L. (1996).** Running velocity at VO₂max. *MedSciSportsExerc.*, 28, 114–119.

- Hohmann, A., Lames, M., Letzelter, M. (2010).** Einführung in die Trainingswissenschaft (5., unveränd. Aufl. ed.): Wiebelsheim: Limpert.
- Hoff, J., Gran A., and Helgerud, J. (2002).** Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 12(5): 288-295.
- Hottenrott, K., Seidel I., Alfermann D., (2017).** Handbuch Trainingswissenschaft – Trainingslehre: Schorndorf: Hofmann, 2017.
- Hottenrott, K., & Neumann, G. (2016).** Trainingswissenschaft: ein Lehrbuch in 14 Lektionen (3., überarbeitete Auflage ed.). Aachen; Högendorf; Wien [u.a.]: Meyer & Meyer Verlag.
- Johnston, R.E., Quinn, T.J., Kertzer, R., Vroman, N.B. (1997).** Strength training in female distance runners: Impact on running economy. *J Strength Cond Res.*,11, 224–229.
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008).** Endurance exercise performance: The physiology of champions. *The Journal of Physiology*, 586(1), 35–44.
- Knuttgen, H. G. (2007).** Strength training and aerobic exercise: Comparison and contrast. *Journal of Strength and Conditioning Research*,21(3),973–978.
- Lehman, M, Foster, C, Keul, J. (1993).** Overtraining in endurance athletes: A brief review. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25(7): 854-862.
- Lüchtenberg, D. (2005).** Funktionelles Begleittraining Im Ausdauersport: Leistung Optimieren, Überlastung Vermeiden. Aachen [u.a.]: Meyer & Meyer.
- Marées, H. d. (2003).** Sportphysiologie (Korr. Nachdr. der 9., vollst. überarb. und erw. Aufl. ed.): Köln: Sportverl. Strauß.
- McLaughlin, J. E., Howley, E. T., Bassett, D. R., Thompson, D. L., & Fitzhugh, E. C. (2010).** Test of the classic model for predicting endurance running performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42, 991–997.
- Mikkola, J, Rusko, H, Nummela, A, Pollari, T, Hakkinen, K. (2007).** Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *International Journal of Sports Medicine* 28(7): 602-611.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009).** Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264–269.

Olivier, N., Marschall F., Büsch D (2008). Grundlagen Der Trainingswissenschaft Und -lehre. Schorndorf: Hofmann.

Paavolainen, L. M., Nummela, A. T., & Rusko, H. K. (2000). Muscle power factors and VO₂max as determinants of horizontal and uphill running performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10 (1988), 286–291.

Rønnestad, B. R., Hansen, J., Hollan, I., & Ellefsen, S. (2014). Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 1 –10.

Rønnestad, B, Hansen, J, Hollan, I, Ellefsen, S. (2015). Strength training improves performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 25(1): 89-98.

Sedano, S., Marín, P. J., Cuadrado, G., & Redondo, J. C. (2013). Concurrent training in elite male runners: The Influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(9), 2433–2443.

Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465–485.

Schnabel, G., Berndt B. (2011). Trainingslehre - Trainingswissenschaft: Leistung - Training - Wettkampf. 2., Aktualisierte Aufl. ed. Aachen Graz [u.a.]: Meyer & Meyer

Vary, T C. (2006). IGF-I stimulates protein synthesis in skeletal muscle through multiple signalling pathways during sepsis. *American Journal of Physiology and Regulatory Integrative Comparative Physiology*, 290(2): R313-321.

Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M. C., Loenneke, J. P., & Anderson, J. C. (2012). Concurrent training: A meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(8), 2293–2307.

Yamamoto, L. M., Klau, J. F., Casa, D. J., Kraemer, W. J., Armstrong, L. E., & Maresh, C. M. (2010). The effects of resistance training on road cycling performance among highly trained cyclists: A systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research /National Strength & Conditioning Association*, 24(11), 560–566.

8 Eingeschlossene Studien

Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M., & Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Medicine*, 44, 845–865.

Damasceno, M.V., Lima-Silva, A.E., Pasqua, L.A., Tricoli, V., Duarte, C., Bishop, D.J., Bertuzzi, R. (2015). Effects of resistance training on neuromuscular characteristics and pacing during 10-km running time trial. *European Journal of Applied Physiology*, 155, 1513–1522.

Ferrauti, A., Bergemann, M., Fernandez-Fernandez, J. (2010). EFFECTS OF A CONCURRENT STRENGTH AND ENDURANCE TRAINING ON RUNNING PERFORMANCE AND RUNNING ECONOMY IN RECREATIONAL MARATHON RUNNERS. *JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH*, 24, 2770–2778.

Kelly, C.M., Burnett, A.F., Newton, M.J. (2008). THE EFFECT OF STRENGTH TRAINING ON THREE-KILOMETER PERFORMANCE IN RECREATIONAL WOMEN ENDURANCE RUNNERS. *JOURNAL OF STRENGTH AND CONDITIONING RESEARCH*, 22, 396–403.

Piacentini, M.F., De Ioannon, G., Comotto, S., Spedicato, A., Vernillo, G., La Torre, A. (2013). Concurrent Strength and Endurance Training Effects on Running Economy in Master Endurance Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 2295–2303.

Ramírez-Campillo, R., Álvarez, C., Henríquez-Olguín, C., Baez, E.B., Martínez, C., Andrade, D.C., Izquierdo, M. (2014). Effects of Plyometric Training on Endurance and Explosive Strength Performance in Competitive Middle- and Long-Distance Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28, 97–104.

Skoovgaard, C., Christensen, P.M., Larsen, S., Andersen, T.R, Thomassen, M., Bangsbo, J. (2014). Concurrent speed endurance and resistance training improves performance, running economy, and muscle NHE1 in moderately trained runners. *Journal of Applied Physiology*, 117, 1097–1109.

Støren, O., Helgerud, J., Stoa, E.M., Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *MEDICINE AND SCIENCE IN SPORTS AND EXERCISE*, 40, 1087–1092.

Vikmoen, O., Raastad, T., Seynnes, O., Bergstrøm, K., Ellesen, S., Rønnestad, B.R, Sacchetti, M. (2016). Effects of Heavy Strength Training on Running Performance and Determinants of Running Performance in Female Endurance Athletes. *PLOS ONE*, 11, 97–115.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausprägungsformen von Ausdauer (Hottenrott, 2010, S.111)	15
Abbildung 2: Methoden des Krafttrainings zur spezifischen Krafftähigkeiten (mod. nach Hottenrott,& Neumann, 2010, S. 190).....	24
Abbildung 3: Molekulare Signalwege, die als Reaktion auf Kraft- und Ausdauertraining aktiviert werden (Blagrove, 2013, S. 11).....	28
Abbildung 4: PRISMA-Flow-Diagramm (mod. n. Moher, 2009, S. 3).....	31
Abbildung 5: Studien nach Publikationsdatum	34
Abbildung 6: Anzahl der ProbandInnen	47
Abbildung 7: Durchschnittsalter in Jahren	48
Abbildung 8: Dauer der Studien (Wochen)	49

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse der Studien.....	37
Tabelle 2: Ergebnissdarstellung in kurzer Form.....	54

11 Eidesstattliche Erklärung

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

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

Wien, am _____

Unterschrift