

**Ausgewählte Aspekte des konditionellen Trainings  
im Alterssport und Nachwuchsleistungssport**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines  
DOKTORS DER PHILOSOPHIE (Dr. phil.)

von der KIT-Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften des  
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)  
angenommene

DISSERTATION

von  
Valentin Futterer  
aus Karlsruhe

KIT-Dekan: Prof. Dr. Michael Schefczyk

1. Gutachter: Prof. Dr. Thorsten Stein
2. Gutachter: Prof. Dr. Alexander Woll

Tag der mündlichen Prüfung: 21.10.2019



Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als akademischer Mitarbeiter am Institut für Sport und Sportwissenschaft (IfSS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Mein großer und herzlicher Dank gilt in erster Linie meinem Doktorvater Prof. Dr. Thorsten Stein, der mich als Doktorand in seiner Arbeitsgruppe aufgenommen und mich auch in schwierigen Phasen meiner Promotion in außerordentlichem Maße betreut, unterstützt und weitergebracht hat.

Gleichermaßen möchte ich mich bei meinem Zweitgutachter Prof. Dr. Alexander Woll sowie Hochschulsportleiter Dr. Dietmar Blicher bedanken – sie gaben mir überhaupt erst die Möglichkeit, mein Promotionsvorhaben umzusetzen. Ohne ihre Unterstützung und das große Vertrauen in meine Person wäre diese Doktorarbeit nicht durchführbar gewesen.

Ein herzlicher Dank gilt den Kolleginnen und Kollegen am IfSS, die mir durch ihre konstruktive Kritik und Zusammenarbeit geholfen haben. Insbesondere möchte ich hierbei Steffen Ringhof, Steffen Schmidt sowie Stefan Altmann danken. Mein Dank geht ebenso an die Studierenden Simon Keller, Marco Reichert, Philip Müller, Lea Kisling sowie Martin Kramer für ihre Mitarbeit an den Untersuchungen.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei meinen Kolleginnen und Kollegen des Hochschulsports für das angenehme Arbeitsklima und ihre Unterstützung während meiner Promotionszeit. Ein besonderer Dank geht hier an Sebastian Hartmann, der mir in der Endphase den Rücken freigehalten hat.

Ganz besonders möchte ich mich außerdem bei meinen Eltern, Geschwistern und Freunden bedanken, die mich auf meinem Weg durch das Leben begleitet und mich immer bedingungslos bei meinen Vorhaben bestärkt haben.

Mein letzter und größter Dank gilt meiner Frau und meinem Sohn. Ihr seid das größte Glück, das mir das Leben geschenkt hat. Für die tägliche Portion an positiver Energie und das tiefe Vertrauen, das ihr mir schenkt, werde ich immer dankbar sein.

Karlsruhe im August 2019

Das Ziel der vorliegenden Dissertation liegt in der Bestätigung der Trainingswirkungen spezifischer konditioneller Trainingsprotokolle für zwei diametrale Bereiche, dem Alterssport sowie dem Nachwuchsleistungssport. Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen die Effektivität der durchgeführten Trainingsinterventionen und liefern neue Erkenntnisse über die Auswirkung von spezifischem konditionellen Training im gesundheitsorientierten Seniorensport (Studie I) sowie dem Nachwuchsleistungssport (Studie II). Dabei besitzen die Ergebnisse beider Studien eine hohe Praxisrelevanz, die insbesondere in der Trainingssteuerung und -planung von Bedeutung ist. Die Erkenntnisse der beiden Interventionsstudien werden wie folgt zusammengefasst:

### *Studie I – Transferwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining bei Senioren*

Bisher wurden in nur wenigen Studien die Auswirkungen eines gangbasierten Ausdauertrainings auf die Maximalkraft der unteren Extremitäten untersucht. Weiterhin fand außerdem die Frage nach den Auswirkungen eines Maximalkrafttrainings auf die Ausdauerleistung in einem 2 km Walking-Test keine Berücksichtigung.

Aufgrund dieses Forschungsdefizites lag der Fokus von Studie I auf der Überprüfung (1) der Auswirkung eines 12-wöchigen Walkingtrainings auf die dynamisch gemessene Maximalkraft der unteren Extremitäten und (2) der Auswirkungen eines 12-wöchigen Maximalkrafttrainings auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test. Folgende Hauptbefunde wurden dabei festgehalten:

(1) Für beide Interventionsgruppen sind signifikant größere Zuwächse in den Leistungsmessungen der trainierten Fähigkeiten im Vergleich zur Kontrollgruppe zu verzeichnen; (2) Die Studie I belegt als erste dem Autor bekannte Untersuchung Transferwirkungen von Ausdauertraining auf die dynamische Maximalkraftleistung der unteren Extremitäten nach einer 12-wöchigen Intervention; (3) In der durchgeführten Interventionsstudie kann erstmalig ein Nachweis über die Transferwirkungen eines 12-wöchigen Maximalkrafttrainings der unteren Extremitäten auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test erbracht werden.

Diese Befunde stellen insbesondere für die Trainingspraxis wichtige Erkenntnisse dar. Demnach kann bereits ein 3-monatiges konditionelles Training einen altersbedingten Leistungsverlust von 5-15 Jahren neutralisieren. Aufgrund der in dieser Studie nachgewiesenen Transferwirkungen genügt dabei sowohl entweder ein Ausdauer- als auch ein Krafttraining, um bedeutende Verbesserungen in beiden Fähigkeiten zu erzielen.

Inwiefern diese Aussage für dauerhafte Anpassungen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit von Senioren gilt, lässt sich anhand dieser Untersuchung nicht klären. Ferner können keine Aussagen zu den physiologischen Hintergründen der ermittelten Transferwirkungen getroffen werden.

### *Studie II – Veränderung der Sprintleistung nach einer Konditionierungsaktivität bei Fußball-Nachwuchsleistungssportlern*

Das Kernziel der Studie II besteht aus der Fragestellung, wie sich eine Flywheel-Training Konditionierungsaktivität (FWT-KA) auf die Sprintleistung bei Nachwuchsleistungssportlern im Fußball auswirkt. Dabei wurde erstmalig die Auswirkung einer FWT-KA auf die Leistung in einem 180 Grad Richtungswechselsprint sowie der Zusammenhang zwischen der maximalen Muskelleistung während einer FWT-KA und den erhobenen Sprintzeiten überprüft. In diesen Bereichen betritt die Untersuchung Neuland und liefert folgende zentrale Befunde:

Ein FWT-KA führt zu (1) keiner Verbesserung der Sprintleistung in einem 10m-Linearsprint-Test; (2) einer Verbesserung der Sprintleistung in einem 180 Grad RWS über 5m. (3) Es konnte ein moderater Zusammenhang zwischen der, während der KA gemessenen exzentrischen Peak-Power und der Sprintleistung in einem 180 Grad RWS über 5 Meter ermittelt werden.

Veränderungen der linearen Sprintleistung wurden in bereits bestehenden Studien mit konventioneller KA (z.B. einer Langhantelkniebeuge) belegt, konnten in Studie II über die Distanz von 10m jedoch nicht bestätigt werden. Dagegen kann anhand der Studie erstmalig eine Leistungssteigerung in einem RWS durch ein KA nachgewiesen werden.

Schnelle Richtungsänderungen sind essentielle Bestandteile vieler Sportsportarten. Unter diesem Aspekt bietet nach den Erkenntnissen der Studie II ein FWT eine neue Plattform zur Leistungssteigerung in diesem Anwendungsfeld. Der praxisorientierte Nutzen besteht dabei hauptsächlich in einer gesteigerten Trainingsleistung, die langfristig auch die Leistungsfähigkeit im Wettkampf beeinflusst.

Auf Basis dieser Erkenntnisse stellt eine FWT-KA eine wirksame Alternative im Bereich der Postaktivierungspotenzierung (PAP) dar. Da anhand der Studie II nur ausgewählte Aspekte untersucht werden konnten, bedarf es umfangreicherer Forschung, um weitere potentielle Trainingswirkungen sowie die genaue Wirkweise zu bestätigen.

<b>1 Einführung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Aufbau der Arbeit.....	2
1.2 Theoretische Grundlagen.....	3
1.3 Zusammenfassung .....	22
<b>2 „Transferwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining bei Senioren“ .....</b>	<b>25</b>
2.1 Einleitung .....	26
2.2 Methodik.....	55
2.3 Ergebnisse.....	65
2.4 Diskussion.....	76
<b>3 „Veränderung der Sprintleistung nach einer Konditionierungsaktivität bei Fußball- Nachwuchsleistungssportlern“ .....</b>	<b>85</b>
3.1 Einleitung .....	86
3.2 Methodik.....	104
3.3 Ergebnisse.....	112
3.4 Diskussion.....	114
<b>4 Zusammenfassende Betrachtung und Ausblick.....</b>	<b>120</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>127</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>146</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>148</b>
<b>Appendix.....</b>	<b>150</b>



### 1 Einführung

Das grundlegende Forschungsinteresse dieser Arbeit ist im Bereich der Trainingswissenschaft verankert. Die Trainingswissenschaft wird als interdisziplinäre, angewandte Wissenschaft im Kontext praxisorientierter Forschung verstanden (vgl. Hohmann, Lames & Letzelter, 2014). Während ihre Ursprünge auf das Bestreben, leistungssportliches Training wissenschaftlich zu fundieren, zurückzuführen sind (vgl. Hottenrott & Seidel, 2017), reicht das Forschungsspektrum aus heutiger Sicht von der Entwicklung der motorischen Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter bis hin zur Erfassung der körperlichen Fitness im hohen Alter (vgl. Schnabel, Harre, Krug & Borde, 2005). Somit bestehen neben dem Leistungssport noch weitere relevante Themenfelder wie Schulsport, Fitness- und Gesundheitssport, Behindertensport und Sport im Alter.

Die Diagnose der motorischen Leistungsfähigkeit sowie deren Trainierbarkeit stehen im zentralen Fokus trainingswissenschaftlicher Untersuchungen. Dabei kommt nach Hottenrott und Seidel (2017) dem Effektivitätsnachweis besonders hohe Bedeutung zu. Diesen Aspekt greift die vorliegende Promotionsschrift mit dem Ziel auf, den Effektivitätsnachweis für zwei diametrale Bereiche – Alterssport und Nachwuchsleistungssport – auf Basis spezifischer konditioneller Trainingsprotokolle zu erbringen und offene Fragestellungen in diesem Forschungskontext zu beantworten. Im Rahmen der Dissertation wurden dazu die folgenden Interventionsstudien durchgeführt:

**Studie I:**

*„Transferwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining bei Senioren“*

**Studie II:**

*„Veränderung der Sprintleistung nach einer Konditionierungsaktivität bei Fußball-Nachwuchsleistungssportlern“*

### 1.1 Aufbau der Arbeit

Die Trainingsprotokolle der beiden Interventionsstudien sind auf ihre jeweilige Zielgruppe – Senioren und Fußball-Nachwuchsleistungssportler – abgestimmt und basieren demzufolge auf unterschiedlichen Trainingsformen der konditionell determinierten Fähigkeiten Ausdauer und/oder Kraft. Im einleitenden Teil der Arbeit erfolgt deshalb zunächst eine Begriffsbestimmung der Motorik sowie der motorischen Fähigkeiten und Fertigkeiten. Sie dient als theoretische Basis für die anschließende Einordnung und Charakterisierung der zentralen Konstrukte Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit.

Die Studien I und II werden darauf aufbauend separat in zwei Hauptteilen dargestellt und beinhalten folgende Untersuchungen:

Studie I widmet sich den Transferwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining bei Senioren. Anhand einer empirischen Untersuchung werden dabei die Auswirkungen eines Trainings einer konditionellen Fähigkeit (z.B. Kraft) auf die Leistungsfähigkeit in einer anderen Fähigkeit (z.B. Ausdauer) analysiert.

Studie II untersucht die Auswirkungen einer spezifischen Konditionierungsaktivität auf die Sprintleistung bei Nachwuchsleistungssportlern im Fußball. Hierzu wurden unterschiedliche Sprintleistungen jeweils ohne Vorbelastung und nach einer Vorbelastung auf einem Flywheel-Trainingsgerät miteinander verglichen.

Die beiden Hauptteile sind dabei nach dem gleichen Schema aufgebaut: In der Einleitung werden zunächst die Relevanz des Themas sowie die Forschungslage mit entsprechendem -defizit erläutert. Im Anschluss erfolgen die Beschreibung der Methodik sowie die Darstellung der Ergebnisse. Die Diskussion beinhaltet die Interpretation der Ergebnisse auf Basis des aktuellen Forschungsstandes und schließt den jeweiligen Hauptteil ab.

Eine zusammenfassende Betrachtung beider Studien bildet den Abschluss dieser Arbeit und gibt einen Ausblick für weitergehende Fragestellungen in diesem Forschungskontext.

Im Appendix befinden sich ergänzende deskriptive Statistiken zu Studie I sowie Informationsunterlagen zu beiden Studien.

## 1.2 Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel befasst sich mit den Themen Motorik bzw. motorische Leistungsfähigkeit, motorische Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie deren Differenzierung und liefert die theoretische Grundlage zur Einordnung der motorischen Fähigkeiten Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit.

### 1.2.1 Motorik

Nach Roth (1999, S. 232) betrifft der Gegenstandsbereich der Motorik die „Außen- und die Innenansicht von Bewegungen im Sport. Sie beschäftigt sich einerseits mit den beobachtbaren Produkten (Bewegungen und Haltungen) sowie andererseits mit dem Gesamtsystem jener körperinternen Prozesse [...], die den (Bewegungs-) Vollzügen zu Grunde liegen“.

Während bei Veröffentlichungen zur motorischen Leistung im angloamerikanischen Sprachraum meist Aussagen zur Außenansicht zu finden sind, wird bei der Beschreibung der motorischen Fähigkeiten im deutschsprachigen Raum verstärkt der Innenaspekt aufgegriffen (Willimczik & Singer, 2009, S. 17). Der Innenaspekt von Bewegungsausführungen basiert auf der fähigkeitsorientierten Betrachtungsweise bzw. Differenziellen Motorikforschung. Ziel dieses Forschungsfeldes ist die Darstellung individueller Differenzen in Bezug auf die qualitative Ausprägung von Steuerungs- und Funktionsprozessen. Dies erfolgt auf Basis von Fertigkeiten und nicht direkt beobachtbaren Fähigkeiten, die über sportmotorische Testverfahren operationalisiert werden (vgl. Roth, 1999).

### 1.2.2 Motorische Fähigkeiten und Fertigkeiten

In dem Modell der Fähigkeitsorientierung nach Roth (1999, S. 231) stehen die motorischen Fertigkeiten sowie motorischen Fähigkeiten in einer übergeordneten Position und sind durch eine bilaterale Beziehung gekennzeichnet (s. Abb. 1).

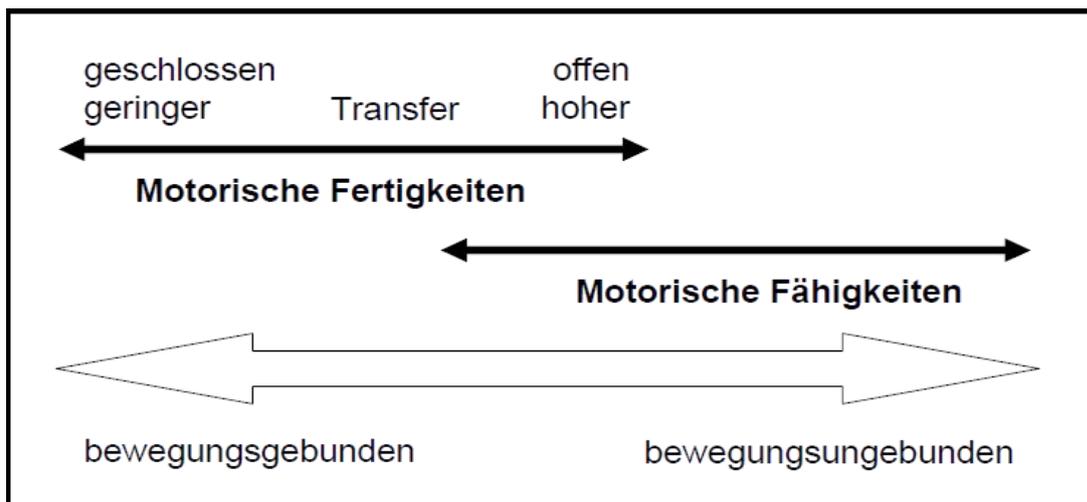


Abbildung 1: Motorikmerkmale von Bewegungen (nach Roth & Willimczik, 1999, S. 231)

Demnach werden bewegungsgebundene motorische Konstrukte unter dem Begriff der motorischen Fertigkeit zusammengefasst. Nach Roth (1999, S. 232) dienen sie der Kennzeichnung individueller Differenzen „[...] im Niveau der Steuerungs- und Funktionsprozesse, die der Realisierung jeweils spezifischer Bewegungen zugrunde liegen.“ Primär können die motorischen Fertigkeiten unter dem Gesichtspunkt der Komplexität in elementare und komplexe sportmotorische Fertigkeiten unterschieden werden. Die elementaren Fertigkeiten beinhalten die „early movement milestones“ wie z.B. das Greifen oder das Hochhalten des Kopfes in Bauchlage, die bereits vor dem aufrechten Gang erlernt werden, sowie die „fundamental movement skills“ wie Laufen, Springen, Werfen und Fangen. Die sportmotorischen Fertigkeiten, wie Speerwurf oder Pritschen, bauen auf den Elementarformen auf und werden nicht mehr von allen Individuen erworben (Burton & Miller, 1998, S.56; zitiert nach Roth & Roth, 2009, S. 228). Einen weiteren Differenzierungsaspekt stellt die situative Variabilität der Ausführungsform dar: Der Variabilitätsgrad unterscheidet zwischen offenen und geschlossenen Fertigkeiten. Geschlossene Fertigkeiten werden immer dann benötigt, wenn die Aufgabenstellung durch vorhersehbare konstante Bedingungen, wie beispielsweise die Wurfausführung im Darts-Sport oder ein Salto-Sprung im Turmspringen, charakterisiert ist. Offene Fertigkeiten zeichnen sich im Gegensatz dazu durch eine hohe Variationsbreite in der Bewältigung einer situativen Anforderung aus und sind in geringerem Maße an starre Bewegungsabläufe gebunden. Beispiele hierfür wären die Variation eines Handballwurfs in Relation zur

Bewegung des Torhüters oder die Ausführung eines Basketballwurfes in Abhängigkeit zur Distanz zum Korb und/oder des Einflusses eines Gegners.

Im Gegensatz zu motorischen Fertigkeiten stellen motorische Fähigkeiten von der Bewegungsausführung überwiegend unabhängige motorische Konstrukte dar, die Roth (1999, S. 233) wie folgt definiert: „Motorische Fähigkeiten kennzeichnen individuelle Differenzen im Niveau der Steuerungs- und Funktionsprozesse, die bewegungsübergreifend von Bedeutung sind. Sie bilden die Voraussetzung für jeweils mehrere strukturell verschiedenartige Ausführungsformen und sind in ihrem Erklärungswert von unterschiedlicher Breite bzw. Generalität.“

Zur Systematisierung der motorischen Fähigkeiten lieferte Gundlach bereits 1968 einen ersten Ansatz, indem er diese in konditionelle und koordinative Fähigkeiten unterschied. Dabei sind die konditionellen Fähigkeiten überwiegend durch energetische Prozesse, die koordinativen dagegen durch die Prozesse der Bewegungsteuerung und -regelung bestimmt (Hirtz, 2007, S. 212). Die heute in der deutschen Sportwissenschaft verbreiteten Modelle motorischer Fähigkeiten differenzieren weiter und unterscheiden in fünf motorische Basisfähigkeiten: Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit, Koordination und Beweglichkeit (Bös & Mechling, 1983; Hohmann, Lames & Letzelter, 2014). Eine eindeutige Zuordnung dieser Basisfähigkeiten zu den konditionell determinierten Systemen der Energiebereitstellung und -übertragung sowie den koordinativen Systemen der Informationssteuerung und -regelung gestaltet sich dabei jedoch schwierig. So konstatieren auch Hohmann et al. (2014) unscharfe Übergänge bei der Strukturierung von Leistungsvoraussetzungen, die aufgrund der vielfältigen Bezüge der hierarchischen Regulationsebenen untereinander entstehen. Diese betreffen u.a. die Überschneidungsbereiche von Kondition und Koordination (z.B. bei der Schnelligkeit) sowie von Kondition und Konstitution (z.B. bei Kraft und Ausdauer) und führen zu einer Reihe von Systematisierungsansätzen (vgl. Hohmann et al., 2014). Trotz oder gerade wegen dieser vielfältigen Ansätze zur Strukturierung der motorischen Fähigkeiten (u.a. Bös & Mechling, 1983; Hohmann et al., 2014; Meinel & Schnabel, 2007; Roth, 1999) besteht nach aktuellem Stand der Wissenschaft kein Konsens über ein einheitliches Modell. Ob es jemals ein Strukturierungsmodell geben wird, das allen Forschungszwecken genügt, bleibt somit auf-

grund der Komplexität und zahlreichen Ansätze zur Beschreibung menschlicher Bewegung fraglich. Diese Arbeit orientiert sich hinsichtlich der Einordnung der motorischen Basisfähigkeiten an den bestehenden Modellen von Bös und Mechling (1983) sowie Hohmann et al. (2014) und beschränkt sich aufgrund ihrer inhaltlichen Ausrichtung in der weiteren Betrachtung auf die Fähigkeiten Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit. Aktuelle Diskussionen wie beispielsweise die fragliche Generalisierbarkeit der Fähigkeitskonzepte (Hirtz, 2005, S. 131) oder die Plausibilität des Konstruktes Koordination im Modell der koordinativen Fähigkeiten (Stein & Hossner, 2017, S. 244) werden dabei nicht aufgegriffen.

Mit Bezug auf das Dissertationsvorhaben ist nicht nur das Verständnis motorischer Grundlagen von Bedeutung, sondern insbesondere auch deren sicht- und messbare Ausprägung, ausgedrückt als motorische Leistungsfähigkeit. Synonym zur motorischen Leistungsfähigkeit werden in der Literatur weitere Begrifflichkeiten wie körperliche Leistung bzw. Leistungsfähigkeit, sportmotorische Leistung bzw. Leistungsfähigkeit oder körperliche Fitness verwendet (u.a. Bös & Mechling, 1983, 100f; Roth, 1991, S. 87). Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die Begriffe motorische Leistungsfähigkeit und körperliche Fitness gleichbedeutend verwendet.

### 1.2.3 Einordnung von Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit innerhalb der motorischen Fähigkeiten

Die motorischen Fähigkeiten Kraft und Ausdauer werden nach dem Fähigkeitskonzept der Motorik nach Bös und Mechling (1983) den rein energetisch determinierten konditionellen Fähigkeiten zugeordnet. Die Schnelligkeit steht darüber hinaus in Beziehung zu den informationsorientierten Fähigkeiten (s. Abb. 2). In der tiefsten Differenzierungsebene unterscheidet das Modell die Basisfähigkeiten in spezifische Fähigkeiten wie die aerobe (AA) und anaerobe Ausdauer (AnA) und stellt dabei auch Mischformen der Basisfähigkeiten wie beispielsweise die Kraftausdauer (KA) oder die Schnellkraft (SK) dar.

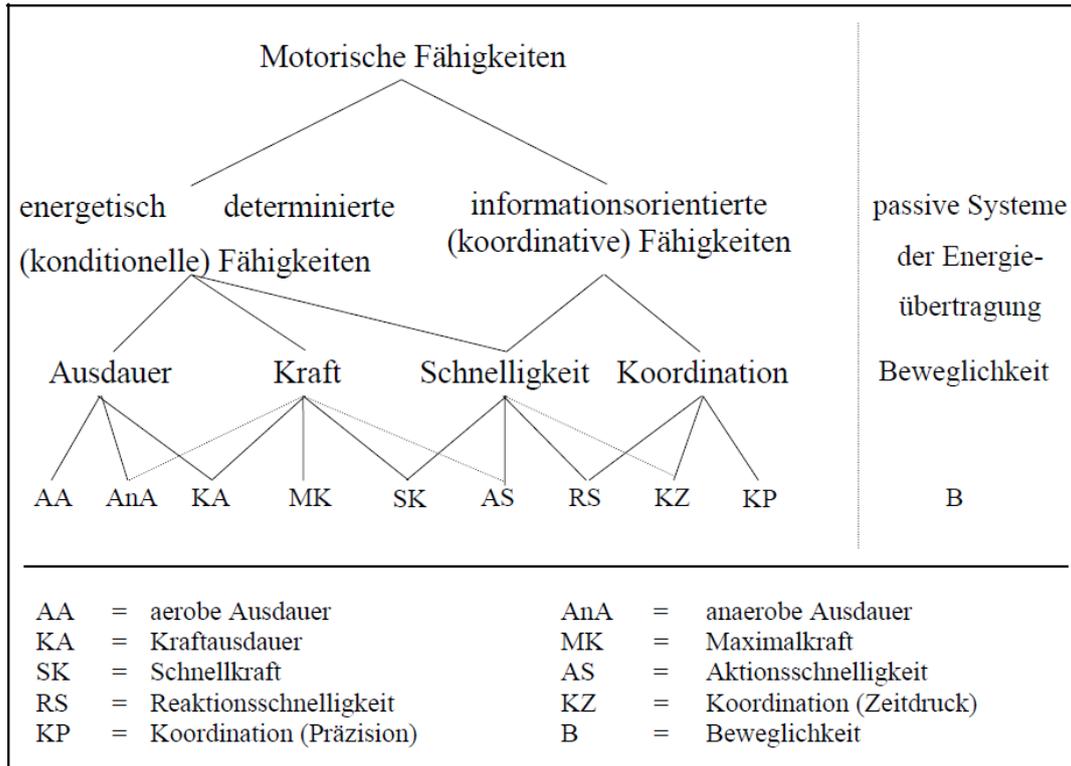


Abbildung 2: Systematisierung motorischer Fähigkeiten (nach Bös & Mechling, 1983, S. 94)

Hohmann et al. (2014, S. 49) greifen in ihrem „kombinierten“ Modell (s. Abb. 3) die Grundzüge der Systematisierung nach Bös und Mechling auf, stellen jedoch die Grauzonen zwischen konditionellen und koordinativen Fähigkeiten in den Mittelpunkt. Demnach ist für einen Bewegungsvollzug ein Mindestmaß an Kraft notwendig und ein singuläres Betrachten einer einzelnen Fähigkeit unter diesem Aspekt nicht möglich.

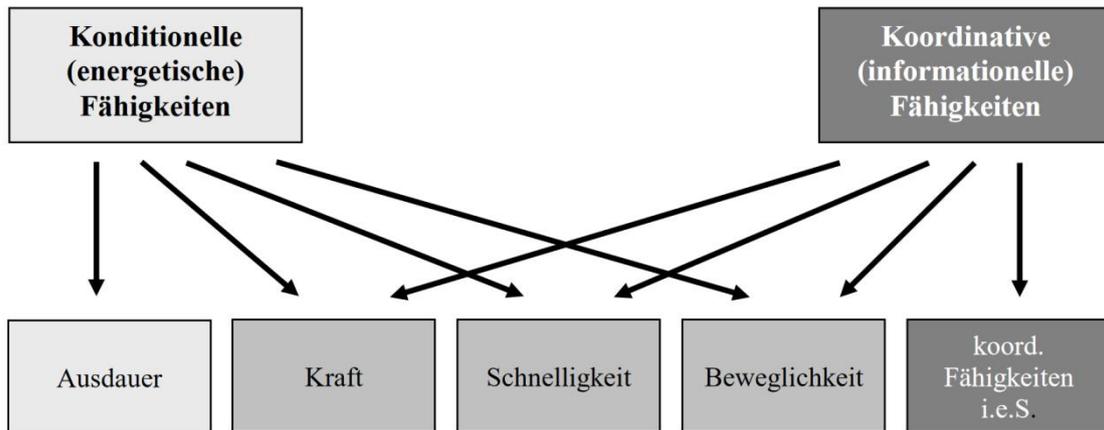


Abbildung 3: Systematik der Kondition und Koordination unter besonderer Berücksichtigung der Wechselbezüge von Kraft, Schnelligkeit und Beweglichkeit (nach Hohmann et al., 2014, S. 49)

Diese Wechselbeziehungen und Schnittmengen der konditionellen Fähigkeiten stellen Schnabel, Harre, Krug und Borde (2005, S. 144) als Faktoren der konditionellen Leistungsfähigkeit dar (siehe Abbildung 4).

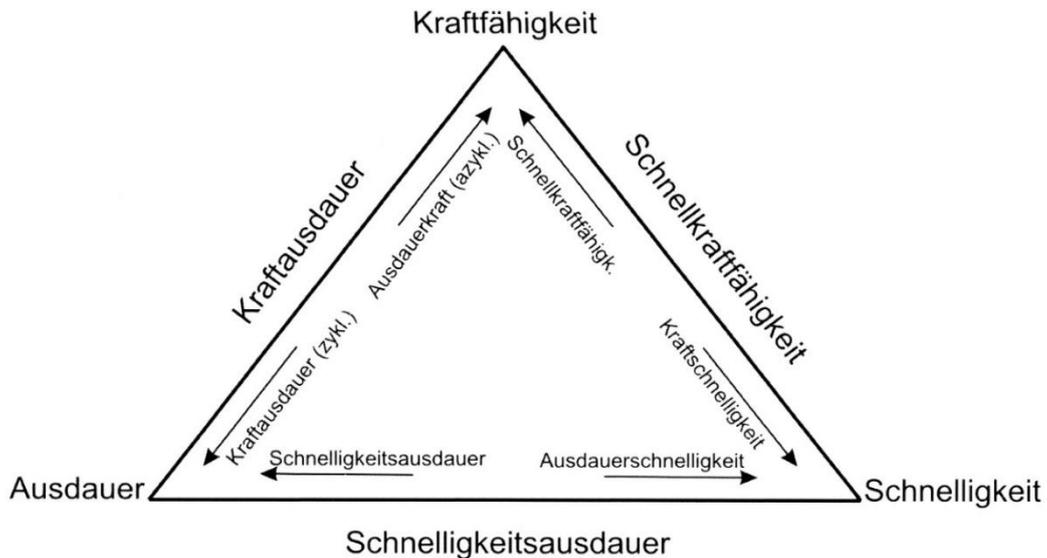


Abbildung 4: Wechselbeziehung zwischen den konditionellen Fähigkeiten Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit (nach Schnabel, Harre, Krug und Borde, 2005, S. 144)

Zusammenfassend können im sportlichen Leistungsvollzug die einzelnen konditionellen Fähigkeiten nicht isoliert betrachtet werden, sondern müssen im kombinierten Verbund mit anderen Fähigkeiten verstanden werden. Zur Charakterisierung

und Strukturierung werden die motorischen Fähigkeiten Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit in den folgenden Kapiteln jedoch separat dargestellt.

### 1.2.4 Ausdauer

Die Ausdauer ist nicht nur ein determinierender Faktor in Ausdauerdisziplinen, sondern besitzt auch in einer Vielzahl weiterer Sportarten bis hin zum Gesundheitssport eine wesentliche Bedeutung (Warburton, Nicol & Bredin, 2006). Definitionsgemäß wird sie von verschiedenen Autoren (u.a. Hohmann et al., 2014; Hottenrott & Neumann, 2016; Neumann, Pfützner & Berbalk, 2013; Schnabel et al., 2005) als Gegenspieler zur physiologischen und psychologischen Ermüdung angesehen, die gleichzeitig die Regenerationsfähigkeit beeinflusst. Hottenrott und Neumann (2016, S. 51) charakterisieren die Ausdauer als „konditionelle Fähigkeit, die eine belastungsadäquate Energieversorgung des Organismus sichert, ermüdungsbedingte Leistungs- oder Geschwindigkeitsabnahmen bei sportlichen Belastungen verzögert und die Erholungsfähigkeit beeinflusst“. Hohmann et al. (2014, S. 50) definieren die Ausdauer „als allgemeine Ermüdungswiderstandsfähigkeit, die es ermöglicht, eine gewählte Intensität, die sportliche Technik oder das taktische Verhalten möglichst lange aufrechterhalten zu können sowie Verluste dieser Parameter möglichst gering zu halten“. Des Weiteren schafft sie Grundlagen für eine schnelle Erholung nach einer Belastung und spielt damit eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Regenerationsfähigkeit (Neumann et al., 2013, 244ff).

#### *Strukturierung der Ausdauer*

In der Literatur finden sich mannigfaltige Unterscheidungsformen der Ausdauer. Schnabel et al. (2005, S. 167) sehen die Grundlagenausdauer als Basis aller sportartspezifischen Arten der Ausdauer und differenzieren die Ausdauerfähigkeit anschließend mittels der jeweiligen Belastungsdauer während der Ausführung. Eine umfassende Strukturierung liefert Hottenrott (2017, S. 138): Hier erfolgt die Abgrenzung nicht nur nach dem Kriterium der Zeit, sondern auch auf physiologischer Basis und in Wechselbeziehung zu anderen konditionellen Fähigkeiten (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Kriterien der Strukturierung und Erscheinungsformen der Ausdauer (mod. nach Hottenrott & Seidel, 2017, S. 138)

<b>Strukturierung der Ausdauer</b>	<b>Erscheinungsform der Ausdauer</b>
Arbeitsweise der Muskulatur	Statische und dynamische Ausdauer
Energiebereitstellung	Aerobe und anaerobe Ausdauer
Anteil an beanspruchter Muskulatur	Allgemeine und lokale Ausdauer
Zeitdauer der Wettkampfleistung	Kurz-, Mittelzeit- und Langzeitausdauer
Wechselbeziehungen zu den konditionellen Fähigkeiten	Kraft-, Schnellkraft-, Schnelligkeits- und Sprintausdauer

Für das Themenfeld der vorliegenden Arbeit wird lediglich der Bereich der aeroben Ausdauerleistung als relevant betrachtet und im Folgenden weiterführend behandelt.

#### *Charakterisierung der aeroben Ausdauer*

Die aerobe Ausdauer grenzt sich von der anaeroben Ausdauer durch die Art der muskulären Energiegewinnung ab. Bei der aeroben Ausdauer steht immer eine ausreichende Menge an Sauerstoff zur oxidativen Verbrennung der Energieträger zur Verfügung (Hottenrott, 2017, S. 139). Mit steigender Belastungsintensität, bedingt durch erhöhte Bewegungsfrequenz oder Krafteinsätze, reicht die rein oxidative Energiebereitstellung nicht mehr aus, so dass die Energie anoxidativ bereitgestellt werden muss (Neumann et al., 2013, S. 96). Die Laktatkonzentration, die die Menge des anfallenden Abbauproduktes der anaeroben Energiegewinnung beschreibt, liefert einen messbaren Parameter zur Bestimmung des Energiegewinnungsweges während einer Belastung. Für die aerobe Ausdauer wird ein Grenzwert bis 2 mmol/l Laktat (vgl. Tab. 2).

Tabelle 2: Differenzierung der Ausdauer (nach Hottenrott & Neumann, 2016)

<b>Art der Ausdauer</b>	<b>Laktatkonzentration</b>
Aerobe Ausdauer	Bis 2 mmol/l Laktat
Aerob-anaerobe Ausdauer	>2-6mmol/l Laktat
Anaerob-aerobe Ausdauer	>6-10mmol/l Laktat
Anaerobe Ausdauer	>10 mmol/l Laktat

In der Sportpraxis kommt es äußerst selten zu einer rein aeroben bzw. anaeroben Energiebereitstellung, da beide Prozesse nicht an einer fixen Schwelle an- und ablaufen, sondern in der Regel parallel verlaufen. Man spricht daher in der Sportpraxis von der dominierenden Art der Energiebereitstellung, wenn ein Weg der Energiebereitstellung im Vergleich prozentual höhere Werte aufweist (vgl. Hohmann et al., 2014, S. 56). Für die Bewertung der Leistung und Belastungssteuerung ist eine Differenzierung zwischen Ausdauerfähigkeit und Ausdauerkapazität wichtig. Die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit beschreibt dabei die Fähigkeit eines Sportlers, ein maximales Tempo im Bereich der dominierenden aeroben Stoffwechselbedingungen zu erreichen. Die aerobe Kapazität beantwortet dagegen die Frage, wie lange ein Sportler eine Intensität unter weitgehend aerober Energiegewinnung halten kann (Hottenrott, 2017, S. 140). Die aerobe Grundlagenausdauer ist die Basisfähigkeit für alle Arten sportartspezifischer Ausdauerleistungen sowie die Grundlage einer ganzheitlichen Fitness im Gesundheitssport (Schnabel et al., 2005, S. 168).

### *Determinanten der aeroben Ausdauer und Auswirkung von Training*

Rein metabolisch betrachtet ist die aerobe Ausdauerleistung durch die Größe der Glykogen- und Lipidspeicher sowie deren Verfügbarkeit und die maximale Sauerstoffaufnahme bestimmt (Hollmann & Strüder, 2009, S. 371). Physiologisch gesehen, besteht im menschlichen Organismus eine inverse Beziehung zwischen der Geschwindigkeit der Energiebereitstellung und der Speichergröße der vorhandenen Substrate. Die anaerobe Bereitstellung von Adenosintriphosphat durch Spaltung von Kreatinphosphat ist im zeitlichen Ablauf der Bereitstellung durch die aerobe Oxidation von Triglyzeriden im Faktor 10 überlegen. Die Speichergröße der energiereichen Phosphate ist dagegen äußerst limitiert und steht selbst Hochtrainierten nur ca. 20 Sek. zur Verfügung (Neumann et al., 2013, S. 82). An dieser Stelle wird auf eine nähere Beschreibung der Prozesse zur Energiegewinnung der einzelnen Substrate im menschlichen Organismus (ausführliche Darstellung u.a. in Badtke & Bittmann, 1999; Neumann et al., 2013) verzichtet.

Da die reine Verfügbarkeit der Energieträger im Ablauf der aeroben Energiegewinnung ohne den für die Oxidierung notwendigen Sauerstoff keine Energie bereitstellen kann, kommt der Aufnahme und dem Transport des Sauerstoffes zur Muskulatur

die größte Bedeutung zu. Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_2\max$ ) wird maßgeblich durch die Leistung und das Zusammenwirken des Herz-Kreislauf-Systems sowie des Atmungssystems, zusammengefasst als kardiopulmonale Leistungsfähigkeit, bestimmt. Sie gilt als Bruttokriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit und beschreibt die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems (Hottenrott, 2017, S. 145). Die gemessene relative maximale Sauerstoffaufnahme ( $relVO_2\max$ ) gilt als das zuverlässigste Leistungs- und Vergleichskriterium der Ausdauerleistung. Im Spitzensport werden hier Werte von 80 ml/kg/min bei Männern und 60-70ml/kg/min bei Frauen ermittelt (Hollmann & Strüder, 2009, S. 373). Die Muskelfaserzusammensetzung kann als zusätzlich beeinflussender Faktor angesehen werden und erfährt hauptsächlich im ausdauerbezogenen Leistungssport Bedeutung. Morphologische Anpassungen durch aerobes Ausdauertraining können hierbei quantitativer und/oder qualitativer Natur sein. Die Vergrößerung des Schlagvolumens stellt hierbei ein typisches Beispiel für eine quantitative Anpassung dar, die maßgeblich die  $VO_2\max$  beeinflusst (Tanaka & Seals, 2008). Obwohl vor 10 Jahren schon vergleichbar hohe Werte für die  $VO_2\max$  ermittelt wurden, konnten inzwischen dennoch deutliche Leistungssteigerungen in allen Ausdauerdisziplinen festgestellt werden. Diese Tatsache deutet darauf hin, dass neben der Leistungsdeterminante  $VO_2\max$  auch qualitative Anpassungen diverser Stoffwechselgrößen eine bestimmende Rolle spielen müssen (vgl. Weineck, 2019, S. 248).

Als Grundsatz des Ausdauertrainings empfehlen Hohmann et al. (2014), die Belastungsnormative so zu gestalten, dass der jeweilig geforderte Energiebereitstellungsmechanismus bzw. deren physiologische und anatomische Determinanten optimal angesprochen werden. Das zielgerichtete Training der Ausdauerleistungsfähigkeit erfolgt daher in definierten Trainingsbereichen. Diese Trainingsbereiche entsprechen nach Hottenrott (2017, S. 150) empirisch ermittelten sowie physiologisch determinierten Belastungsgrenzen. Allgemein bestimmen die Intensität, Dauer sowie die Gestaltung der Pausen die Trainingswirkung eines Ausdauertrainings. Die Intensitätsstufen orientierten sich im Ausdauertraining an der maximalen Herzfrequenz ( $HF\max$ ), die während einer vollständigen Ausbelastung bestimmt wird (Zintl & Eisenhut, 2009, S. 111). Grundsätzlich unterscheiden Hohmann et al. (2014) vier Grundmethoden des Ausdauertrainings:

(1) die Dauermethode, (2) die extensive und intensive Intervallmethode, (3) die Wiederholungsmethode sowie (4) die Wettkampf- und Kontrollmethode.

Die Trainingsmethode der Wahl zur Steigerung der Grundlagenausdauer ist die extensive Dauermethode (Hollmann & Strüder, 2009, S. 418). Die Dauermethode kann als kontinuierliche Methode (ohne Tempowechsel) oder Fahrtspielmethode (mit Tempowechsel) durchgeführt werden und wird je nach Trainingsziel in die Grundlagenausdauer I (GA1) oder II (GA 2) differenziert (Hohmann et al., 2014, S. 63). Die GA 1 dient dabei zur Entwicklung bzw. Stabilisierung der Grundlagenausdauerfähigkeit und ist durch geringe bis mittlere Intensitäten (60-80% der HFmax) sowie hohe Umfänge gekennzeichnet. Die GA 2 baut auf der GA 1 auf und dient zur Weiterentwicklung der Grundlagenausdauer bei höheren Intensitäten (75-85% der HFmax) mit mittleren Umfängen (Hottenrott, 2017, S. 151). Unter Berücksichtigung des in der Studie I angewandten und im Kapitel 3.2 dargestellten aeroben Walking-Trainings wird auf eine Beschreibung spezieller Ausdauertrainingsformen mit Ausrichtung auf den Leistungssport (Intervall-, Wiederholungs- und Wettkampfmethode nachzulesen u.a. in Hottenrott & Neumann, 2016; Neumann et al., 2013) verzichtet.

### 1.2.5 Kraft

Die Charakterisierung der Kraft kann grundsätzlich auf unterschiedlichen Ebenen erfolgen. Rein physikalisch betrachtet, kann die Kraft als Einwirkung von einem Körper auf einen anderen definiert werden. Verursacht die Kraft eine Änderung des Bewegungszustandes eines Körpers, tritt Newtons zweites Axiom in Kraft

$$Kraft = Masse(m) \cdot Beschleunigung(a)$$

und es ergibt sich eine dynamische Wirkung (Röthig & Prohl, 2003, S. 260).

Martin, Carl und Lehnertz (1993, S. 103) erachten die rein physikalische Dimension als unzureichend, um die konditionelle Fähigkeit Kraft vollständig zu erfassen. Das Aufstellen einer einheitlichen Definition von Kraft, die sowohl ihre physikalischen als auch physischen Dimensionen erfasst, gestaltet sich - im Gegensatz zur physikalischen Anlehnung - erheblich schwieriger. Hauptgründe dafür sind die vielfältigen

Ausprägungen der Kraft bzw. der Muskelarbeit sowie die große Anzahl von Faktoren, die sie beeinflussen (vgl. Meinel & Schnabel, 2007, S. 147).

Demzufolge wird Kraft als konditionelle Fähigkeit in der Literatur differentiell charakterisiert. Harre (2005, S. 146) stellt die Kraft global als Fähigkeit des Sportlers dar, Widerstände durch willkürliche Muskelkontraktion zu überwinden bzw. äußeren Kräften entgegenwirken zu können. Hohmann et al. (2014, S. 65) greifen zur Determination auf die physiologische Ausprägungsform der Kraft als Muskelkraft zurück: Danach fungiert die Muskelkraft, die sich aus der Kontraktion der an der Bewegung beteiligten Muskeln ergibt, als Leistungsdeterminante der verschiedenen Kraftfähigkeiten. Die Muskelkraft kann dabei als physikalische Kraft (in N), die bei einer bestimmten Aktionsgeschwindigkeit erreicht wird, oder als die maximale Masse (in kg bzw. %), die bis zur subjektiven Erschöpfung angehoben werden kann, beschrieben werden.

Sportliche Leistungen werden demzufolge laut Wank (2017, S. 171), mit Ausnahme von feinmotorischen Bewegungsaufgaben, von der Kraft und Kontraktionsgeschwindigkeit der beteiligten Muskulatur limitiert.

### *Strukturierung der Kraft*

An infinite number of values for strength of muscle(s) may be obtained either for an isolated muscle preparation or for human movement as related to the type of action, the velocity of the action, and the length of the muscle(s) when the measurement is accomplished. (Komi, 2003, S. 6)

Der Begriff der Muskelkontraktion kann nicht allgemein verwendet werden, denn je nach äußerem Widerstand kann der Muskel seine Länge beibehalten, sich verkürzen oder verlängern (Hohmann et al., 2014, S. 65). Die Unterscheidungen zwischen Belastungsform, Muskelaktion und Muskellänge werden nach Komi (2003, S. 5) in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Einteilung der muskulären Aktionsformen (nach Komi, 2003, S. 5).

<b>Belastungsform</b>	<b>Muskelaktion</b>	<b>Muskellänge</b>
Dynamisch	Konzentrisch	Abnehmend
Dynamisch	Exzentrisch	Zunehmend
Statisch	Isometrisch	Gleichbleibend

In der deutschsprachigen Literatur wird mit der konzentrisch-exzentrisch reaktiven Muskelaktion häufig noch eine vierte Form der Muskelaktion hinzugefügt. Diese basiert neben der Maximalkraft und der schnellen Kontraktionsfähigkeit vor allem auf der reaktiven Spannungsfähigkeit, der sogenannten muscle stiffness (Gollhofer, Schmidtbleicher & Dietz, 1984).

In dem Modell von Güllich und Schmidtbleicher (1999) wird die Maximalkraft als Basis für Leistungen der Schnellkraft und Kraftausdauer benötigt (s. Abb. 5).

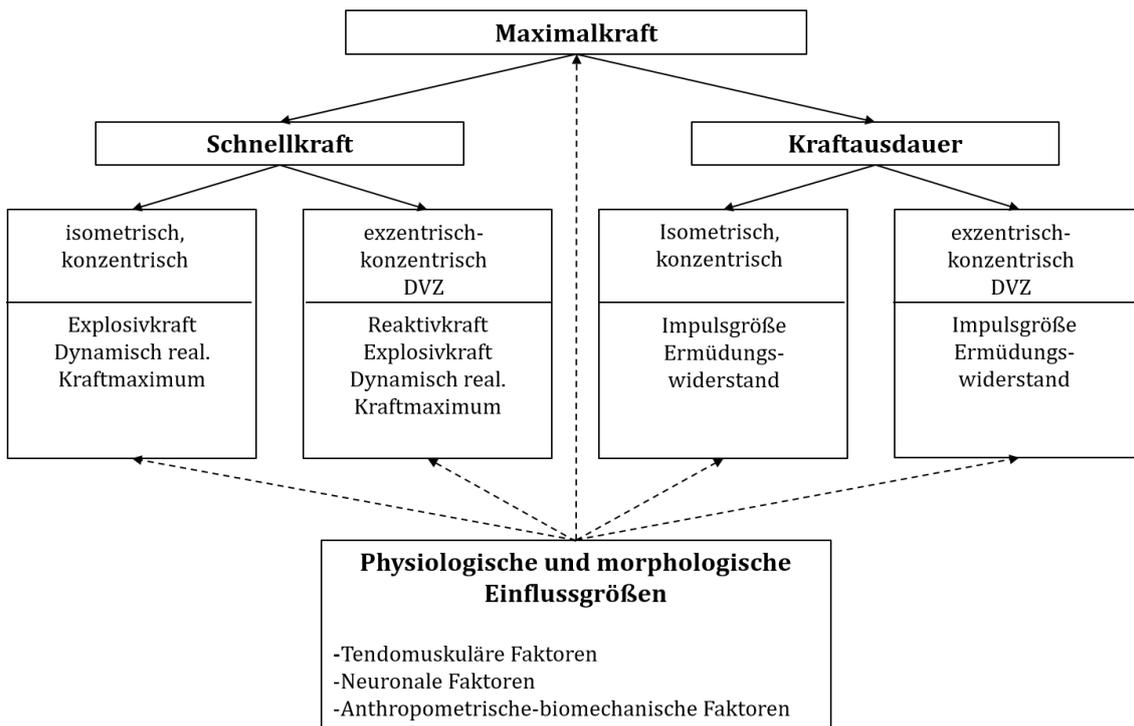


Abbildung 5: Struktur der motorischen Fähigkeit Kraft (nach Güllich und Schmidtbleicher, 1999, S. 224)

Hohmann et al. (2014, S. 146) charakterisieren die Maximalkraft als Reinform der willkürlich aktivierbaren Muskelkraft. Aus den Wechselwirkungen mit den konditionellen Fähigkeiten Ausdauer und Schnelligkeit ergeben sich die kombinierten Fähigkeiten Schnellkraft und Kraftausdauer. Wank (2017, S. 173) systematisiert die Kraftfähigkeiten nach der Dominanz des Widerstandes bzw. der Bewegungsgeschwindigkeiten in Maximalkraft-, Schnellkraft-, Reaktivkraft- und Kraftausdauerfähigkeiten.

Aufgrund der inhaltlichen Ausrichtung der vorliegenden Arbeit wird der Bereich der Maximalkraft als relevant erachtet und als solcher weiterführend behandelt.

### *Charakterisierung der Maximalkraft*

„Unter der Maximalkraft wird die höchstmögliche Kraft verstanden, die das Nerv-Muskel-System bei einer willkürlichen maximalen Muskelkontraktion erreichen kann“ (Wick, 2013, S. 104).

Hohmann et al. (2014, S. 75) erweitern die Definition um die Begrifflichkeiten Absolutkraft und Kraftdefizit sowie deren Wechselbeziehung. Demnach ist der Differenzbetrag zwischen der Maximalkraft sowie der supramaximal bestimmten Absolutkraft als Kraftdefizit zu bezeichnen und repräsentiert Mängel in der intramuskulären Koordination. In der Sportpraxis wird nach Wank (2017, S. 173) die größtmögliche bewegte Last, bestimmt als 1 RM (one repetition maximum), als Maximalkraftwert definiert. Grundsätzlich können bei exzentrischer Arbeitsweise die höchsten Maximalkraftwerte gemessen werden. Diese liegen je nach beanspruchter Muskulatur und verwendetem Test zwischen 10-40% über dem isometrischen Maximum. Die exzentrische Maximalkraft tritt auf, wenn ein willkürlich aktivierter Muskel entgegen seiner Arbeitsrichtung gedehnt wird (Schmidtbleicher, 1987; Wank, 2017). Eine vertiefende Ausführung zur exzentrischen Maximalkraft wird in Kapitel 3.1.1 mit Bezug zum exzentrischen Overload Training beschrieben.

### *Determinanten der Maximalkraft und Auswirkungen von Training*

Trotz unterschiedlicher Ansätze und Betrachtungsweisen herrscht in der trainingswissenschaftlichen Literatur Einigkeit darüber, dass der Muskelquerschnitt die entscheidende Voraussetzung für die willkürlich erzielte Maximalkraft darstellt (Hohmann et al., 2014; Hollmann & Strüder, 2009; Plisk, 2008; Schnabel et al., 2005). Das Muskelfaserspektrum sowie die inter- und intramuskuläre Koordination werden als sekundär beeinflussende Merkmale klassifiziert. Weiter werden Muskelstruktur (Fiederungswinkel), die Muskelvordehnung sowie der Vorbereitungszustand zu den beeinflussenden internen Faktoren gezählt. Externe Einflussgrößen sind beispielsweise die Umgebungstemperatur oder die Motivation durch äußere Umstände (Sargeant, 1987; Schnabel et al., 2005).

Äquivalent zu den leistungsbestimmenden Faktoren kann das Maximalkrafttraining in zwei Hauptgruppen und die damit verbundenen Trainingswirkungen gegliedert werden (s. Tab. 4). Obwohl mit dem Begriff Maximalkrafttraining vielmals ein dem

Leistungssport zugeordnetes intramuskuläres Koordinationstraining (IK) mit höchsten Intensitäten und geringer Wiederholungszahl verknüpft ist (MK II), besitzt die Erhöhung des Muskelquerschnittes global betrachtet das größte Einflusspotential zur Steigerung der Maximalkraft (MK I). Das Muskelaufbau-Kombinationstraining (MK III) stellt eine Mischform dar und wird in der Trainingspraxis beispielsweise als Pyramidentraining umgesetzt.

Tabelle 4: Methoden des Maximalkrafttrainings(modifiziert nach Ehlenz, Grosser und Zimmermann, 1998, S.112)

Methoden	Muskelaufbau-Training MK I	Muskelaufbau-Kombi-Training MK III	IK-Training MKII
Intensität	50-80% (1RM)	60-90% (1RM)	80-100% (1RM)
Dauer	8-12 Wdh.	5-8 Wdh.	1-5 Wdh.
Pause	1-3 min	2-4 min	3-5 min
Umfang	2-4 Sätze	3-6 Sätze	6-10 Sätze
Wirkung	Muskuläre Hypertrophie	Neuronale Aktivierung	

Im Kontext der Sportpraxis unterscheiden Hohmann et al. (2014) zwischen zehn Trainingsmethoden zur Steigerung der Maximalkraft. Dabei erfolgt eine Hauptunterscheidung in Muskelquerschnittsmethoden (MQM) und neuromuskuläre Aktivierungsmethoden (NAM) ähnlicher der Einteilung nach Ehlenz, Grosser und Zimmermann (1998).

Bedingt durch die zentrale Bedeutung der Maximalkraft und deren Einfluss auf wesentliche Parameter der konditionellen Leistungsfähigkeit, erhält das Maximalkrafttraining eine hohe Priorität in sportartspezifischen Trainingsplanungen. Zielgrößen sind die Kräftigung der Muskeln, die bei der leistungsbestimmenden Bewegungsform die Hauptarbeit leisten sowie der Muskeln, die das Verletzungsrisiko besonders belasteter Strukturen mindern. Der Erhalt des arthromuskulären Gleichgewichts durch gezieltes Entgegenwirken muskulärer Dysbalancen zählt nicht nur zu den Aufgaben im Leistungssport, sondern auch zu den Zielen im Fitness- und Gesundheitssport (vgl. Meinel & Schnabel, 2007, 291f).

### 1.2.6 Schnelligkeit

„Unter der Berücksichtigung der speziellen Charakteristik und der verschiedenen Einflussfaktoren wird die Schnelligkeit als die Fähigkeit des neuro-tendo-muskulären Systems verstanden, welche es bei geringem bis mittleren Widerständen ermöglicht, in maximal kurzer Zeit zu reagieren und/oder zu agieren“ (Granacher, Prieske & Krüger, 2017, S. 207).

Schnabel et al. (2005, S. 156) beschreiben die determinierenden Leistungsvoraussetzungen ebenfalls als koordinativ-konditionell, wählen aber weiter gefasste Begrifflichkeiten. In der Definition von Hohmann et al. (2014, S. 86) werden zusätzlich die ermüdungsfreien Bedingungen als Grundvoraussetzungen aufgeführt. Diese Ergänzung erscheint in der Trainingspraxis wichtig und richtig, da eine zu große Ermüdung die maximale neuromuskuläre Leistung erheblich einschränkt (Billaut & Bishop, 2009). Aus Sicht des Autors sollte die Generalisierbarkeit der Aussage jedoch aufgrund der Ergebnisse aktueller Untersuchungen überprüft werden (vgl. aktueller Forschungsstand in Studie II, Kapitel 3.1.2).

#### *Strukturierung der Schnelligkeit*

Zur Darstellung der Fähigkeitsstruktur der Schnelligkeit werden in der Trainings- und Bewegungswissenschaft in der Regel vertikale und horizontale Klassifikationsstrategien genutzt (s. Abb. 6). Auf der vertikalen Ebene kann dabei zwischen elementarer und komplexer Schnelligkeit unterschieden werden. Die elementare Schnelligkeit ist hier im Sinne einer „reinen“ Schnelligkeit als Basis für diverse Ausprägungsformen der Schnelligkeit zu verstehen und ist Ausdruck von kurzzeitigen sowie kleinmotorischen Bewegungsformen (Granacher et al., 2017, S. 209). In ihrer Expression ist die elementare Schnelligkeit ausschließlich vom zentralen Nervensystem sowie von genetischen Faktoren abhängig (Plisk, 2008; Schnabel et al., 2005). Nach dem theoretischen Ansatz von Hohmann et al. (2014, S. 87) wird die elementare Schnelligkeit von folgenden Kriterien bestimmt: (1) basale Bewegungsform und kleinräumige Bewegungsamplitude; (2) Bewegungszeit unter 200ms; (3) Stabilität gegenüber Entwicklungs- und Trainingseinflüssen; (4) Unabhängigkeit

von Maximalkraft, Geschlecht und Ermüdung; (5) sportartspezifischer Leistungsbezug und kritischer Schwellenwert. In empirischen Studien liegen jedoch allenfalls Belege für die ersten beiden Kriterien vor (Hohmann et al., 2014, S. 87).

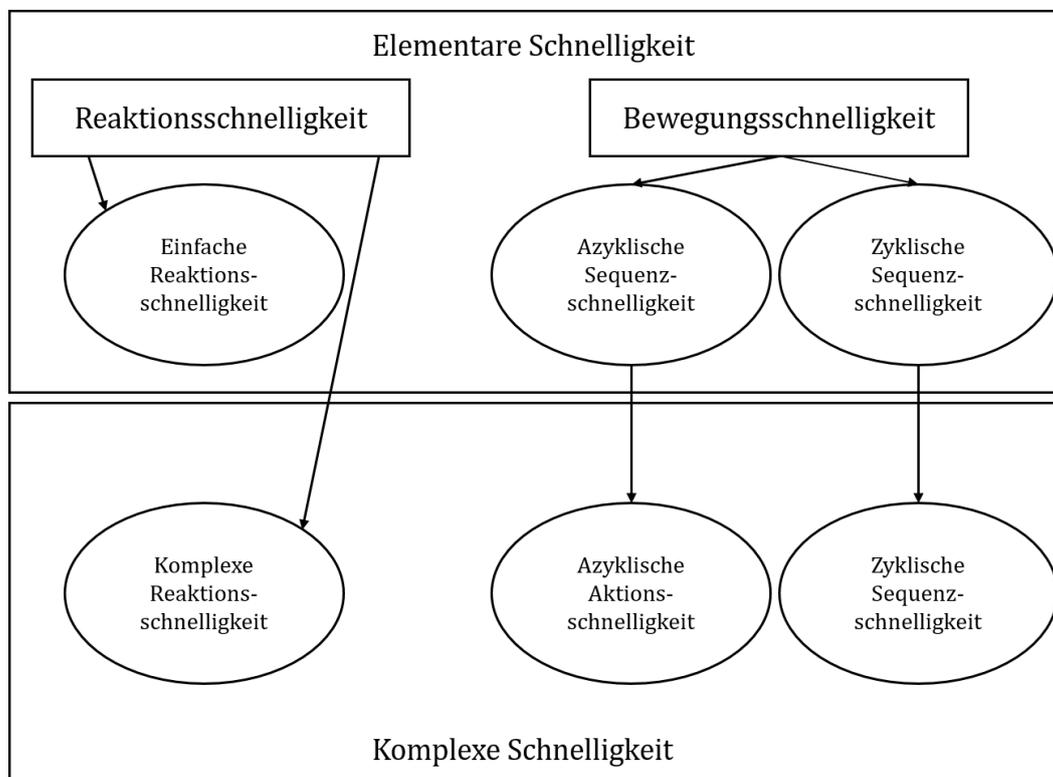


Abbildung 6: Fähigkeitsstruktur der Schnelligkeit nach Hohmann, Lames und Letzelter (2014, S. 87)

Auf horizontaler Ebene wird im Allgemeinen zwischen der Reaktionsschnelligkeit, der azyklischen (Sprint-)Bewegungsschnelligkeit sowie der zyklischen (Sprint-)Bewegungsgeschwindigkeit differenziert (Hohmann et al., 2014). Diese Arten der Schnelligkeit finden sich sowohl auf der elementaren als auch auf der komplexen Ebene wieder. Die komplexeste Form der Schnelligkeit mit einem hohen direkten Praxisbezug ist die Handlungsschnelligkeit. Sie ist nicht nur konditionell koordinativ determiniert, sondern wird auch von kognitiven Fähigkeiten beeinflusst (Schnabel et al., 2005, S. 162). Die schnelle Veränderung von Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung sowie deren Anpassung auf externe Reize werden heute häufig unter dem Begriff Agility zusammengefasst. Sheppard und Young (2006, S. 919) definieren die Agility wie folgt: „a rapid whole-body movement with change of velocity or

direction in response to a stimulus". Die Agility stellt demnach eine weitere Begrifflichkeit der Handlungsschnelligkeit dar. Der Fokus der Studie II dieser Arbeit liegt auf der Überprüfung der komplexen Sprintschnelligkeit sowie der komplexen azyklischen Aktionsschnelligkeit.

### *Charakterisierung der komplexen Schnelligkeit*

Im Allgemeinen stellen Reaktions-, Aktions- und Sprintschnelligkeit komplexe, sportartspezifisch geprägte motorische Leistungen dar (u.a. Grosser & Renner, 2007; Voss, Witt & Werthner, 2007). Es handelt sich dabei um Bewegungen mit großer Bewegungsgeschwindigkeit wie zum Beispiel Sprint- oder Richtungswechselaktionen. Die komplexe Schnelligkeit hängt dabei nicht nur von der „reinen“ elementaren Schnelligkeit ab, sondern wird in Abhängigkeit von der konkreten Bewegungsaufgabe auch von der Kraft, Ausdauer oder Koordination bestimmt (Granacher et al., 2017). Demzufolge steht die komplexe Schnelligkeit nach Hohmann et al. (2014, S. 87) im Mittelpunkt der Trainingsmethodik des Schnelligkeitstrainings, das sich je nach Trainings- und Wettkampfanforderung mit den Komponenten Kraft, Koordination/Technik sowie Ausdauer vermischt.

### *Determinanten der komplexen Schnelligkeit und Auswirkungen von Training*

Die Zuordnung der Schnelligkeit zu den konditionellen Fähigkeiten fällt im Vergleich zur Ausdauer und Kraft wesentlich schwerer, da sie nicht direkt mit einer anatomisch-physiologischen Struktur oder Funktion in Verbindung gebracht werden kann.

Die elementare Geschwindigkeit wird überwiegend durch neuromuskuläre Regulations- und Steuerprozesse bestimmt (DeWeese & Nimphius, 2016, S. 525). Zu diesen zählen beispielweise die sensorische und motorische Nervenleitgeschwindigkeit, synaptische Übertragungszeiten sowie der prozentuale Anteil an schnell zuckender Muskelfasern (Komi, 1979). Diese Faktoren können als epigenetisch klassifiziert werden und sind daher nach ihrer Ausreifung in der Pubertät vermutlich nicht mehr trainierbar (Granacher et al., 2017; Hohmann et al., 2014). Nach Schnabel et al. (2005, S. 157) gibt es kein spezielles „biologisches Korrelat oder System“

mit einer direkten Beziehung zur Schnelligkeit. Folglich sind Grund- und Komplexschnelligkeit von einer Vielzahl funktioneller Anforderungen abhängig, die teilweise nur in begrenztem Maße trainierbar sind (vgl. Abb.7). Die trainierbaren Anteile befinden sich nach Cormie, McGuigan und Newton (2011) überwiegend auf neuromuskulärer Ebene.

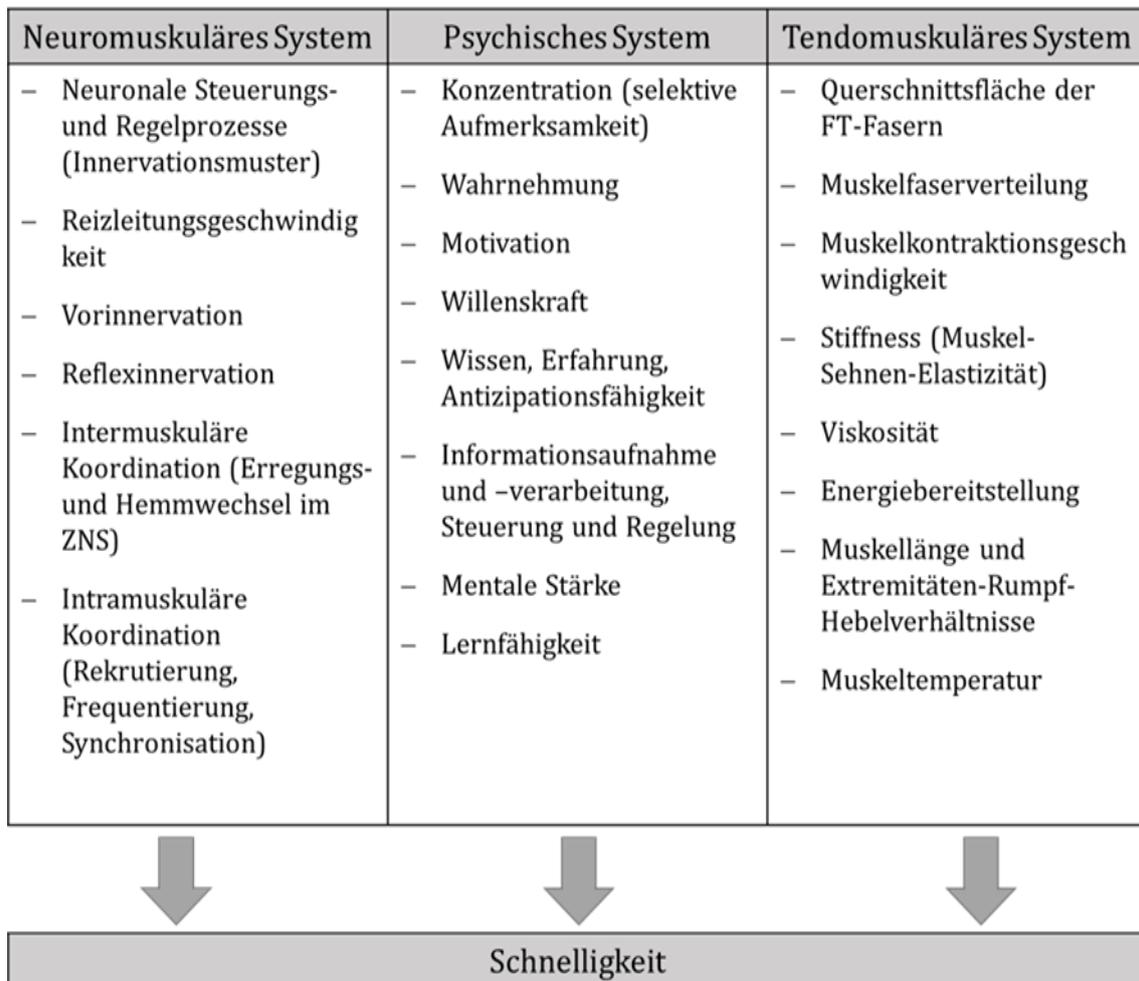


Abbildung 7: Einflussgrößen der motorischen Schnelligkeit (mod. nach Grosser & Renner, 2007, S. 87)

Um Adaptionen der zuvor beschriebenen Einflussgrößen auszulösen, bedarf es Bewegungen mit möglichst hohen bis (supra)maximalen Intensitäten bzw. Bewegungsgeschwindigkeiten (Granacher et al., 2017, S. 215). Eine Reduktion der Trainingsintensität auf 90% der maximalen Sprintleistung von Nachwuchsleistungssportlern führte in einer Untersuchung von Haugen, Tonnessen, Leirstein, Hem und

Seiler (2014) zum Ausbleiben von Anpassungsprozessen. Die Tabelle 5 gibt einen Überblick über die gängigsten Trainingsmethoden zur Steigerung der komplexen Schnelligkeit. Demnach stellen Bewegungsausführungen mit maximalen Intensitäten ein grundlegendes Merkmal eines Schnelligkeitstraining dar um adäquate Trainingsreize zu induzieren (DeWeese & Nimphius, 2016, S. 536).

Tabelle 5: Kriterien der Strukturierung und Erscheinungsformen der Ausdauer (mod. nach Granacher et al., 2017, S. 220)

<b>Methode</b>	<b>Intensität</b>	<b>Wiederholungen</b>	<b>Serien</b>	<b>Pause</b>	<b>Beispiel</b>
Komplexe Reaktionsmethode	100%	5-8	1	> 1min	Sprintstart aus Bauchlage
Aktionsmethode	100%	6-12	1-5	>2min	Speerwurf aus der Wurfauslage
Fliegende Sprints	100%	2-4	2-4	2-10min	Kurzer Radergometersprint
Widerstandsprints	90-100%	4-10	1-4	>4min	Sprint gegen Elastikband
Supramaximale Sprints	105-110%	2-6	1-4	>3min	Bergabläufe
Richtungswechselmethode	100%	3-10	1-2	>1min	Achterlauf

### 1.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend liefern die Modelle und Ansätze der Motorik hypothetische Konstrukte, die die Sportwissenschaft bei der Beschreibung von Körperhaltung sowie -bewegungen zu Grunde legt. Die Differenzielle Motorikforschung beschreibt demnach alle internen Steuerungs- und Funktionsprozesse des menschlichen Organismus, die die Körperhaltung sowie die Ausführung von Bewegungen ermöglichen. In der fähigkeitsorientierten Betrachtungsweise kann auf übergeordneter Ebene zwischen den motorischen Fähigkeiten und den motorischen Fertigkeiten differenziert und weiter in energetisch determinierte konditionelle und informationsorientierte koordinative Fähigkeiten unterschieden werden. Zu den Basisfähigkeiten zählen die Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit, Koordination und Beweglichkeit. Die für diese Arbeit relevanten Fähigkeiten Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit können primär den konditionellen Fähigkeiten zugeordnet werden, stehen aber je nach Strukturierungsmodell in unterschiedlicher Abhängigkeit zu den koordinativen Fähigkeiten.

Die Ausdauer wird dabei als Gegenspieler zur physiologischen sowie psychologischen Ermüdung angesehen, die gleichzeitig die Regenerationsfähigkeit beeinflusst und insbesondere durch den zuletzt aufgeführten Aspekt sportartübergreifend von Bedeutung ist. Unter Berücksichtigung der dominierenden Form der Energiebereitstellung wird die Ausdauer grundsätzlich in die aerobe und anaerobe Ausdauer untergliedert. Weitere Unterscheidungsformen der Ausdauer beziehen sich auf den Anteil der beanspruchten Muskulatur (allgemeine und lokale Ausdauer) sowie deren Arbeitsweise (statische und dynamische Ausdauer). In der Sportpraxis erfolgt des Weiteren eine Unterscheidung nach der Gesamtdauer der Ausdauerbelastung (Kurz-, Mittel- und Langezeitausdauer I und II). Die maximale Sauerstoffaufnahme-kapazität  $VO_2max$  gilt dabei als Bruttoleistungskriterium der aeroben Ausdauer.

Global betrachtet, kann die Kraft als Basisvoraussetzung für Körperbewegungen angesehen werden. Aus physiologischer Sicht wirkt die Kraft als Muskelkraft. Hierbei wird je nach Bewegungsausführung in eine konzentrische, exzentrische, isometrische sowie auxotonische Arbeitsweise der Muskulatur unterschieden. Aus Sicht des zu überwindenden Widerstandes sowie der Kontraktionsdauer und -geschwindigkeit wird zwischen Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer differenziert. Dabei können der Muskelquerschnitt sowie die inter- und intramuskuläre Koordination als dominierende Leistungsdeterminanten einer maximalen Kraftleistung angesehen werden.

Die Schnelligkeit ist zusammengefasst das Resultat muskulärer, zentralnervöser sowie energetischer Prozesse. Die Schnelligkeit wird sichtbar als die Geschwindigkeit, mit der innerhalb eines zyklischen oder azyklischen Bewegungsablaufs Bewegungen ausgeführt werden können. Auf unterschiedlichen Ebenen kann hierbei zwischen der elementaren sowie komplexen Schnelligkeit bzw. der Bewegungs- und Reaktionsschnelligkeit unterschieden werden. Die in dieser Arbeit schwerpunktmäßig untersuchte komplexe Bewegungsschnelligkeit wird dabei nicht nur von der „reinen“ elementaren Schnelligkeit determiniert, sondern ist in Abhängigkeit von der konkreten Bewegungsaufgabe auch von der Kraft, Ausdauer oder Koordination bestimmt.

Dieses erste Kapitel bildet mit seinen Erläuterungen die theoretische Basis für das Themenfeld der beiden folgenden Hauptteile. Es folgt nun die ausführliche Darstellung der beiden Studien. Dabei werden jeweils vertiefende Theoriebezüge hergestellt bzw. der aktuelle Forschungsstand im jeweiligen Thema behandelt.

# Studie I

## **2 „Transferwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining bei Senioren“**

## 2.1 Einleitung

Das kontinuierliche Ansteigen der Lebenserwartung der heutigen Weltbevölkerung stellt einen der größten Erfolge der menschlichen Entwicklungsgeschichte dar. Gleichzeitig bringt diese Entwicklung eine immense Aufgabe für unsere Gesellschaft mit sich. Laut Daten des statistischen Bundesamtes aus dem Jahr 2016 ist derzeit jede vierte Person in Deutschland über 60 Jahre alt. Aktuellen Prognosen zufolge wird im Jahr 2050 schon jeder Dritte ein Alter von 60 Jahren erreicht haben (vgl. Statistisches Bundesamt, 2016). Die gewonnenen Jahre an Lebenszeit zu Lebensjahren bei guter Gesundheit zu machen, ist laut Menning (2006) eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Ein „erfolgreiches Altern“ ist demzufolge nicht mehr nur durch die Verlängerung der Lebensjahre, sondern vor allem durch die Verbesserung der Lebensqualität gekennzeichnet. Die Aufrechterhaltung der konditionellen Leistungsfähigkeit zur Bewältigung alltäglicher Aufgaben, den activities of daily living (ADL) bildet hierbei einen entscheidenden Faktor für eine hohe Lebensqualität im Alter (Datta, Datta & Majumdar, 2014). Aktuelle Untersuchungen belegen jedoch, dass trotz des derzeit steigenden Organisationsgrades im Seniorensport (Steinbach & Hartmann, 2007) die motorische Leistungsfähigkeit zur Bewältigung der ADL häufig unzureichend ist. In der westlichen Gesellschaft haben demnach mehr als 40% der über 60-Jährigen Schwierigkeiten, einfache Aufgaben des täglichen Lebens, wie beispielsweise das Aufstehen von einem Stuhl, zu bewältigen (Tieland, Trouwborst & Clark, 2018). Darüber hinaus sind zwischen 15-30% der betreffenden Bevölkerungsschicht nicht in der Lage, eine Last von 5 kg zu heben oder zu tragen (Louie & Ward, 2010). Die konträre Beziehung zwischen dem Wunsch auf ein unabhängiges und selbstständiges Leben auf der einen und der mangelnden konditionellen Leistungsfähigkeit auf der anderen Seite führt unausweichlich zu der Frage, wie eine stetig alternde Gesellschaft diesem Anspruch gerecht werden kann. Dieser Zwiespalt stellt nach Granacher, Mechling und Voelcker-Rehage (2018) eine der zentralen Frage in der Gerontologie dar. Kruse (2007) unterscheidet das menschliche Altern in drei Dimensionen: Eine physiologisch-biologische, eine psychologische sowie eine soziale Dimension. Forschungen in der Trainingswissen-

schaft befassen sich in ihrem Kern dabei hauptsächlich mit der physiologisch-biologischen Dimension. In diesem Bereich ist auch Studie I dieser Dissertation zu verorten. Aufgrund der bereits beschriebenen demografischen Veränderung der Bevölkerungsstruktur erfährt die Sportgerontologie zunehmend Aufmerksamkeit. Neben der Veränderung von körperlicher Aktivität und Funktionsfähigkeit steht die Frage nach dem entsprechenden optimalen Training im Fokus der aktuellen Forschung. Untersuchungen zu Dosis-Wirkungs-Beziehungen von konditionellem Training wie auch die Überprüfung von Effektivität und Praktikabilität bilden dabei wichtige Fragestellungen im gewählten Untersuchungsthema.

Aus Sicht der Trainingswissenschaft geht das Altern mit einem Rückgang physiologischer und funktioneller Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit einher, die für ein unabhängiges Leben und aktives Altern entscheidend sind (Bauman, Merom, Bull, Buchner & Fiatarone Singh, 2016; Granacher, Zahner & Gollhofer, 2008). Aktuelle Übersichtsstudien belegen altersbedingte Abnahmen der konditionellen Leistungsfähigkeit wie zum Beispiel einen Rückgang der Maximalkraft der unteren Extremitäten von 20-60% (Lai, Tu, Wang, Huang & Chien, 2018; Walker, Haff, Häkkinen & Newton, 2017) oder der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ ) von bis zu 60% (Hollenberg, Yang, Haight & Tager, 2006; Tieland et al., 2018). Gleichzeitig stützen systematische Übersichtsarbeiten die Effektivität von progressivem Krafttraining zur Steigerung der Muskelkraft auch im hohen Lebensalter (Peterson, Rhea, Sen & Gordon, 2010). Auch Cadore, Pinto, Bottaro und Izquierdo (2014) belegen in ihrer Meta-Analyse, dass die aerobe Ausdauerleistung durch gezieltes Ausdauertraining bis ins hohe Alter verbessert werden kann. Zur Effektivität der gewählten Belastungsparameter in Interventionsstudien liefern Reviews zu Dosis-Wirkungs-Beziehungen, überwiegend im Bereich der Trainingsintensitäten, eindeutige Ergebnisse. Äquivalent zur Studienlage bei jungen Probanden (Peterson, Rhea & Alvar, 2004) zeigen Untersuchungen mit Senioren, deren Belastungsnormative hohe Intensitäten bei Kraft- (Raymond, Bramley-Tzerefos, Jeffs, Winter & Holland, 2013) oder Ausdauertraining (Huang, Wang, Chen, Huang, Donnelly & Mehlferber, 2016) aufweisen, die größten Anpassungserscheinungen. Hinsichtlich der spezifischen Trainingswirkungen von konditionellem Training sind die Auswirkungen der trai-

nierten Fähigkeit auf ihre direkte Expression dadurch hinreichend belegt. Eine Diskrepanz besteht hingegen bei der Studienlage zu den Transferwirkungen einer trainierten motorischen Fähigkeit auf die Leistungsfähigkeit in einer anderen motorischen Fähigkeit. Studienergebnisse, die Wechselwirkungen - hauptsächlich zwischen den diversen Ausprägungsformen von Kraft und Ausdauer - bestätigen (Cheng et al., 2009; Hortobágyi, Lesinski, Gäbler, VanSwearingen, Malatesta & Granacher, 2015), stehen Erkenntnissen anderer Untersuchungen gegenüber, die diese Aussagen wiederum nicht bestätigen können (Holviala et al., 2012; Marques, Figueiredo, Harris, Wanderley & Carvalho, 2017). Unterzieht man das große Feld der Untersuchungen im Bereich des konditionellen Trainings mit älteren Teilnehmern einer näheren Betrachtung, weisen diese eine ausgeprägte Heterogenität in den gewählten Untersuchungsdesigns auf. Dabei treten die Aspekte ausgewählte Stichproben und angewandte Messmethoden besonders prägnant hervor, da viele gerontologische Untersuchungen in klinischen Settings mit erkrankten Probanden durchgeführt werden. So entstehen zwar wichtige Erkenntnisse, dass konditionelles Training auch im Kontext dieser Zielgruppen durchführbar und gegebenenfalls auch wirksam ist; eine Übertragung auf eine gesunde Population ist aber nur bedingt möglich. Eine weitere Problematik bestehender Studien liegt in der klaren Abgrenzung der konditionellen Fähigkeiten im Bereich der Trainingsintervention sowie der Messmethoden. Wie Hepple, Mackinnon, Goodman, Thomas und Plyley (1997) festgestellt haben, bewegen sich Krafttrainingsinterventionen mit geringen Intensitäten (30-60% 1 RM) und hohen Wiederholungszahlen (12-20 Wdh.) - wie sie häufig in der Gerontologie Anwendung finden - bezüglich ihrer Trainingswirkung im Bereich der Kraftausdauer. Dadurch sind Transferwirkungen zu erwarten, da die gewählte Trainingsintervention physiologische Anpassungserscheinungen sowohl bei den Determinanten der Kraft als auch der Ausdauer hervorruft (Hoffman, 2014). Aufgrund körperlicher Einschränkungen oder mangelnder konditioneller Fitness der Zielgruppe muss bei der Auswahl geeigneter Messsysteme häufig zwischen den Hauptgütekriterien und beeinflussenden Nebengütekriterien, wie der Zumutbarkeit eines Tests, abgewogen werden. Im Bereich der Studien, die den Einfluss von konditionellem Training auf Lokomotionsbewegungen überprüfen, gibt es daher eine Reihe spezifischer angepasster oder entwickelter Tests. Häufige Vertreter sind hier

der Timed Up & Go Test (TUG) (Podsiadlo & Richardson, 1991) sowie der Timed 10-Meter Walk Test (10 MWT) (Bohannon, 1997). Dabei werden Messergebnisse der Ganggeschwindigkeit (GS), die über eine kurze Distanz ermittelt wurden, stark von der Maximalkraft der unteren Extremitäten beeinflusst (Santos, Ribeiro, Schoenfeld, Nascimento, Tomeleri, Souza, Pina & Cyrino, 2017). Die Ergebnisse der wenigen Untersuchungen zu Transferwirkungen von Krafttraining auf die Ausdauerleistung mit einer Messmethodik, bei der kardiorespiratorische Fitness eine dominierende Rolle spielt, lassen keine eindeutigen Aussagen zur Wirksamkeit einer Krafttrainingsintervention zu (Mian, Baltzopoulos, Minetti & Narici, 2007). Hortobágyi et al. (2015) bekräftigen in ihrer Meta-Analyse den Mangel an Studien, die die Auswirkungen u. a. von Krafttraining auf die Gehgeschwindigkeit über längere Distanzen überprüfen. Gleichmaßen sind positive Auswirkungen eines aeroben Ausdauertrainings auf die Maximalkraft der unteren Extremitäten nicht hinreichend belegt. Obwohl Einzelstudien durchaus Belege für Transferwirkungen liefern (Harber, Konopka, Douglass, Minchev, Kaminsky, Trappe & Trappe, 2009; Lovell, Cuneo & Gass, 2010), können Übersichtsarbeiten, wie die kürzlich veröffentlichte Meta-Analyse von Lai et al. (2018), keine signifikanten Anpassungserscheinungen bestätigen. Zusammenfassend können folgende Defizite im Forschungsstand festgehalten werden:

- Es besteht ein Mangel an randomisierten, kontrollierten Studien, die die Wechselwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining mit geeigneten Messmethoden untersuchen.
- Die Auswahl der Testverfahren ist häufig an eine unzureichende körperliche Leistungsfähigkeit angepasst und liefert somit lediglich spezifische Erkenntnisse.
- Die Ergebnisse der Studien, die Transferwirkungen überprüfen, liefern heterogene Erkenntnisse, deren Ursache nicht hinreichend geklärt ist.

Vor dem Hintergrund dieser Forschungsfragen besteht das Ziel der vorliegenden Studie in der Überprüfung der Transferwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining bei Senioren. Hierzu erfolgt im ersten Schritt eine themenbezogene theoretische Vorbetrachtung die in den aktuellen Forschungsstand übergeht.

### 2.1.1 Theoretische Vorbetrachtung

Bevor in der Arbeit detailliert auf die aktuellen Erkenntnisse zu Trainingswirkungen von Kraft- und Ausdauertraining eingegangen wird, werden zunächst die theoretischen Grundlagen zur Charakteristik der beiden motorischen Fähigkeiten im Seniorenalter beschrieben.

#### *Charakteristik der Ausdauerfähigkeit im Seniorenalter*

Die allgemeine aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit nimmt ab dem 30. Lebensjahr kontinuierlich ab. Der bundesdeutsche Durchschnitts-Mann hat nach Hollmann (2001) mit dem 60. Lebensjahr 25-35%, die -Frau etwa 20-25% ihrer maximalen kardiopulmonalen Fähigkeit in Form der maximalen Sauerstoffaufnahme pro Minute eingebüßt (s. Abb. 8).

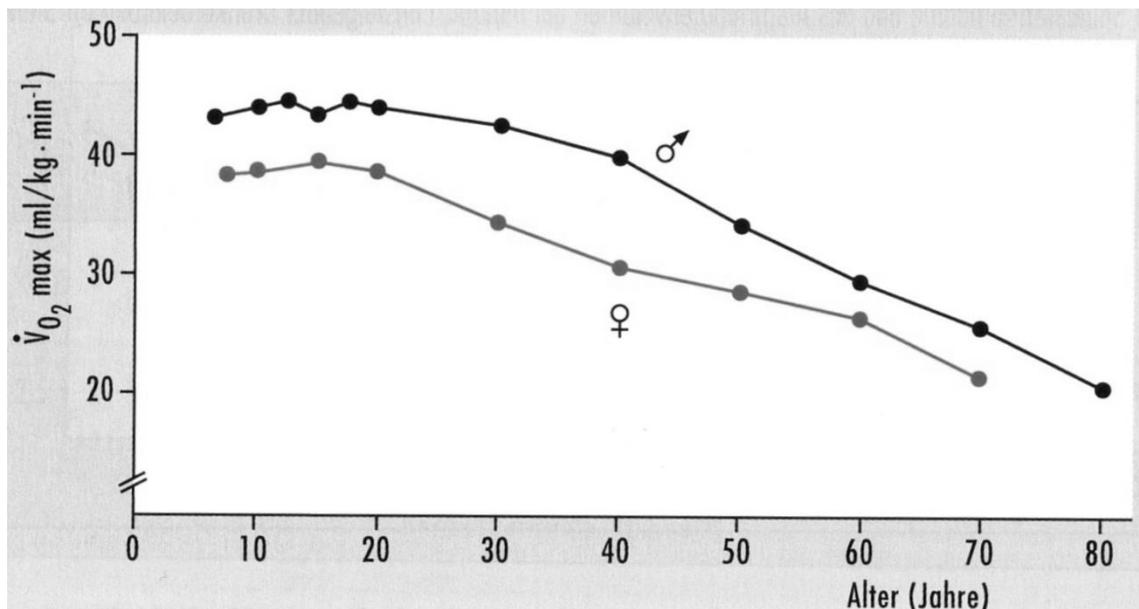


Abbildung 8: Entwicklung der VO<sub>2</sub>max in der Lebensspanne (nach Hollmann, 2001)

Tanaka und Seals (2008) beschreiben in ihrer Übersichtsarbeit einen Rückgang der VO<sub>2</sub>max von durchschnittlich 8-10% pro Dekade nach Vollendung des 30. Lebensjahres. Die häufig zitierten Entwicklungsdaten aus Querschnittsstudien sollten aber aus dem Blickwinkel der Alterforschung weiter differenziert werden. Fleg, Morrell, Bos, Brant, Talbot, Wright und Lakatta (2005) betrachteten in einer Längsschnitt-

## Studie I Theoretische Vorbetrachtung

studie mit über 800 Teilnehmern in einer Altersspanne von 21-81 Jahren die tatsächliche Leistungsentwicklung der aeroben Ausdauerleistung über einen Zeitraum von ca. 8 Jahren. Die Ergebnisse dieser Studie werfen ein neues Licht auf die Entwicklung der Ausdauerleistungsfähigkeit im höheren Alter. Die ermittelten Werte der  $VO_2\text{max}$  weisen in den Altersgruppen über 60 Jahren im Vergleich zu Werten aus Querschnittsstudien einen signifikant größeren Rückgang auf (vgl. Abb. 9).

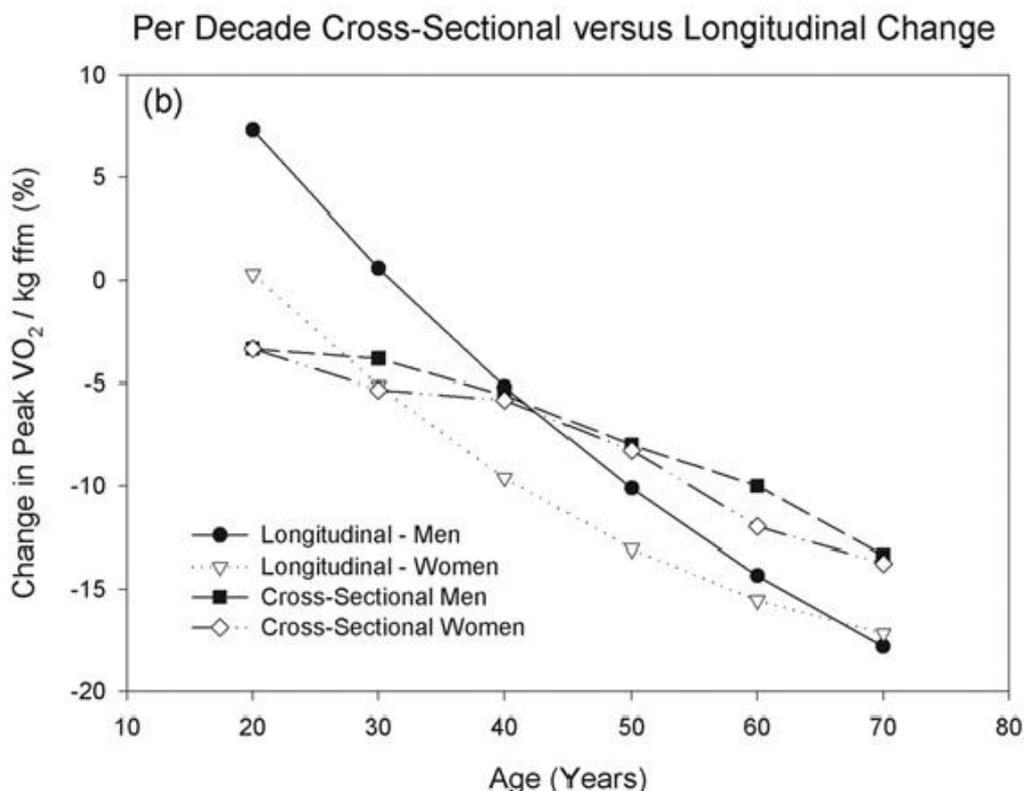


Abbildung 9: Entwicklung der  $VO_2\text{max}$  im Alter – Vergleich der Daten aus Quer- und Längsschnittstudien (nach Fleg et al., 2005)

Während für die Altersgruppe der über 30-Jährigen ein Leistungsrückgang von etwa 3-6% ermittelt wurde, verlor die Altersgruppe der über 70-Jährigen im erhobenen Zeitraum 18% ihrer aeroben Leistungsfähigkeit. Bemerkenswerterweise blieben diese Ergebnisse auch bestehen, nachdem zur Berechnung der relativen  $VO_2\text{max}$  nicht die Gesamtkörpermasse, sondern die fettfreie Körper-Masse (FFM) verwendet wurde. Der Befund früherer Untersuchungen, die den erhöhten Rückgang der  $VO_2\text{max}$  im höheren Alter u.a. auf eine Veränderung der Körperzusammensetzung durch den Verlust der FFM zurückführten (u.a. Fleg & Lakatta, 1988), wird somit

aufgrund der Erkenntnisse von Fleg et al. (2005) entkräftet. Aktuelle Übersichtsarbeiten und Einzelstudien weisen auf drei wichtige Parameter hin, die für den Rückgang der  $VO_2max$  verantwortlich sind: (1) Der Rückgang der maximalen Herzfrequenz, (2) die Verringerung des Schlagvolumens und (3) die Verringerung des

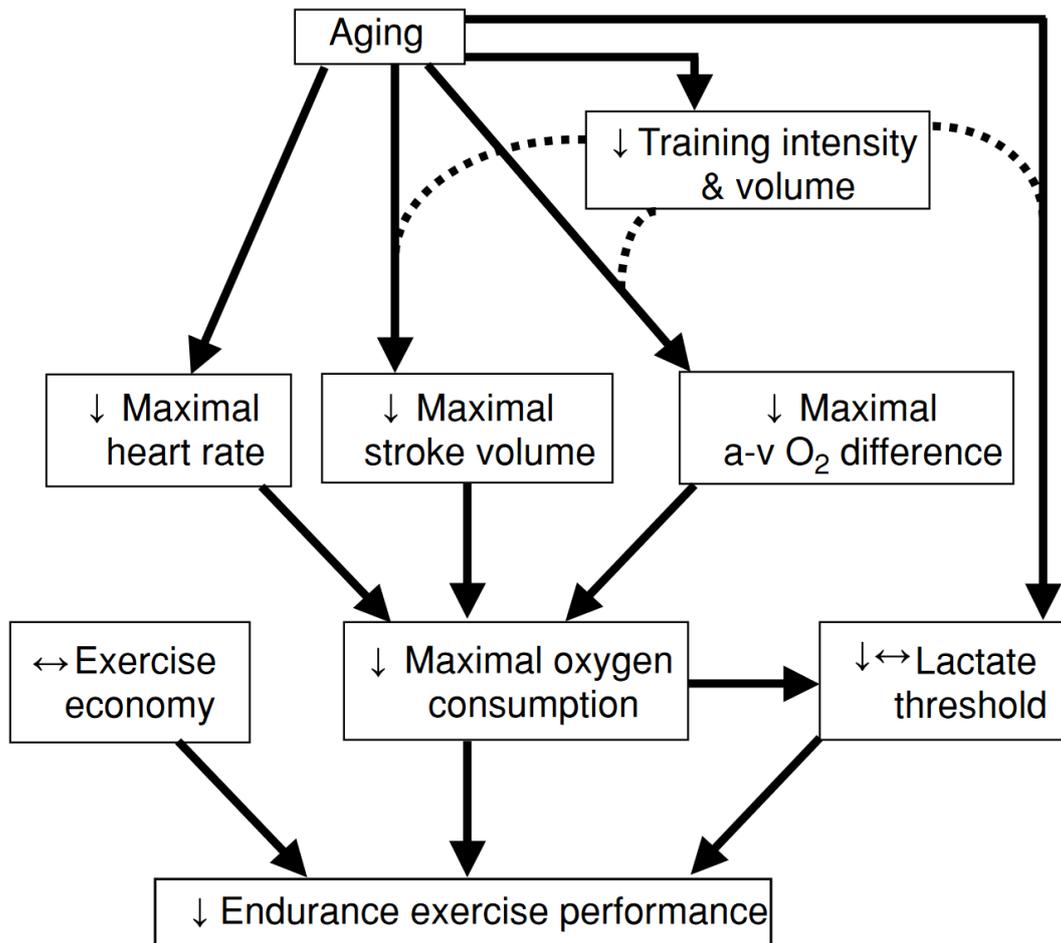


Abbildung 10: Der Einfluss von Alter auf die Ausdauerleistungsfähigkeit nach Tanaka und Seals (2008)

Sauerstoffgehalts im Blut (u.a. Bell, Monahan, Donato, Hunt, Seals & Beck, 2003). Unter Berücksichtigung der Laufökonomie und der Veränderung der spezifischen Laktatschwellen belegen Tanaka und Seals (2008) in ihrer Meta-Analyse den wesentlichen Einfluss dieser Parameter auf die Ausdauerleistungsfähigkeit (s. Abb. 10). Der Rückgang der  $VO_2max$  zeigt dabei geschlechtsspezifische Differenzen. Bis zur 6. Lebensdekade verlaufen die Entwicklungen in beiden Geschlechtern weitest-

## Studie I Theoretische Vorbetrachtung

gehend parallel. Im weiteren Verlauf ist bei Männern ein signifikant größerer Rückgang zu konstatieren (Weiss, Spina, Holloszy & Ehsani, 2006). Die große

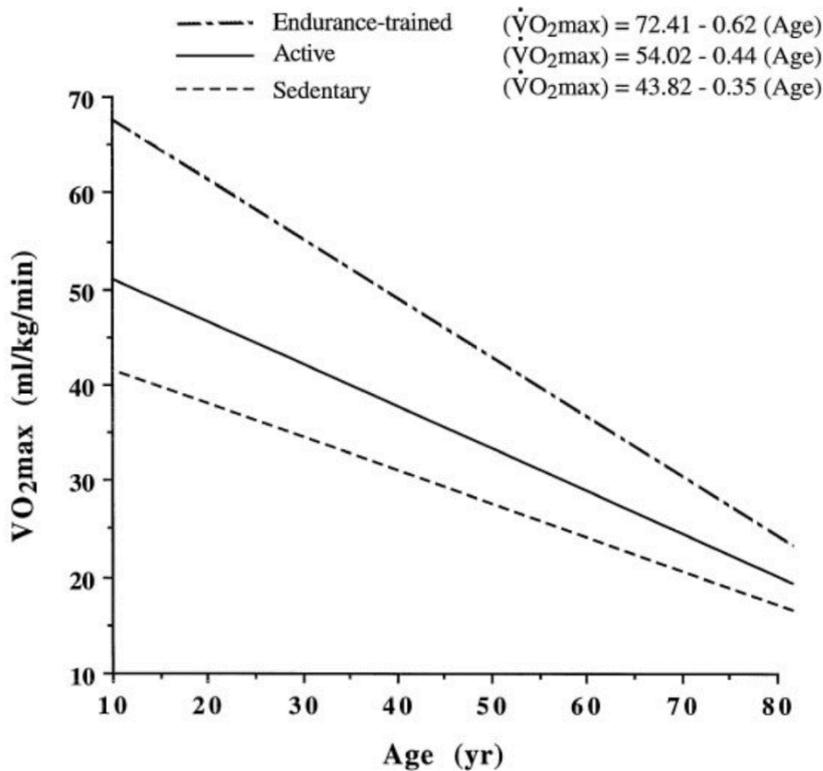


Abbildung 11: Entwicklung der  $VO_{2max}$  über die Lebens-spanne bei Frauen in Abhängigkeit des Trainingszustandes nach Wilson und Tanaka (2000)

Differenz zwischen Männern und Frauen in der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit im Referenzzeitraum der 3. Lebensdekade wird dabei von den Autoren als mögliche Ursache zitiert. In den Meta-Analysen von Fitzgerald, Tanaka, Tran und Seals (1997) sowie T. Wilson und Tanaka (2000) wurde, getrennt nach Geschlechtern, die Entwicklung der  $VO_{2max}$  unter Berücksichtigung des Trainingszustands (untrainiert, trainiert, im hohen Maße ausdauer-spezifisch-trainiert) ermittelt. Die Ergebnisse der Männer zeigen in allen drei Gruppen identische Verluste in der Lebens-spanne. Die Werte der Studienteilnehmerinnen veränderten sich dagegen invers zum Faktor Trainingszustand (vgl. Abb. 11). Die größten Verluste wurden für die ausdauertrainierte Gruppe ermittelt gefolgt von den Trainierten. Die untrainierte Gruppe wies den geringsten prozentualen Rückgang auf. Auch hier vermuten die Autoren, dass die große Differenz der Ausdauerleistungsfähigkeit der Frauen in der 2. und 3. Lebensdekade für die beobachtete Entwicklung verantwortlich ist. Eine

weitere Annahme der Autoren besteht in der stärkeren Reduktion der Belastungsnormative bei der Ausführung des Ausdauertrainings bei weiblichen Trainierenden im hohen Alter.

Welchen Anteil am Leistungsverlust ein inaktiver Lebensstil im Alter im Vergleich zu rein biologisch determinierten Alterungsprozessen hat, ist durch die wechselseitige Beziehung schwer zu differenzieren. Forschungsarbeiten, die die Auswirkungen einer Immobilisation auf die körperliche Leistungsfähigkeit untersuchen (Coker, Hays, Williams, Wolfe & Evans, 2015; McGavock, Hastings, Snell, McGuire, Pacini, Levine & Mitchell, 2009) können unbestritten große Leistungsrückgänge im Bereich der konditionellen Fähigkeiten belegen. Dies stellt jedoch weder einen spezifischen Effekt des Alterns dar (Mulder, Clément, Linnarsson, Paloski, Wuyts, Zange, Frings-Meuthen, Johannes, Shushakov, Grunewald, Maassen, Buehlmeier & Rittweger, 2015), noch kann bei dieser negativen Leistungsentwicklung von einem irreversiblen Zustand ausgegangen werden (Ellison, Drummond, Dickinson, McGaugh, Paddon-Jones & Volpi, 2016).

Fasst man die Befundlage zusammen, beginnt der Rückgang der maximalen Ausdauerleistungsfähigkeit nach der dritten Lebensdekade und verläuft bis zum 60. Lebensjahr in beiden Geschlechtern weitestgehend parallel. Zwischen dem 60. und 80. Lebensjahr ist dabei ein verstärkter Rückgang der Ausdauerleistung zu verzeichnen, der verstärkt das männliche Geschlecht betrifft. Dabei sind nach aktuellem Forschungsstand der Rückgang der maximalen Herzfrequenz, die Verringerung des Schlagvolumens und der verminderte des Sauerstoffgehalt im Blut hauptverantwortlich für diese Entwicklung.

#### *Charakteristik der Kraftfähigkeit im Alter*

Die Studienlage belegt eindeutig, dass die Maximalkraft im Alter kontinuierlich abnimmt. Bis zum 60. Lebensjahr verläuft die negative Entwicklung moderat, mit anschließend kontinuierlich stärkeren Rückgängen (Daly, Rosengren, Alwis, Ahlborg, Sernbo & Karlsson, 2013). Die Meta-Analyse von Mitchell, Atherton, Williams, Larvin, Lund und Narici (2012) bestätigt einen jährlichen Rückgang der Maximalkraft von 3-4% ab dem 75. Lebensjahr. Lange Zeit wurde die Sarkopenie als Hauptursache für den Rückgang der maximalen Kraftfähigkeit im Alter angesehen (Doherty, 2003;

Evans, 1995). Die Sarkopenie (griech. für „sarx“=„Fleisch“ und „penia“=„Mangel“) definiert den altersbedingten Rückgang an Muskelmasse und zeigte in ersten Studien (u.a. Evans, 1995) mittlere bis hohe Korrelationen zur Maximalkraft auf. Aufgrund dieser Ergebnisse etablierte sich der Begriff Sarkopenie in der Wissenschaft und wurde zunehmend als Oberbegriff für den Rückgang der physiologischen Leistungsfähigkeit im Alter verwendet. In dem offiziellen Statement der European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP) wurde das Forschungsfeld um das Thema Sarkopenie mit dem Verlust an Muskelmasse, Muskelkraft und dem Rückgang physiologischer Parameter charakterisiert (siehe Cruz-Jentoft, Baeyens, Bauer, Boirie, Cederholm, Landi, Martin, Michel, Rolland, Schneider, Topinková, Vandewoude & Zamboni, 2010). In einem vielbeachteten Artikel kritisieren Clark und Manini (2008) die aktuelle Begriffsbestimmung der Sarkopenie.

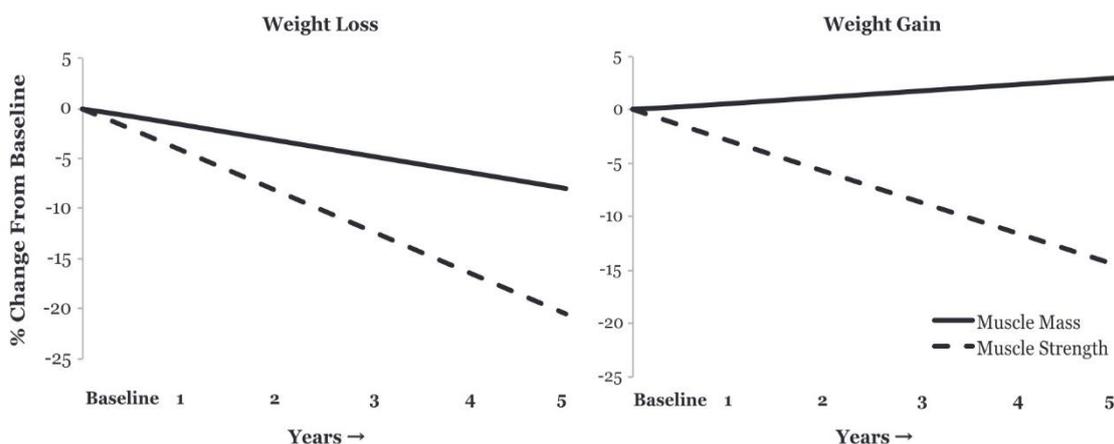


Abbildung 12: Entwicklung der Maximalkraft über 5 Jahre in Abhängigkeit zu der Entwicklung der Muskelmasse (nach Delmonico et al., 2009)

Die Kritik der Autoren wird durch mehrere Längsschnittstudien unterstützt, die keine eindeutigen Belege für einen starken Zusammenhang von Muskelmasse und Kraft im hohen Alter aufzeigen konnten. Eine dieser Längsschnittstudien mit ca. 450 Probanden der Autorengruppe um Delmonico, Harris, Visser, Park, Conroy, Velasquez-Mieyer, Boudreau, Manini, Nevitt, Newman und Goodpaster (2009) untersuchte über 5 Jahre den Zusammenhang der Muskelmasse auf die jeweilige Muskelkraft (siehe Abb. 12). Zusätzlich wurde in der Ergebnisdarstellung zwischen denjenigen Probanden differenziert, die im Untersuchungszeitraum Muskelmasse zulegen konnten (n=143) oder Muskelmasse verloren (n=309). Die Ergebnisse zeigen

deutlich, dass (a) die Verlusten der Muskelkraft deutlich höher sind als die der Muskelmasse und (b) selbst eine Zunahme der Muskelmasse den Verlust der Muskelkraft nicht kompensieren kann. Um den Begriff der Sarkopenie zu seiner ursprünglichen Definition zurück zu bringen, führten Clark und Manini den Begriff der Dynapenie ein und klassifizierten die Sarkopenie in ihrem Modell als einen Einflussfaktor der Dynapenie zu (s. Abb. 13).

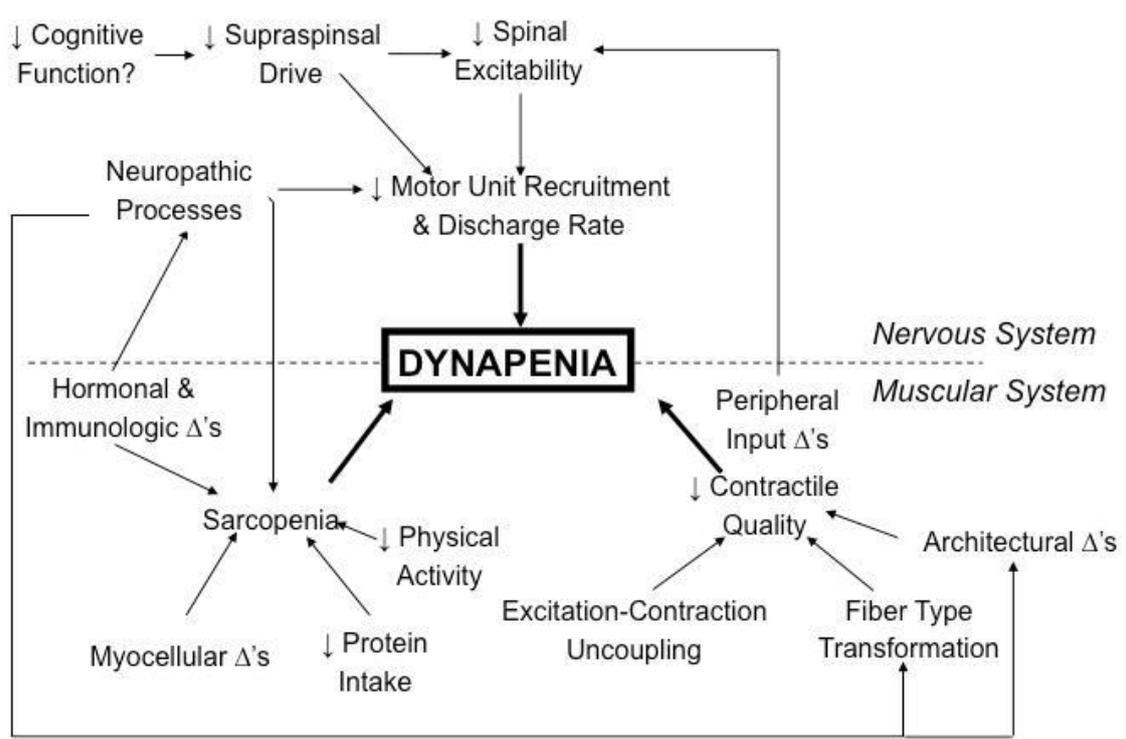


Abbildung 13: Einflussfaktoren der Dynapenie (nach Clark und Manini, 2008)

Die Dynapenie beschreibt den messbaren Verlust der Muskelleistung im hohen Alter. Ihr Bestimmungswert ist die willkürlich ausführbare Maximalkraft. In der Modellvorstellung von Clark und Manini (2008) werden die Einflussfaktoren der Dynapenie in eine neuronale und muskuläre Ebene unterschieden. Den Haupteinfluss auf neuromuskulärer Ebene bildet die Rekrutierung/Innervierung Motorischer Einheiten. Die Qualität und Anzahl/Masse der Muskelfasern determinieren auf muskulärer Ebene die Dynapenie. Entgegen genereller Erkenntnisse der Trainingswissenschaft scheint mit steigendem Alter der Einfluss der Muskelmasse auf die Maximalkraft bei gleichzeitig steigender Bedeutung neuronaler Parameter zu sinken. Die Übersichtsarbeit von Doherty (2001) belegt dabei einen signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschied in den Maximalkraftleistungen über die gesamte Lebensspanne, der in

Gänge auf der Differenz der Muskelmasse beruht. Die Ergebnisse aktueller Untersuchungen bestätigen die Dynapenie als starken Prädiktor für die konditionelle Leistungsfähigkeit im Alter (Chang, Wu, Huang, Jan & Han, 2018; Iwamura & Kanouchi, 2017) und Bewältigung der ADL (Neves, Martin Lopes, Crespilho Souza, Fett & Rezende Fett, 2018).

Zusammenfassend beginnt ab dem 30. Lebensjahr ein Rückgang der maximalen muskulären Kraftleistung. Äquivalent zum Rückgang der Ausdauerleistung setzt ab der 6. Lebensdekade ein verstärkter Rückgang der Maximalkraft ein. Dabei kann dieser Rückgang nicht ausschließlich auf den Verlust an Muskelmasse (Sarkopenie) zurückgeführt werden. Wie aktuelle Forschungsergebnisse belegen, ist der Verlust an Motorischen Einheiten insbesondere im hohen Alter als wesentlicher Faktor für den Rückgang der maximalen Kraftleistung anzusehen. Demzufolge ist die synonyme Verwendung des Begriffs Sarkopenie für den Rückgang der Kraftleistung unter diesem Aspekt nicht haltbar. In Folge dessen entwickelte sich der Begriff der Dynapenie, der definitionsgemäß den Rückgang der Kraftleistung im hohen Alter beschreibt.

#### *Trainierbarkeit im Alter*

Ein Vergleich der Bestleistungen in den Laufdisziplinen der ersten Olympischen Spiele von 1896 mit aktuellen Bestzeiten in unterschiedlichen Altersklassen, die die damaligen Rekorde unterbieten, ist in Tabelle 6 abgebildet.

Tabelle 6: Vergleich der Siegerlaufzeiten der Olympischen Spiele von 1896 mit den aktuellen Master-Weltrekorden die diese Zeiten unterbieten (nach Tanaka und Seals, 2008)

Laufstrecken	Siegerzeit der ersten Olympischen Spiele 1896	Laufzeiten mit Altersklassen, die aktuell die Rekorde von 1896 unterbieten
100m (s)	12,0	11,7 (61 Jahre)
200m(s)	22,2	22,1 (46 Jahre)
400m (s)	54,2	53,9 (63 Jahre)
800m (min:s)	2:11,0	2:10,4 (60 Jahre)
1500m (min:s)	4:33:2	4:27:7 (60 Jahre)
Marathon (h:min:s)	2:58:50	2:54:5 (73 Jahre)

## Studie I Theoretische Vorbetrachtung

Die Verschiebung der Leistungsgrenzen ausschließlich auf physiologisch überlegene Leistung zurückzuführen, würde den Leistungen der Athleten vor über 100 Jahren sicherlich nicht gerecht werden. Verbesserungen auf multifaktorieller Ebene, wie zum Beispiel Ausrüstung der Sportstätten und Sportler, die Sportmedizin, Trainingsmethoden, etc. tragen einen bedeutenden Anteil zu dieser Entwicklung bei. Ungeachtet dessen ist die Leistungsentwicklung in den Master-Leistungsklassen beeindruckend. Dass der älteste „Rekordbrecher“ ein Marathonläufer ist, liegt nicht nur am Ausnahmetalent von Ed Withlock, der selbst mit 85 Jahren mit 3:56 Stunden die Benchmark vieler ambitionierter Hobbyathleten von 4 Stunden unterbot. Unter einer wissenschaftlich physiologischen Betrachtung entspricht dies dem Spiegelbild der Trainierbarkeit der konditionellen Fähigkeiten.

Während Kraft- und besonders Schnellkeitsleistungen schon ab dem 35. Lebensjahr rapide abnehmen, beginnt der Rückgang der Ausdauerleistung erst später und in weniger rasantem Ausmaß (vgl. Abb. 14).

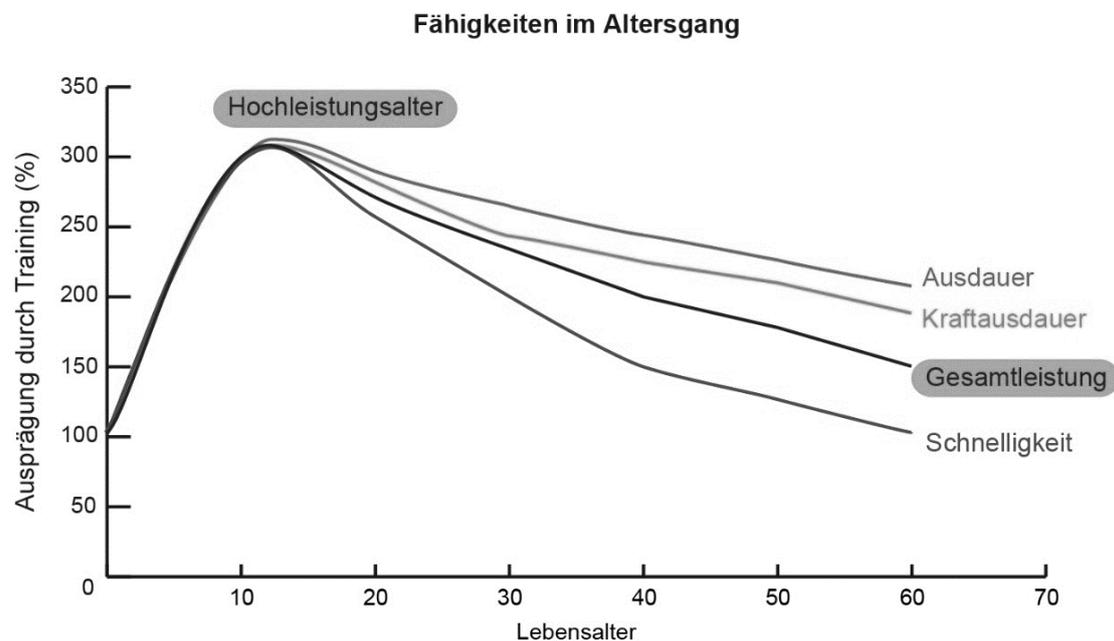


Abbildung 14: Fähigkeiten im Altersgang (nach Neumann, Pfützner und Berbalk, 2013)

Für das Kraft- und Ausdauertraining sind überwiegend spezifische neuromuskuläre und kardiovaskuläre Anpassungen belegt. Zu den durch ein Krafttraining induzierten Anpassungen zählen die Muskelhypertrophie (Campos, Luecke, Wendeln, Toma,

Hagerman, Murray, Ragg, Ratamess, Kraemer & Staron, 2002) sowie die Erhöhung der Rekrutierungs- und Frequenzierungskapazität der Motorischen Einheiten (K. Häkkinen, Kraemer, Newton & Alen, 2001; Kamen, 2005). Diese neuromuskulären Anpassungen führen im Zusammenspiel zu einer signifikanten Steigerung der Maximalkraft. Die Meta-Analyse von Peterson et al. (2010) ermittelte dabei Zuwächse der Maximalkraft von 20-30% in Messungen der isolierten Beinstrecker-Muskulatur sowie den Maximalkraftmessungen an einer Beinpresse. Im Gegensatz dazu führt Ausdauertraining zu zentralen und peripheren Anpassungen, die die Herz-Kreislauf-Funktion und die Fähigkeit der Skelettmuskulatur zur Energiegewinnung über den oxidativen Stoffwechsel verbessern (McLay, Murias & Paterson, 2017; Spina, Ogawa, Kohrt, Martin, Holloszy & Ehsani, 1993). Die Meta-Analyse von Huang et al. (2016) weist dabei Steigerungsraten der  $VO_{2max}$  von 15-20% nach. Anpassungen der Ganggeschwindigkeit über längere Distanzen bewegen sich in der Meta-Analyse von Hortobágyi et al. (2015) zwischen 5-10%. Bei der Interpretation der Ergebnisse der Meta-Analysen muss jedoch berücksichtigt werden, dass sich die Ergebnisse zum Großteil auf Studien stützen, bei denen Testverfahren mit geringen Distanzen zur Überprüfung der Ausdauerleistungsfähigkeit im hohen Alter eingesetzt wurden. Einen kurzen Überblick der entscheidenden Belastungsparameter des Trainings zur Steigerung der Maximalkraft sowie der Ausdauerleistung wird in den beiden folgenden Kapiteln behandelt.

*Dosis-Wirkungs-Beziehungen Ausdauertraining*

Im Themenfeld des Ausdauertrainings bei Senioren ist der Einfluss ausgewählter Belastungsnormative auf die Ausdauerleistung Inhalt mehrerer Forschungs- und Übersichtsarbeiten (Huang et al., 2016; Iwasaki, Zhang, Zuckerman & Levine, 2003). Abbildung 15 zeigt die Gruppe der Belastungsparameter, die in der Meta-Analyse von Huang et al. (2016) signifikante Verbesserung der VO<sub>2</sub>max hervorgerufen haben.

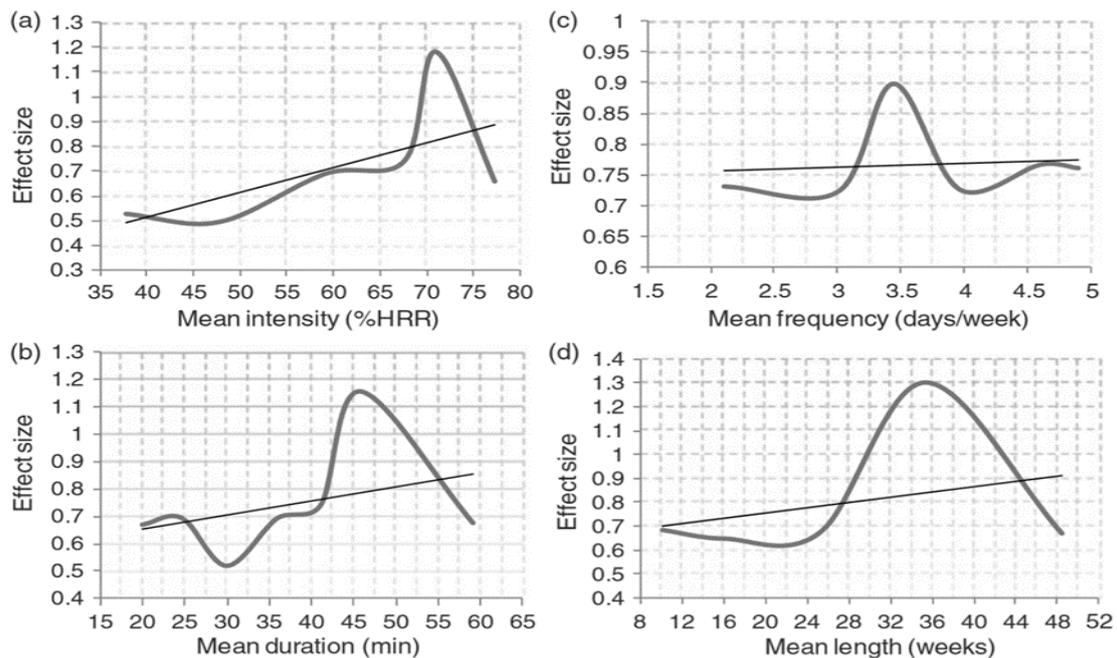


Abbildung 15: Berechnete Effektstärke der VO<sub>2</sub>max Steigerung in Abhängigkeit von (a) der Trainingsintensität (% der Herzfrequenz-Reserve), (b) der Trainingsdauer (Minuten), (c) der Trainingsfrequenz (Tage/Woche) sowie (d) der Dauer der Intervention (Wochen) (nach Huang et al., 2016)

Die Intensität sowie die Dauer eines Trainings bzw. die Dauer einer Intervention haben demnach großen Einfluss auf die Entwicklung der VO<sub>2</sub>max. Der Einfluss der Trainingseinheiten pro Woche bewegt sich dabei auf einem etwas niedrigeren Niveau. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse sollte eine Trainingsintervention mit hohen Intensitäten (70-75% der HRR) und einer Dauer von 45-50 Minuten an 3-4 Tagen in der Woche über einen Zeitraum von 36-38 Wochen eine optimale Entwicklung der kardiorespiratorischen Fitness ermöglichen.

### *Dosis-Wirkungs-Beziehungen Krafttraining*

Auch im Themenfeld des Krafttrainings bei Senioren finden sich mehrere Forschungsarbeiten, die den Einfluss ausgewählter Belastungsnormative auf die Maximalkraftleistung untersuchten (Borde, Hortobágyi & Granacher, 2015; Fairhall & Sherrington, 2011). Die Meta-Analyse von Borde et al. (2015) erfasst dabei einen umfangreichen Bereich an Parametern. Die Ergebnisse der Übersichtsarbeit belegen für die folgenden Parameter signifikante wie unabhängige Effekte von Krafttraining auf die Muskelkraft bei gesunden Erwachsenen im höheren Alter: (1) Trainingszeit (50-53 Wochen,  $p=.04$ ), (2) Intensität (70-79 % 1RM,  $p <.01$ ) sowie (3) die time under tension (TUT) - charakterisiert als die Zeit, in der ein Muskel pro Wiederholung unter Spannung steht (6 s,  $p <.01$ ) - die Effekte von Krafttraining auf die Muskelkraft bei gesunden Erwachsenen im höheren Alter signifikant und unabhängig verändern können. Die Meta-Analyse von Steib, Schoene und Pfeifer (2010) bestätigt diese Erkenntnisse und untersuchte zusätzlich den Unterschied zwischen einem klassischen progressiven Widerstandstraining und einem Power-Training (Training mit schnellen, explosiven Kontraktionsgeschwindigkeiten). Dabei zeigte das Power-Training signifikant höhere Zuwächse in der Maximalkraft, während das klassische progressive Widerstandstraining eine signifikant größere Hypertrophie-Wirkung erzielte. In einer weiteren Meta-Analyse von Schoenfeld, Ogborn und Krieger (2017) lag der Fokus auf der Anzahl der trainierten Sätze pro Woche und deren Einfluss auf den Zuwachs an Muskelmasse. Die einbezogenen Studien wurden dabei in drei Gruppen aufgeteilt: <5 Sätze; 5-9 Sätze; 10+ Sätze. Der prozentuale Zuwachs an Muskelmasse stieg signifikant mit Erhöhung der Sätze an. In der Meta-Analyse von Borde et al. wurde dagegen kein signifikanter Einfluss der einzelnen Variablen Sätze/Training und Trainingseinheiten/Woche festgestellt. Es gilt jedoch zu beachten, dass die Variablen nicht in Kombination überprüft wurden und in den Ergebnissen von Schoenfeld et al. keine Angaben zu weiteren Belastungsparametern, beispielsweise Trainingsintensität, aufgeführt werden. Zudem wurden für die Analyse von Schoenfeld et al. neben Studien mit Probanden im hohen Alter auch Studien mit untrainierten Probanden mittleren Alters inkludiert, die bei der Ergebnisinterpretation keine Differenzierung erfuhren.

Zusammenfassend scheint eine hohe Trainingsintensität eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung der Maximalkraft sowie der Muskelmasse zu spielen. Äquivalent zur derzeitigen Theorie der Auslösefaktoren der muskulären Hypertrophie stellt neben der ausgeübten Trainingsintensität auch die time under tension (TUT) einen bedeutsamen Einflussfaktor dar.

#### *Zusammenfassung der Trainierbarkeit im Alter*

Die derzeitige Studienlage liefert unbestrittene Belege, dass die leistungsdeterminierenden Parameter der konditionellen Fähigkeiten Kraft und Ausdauer bis ins hohe Alter trainierbar sind. Dabei sind Vorteile im Bereich der Trainierbarkeit der Ausdauer festzuhalten. Die Höhe der erreichbaren Zuwächse hängt neben genetischen Prädispositionen hauptsächlich vom Alter ab.

Eine Kombination von Kraft- und Ausdauertraining scheint bei älteren Menschen der effektivste Weg, um sowohl die neuromuskulären als auch die kardiorespiratorischen Funktionen zu verbessern (K. Häkkinen, Alen, Kraemer, Gorostiaga, Izquierdo, Rusko, Mikkola, Häkkinen, Valkeinen, Kaarakainen, Romu, Erola, Ahtiainen & Paavolainen, 2003; R. Wood, Reyes, Welsch, Favaloro-Sabatier, Sabatier, Matthew Lee, Johnson & Hooper, 2001). Aufgrund der Hinweise in einzelnen Studien (Harber et al., 2009) stellt sich allerdings die Frage, inwiefern ein Training einer einzelnen konditionellen Fähigkeit eine Anpassung in der Leistung und/oder den leistungsdeterminierenden Strukturen einer anderen konditionellen Fähigkeit bewirken kann.

#### 2.1.2 Forschungsstand zu Transferwirkungen von konditionellen Training

In diesem Abschnitt wird der aktuelle Forschungsstand der Transferwirkungen von konditionellem Training diskutiert. Zur Analyse bisheriger vergleichbarer Studien wurden die Datenbanken PubMed, MEDLINE und Google Scholar durchsucht. Die systematische Suche beinhaltete die Kombination aus drei Teilbereichen. Teil 1 mit spezifischen Trainingsformen der Intervention und den Suchbegriffen: „strength, resistance, endurance, cardio training, exercise, intervention, conditioning“. Teil 2 mit Outcome-Variablen: „strength, dynamic strength, endurance, cardio respiratory fitness, aerobic capacity, performance, physical performance, gait speed, walking“.

Studie I  
Theoretische Vorbetrachtung

---

Teil 3 mit dem globalen Einschlusskriterium des Alters und den Suchbegriffen: „old, older, older adults, elderly, aged, ageing, aging“. Nach diesen Verfahren wurden 69 Studien und 6 Übersichtsarbeiten zur weiteren Analyse aufgenommen. In einem zweiten Schritt wurde eine inhaltliche Prüfung anhand der in Tabelle 7 aufgeführten Ein- und Ausschlusskriterien vorgenommen.

Tabelle 7: Ein- und Ausschlusskriterien der Literaturrecherche Studie I

<b>Faktor</b>	<b>Einschlusskriterien</b>	<b>Ausschlusskriterien</b>
Art der Publikation	peer-reviewed	Kongressbeiträge, unveröffentlichte Arbeiten, graue Literatur
Studiendesign	Mit Kontroll-Gruppe oder Vergleichsgruppe (AT vs. KT)	Ohne Kontrollgruppe
Stichprobengröße	>9 Probanden pro Gruppe	<9 Probanden pro Gruppe
„health status“	gesunde Probanden	Probanden mit den in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Krankheitsbildern
Alter der Probanden	>60 Jahre <80 Jahre	<60 Jahre >80 Jahre
Intervention	Trennscharfe Zuordnung von Kraft und Ausdauertraining	Kombiniertes Kraft und Ausdauertraining, Kraftausdauertraining
Testverfahren	Valides Testverfahren zur Bestimmung von Kraft und Ausdauerleistung	Nicht abgrenzbares Testverfahren. z.B. Kraftmessung auf einem Ruderergometer

Schlussendlich wurden 20 Studien in die endgültige Übersicht aufgenommen (s. Tab. 8-11). Bei der tabellarischen Beschreibung werden signifikante Zuwächse (↑) und nicht signifikante Veränderungen (→) differenziert. Falls eine Studie lediglich Interventionsgruppen und keine Kontrollgruppe enthielt bzw. in einer Studie ein Zeiteffekt, aber kein Zeit\*Gruppeneffekt belegt werden konnte, wurde nur der Zeiteffekt vermerkt (↗). Die Darstellung erfolgt getrennt nach Auswirkungen von jeweils Kraft- und Ausdauertraining. Im Anschluss an den tabellarischen Überblick werden die Ergebnisse der einbezogenen Studien differenziert betrachtet.

Tabelle 8: Transferwirkungen von Ausdauertraining auf die Maximalkraft der unteren Extremitäten Teil 1

Studie	Probandengruppen/ Geschlecht	Alter Probanden	Studiendauer Frequenz	Training	Ergebnisse
Brightwell et al. (2019)	KON: 3m, 8w AD: 4m, 8w	KON 73;7±4,1 AD:71,4±4,2	24 Wochen 3 TE/Woche	LBWA 70% HFmax 40min	IK-KE↑ 15%
Cheng et al. (2009)	KON: 38 m, w AD: 38 m, w,	KON 70,5±3,9 AD 69,2±3,7	12 Wochen 3 TE/Woche	LBWA HF 220 - Alter	IK-KE↑8,32% IK-KFT↑28,98%
Haykowsky et al (2005)	KON:9w AD: 9w	60-78	12 Wochen 2 TE/Woche	FE k.a.	BP→ KE→ KF→
Hersey et al.(1994)	KON:9 m+w AD: 10 m+w	70-79	24 Wochen k.a.	WA 75-85 HRR 35-45min	BP→ KE→
Holviola et al (2012)	KON: 21m AD: 26m	KON:56,7±9,9 AT: 55,5±8,9	21 Wochen 2 TE/Woche	FE AnSw 45min	BP↑ 5%
Izquierdo et al.(2004)	AT: 10 m KT:10m	AT 68,2±4 KT 64,8±5	16 Wochen 3 TE/Woche	FE 70-90% HRR 30-40min	KB <sub>90Grad</sub> ↑ 8%

↑, sig. Verbesserung; ↑sig. Verbesserung über Zeit; → keine sig. Verbesserung  
min, Minuten; AD, Ausdauergruppe; KON, Kontrollgruppe; TE, Trainings-Einheiten; WA, Walking; LBWA, Laufbandwalking; FE, Fahrradergometer; HF, Herzfrequenz; HFmax, maximale Herzfrequenz; HRR, Herzfrequenz-Reserve; KE Knie-Extension; KF, Knie-Flexion; IK-KE isokinetische Knie-Extension, IK-KF isokinetische Knie-Flexion; BP, Beinpresse; KB<sub>90Grad</sub>, 90 Grad Kniebeuge

Tabelle 9: Transferwirkungen von Ausdauertraining auf die Maximalkraft der unteren Extremitäten Teil 2

Studie	Probandengruppen/ Geschlecht	Alter Probanden	Studiendauer Frequenz	Training	Ergebnisse
Kubo et al. (2008)	KON: 10 m+w AD: 35 m+w	KON 68,4±2,7 AD: 71,9±5,6	24 Wochen 4 TE/Woche	WA selbstbestimmt 15-40min	IM-KE→ IM-KF↑22,5%
Lovell et al. (2010)	KON: 12 m AD: 12 m	KON 73,7±1 AD 75,2±0,8	16 Wochen 3 TE/Woche	FE 50-70% HFmax	BP↑22%
Marques et al. (2017)	KON: 24w AD: 24w	KON: 68±6 AD: 70±5	32 Wochen 3 TE/Woche	WA 50-85HRR 45min	IK-KE→ IK-KF→
Strasser et al. (2009)	KON: 14 m+w AD: 13 m+w	KON: 74±5 AD: 76±5	24 Wochen k.a.	FE 60% VO <sub>2</sub> max 15-45min	BP→
Virág et al. (2015)	41 m+w	67,5±4,8	35 Wochen k.a.	NWA k.a. 35-45min	KE→ KF→

↑, sig. Verbesserung; / sig. Verbesserung über Zeit, aber nicht gegenüber Kontrollgruppe; → keine sig. Verbesserung  
min, Minuten; AD, Ausdauergruppe; KON, Kontrollgruppe; TE, Trainings-Einheiten; WA, Walking; NWA, Nordic-Walking; FE, Fahrradergometer; HF, Herzfrequenz; HFmax, maximale Herzfrequenz; HRR, Herzfrequenz-Reserve; KE Knie-Extension; KF, Knie-Flexion; IK-KE isokinetische Knie-Extension, IK-KF isokinetische Knie-Flexion; IM-KF isometrische Knie-Flexion; IM-KE isometrische Knie-Extension; BP, Blutdruck

*Transferwirkungen von aerobem Ausdauertraining auf die Maximalkraft der unteren Extremitäten bei Senioren*

Den Tabellen 8 und 9 kann entnommen werden, dass trotz der eng gefassten Einschlussfaktoren eine große Varianz bei den Ergebnissen der Studien besteht. Dabei stützen 6 der 11 aufgenommenen Studien ihre Aussage auf eine geringe Anzahl an Probanden und 4 von 11 Studien beschränken sich bei der Auswahl der Untersuchungsteilnehmer auf ein Geschlecht. Die Intervention in Form eines Ausdauertrainings wurde bei 7 Studien als Walking-Einheit durchgeführt, wobei hier zusätzlich eine Differenzierung in Walking (WA), Walking auf dem Laufband (LBWA) und Nordic Walking (NWA) erfolgte. Die restlichen Studien verwendeten ein Ausdauertraining mit Hilfe eines Fahrradergometers. Aus kinematischer Sicht weisen WA und LBWA nur geringfügige Unterschiede auf (Murray, Spurr, Sepic, Gardner & Mollinger, 1985). Der Energieverbrauch erhöht sich aber bei älteren Menschen beim Laufbandgehen, wenn sie diese Bewegungsform nicht gewohnt sind (Gupta, Kistemaker, Faber & Bobbert, 2018). Nordic Walking unterscheidet sich durch den Einsatz der Walking-Stöcke, sowohl auf kinematischer als auch metabolischer Ebene und wird durch einen höheren Energieumsatz charakterisiert (Padulo, Iuliano, Dello Iacono, Milić, Rizzi & Ardigò, 2018; Pellegrini, Peyré-Tartaruga, Zoppirolli, Bortolan, Savoldelli, Minetti & Schena, 2017). Vergleicht man das Ergometer-Training mit einem Lauf-Training, so führen Probanden während dem Ergometer-Training mechanische Arbeit aus, indem sie ihre Beinmuskulatur dazu verwenden, um eine Drehbewegung der Ergometer-Kurbel zu erzeugen. Dabei gilt es eine Last zu überwinden, die durch den Kurbelwiderstand generiert wird. Beim Walking-Training wird mit jedem Schritt mechanische Arbeit von einer großen Anzahl von Körpersegmenten durchgeführt, um den Körperschwerpunkt zyklisch anzuheben und zu beschleunigen. Dadurch spielt das Eigengewicht des Probanden eine entscheidende Rolle und führt zu unterschiedlichen kardiovaskulären Belastungen im Vergleich zum Ergometer-Training (vgl. Lafortuna, Agosti, Galli, Busti, Lazzer & Sartorio, 2008). Untersuchungen, die die Laktatkonzentration bei gleicher kardiopulmonaler Auslastung

untersuchten, stellen eine erhöhte Laktatentwicklung während des Ergometer-Trainings fest. Begründet wird dies im geringeren Anteil an beanspruchter Muskulatur bei äquivalentem Energieumsatz (Miles, Critz & Knowlton, 1980).

Rückt man den Fokus auf die Ergebnisse der Untersuchungen, konnten 5 von 11 Studien keine Transferwirkungen von Ausdauertraining auf die Maximalkraftleistung belegen. Bei den übrigen 6 konnten die Studien von Brightwell et al. (2019), Holviala et al. (2012) sowie Izquierdo et al. (2004) zwar signifikante Verbesserungen der Interventionsgruppen über die Zeit bestätigen – sie grenzten sich aber entweder nicht signifikant von der Kontrollgruppe ab oder, wie im Falle der Studie von Izquierdo et al., es lag keine Kontrollgruppe vor. Einen eindeutigen Beleg für die Transferwirkungen von Ausdauertraining auf die Maximalkraftleistung liefern die Studien von Cheng et al. (2009), Lovell et al. (2010) und Kubo, Ishida, Suzuki, Komuro, Shirasawa, Ishiguro, Shukutani, Tsunoda, Kanehisa und Fukunaga (2008). In der Studie von Cheng et al. verbesserte sich die isokinetische Knieextension sowie -Flexion von 38 Probanden beider Geschlechter mit einem Durchschnittsalter von 70 Jahren nach einem 12-wöchigen Walking-Training auf einem Laufband um 8,3% bzw. 29%. Ebenfalls eine signifikante Steigerung der Knieflexion (22%), allerdings in der isometrischen Arbeitsweise, ermittelte die Studie von Kubo et al. anhand einer 24-wöchigen Walking-Intervention. Interessanterweise kam es in der Studie mit 45 Probanden im Alter von durchschnittlich 72 Jahren zu keiner Verbesserung der maximalen isometrischen Knieextension. Die Kombination Knieflexoren sowie -extensoren wurde anhand einer Maximalkraftmessung an einer Beinpresse in der Studie von Lovell et al. überprüft. Dabei steigerten die 12 männlichen Probanden der Ausdauertrainingsgruppe ihre Maximalkraftleistung mit Hilfe eines Fahrradergometer-Trainings über 16 Wochen um 22%. Unter Berücksichtigung der Belastungsparameter ist die relativ kurze Interventionsdauer der drei Studien mit 12-24 Wochen ein auffälliges Merkmal. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den in Kapitel 2.1.1 beschriebenen Effektstärken der Dosis-Wirkungs-Beziehungen des Ausdauertrainings im hohen Alter, scheinen diese im Bereich der Transferwirkungen zur Maximalkraft deutlich abzuweichen. Sicherlich ermöglicht die geringe Anzahl an Studien keine generell belastbare Aussage, trotzdem sollten diese Tendenzen nicht unberücksichtigt bleiben.

Zusammenfassend kann die Studienlage im Bereich der Transferwirkungen von Ausdauertraining auf die Maximalkraft der unteren Extremitäten bei Probanden im höheren Alter als heterogen klassifiziert werden. Dies gilt sowohl für die methodische Herangehensweise als auch für die extrahierten Ergebnisse. Der Umstand, dass die Methodik einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse einer Untersuchung ausübt, erklärt sicherlich einen Teil der großen Varianz. Die Untersuchungen von Cheng et al. (2009) und Kubo et al. (2008), die Transferwirkungen von Ausdauertraining belegen konnten, verwendeten dabei eine isometrische bzw. isokinetische Maximalkraftmessung. In der Arbeit von Lovell et al. (2010) wurde eine Transferwirkung auf die dynamisch ermittelte Maximalkraft an einer Beinpresse untersucht, die Ausdauerintervention fand dabei auf einem Fahrradergometer statt. Somit ist eine Forschungslücke für die Transferwirkung eines walkingbasierten Ausdauertrainings auf die dynamisch gemessene Maximalkraft der unteren Extremitäten zu konstatieren.

Tabelle 10: Transferwirkungen von Krafttraining der unteren Extremitäten auf die aerobe Ausdauerleistung Teil 1

Studie	Probandengruppen/ Geschlecht	Alter Probanden	Studiendauer Frequenz	Training	Ergebnisse
Cardore et al. (2011)	KT: 8 m+ w AD: 7 m +w	KT 64±3,5 AD:64,4±3,5	12 Wochen 3 TE/Woche	BP; KE, KF 8-20W 2-3 S, 50-80%	FE VO <sub>2</sub> max→
Frontera, Meredith, O'Reilly und Evans (1990)	KT: 12 m,	KT 60-72	12 Wochen 3 TE/Woche	KE, KF 8-10 W 3 S, 80%	FE VO <sub>2</sub> max→
Hagerman et al. (2000)	KON:9m KT: 9m	KON:66,2±6,5 KT: 63,7±5	16 Wochen 2 TE/Woche	KB <sub>90Grad</sub> ; BP; KF 6-8W 3 S,80-90%.	LBWA Zeit↑ 8,94% LBWA VO <sub>2</sub> max↑ 9,4%
Haykowsky et al. (2005)	KON:8 w KT: 9 w	KON:66 ±3 KT: 67±4	12 Wochen k.a.	BP; KE, KF 8-12 W 2 S, 50-60%	FE VO <sub>2</sub> max↑ 11%
Heppele et al. (1997)	KT: 10m AT: 10m	KT:68,3±1,1 AT: 68,3±1,1	9 Wochen 2 TE/Woche	BP; KE, KF 6-12 W	FE VO <sub>2</sub> max ↗ 17,7%
Holviala et al. (2012)	KON: 21m KT:30m	KON 56,7±9,9 KT 56,5±7,6	21 Wochen 2 TE/Woche	BP; KE, KF 8-10 W 3-4S, 60-80%	FE VO <sub>2</sub> max→

↑, sig. Verbesserung; ↗sig. Verbesserung über Zeit; →keine sig. Verbesserung  
min, Minuten; KT: Krafttrainingsgruppe; KON, Kontrollgruppe; TE, Trainings-Einheiten; WA, Walking; LBWA, Laufbandwalking; FE, Fahrradergometer;  
HF, Herzfrequenz; HFmax, maximale Herzfrequenz; HRR, Herzfrequenz-Reserve; KE Knie-Extension; KF, Knie-Flexion;; BP, Beinpresse; KB<sub>90Grad</sub>, 90 Grad  
Kniebeuge, VO<sub>2</sub>max, maximale Sauerstoffaufnahmekapazität

Tabelle 11: Transferwirkungen von Krafttraining der unteren Extremitäten auf die aerobe Ausdauerleistung Teil 2

Studie	Probandengruppen/ Geschlecht	Alter Probanden	Studiendauer Frequenz	Training	Ergebnisse
McCartney et al. (1995)	KON: 35m, 33w KT: 32m, 34 w	60-80	42 Wochen 2 TE/Woche	BP, KF 10-12 W 3S, 80%	LB Zeit↑ 17,8%
Locks et al. (2012)	KON: 13 m+w KT: 13 m+w	KON 69±5 KT 66±6	12 Wochen 3 TE/Woche	KF, KE 8-10 W 2S, 70-75%	6MWT↑ 12%
Parker et al. (1996)	KT: 14 w	60-77	16 Wochen 3 TE/Woche	BP; KE, KF k.a.	LBWA Zeit↑ 15% LBWA VO <sub>2</sub> max→
Vincent et al. (2002)	KON: 16 m+w KT: 22 m+w	60-83	24 Wochen 2 TE/Woche	BP; KE, KF 8-10W 3S, 80%	LBWA Zeit↑ 23% LBWA VO <sub>2</sub> max↑16%

↑, sig. Verbesserung; ↗ sig. Verbesserung über Zeit; → keine sig. Verbesserung  
min, Minuten; AD, Ausdauergruppe; KON, Kontrollgruppe; TE, Trainings-Einheiten; WA, Walking; LBWA, Laufbandwalking; FE, Fahrradergometer; HF, Herzfrequenz; HFmax, maximale Herzfrequenz; HRR, Herzfrequenz-Reserve; KE Knie-Extension; KF, Knie-Flexion; IK-KE isokinetische Knie-Extension, IK-KF isokinetische Knie-Flexion; BP, Beinpresse; KB<sub>90Grad</sub>, 90 Grad Kniebeuge

*Transferwirkungen eines Maximalkrafttrainings der unteren Extremitäten auf die aerobe Ausdauerleistung bei Senioren*

Die Tabellen 10 und 11 liefern einen Überblick zur Studienlage der Transferwirkungen eines Krafttrainings der unteren Extremitäten auf die aerobe Ausdauerleistung. Dabei weisen die aufgeführten Studien im Bereich des verwendeten Interventionstrainings nur geringe Unterschiede auf: Alle Studien verwendeten mindestens eine Übungsform zur Kräftigung der Knieextension sowie der Knieflexion. Zusätzlich kam in 8 von 10 Studien eine kombinierte Übungsausführung in Form einer Beinpresse oder einer Freihantelkniebeuge hinzu. Die Stichprobengrößen variieren dagegen deutlich und befinden sich bei 5 von 10 Studien auf einem niedrigen Niveau. Die Aussagekraft der Forschungsarbeiten von Hepple et al. (1997) und Parker et al. (1996) sind zusätzlich durch die nicht vorhandene Kontrollgruppe limitiert. Die Dauer der Interventionen bewegten sich in einem begrenzten Rahmen von 9-24 Wochen. Allein die Studie von McCartney, Hicks, Martin und Webber (1995) grenzt sich mit einer Dauer von 42 Wochen vom Großteil der Untersuchungen ab. Ähnlich wie die Ausdauerinterventionen im vorherigen Abschnitt, können die Messmethoden der Ausdauerleistungsfähigkeit in zwei Gruppen untergliedert werden: 5 von 10 Studien verwendeten einen Belastungstest auf einem Fahrradergometer, die restlichen 5 Studien wählten ein gangbasiertes Testverfahren. Vier dieser Studien verwendeten dabei einen Laufbandstufentest, die Studie von Locks et al. (2012) mit dem 6 Minuten Walking-Test den einzigen Feldtest. Eine Abgrenzung von gangbasierten Testverfahren zu Leistungsmessungen mit einem Fahrradergometer wurde bereits im vorherigen Abschnitt vorgenommen und wird daher an dieser Stelle nicht erneut thematisiert. Zielparameter des Gros der Untersuchungen war die  $VO_2\text{max}$ . Die Untersuchungen von Hagerman et al. (2000), Parker et al. (1996) und Vincent et al. (2002) ermittelten zusätzlich die absolvierte Laufstrecke. Die Arbeiten von McCartney et al. (1995) sowie Locks et al. (2012) verwendeten lediglich die Laufstrecke zur Leistungsbestimmung.

3 der 10 Studien konnten keine signifikante Leistungssteigerung der Ausdauerleistung nach einem Krafttraining feststellen. In den Studien von Hepple und Locks konnten Leistungssteigerungen der Interventionsgruppen im Bereich der Ausdauer

belegt werden, diese unterschieden sich jedoch nicht überzufällig von den jeweiligen Kontrollgruppen. Für die Interventionsgruppe der Studie von Parker et al. konnte ebenfalls eine signifikante Leistungssteigerung ermittelt werden, aufgrund der fehlenden Kontrollgruppe kann aber nur dieser Zeiteffekt festgehalten werden. Hagerman et al. (2000) konnten in ihrer Studie nach einem 16-wöchigen hochintensiven Krafttraining eine signifikante Steigerung der erzielten Laufstrecke während eines Laufbandstufentests sowie der dabei ermittelten  $VO_2\text{max}$  von jeweils 9% belegen. Haykowsky et al. (2005) berichten von einer signifikanten Leistungssteigerung der  $VO_2\text{max}$  von 11% während eines Fahrradergometer-Stufentestes nach einem 12-wöchigen mittelintensiven Krafttraining. Eine signifikante Steigerung der Laufstrecke in einem Laufbandstufentest von ca. 18% beschreibt die Forschergruppe um McCartney et al. (1995). In der Interventionsstudie über 42 Wochen führten die Probanden zweimal wöchentlich ein Krafttraining mit mittleren bis hohen Intensitäten durch. In der Forschungsarbeit von Vincent et al. (2002) wurde ebenfalls ein mittel- bis hochintensives Maximalkrafttraining der unteren Extremitäten durchgeführt. Das Training führte zu einer signifikanten Leistungssteigerung der erzielten Laufstrecke sowie der dabei erhobenen  $VO_2\text{max}$  von 23% bzw. 16%.

Zusammenfassend erreichen die Interventionen mit einer längeren Untersuchungsdauer eine größere Transferwirkung auf die Ausdauerleistung, auch wenn dies aufgrund der kleinen Stichproben nur eine begrenzte Aussagekraft zulässt. Ein Großteil der Studien verwendet zur Überprüfung der Ausdauerleistung einen Fahrradergometer-Test oder ein Testverfahren auf einem Laufband. Die Studie von Locks, Costa, Koppe, Yamaguti, Garcia und Gomes (2012) untersuchte die Ausdauerleistung anhand des 6-MWT und besitzt damit ein Alleinstellungsmerkmal innerhalb der ausgewählten Untersuchungen.

### 2.1.3 Synthese

Den Ausgangspunkt für Studie I bilden die in der Einleitung konstatierten und im aktuellen Forschungsstand beschriebenen Defizite im Bereich der durch ein Trai-

ning der konditionellen Fähigkeiten Kraft oder Ausdauer hervorgerufenen Transferwirkungen. Ein Forschungsdefizit kann schwerpunktmäßig für folgende drei Aspekte konstatiert werden:

1. Bisherige Studien liefern lediglich Belege für die Transferwirkung eines Ausdauertrainings, die die isometrische bzw. isokinetische Maximalkraft betreffen. Transferwirkungen eines walkingbasierten Ausdauertrainings auf die dynamische Maximalkraft der unteren Extremitäten wurde bisher in keiner dem Autor bekannten Studie belegt.
2. Die Transferwirkung eines Maximalkrafttrainings auf die Ausdauerleistung wurde bisher nur auf sehr kurzen Distanzen (u.a. 10MWT) bzw. anhand von Fahrradergometer- oder Laufbandtests analysiert. Eine Überprüfung der Auswirkungen eines Maximalkrafttrainings auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test wurde bisher in keiner dem Autor bekannten Studie durchgeführt.
3. Die Ergebnisse von im weitesten Sinne vergleichbaren Studien liefern keine eindeutigen Hinweise auf die Transferwirkung von konditionellem Training im Alter.

Daraus resultierend besteht das Ziel von Studie I in der Überprüfung (1) der Auswirkung eines 12-wöchigen Walkingtrainings auf die dynamisch gemessene Maximalkraft der unteren Extremitäten und (2) der Auswirkungen eines 12-wöchigen Maximalkrafttrainings auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test. Die folgenden Forschungsfragen bilden dabei den Kern der Untersuchung:

- I. Verändert sich die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test nach einem Ausdauertraining?
- II. Wirkt sich ein gerätegestütztes Maximalkrafttraining auf die dynamische Muskelkraft der unteren Extremitäten aus?
- III. Bestehen Transferwirkungen eines Ausdauertrainings auf die dynamische Maximalkraftleistung der unteren Extremitäten?
- IV. Gibt es Transferwirkungen eines gerätegestützten Maximalkrafttrainings der unteren Extremitäten auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test?

Die Forschungsfragen I und II dienen dabei der Absicherung der Trainingswirkung durch die Intervention. Die Fragen III und IV zielen auf den eigentlichen Schwerpunkt der Untersuchung ab.

## 2.2 Methodik

Bei der Studie I handelt es sich um eine randomisierte, kontrollierte Untersuchung mit zwei Interventionsgruppen und einer Kontrollgruppe. Der Untersuchungszeitraum der Interventionsstudie erstreckte sich insgesamt über 15 Wochen. Dieser setzte sich aus jeweils drei Testwochen (T1-T3 s. Abb. 17) sowie der 12-wöchigen Interventionsphase zusammen.

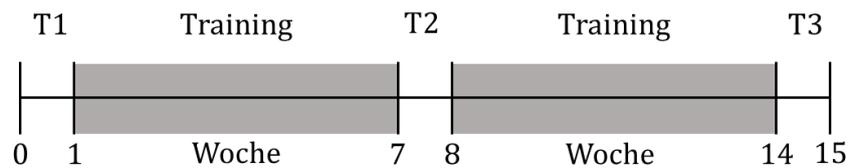


Abbildung17: zeitlicher Ablauf der Studie.

Die beiden Interventionsgruppen absolvierten zweimal pro Woche ein ca. 75-minütiges konditionelles Training. Die Kontrollgruppe erhielt keine Intervention. Alle Teilnehmer der Studie waren dazu angehalten, ihre täglichen Gewohnheiten in Bezug auf die körperliche Aktivität beizubehalten.

Das ausgewählte Design lehnt sich an den Aufbau vergleichbarer Untersuchungen (Harber, Konopka, Udem, Hinkley, Minchev, Kaminsky, Trappe & Trappe, 2012; Holviala et al., 2012; Hortobágyi et al., 2015) sowie aktuelle Erkenntnisse der Trainingswissenschaft (vgl. Kapitel 2.1) an. Demnach sind erste morphologische Anpassungen nach einem Kraft- und/oder Ausdauertraining nach ca. 6 Wochen zu erwarten und erreichen die größten Steigerungsraten zwischen 8-16 Wochen (Damas, Libardi & Ugrinowitsch, 2018; Latham, Bennett, Stretton & Anderson, 2004).

### 2.2.1 Stichprobe

Anhand der Ergebnisse des aktuellen Forschungsstandes wurden in dieser Studie bei den Hypothesen zur Transferwirkung von konditionellem Training mittelgroße Effekte ( $f=.25$ ) nach Cohen (1988) erwartet. Eine Poweranalyse mit G\*Power3.1 (Faul, Erdfelder, Buchner & Lang, 2009) ergab für eine MIXED ANOVA mit drei Gruppen und 3 Messzeitpunkten, bei erwarteter Effektstärke von  $f=.25$ , einem festgeleg-

ten Alpha-Niveau von  $\alpha=.05$  , einer festgelegten Power von  $\beta=.90$  und einer mittleren Korrelation der Messwiederholung ( $r=.5$ ) einen optimalen Stichprobenumfang von insgesamt 54 Personen.

Die Gesamtstichprobe der vorliegenden Studie umfasst insgesamt 103 männliche und weibliche Teilnehmer. Spezifischen Daten zu Alter, Geschlecht, Körpergewicht, Körpergröße und Body-Mass-Index (BMI) können Tabelle 12 entnommen werden. Zu Beginn der Untersuchung sowie über die Testzeitpunkte konnten dabei keine signifikanten Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen für die in Tabelle 12 aufgeführten Parameter ermittelt werden.

Tabelle 12: Stichprobe Studie I

	<b>KT</b>	<b>AT</b>	<b>KON</b>	<b>p</b>
Gruppengröße (sex)	29(17m,12w)	22(12m,10w)	22 (13m,9w)	-
Alter (Jahren)	67.5 $\pm$ 4.3	69.5 $\pm$ 5.2	67.9 $\pm$ 4.3	.305
Größe (cm)	171.8 $\pm$ 8.8	168.8 $\pm$ 8.1	173.3 $\pm$ 7.7	.195
Gewicht (kg)	76.1 $\pm$ 12.9	72.7 $\pm$ 10.9	78.1 $\pm$ 12.1	.331
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	25.7 $\pm$ 3.4	25.41 $\pm$ 2.8	25.9 $\pm$ 2.6	.875

sex: Geschlecht; m: männlich; w: weiblich; KT: Krafttraining-Gruppe; AT: Ausdauertrainings-Gruppe; KON: Kontrollgruppe; BMI: body mass Index.

Nach positiver Bewertung der Ethikkommission des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) erfolgte die Rekrutierung der Studienteilnehmenden auf Basis einer Zeitungsannonce in einer lokalen Karlsruher Tageszeitung. In einer Informationsveranstaltung sowie in den dort ausgegebenen Teilnehmerinformationen wurden die potentiellen Interessenten über den Ablauf und die mit der Teilnahme verbundenen Risiken aufgeklärt. Einschlusskriterien zur Teilnahme an der Studie waren das Alter von 60- 75 Jahren, die Fähigkeit selbstständig über einen Zeitraum von 30 Minuten zu gehen sowie die Unbedenklichkeitsbescheinigung eines Arztes. Die für die Unbedenklichkeitsbescheinigung zu berücksichtigenden Kriterien, die zum Ausschluss aus der Studie führten, setzten sich wie folgt zusammen:

- akute orthopädische Erkrankungen/Verletzungen
- neurologische Erkrankungen (z.B. Parkinson-Krankheit, Epilepsie, Demenz, Multiple Sklerose)
- schwere Herz-Kreislauf-Erkrankungen

- Malignes Grundleiden  $\leq 1$  Jahr ohne Rezidiv
- Schlecht eingestellter Hypertonus (Syst.  $>180$  mm Hg)

Die Auswahl der aufgeführten Ein- und Ausschlusskriterien diente in erster Linie der Reduktion der gesundheitlichen Risiken der Probanden während ihrer Teilnahme. Des Weiteren sollte sichergestellt werden, dass die Studienpopulation in Bezug auf ihre demografischen Merkmale sowie den Gesundheitszustand möglichst homogen ist. Neben der Unbedenklichkeitsbescheinigung war eine schriftliche Einverständniserklärung der Probanden Grundvoraussetzung zur Teilnahme an der Studie. Die Probanden wurden darüber aufgeklärt, dass sie ihre Teilnahme jederzeit ohne Erklärung der Gründe zurückziehen können. Eine Zusammenfassung der an die Teilnehmer ausgegebenen Dokumente befindet sich im Appendix dieser Arbeit. Während der Baseline-Messung in der ersten Testwoche traten insgesamt 16 Teilnehmer aus der Studie zurück. Neben gesundheitlichen Gründen waren persönliche Gründe (Zeitmangel, Überschneidungen mit Terminen oder Urlauben) hierfür die Hauptgründe. Die übrigen 87 Studienteilnehmenden wurden in drei Untersuchungsgruppen randomisiert: Interventionsgruppe Krafttraining (KT n=31), Interventionsgruppe Ausdauertraining (AT n=30) und Kontrollgruppe (KON n=26). Während der 12-wöchigen Intervention fielen 14 weitere Probanden aus der Untersuchung heraus. Als Hauptursache ist hier das zu häufige Fehlen während der Trainingseinheiten durch Krankheit oder sonstige Abwesenheit zu nennen. Es konnten schließlich 73 Probanden in die Datenanalyse aufgenommen werden.

### 2.2.2 Intervention

Das Ausdauertraining wurde als Walking-Training mit zwei Einheiten pro Woche durchgeführt. Jede Einheit bestand aus einem 5- bis 10-minütigen Aufwärmprogramm, gefolgt vom 45- bis 50-minütigen Hauptteil sowie einer 5- bis 10-minütigen Cool-Down-Phase. Die Belastungssteuerung erfolgte anhand individuell bestimmter Herzfrequenz-Bereiche, die auf Basis der Baseline-Messungen ermittelt wurden. Zu Beginn der Intervention lag der Zielbereich bei 60% der HFmax der ermittelten Baseline-Werte bei einer Trainingsstrecke von 4,8 km. Diese Parameter erhöhten sich

progressiv bis zum Ende der Intervention auf 80% der HFmax sowie einer Trainingsstrecke von 5,4 km. Die Belastungsnormative der AT-Gruppe wurden anhand der Ergebnisse aus Kapitel 2.1.1 bestimmt, sofern sie im Rahmen der Untersuchung umsetzbar waren. Da der Unterschied zwischen 2 oder 3 Trainingseinheiten/Woche nach aktueller Erkenntnislage unbedeutend erscheint, wurde aus Gründen der Praktikabilität die geringere Anzahl pro Woche ausgewählt. Nach den Ergebnissen von Huang et al. (2016) entwickelt die Dauer der Intervention erst ab ca. 30 Wochen einen stärkeren Einfluss auf die Trainingswirksamkeit. In Kombination mit den vorgegebenen Rahmenbedingungen wurde der Interventionszeitraum auf 12 Wochen festgelegt. Die Dauer (Hauptteil 45min) und Intensität (60-80% HFmax) der Trainingseinheiten orientierten sich an den aktuellen Erkenntnissen zu Dosis-Wirkungs-Beziehungen in der Trainingswissenschaft (Huang et al., 2016; Iwasaki et al., 2003).

Die 12-wöchige Interventionsphase der Krafttrainings-Gruppe beinhaltete zwei Einheiten mit gerätegestütztem Widerstandstraining über ca. 70 Minuten pro Woche. Die Einheiten untergliederten sich in eine 10-minütige mittelintensive Aufwärmphase auf einem Cross-Trainer, den 50- bis 60-minütigen Hauptteil sowie eine abschließende Cool-Down-Phase über 5 Minuten. Jede Trainingseinheit enthielt jeweils eine isolierte Übung der Beinstrecker- und Beinbeuger-Muskulatur sowie eine kombinierte Übung an einer Beinpresse. Zusätzlich wurden im Wechsel 3 bis 4 gerätegestützte Grundübungen (u.a. Rudern, Latzug, Brustpresse) in den Trainingsplan integriert, um eine einseitige Trainingsbelastung zu vermeiden. Die individuellen Trainingsgewichte wurden auf Basis der Baseline-Messungen für jeden Teilnehmenden berechnet. Zur Eingewöhnung wurde in den ersten beiden Wochen der Intervention die Intensität des Trainings verringert, gleichzeitig wurde das Volumen erhöht (40-60% des 1 RM, 12-16 Wdh.). Zur Entwicklung der Maximalkraft wurde anschließend die Intensität (80% des 1 RM) unter Anpassung des Volumens (3 Sätze mit 8-10 Wdh.) erhöht. Im Verlauf der Intervention wurde das Trainingsgewicht unter Berücksichtigung der progressiven Belastungssteigerung um 5-10 % erhöht, sobald ein Proband mehr als 12 Wdh. in allen Trainingssätzen ausführen konnte. Die Belastungsnormative der KT-Gruppe wurden im Rahmen der Möglichkeiten des Studiendesigns so gewählt, dass sie den in Kapitel 2.1.1 enthaltenen Ergebnissen

entsprechen. Um eine ausreichende time under tension zu erreichen, wurden die Probanden instruiert, sowohl die konzentrische Phase als auch die exzentrische Phase in 2-3 Sekunden zu absolvieren.

### 2.2.3 Testverfahren

Die Ausdauer- und Kraftmessungen wurden zu den drei Testzeitpunkten jeweils in einer Testwoche durchgeführt. Um negative Einflüsse der einzelnen Testverfahren auf die jeweils anderen Testverfahren zu minimieren, wurde eine Regenerationszeit von min. 24 Stunden festgelegt; somit konnte jeder Proband die einzelnen motorischen Tests ohne eine nennenswerte Vorbelastung absolvieren. Zusätzlich war die Reihenfolge der Testverfahren war zu allen drei Testzeitpunkten identisch. Die Probanden starteten mit den Testmessungen zur Maximalkraft der unteren Extremitäten, gefolgt von einem 2km Walking-Test.

#### *Ausdauer-Testverfahren*

Die Kapazität der aeroben Ausdauer wurde anhand des UKK 2km Walking-Test überprüft. Der 2km Walking-Test wurde in den 90er Jahren von Oja und Laukkanen am Urho Kaleva Kekkonen (UKK) Institute for Health Promotion Research in Tampere/Finnland entwickelt und gilt sowohl für Untrainierte (Laukkanen, Kukkonen-Harjula, Oja, Pasanen & Vuori, 2000) als auch für Senioren (Rance, Boussuge, Lazaar, Bedu, van Praagh, Dabonneville & Duche, 2005) als valides Testinstrument. Ein entscheidender Vorteil von walkingbasierten Ausdauer-Testverfahren ist, dass die lokomotorische Grundbewegungsform bereits aus den menschlichen Alltagsbewegungen bekannt ist. Dadurch bestehen auch bei bewegungsunerfahrenen Probanden zu meist keine Probleme in der Umsetzung der Bewegungsaufgabe. Einen weiteren wichtigen Vorteil bietet die Option, die kardiorespiratorische Fitness (CRF) auf submaximaler Basis zu bestimmen. Der 2km Walking-Test wurde auf einer 400m Leichtathletik-Rundbahn durchgeführt. In der Aufwärmphase wurde eine Strecke von 400m zurückgelegt und die Probanden konnten sich an die korrekte Technik und das individuelle Lauftempo gewöhnen. Die Teilnehmer starteten in kleinen Gruppen von 5 bis 6 Personen und mussten 5 Runden in der korrekten Walking-

Technik schnellstmöglich absolvieren. Vor der Baseline-Messung gab es für alle Teilnehmende ein Techniktraining, um die korrekte Ausführung der Walking-Technik zu gewährleisten. Zu besserer Identifikation trugen alle Probanden ein kleines Schild mit ihrer Probanden-ID. Die primär erhobenen Parameter bestanden aus der erzielten Laufzeit sowie der maximalen Herzfrequenz, die direkt bei der Ankunft im Ziel aufgenommen wurde. Die Zeitmessungen erfolgten mit einem digitalen Lauf-Timer, die Herzfrequenz wurde mit POLAR H1 Herzfrequenzsensoren und dem POLAR RS200 Laufcomputer (POLAR, Kempele, Finnland) aufgenommen. Sekundär wurden die Laufgeschwindigkeit (m/s) sowie die relative maximale Sauerstoffaufnahme ( $\text{relVO}_2\text{max}$ ) berechnet. Zur Bestimmung der relativen  $\text{VO}_2\text{max}$  ( $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) wurde die folgende Berechnungsmethode von Laukkanen et al. (2000) angewandt:

$$\text{relVO}_2\text{max} = 184.9 - 4.65 \cdot (\text{time}) - 0.22 \cdot (\text{HR}) - 0.26 \cdot (\text{age}) - 1.05 \cdot (\text{BMI}) \quad (\text{men})$$

$$\text{relVO}_2\text{max} = 116.6 - 2.98 \cdot (\text{time}) - 0.11 \cdot (\text{HR}) - 0.14 \cdot (\text{age}) - 0.39 \cdot (\text{BMI}) \quad (\text{women})$$

Diese Messmethode wurde in Studien mehrfach überprüft und stellt ein valides Messsystem für mäßig bis mittelstark trainierte Erwachsene im Alter zwischen 18-75 Jahren dar (Laukkanen, Oja, Pasanen & Vuori, 1993; Rance et al., 2005; Zakariás, Petrekanits & Laukkanen, 2003).

#### *Maximalkraftmessung der unteren Extremitäten*

Die motorische Testbatterie zur Bestimmung der dynamischen Maximalkraft der unteren Extremitäten umfasste drei Einzelmessungen. Ziel der Messungen war die Ermittlung der individuellen Maximalkraftleistung, gemessen als one-repetition-maximum (1 RM). Die 1 RM-Messung wird, neben laborgestützten isokinetischen Messverfahren, als Goldstandard zur Bestimmung der dynamischen Maximalkraft angesehen (Levinger, Goodman, Hare, Jerums, Toia & Selig, 2009; Seo, Kim, Fahs, Rossow, Young, Ferguson, Thiebaud, Sherk, Loenneke, Kim, Lee, Choi, Bembem, Bembem & So, 2012). Braith, Graves, Leggett und Pollock (1993) beschreiben allerdings

Einschränkungen bei der direkten 1 RM Messung bei untrainierten sowie unerfahrenen Probanden. Demnach ist es für diese Zielgruppe u. a. schwierig, eine einmalige maximale Ausbelastung zu erzielen. Knutzen und Brilla, Lorraine, Caine, Dennis (1999) bekräftigen diese Aussage auch für Probanden im höheren Alter. Das in der vorliegenden Studie genutzte indirekte 1 RM Bestimmungsverfahren nach Brzycki (1993) wird als repetitions-to-fatigue Methode bezeichnet. Die zur Berechnung des 1 RM verwendete Formel lautet:

$$1RM = W \div [102.78 - 2.78 \cdot (R)] \div 100$$

In der Formel steht der Buchstabe R für die Anzahl der erreichten Wiederholungen und W für das Gewicht, welches bewegt wurde. Die in Validitätsstudien erhobenen Daten weisen im Bereich der unteren Extremitäten hohe Korrelationen zu direkten Messverfahren auf (Abdul-Hameed, Rangra, Shareef & Hussain, 2012; T. Wood, Maddalozzo & Harter, 2002). Bei der Testdurchführung wurde vom Testleiter ein Gewicht ausgewählt, das vom jeweiligen Proband mit maximal 5-7 Wdh. in der vollen Bewegungsamplitude bewegt werden sollte. Schaffte ein Proband mehr als 8 Wdh., wurde das Gewicht angepasst und die Messung nach einer Pause von 5 Minuten wiederholt. Bei keinem der getesteten Probanden musste diese Anpassung mehr als 2 Mal erfolgen und in den meisten Fällen wurde das Trainingsgewicht direkt bei der ersten Messung passend ausgewählt. Die Probanden wurden dazu angehalten, die Bewegungsausführung langsam und gleichmäßig durchzuführen, um einen zielgerichteten Bewegungsablauf zu ermöglichen und das Verletzungsrisiko zu minimieren. Die Kniewinkel zu Beginn der Bewegungsausführung wurden mit einem analogen Goniometer ermittelt. In den folgenden Kapiteln werden die jeweiligen Testdurchführungen sowie die dabei beanspruchte Muskulatur eingehend betrachtet.

### *Kniestrecker*

Die dynamische Maximalkraft der Kniestrecker-Muskulatur wurde an einem Gym80 Beinstrecker-Gerät (Edition-Line; Gym80 International GmbH, Deutschland) ermittelt. Die Probanden absolvierten den Test in einer sitzenden Position und einem Kniewinkel knapp unter 90 Grad zum Auftakt der Bewegung. Eine Wiederholung

wurde bei vollständiger Kniestreckung gezählt. Die Kniestreckfunktion wird hauptsächlich vom kräftigsten Muskel des Oberschenkels, dem 4-köpfigen musculus quadrizeps femoris ausgeführt.

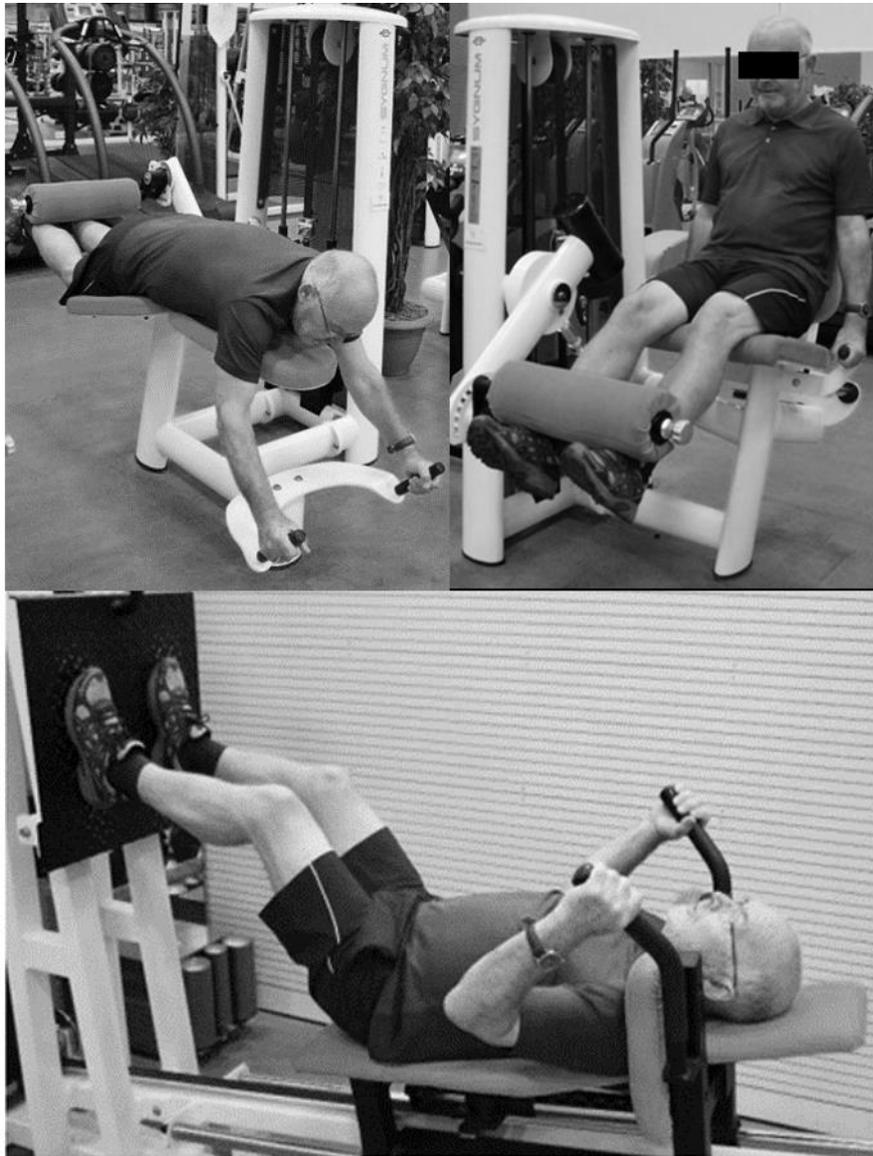


Abbildung 16: Ausführung der Krafttests

### *Kniebeuger*

Mit Hilfe eines Gym80 Beinbeugegerätes (Edition-Line; Gym80 International GmbH, Deutschland) wurden die Maximalkraftdaten der Kniebeuge-Muskulatur erhoben. Die Probanden befanden sich während der Ausführung in einer liegenden Position.

Die Bewegungsausführung startete mit einem Kniewinkel von ca. 170 Grad. Eine vollständige Wiederholung wurde bei einem Kniewinkel von unter 90 Grad erreicht. Die gewählte Ausführung beansprucht hauptsächlich die ischiokrurale Muskulatur an der Oberschenkelrückseite. Hauptverantwortlich für die Beugung des Kniegelenkes ist der musculus biceps femoris.

### *Beinpresse*

Die funktionelle, kombinierte konzentrisch-exzentrische Bewegungsausführung der Beinmuskulatur wurde an einer Gym80 Beinpresse (Edition-Line; Gym80 International GmbH, Deutschland) untersucht. Die Probanden befanden sich dabei in einer liegenden Position und starteten mit einem Kniewinkel von ca. 80 Grad. Da bei einer Beugung von 90 Grad die Kräfte auf der Patellasehne am größten sind, die Messung aber eine größtmögliche range of motion (ROM) abbilden sollte, wurde der Kniewinkel unter 90 Grad gesenkt. Eine Wiederholung wurde bei einem Kniewinkel von ca. 170 Grad gezählt, da ein komplettes Strecken des Knies während der Ausführung vermieden werden sollte. Um Schäden an der Lendenwirbelsäule vorzubeugen, sollte das Gesäß immer fest auf die Polsterfläche gepresst werden. Neben der Beinstrecker- sowie Beinbeuger-Muskulatur, wird bei der Bewegungsausführung an der Beinpresse zusätzlich der musculus gluteus maximus aktiv.

### 2.2.4 Statistik

Die erhobenen Werte der Ausdauer- und Kraftmessungen aus den drei Testzeitpunkten sowie ID, Alter, Körpergröße, Körpergewicht und Body-Mass-Index wurden in einem Microsoft Excel 2013 Datenblatt zusammengeführt. Die deskriptive sowie inferenzstatistische Auswertung erfolgte über IBM SPSS (Version 24.0; IBM SPSS, Chicago). Bei der Berechnung der deskriptiven Statistik wurden Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Anhand einer ANOVA mit Messwiederholung wurden die Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen und der Kontrollgruppe ermittelt. Als Innersubjektfaktor wurde die Zeit über zwei (T1-T2 und T2-T3), beziehungsweise drei Stufen (T1-T3) definiert. Der Faktor Gruppe wurde

als Zwischensubjektfaktor festgelegt. Bei signifikanten Interaktionseffekten der ANOVA wurden in einem zweiten Schritt Bonferroni-korrigierte Post-hoc-Tests durchgeführt. Bei Verletzungen der Sphärizität wurde eine Korrektur nach Greenhouse-Geisser verwendet. Die Normalverteilung der Variablen wurde mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Tests kontrolliert. Homogenität sowie Sphärizität der Daten wurden mit dem Levene bzw. Mauchly-Test überprüft. Das Signifikanz-Niveau wurde bei 5% (0.05) festgelegt. Das partielle  $\eta^2$  ( $\eta^2_{\text{part}}$ ) wurde berechnet, um die Effekte nach Cohen (1988) als klein ( $\eta^2_{\text{part}} = 0.01$ ), mittel ( $\eta^2_{\text{part}} = 0.06$ ) oder groß ( $\eta^2_{\text{part}} = 0.14$ ) zu klassifizieren.

### 2.3 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse in diesem Kapitel orientiert sich an der chronologischen Reihenfolge der Forschungsfragen (vgl. Kapitel 2.1.2). Die vollständigen deskriptiven Statistiken sind aus Übersichtsgründen lediglich im Appendix zu finden. Die Tabellen 13 und 14 vermitteln einen Überblick über die Gesamtergebnisse der Studie, jeweils getrennt nach den Ergebnissen der Kraft- und Ausdauermessungen. Die Tabellen beinhalten die Ergebnisse der Baseline-Messung in Form von Mittelwerten, deren prozentuale Veränderung pro Gruppe über die Zeit sowie die dazugehörigen Interaktionseffekte zwischen allen Gruppen. Nach der Gesamtübersicht werden die Teilergebnisse und deren Einfluss auf die aufgestellten Forschungsfragen separat dargestellt. Die zugehörigen Schaubilder 17 bis 21 zeigen die prozentuale Veränderung der erhobenen Maximalkraft- bzw. Ausdauerleistungswerte als Entwicklungsverlauf der Mittelwerte über die drei Messzeitpunkte. Die enthaltenen Fehlerindikatoren beschreiben die Standardabweichungen. Die eingefügten Symbole markieren signifikante Zeit- und/oder Gruppeneffekte.

Aufgrund des direkten Zusammenhangs zwischen der Zeit/2km und der Ganggeschwindigkeit (GS) sowie der besseren Vergleichbarkeit mit anderen Studien wird im weiteren Verlauf nur auf die GS eingegangen.

Für keine der drei untersuchten Gruppen wurden signifikante Veränderungen des Körpergewichtes ( $p=.312$ ) sowie des daraus ermittelten BMI ( $p=.265$ ) festgestellt. Daher wird auf die wiederholte Darstellung der Werte in diesem Kapitel verzichtet. Die Daten wurden geschlechtsspezifisch betrachtet und statistisch ausgewertet. Dabei erzielten die männlichen Probanden signifikant höhere Leistungswerte ( $p<.001$ ) in allen erhobenen Parametern. Es konnte keine Veränderung der geschlechtsspezifischen Differenzen über die Zeit und/oder zwischen den Gruppen belegt werden. Aufgrund dieser Ergebnisse wird im Folgenden auf eine Unterscheidung der Ergebnisse nach Geschlecht verzichtet.

Tabelle 13: Veränderung der aeroben Ausdauerleistung

		12-Wochen Interventionstraining					
		Baseline (T1)		6 Wochen (T2)		12 Wochen (T3)	
	Gruppe	MW (±SD)	Veränderung in % Ba- seline zu Woche 6 (±SD)	Zeit*Gruppe p-Werte (F; $\eta^2$ part)	Veränderung in % Ba- seline zu Woche 12 (±SD)	Zeit*Gruppe p-Werte (F; $\eta^2$ part)	Zeit*Gruppe p-Werte (F; $\eta^2$ part)
<b>Zeit/2km (sec)</b>	KT	1106 ±121	-4.16*† (±3,73)		-6.6*† (-±3,69)		
	AT	1123 ±82	-5.08*† (±4,98)	.007 (5.27; .131)	-7.21*† (±4,54)	<.001 (9.23; .201)	
	KON	1089 ±98	-1.29 (±3)		-2.66(±2,65)		
<b>Gangeschwin- dikeit (m/s)</b>	KT	1.83 ±0.2	4.37*† (±4,07)		6.56*† (±4,28)		
	AT	1.79 ±0.13	5.59*† (±5,67)	.008 (5.18; .129)	7.82*† (±5,64)	<.001 (9.21; .207)	
	KON	1.85 ±0.18	1.08 (±3,25)		2.7* (±2,87)		
<b>VO<sub>2</sub>max (ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>)</b>	KT	27.42 ±6.64	5.38*† (±12,22)		11.58*† (±14,97)		
	AT	25.07±6.44	14.42*† (±17,21)	.006 (5.6; .138)	20.04*† (±17,22)	<.001 (9.97; .222)	
	KON	27.88±6.57	0.54 (±10,51)		1.23 (±7,82)		

sec: Sekunden; m/s: Meter pro Sekunde; VO<sub>2</sub>max: maximale Sauerstoff Aufnahmekapazität kg: Kilogramm; KT: Krafttraining; AT: Ausdauertraining;  
KON: Kontrollgruppe; \*: p < 0.05 within group; †: p < 0.05 im Vergleich zu KON.

Tabelle 14: Veränderung der Maximalkraft der unteren Extremitäten

		12-Wochen Interventionstraining					
		Baseline (T1)		6 Wochen (T2)		12 Wochen (T3)	
	Gruppe	MW (±SD)	Veränderung % Ba- seline zu Woche 6 (±SD)	Zeit*Gruppe p-Werte (F; $\eta^2_{part}$ )	Veränderung % Ba- seline zu Woche 12 (±SD)	Zeit*Gruppe p-Werte (F; $\eta^2_{part}$ )	
<b>1-RM BP</b>	KT	101,76 (±22,83)	18,66*† (±8,98)		33,96*†§ (± 16,31)		
	AT	102,26 (±30,19)	15,13*† (±16,68)	<.001 (16.79; .323)	22,75*† (± 19,2)	<.001 (17.77; .337)	
	KON	102,84 (±25,25)	1,45 (± 3,93)		8,24* (±7,12)		
<b>1-RM KE</b>	KT	60,34 (±16,37)	13,72*†§ (±7,47)		19,4*†§ (± 10,33)		
	AT	57,41 (±20,04)	1,39 (±4,7)	<.001 (23.07; .379)	4,99*† (± 5,79)	<.001 (35.07; .501)	
	KON	63,44 (±16,4)	-1,37 (±5,7)		-1,49 (±7,19)		
<b>1-RM KF</b>	KT	52,9 (±14,55)	9,81*†§ (±7,7)		17,22*†§ (± 10,56)		
	AT	49,91(±16,95)	3,19*† (±4,35)	<.001 (47.25; .574)	9,04*† (±5,74)	<.001 (46.97; .573)	
	KON	53,84(±17,15)	-0,27 (±7,3)		0,17 (± 7,04)		

1-RM: 1 Repetition Maximum; BP: Beinpresse; KE: Knie-Extension; KF: Knie Flexion; kg: Kilogramm; KT: Krafttraining-Gruppe; AT: Ausdauer-Gruppe; KON: Kontrollgruppe; \*: p < 0.05 within group; †: p < 0.05 im Vergleich mit KON; §: p < 0.05 im Vergleich mit AT

### 2.3.1 Wirksamkeit des Interventionstrainings

In den folgenden Unterpunkten werden die Ergebnisse zur Wirksamkeit des Interventionstrainings dargestellt. Zur statistischen Auswertung wurden die Trainingswirkungen der beiden Interventionsgruppen jeweils getrennt voneinander mit der Kontrollgruppe verglichen.

#### *Wirksamkeit des aeroben Ausdauertrainings*

Die Auswertung der Messergebnisse anhand einer 2x3 ANOVA ergab eine signifikante Interaktion zwischen den Messzeitpunkten (T1, T2, T3) und den Untersuchungsgruppen (AT vs. KON) für die Variablen Ganggeschwindigkeit (GS) ( $p < .001$ ;  $F = 9.81$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0.19$ ) und  $\text{VO}_2\text{max}$  ( $p < .001$ ;  $F = 58.25$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0.54$ ). Post-hoc (2x2 ANOVA) unterschied sich AT signifikant in beiden Parameter zu allen Messzeitpunkten (T1-T2 sowie T1-T3 jeweils  $p < .001$ ) von KON (s. Tab. 12)

Die AT-Gruppe steigerte dabei ihre Leistung signifikant (alle  $p < .001$ ) in der GS um 5,6% (T1-T2) bzw. 7,8% (T1-T3) sowie 14,4 % (T1-T2) bzw. 20% (T1-T3) in der  $\text{VO}_2\text{max}$ . Für die KON-Gruppe konnte ausschließlich zwischen den Messzeitpunkten T1 und T3 eine signifikante Steigerung der GS von 2,7% ( $p < .001$ ) ermittelt werden.

#### *Wirksamkeit des Maximalkrafttrainings der unteren Extremitäten*

Auf der Grundlage der 2x3 ANOVA konnte eine signifikante Interaktion zwischen den Messzeitpunkten (T1, T2, T3) und den Untersuchungsgruppen (KT vs. KON) in den Variablen Beinpresse (BP) ( $p < .001$ ;  $F = 40.94$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = .46$ ), Knieextension (KE) ( $p < .001$ ;  $F = 35.6$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = .42$ ) sowie Knieflexion (KF) ( $p < .001$ ;  $F = 58.24$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = .543$ ) belegt werden. Post-hoc (2x2 ANOVA) wurde für KT ein signifikanter Unterschied (T1-T2 sowie T1-T3 jeweils  $p < .001$ ) in den Kraftleistungen über alle Messzeitpunkte im Vergleich zu KON ermittelt. Die KT-Gruppe steigerte dabei ihre Leistung signifikant (alle  $p < .001$ ) in BP um 18,7% (T1-T2) bzw. 34% (T1-T3), in KE um 13,7% (T1-T2) bzw. 19,4% (T1-T3) sowie um 9,8% (T1-T2) bzw. 17,2% (T1-T3) in KE. Für die KON-Gruppe konnte ausschließlich zwischen den Messzeitpunkten T1 und T3 eine signifikante Steigerung in BP von 8,2% ( $p < .001$ ) ermittelt werden.

*Zusammenfassung der Wirksamkeit des Interventionstrainings*

Fasst man die Ergebnisse aus Kapitel 2.3.1 zusammen, erreichen beide Interventionsgruppen signifikant größere Zuwächse in den Leistungsmessungen der trainierten Fähigkeiten im Vergleich zur Kontrollgruppe. Damit kann sowohl für das ausgewählte Ausdauer- als auch für das Krafttraining eine statistisch abgesicherte Wirksamkeit bestätigt werden.

2.3.2 Transferwirkungen von Ausdauertraining

In den folgenden Unterpunkten werden die Ergebnisse zu den Transferwirkungen von Ausdauertraining auf die Maximalkraft der unteren Extremitäten dargestellt. Zur Überprüfung der Transferwirkung steht dabei der Vergleich zwischen den Untersuchungsgruppe AT und KON im Fokus.

*Entwicklung der Maximalkraftwerte der Beinpresse*

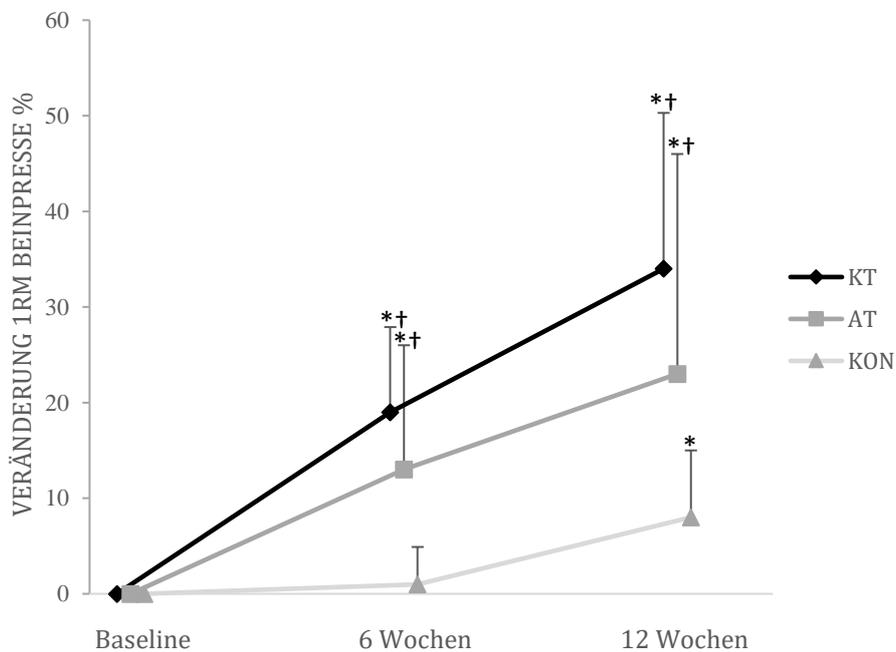


Abbildung 17: Veränderung der Maximalkraftwerte der BP in Prozent. \*:  $p < 0.05$  within group; †:  $p < 0.05$  im Vergleich mit KON

## Studie I Ergebnisse

Abbildung 17 zeigt einen Überblick über die prozentuale Entwicklung der Maximalkraft der auxotonisch arbeitenden Kniebeuger- und Kniestrecker-Muskulatur der drei Untersuchungsgruppen über den Interventionszeitraum von 12 Wochen. Die Ergebnisse der 2x3 ANOVA bestätigen eine signifikante Interaktion zwischen den Messzeitpunkten (T1, T2, T3) und den Untersuchungsgruppen (AT vs. KON) in der Maximalkraftmessung an der BP ( $p < .001$ ;  $F = 8.95$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0.15$ ). Post-hoc (2x2 ANOVA) wurde für AT eine signifikante größere Steigerung (T1-T2 sowie T1-T3 jeweils  $p < .001$ ) der Kraftleistungen über alle Messzeitpunkte ermittelt. Die AT-Gruppe steigerte dabei signifikant ihre Leistung ( $p < .001$ ) um 15,1% (T1-T2) bzw. 22,8% (T1-T3). Für die KON-Gruppe wurde zwischen den Messzeitpunkten T1 und T3 eine signifikante Steigerung von 8,2% ( $p < .001$ ) ermittelt werden. Es wurde dabei kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den beiden Interventionsgruppen festgestellt.

### Entwicklung der Maximalkraft der Extensoren im Kniegelenk

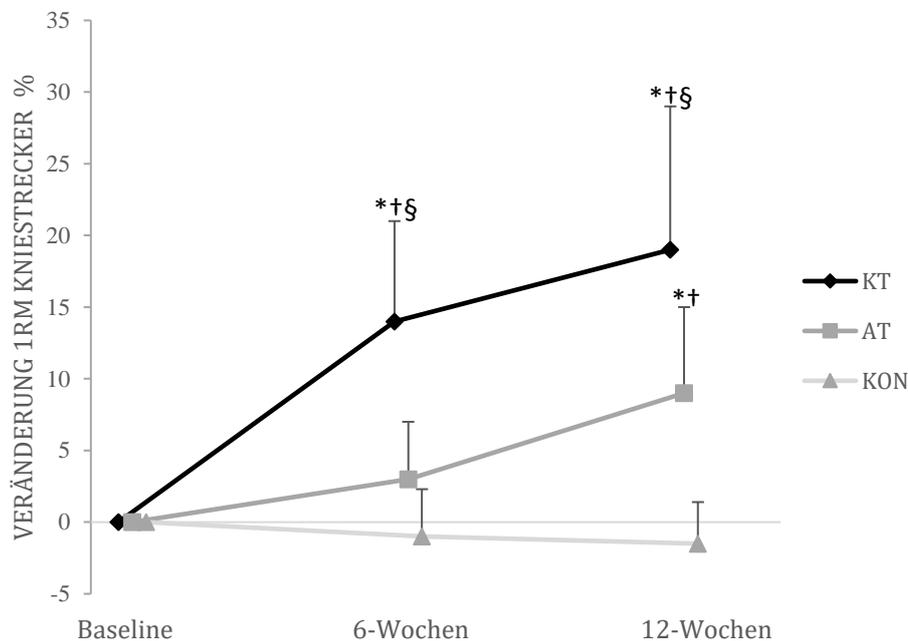


Abbildung 18: Veränderung der Maximalkraftwerte der KE in Prozent. \*:  $p < 0.05$  within group; †:  $p < 0.05$  im Vergleich mit KON; §:  $p < 0.05$  im Vergleich mit AT

## Studie I Ergebnisse

Abbildung 18 gibt einen Überblick über die prozentuale Entwicklung der Maximalkraft der Knieextensoren der drei Untersuchungsgruppen über den Interventionszeitraum von 12 Wochen.

Resultierend aus den Ergebnissen der 2x3 ANOVA konnte eine signifikante Interaktion ( $p=.032$ ;  $F=3.31$ ;  $\eta^2_{\text{part}}=.08$ ) zwischen den Messzeitpunkten (T1, T2, T3) und den Untersuchungsgruppen (AT vs. KON) konstatiert werden. Post-hoc (2x2 ANOVA) wurde ein signifikanter Leistungszuwachs der AT-Gruppe im Vergleich zur KON-Gruppe jedoch nur zwischen den Messzeitpunkten T1-T3 ( $p<.001$ ) bestätigt. Ebenso entwickelte die AT-Gruppe nur zwischen T1-T3 eine signifikante Leistungssteigerung von 5%. Für die KON-Gruppe konnte zu keinem Messzeitpunkt eine signifikante Steigerung ermittelt werden. Die KT-Gruppe entwickelte im Vergleich zur AT-Gruppe über alle Messzeitpunkte hinweg signifikant höhere Zuwächse (alle  $p<.001$ ).

### Entwicklung der Maximalkraft der Flexoren im Kniegelenk

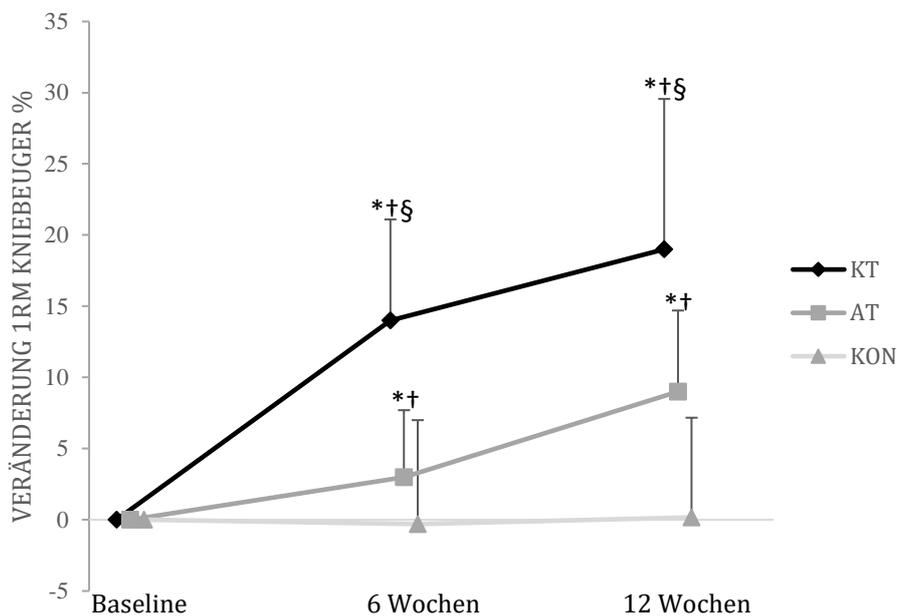


Abbildung 19: Veränderung der Maximalkraftwerte der KE in Prozent. \*:  $p < 0.05$  within group; †:  $p < 0.05$  im Vergleich mit KON; §:  $p < 0.05$  im Vergleich mit AT

Abbildung 19 zeigt einen Überblick über die prozentuale Entwicklung der Maximalkraft der Kniebeuge-Muskulatur der drei Untersuchungsgruppen über den Interventionszeitraum von 12 Wochen.

Die Auswertung der Messergebnisse anhand einer 2x3 ANOVA bestätigt eine signifikante Interaktion ( $p < .001$ ;  $F = 21.36$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = 0.34$ ) zwischen den Messzeitpunkten (T1, T2, T3) und den Untersuchungsgruppen (AT vs. KON). Post-hoc (2x2 ANOVA) wurde für AT eine signifikante größere Steigerung (T1-T2 sowie T1-T3 jeweils  $p < .001$ ) der Kraftleistungen über alle Messzeitpunkte ermittelt. Die AT-Gruppe steigerte dabei signifikant ihre Leistung um 3,2% (T1-T2  $p = .003$ ) bzw. 9% (T1-T3  $p < .001$ ). Für die KON-Gruppe konnte zu keinem Messzeitpunkt eine signifikante Steigerung ermittelt werden. Die KT-Gruppe entwickelte dabei im Vergleich zur AT-Gruppe über alle Messzeitpunkte hinweg signifikant höhere Zuwächse (alle  $p < .001$ ).

#### *Zusammenfassung der Transferwirkungen von Ausdauertraining*

Betrachtet man die Ergebnisse aus Kapitel 2.3.2, lässt sich festhalten, dass die AT-Gruppe im Vergleich zur KON-Gruppe signifikant größere Kraftzuwächse in den einzelnen Testmessungen erzielt. Eine Ausnahme stellt hier die Maximalkraftmessung der Kniextensoren nach 6 Wochen Training dar, bei der kein signifikanter Unterschied zwischen AT und KON ermittelt werden konnte. Trotz dieser Einschränkung belegen die Ergebnisse die Transferwirkung von Ausdauertraining auf die dynamische Maximalkraftleistung der unteren Extremitäten nach einer 12-wöchigen Intervention. Es gilt dabei zu berücksichtigen, dass die KT-Gruppe in diesem Zeitraum signifikant größere Zuwächse in der Maximalkraft der Knieextensoren sowie -flexoren erzielen konnte.

#### 2.3.3 Transferwirkungen von Krafttraining

In den folgenden Unterpunkten werden die Ergebnisse zu den Transferwirkungen von Krafttraining auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test dargestellt. Zur Überprüfung der Transferwirkung steht dabei der Vergleich zwischen den Untersuchungsgruppen KT und KON im Fokus.

## Studie I Ergebnisse

### Veränderung der Ganggeschwindigkeit

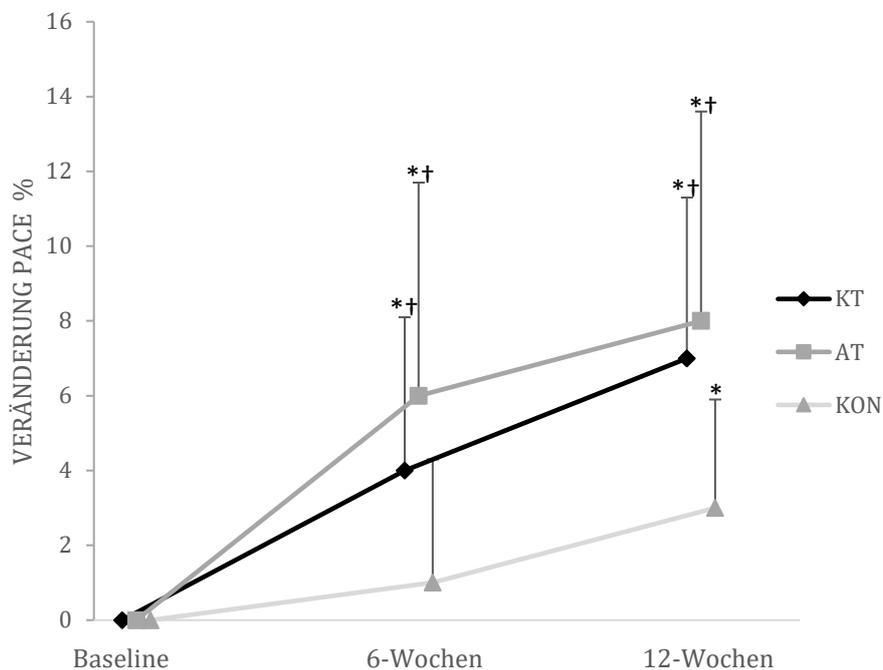


Abbildung 20: Veränderung der Ganggeschwindigkeit in Prozent; \*:  $p < 0.05$  within group; †:  $p < 0.05$  im Vergleich mit KON

Das Schaubild 20 zeigt die prozentuale Entwicklung der GS der drei Untersuchungsgruppen über den Interventionszeitraum von 12 Wochen dar.

Die Auswertung der Messergebnisse anhand einer 2x3 ANOVA ergab eine signifikante Interaktion ( $p < .001$ ;  $F = 8,95$ ;  $\eta^2_{\text{part}} = .15$ ) zwischen den Messzeitpunkten (T1, T2, T3) und den Untersuchungsgruppen (KT vs. KON). Post-hoc (2x2 ANOVA) wurde für KT ein signifikant größerer Leistungszuwachs (T1-T2 sowie T1-T3 jeweils  $p < .001$ ) der Ganggeschwindigkeit im Vergleich zu KON über alle Messzeitpunkte ermittelt. Die KT-Gruppe steigerte dabei ihre Leistung signifikant ( $p < .001$ ) um 4,4% (T1-T2) bzw. 6,6% (T1-T3). Für die KON-Gruppe konnte zwischen den Messzeitpunkten T1 und T3 eine signifikante Steigerung von 2,7% ( $p < .001$ ) ermittelt werden. Es wurde kein signifikanter Effekt zwischen den beiden Interventionsgruppen ermittelt.

Entwicklung der VO<sub>2</sub>max

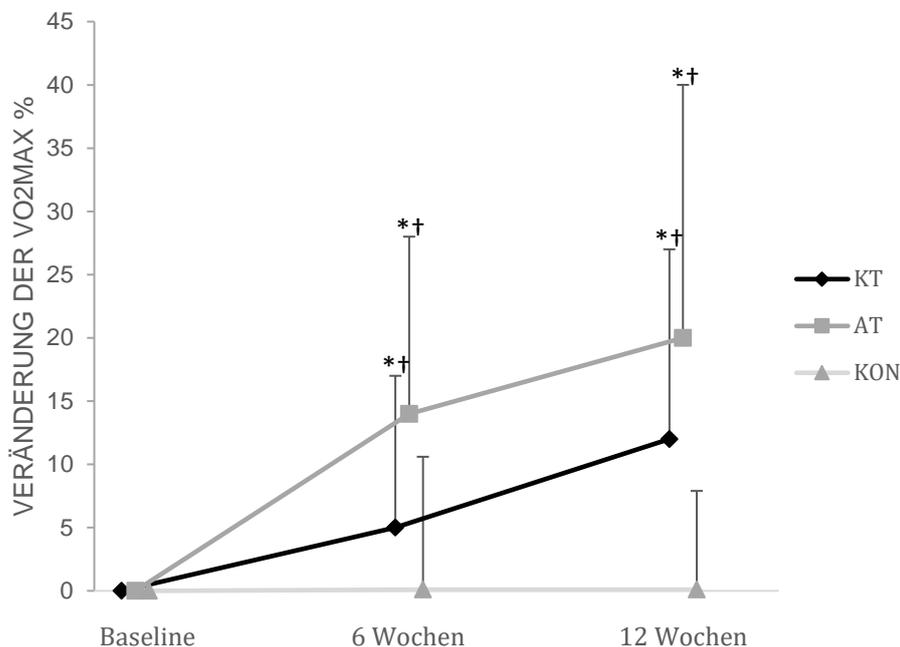


Abbildung 21: Veränderung der VO<sub>2</sub>max in Prozent. \*:  $p < 0.05$  within group; †:  $p < 0.05$  im Vergleich mit KON

Das Schaubild 21 gibt die prozentuale Entwicklung der VO<sub>2</sub>max der drei Untersuchungsgruppen über den Interventionszeitraum von 12 Wochen wieder.

Auf der Grundlage der 2x3 ANOVA konnte eine signifikante Interaktion ( $p < .002$ ;  $F=6,85$ ;  $\eta^2_{part}=.123$ ) zwischen den Messzeitpunkten (T1, T2, T3) und den Untersuchungsgruppen (KT vs. KON) belegt werden. Post-hoc (2x2 ANOVA) wurde für KT eine signifikante größere Steigerung (T1-T2 sowie T1-T3 jeweils  $p < .001$ ) der VO<sub>2</sub>max über alle Messzeitpunkte ermittelt. Die KT-Gruppe steigerte dabei ihre Leistung signifikant ( $p < .001$ ) um 5,4% (T1-T2) bzw. 12% (T1-T3). Für die KON-Gruppe konnte zu keinem Messzeitpunkt eine signifikante Steigerung ermittelt werden. Es wurde kein signifikanter Effekt zwischen den beiden Interventionsgruppen festgestellt.

*Zusammenfassung der Transferwirkungen von Ausdauertraining*

Fasst man die Ergebnisse aus Kapitel 2.3.3 zusammen, unterscheidet sich die KT-Gruppe signifikant in den Leistungsparametern Ganggeschwindigkeit sowie der maximalen Sauerstoffaufnahme  $VO_{2max}$  von der KON-Gruppe. Die Ergebnisse belegen daher die Transferwirkung von Krafttraining auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test. Es besteht dabei kein signifikanter Unterschied zwischen den Leistungen der beiden Interventionsgruppen AT und KT.

## 2.4 Diskussion

Wie bereits im Forschungsstand in Kapitel 2.1.2 dargestellt wurde, bestand bislang weder ein eindeutiger Nachweis für eine Transferwirkung von Ausdauertraining auf die dynamische Maximalkraftleistung der unteren Extremitäten, noch konnten Transferwirkungen eines Maximalkrafttrainings auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test belegt werden. Demzufolge lag die Zielstellung der vorliegenden Studie in der Quantifizierung der Trainingseffekte eines 12-wöchigen Walkingtrainings auf die dynamisch gemessene Maximalkraft der unteren Extremitäten sowie der Überprüfung eines 12-wöchigen Maximalkrafttrainings auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test.

Die Ergebnisse aus Kapitel 2.3 führen zu folgenden zentralen Befunden zu Studie I: (1) Für beide Interventionsgruppen sind signifikant größere Zuwächse in den Leistungsmessungen der trainierten Fähigkeiten im Vergleich zur Kontrollgruppe zu verzeichnen; (2) Die vorliegende Studie belegt - als erste dem Autor bekannte Untersuchung - Transferwirkungen von Ausdauertraining auf die dynamische Maximalkraftleistung der unteren Extremitäten nach einer 12-wöchigen Intervention; (3) Nach aktuellem Kenntnisstand kann in der durchgeführten Interventionsstudie erstmalig ein Nachweis über die Transferwirkung eines 12-wöchigen Maximalkrafttrainings der unteren Extremitäten auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test geliefert werden.

### *Wirksamkeit des Interventionstrainings*

Anhand des Erkenntnisgewinns aus Studie I, kann sowohl für das aerobe Ausdauertraining als auch für das Maximalkrafttraining der unteren Extremitäten eine direkte Wirksamkeit des Trainings bestätigt werden. Die AT-Gruppe steigerte sich in den beiden Parametern Ganggeschwindigkeit und  $VO_{2max}$  gegenüber der KON-Gruppe. Dabei erhöhte sich die Ganggeschwindigkeit von 1,79 m/s um 7,8% auf 1,93 m/s. Die  $VO_{2max}$  stieg im Vergleich zur Baseline-Messung von  $25,1 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  auf  $30,1 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  nach der 12-wöchigen Trainingsintervention an; dies entspricht einer Steigerung von 20%. Die in dieser Studie ermittelten prozentualen Veränderungen in der AT-Gruppe ordnen sich in die Range der ermittelten Werte der Meta-

Analysen von Huang et al. (2016) und Hortobágyi et al. (2015) ein. Die aufgenommenen Werte der Baseline-Messung sind im Bereich der  $VO_2\text{max}$  ähnlich den Werten aus der Übersichtsarbeit von Huang et al. (25 vs.  $23\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), die Werte der Ganggeschwindigkeit (1,8 vs. 1,3 m/s) liegen dagegen deutlich über den von Hortobágyi et al. (2015) dargestellten Mittelwerten. Dies könnte zum einen in dem höheren durchschnittlichen Alter (68 vs. 73 Jahre) der Untersuchung von Hortobágyi et al. begründet sein, zum Anderen beinhaltet die Übersichtsarbeit Studien, die neben Maximalleistungen auch die Veränderung der habituellen Ganggeschwindigkeit überprüfen.

Die Maximalkraft der unteren Extremitäten erhöhte sich in den Variablen BP, KE sowie KF signifikant durch das Training der KT-Gruppe im Vergleich zur KON-Gruppe. Die ermittelten Unterschiede von 17-34% stehen in einer Linie mit den Ergebnissen der Meta-Analyse von Peterson et al. (2010), die eine Steigerung der Maximalkraft der unteren Extremitäten von 20-30 % belegen. Ein Vergleich der bewegten Lasten von verschiedenen Studien im Bereich der gerätegestützten Maximalmalkrafttestung erscheint aus Sicht des Autors nicht sinnhaftig und aussagekräftig, da die ermittelten Bruttogewichte, bedingt durch die Bauweise der Geräte (Hebelverhältnisse, Umlenkungen, etc.), erheblich von den real bewegten Netto-Gewichten abweichen können.

Die Steigerung der Kontrollgruppe in der Laufleistung während des 2km Walking-Test könnte auf die Testmethodik zurückzuführen sein: aus Kapazitätsgründen wurde der Walking-Test in kleinen Gruppen durchgeführt. Es wurde zwar vom Studienleiter mehrfach und eindringlich darauf hingewiesen, dass jeder Proband seine persönliche, maximale Leistung abrufen soll, jedoch kam es immer wieder zu kleinen Gruppenbildungen während des Lauftests. Ein Interaktionseffekt mit der Leistung anderer Teilnehmenden kann somit nicht in gänzlich ausgeschlossen werden. Die Zunahme der dynamischen Maximalkraft an der Beinpresse ist dagegen schwer zu begründen. Ein Trainings- oder Übungseffekt sollte aufgrund der geringen Anzahl an durchgeführten Wiederholungen (15-30 W) innerhalb von 15 Wochen auszuschließen sein. In der Untersuchung von Holviala et al. (2012) ist ein ähnlicher Effekt zu beobachten: Hier steigerte sich die Kontrollgruppe signifikant in der Maximal-

kraft, gemessen an einer Beinpresse über einen Interventionszeitraum von 21 Wochen. Zusätzlich war eine zweiwöchige Kontrollphase vorgeschaltet, um bspw. einen Übungseffekt auszuschließen. Anhand der gesammelten Erfahrungen während der Testmessungen könnte die Leistungssteigerung auf psychologischer Ebene verortet sein, da einige Probanden bei den ersten Messungen etwas gehemmt wirkten und Respekt vor der Übungsausführung an der Beinpresse hatten. Dieser Zustand änderte sich nach der subjektiven Einschätzung des Testleiters über den Testzeitraum. Ob dies der tatsächlich ausschlaggebende Umstand war, lässt sich im Nachgang nicht hinreichend erklären.

Zusammenfassend kann anhand Studie I die Trainingseffektivität für AT und KT für das gewählte Studiendesign ohne Einschränkungen belegt werden. Die ermittelten Baseline-Werte der Stichprobe sowie deren Entwicklung entsprechen den zu erwartenden Ergebnissen auf Basis des Forschungsstands. Demzufolge müssen im weiteren Verlauf der Diskussion und Interpretation der Ergebnisse keine spezifischen Einschränkungen, wie beispielsweise eine unterdurchschnittlich entwickelte Leistung der Stichprobe, berücksichtigt werden.

#### *Transferwirkungen von Ausdauertraining*

Die Entwicklung der AT-Gruppe während der 12-wöchigen Intervention unterscheidet sich in den drei Einzelmessungen BP (22%), KE (5%) sowie KF (9%) signifikant von der KON-Gruppe. Für die Messergebnisse der BP und KF ist diese Entwicklung sowohl über den gesamten Interventionszeitraum als auch zwischen 0-6 bzw. 6-12 Wochen zu beobachten. Für die Ergebnisse der KE tritt ein signifikanter Unterschied erst nach einer Interventionsdauer von 12 Wochen ein. Diese Ergebnisse decken sich mit den Erkenntnissen vergleichbarer Studien von Cheng et al. und Kubo et al., die beide Transferwirkungen von Walking-Training auf die Maximalkraft der Beinbeuger belegen. In der Studie von Cheng et al. ist die Kraftentwicklung der Beinbeuger-Muskulatur durch ein 12-wöchiges Interventionstraining deutlich größer als die Entwicklung der Beinstrecker-Muskulatur (29% vs. 8%). Die Untersuchung von Kubo et al. zeigt aufgrund der Steigerung der Maximalkraft der Knieflexoren um 22% ein ähnliches Muster, wobei in diesem Fall die Knieextensoren keine signifikanten Steigerungen erreichen. Eine mögliche Erklärung für die unterschiedlich

ausgeprägte Veränderung der Maximalkraft in der Knieflexion sowie der Kniextension liefert die Untersuchung von Hortobágyi, Finch, Solnik, Rider und DeVita (2011): Die Autoren verglichen die neuronale Aktivierung der Muskulatur sowie den metabolischen „cost of walking“ ( $C_w$ ) zwischen jungen und älteren Probanden. Dabei wiesen die Probanden im Alter über 70 Jahren einen um 18% erhöhten Netto-Energieverbrauch pro Bewegungszyklus gegenüber der Probandengruppe unter 20 Jahren auf. Hauptverantwortlich für den höheren Energieverbrauch bei gleicher Gehgeschwindigkeit ist nach den Autoren die antagonistische Koaktivierung der Muskulatur, die in der älteren Probandengruppe um 150% höher ausfiel. Dabei zeigte der musculus biceps femoris die stärksten Koaktivierungsmuster aller Muskeln, die bei einer Lokomotionsbewegung involviert sind. Die Forschungsarbeit von Peterson und Martin (2010) bestätigt diese Ergebnisse und belegt die erhöhten Koaktivierungen insbesondere bei Aufgaben wie dem schnellen Gehen oder Treppensteigen. Die dauerhafte Beanspruchung des musculus biceps femoris könnte demnach, im Zusammenspiel mit dem erhöhten Energieverbrauch, für die beobachteten Effekte verantwortlich sein.

Die größeren prozentualen Steigerungen der Maximalkraft, die im Vergleich zu Studie I in den Untersuchungen von Cheng et al. und Kubo et al. ermittelt wurden, sollen unter dem Aspekt der differentiellen Messsysteme betrachtet werden. Im Vergleich zur dynamischen funktionellen Maximalkraftmessung von Studie I, verwendeten die Forschergruppen um Cheng et al. und Kubo et al. eine isometrische Messung zur Bestimmung der Maximalkraft. Wie u. a. die Studie von Baker, Wilson und Carlyon (1994) bestätigt, stellt eine isometrische Maximalkraftmessung ein spezifisches Testverfahren dar, das nicht im direkten Zusammenhang mit der dynamisch ausgeführten Maximalkraft steht. Die Autorengruppe um Baker et al. bekräftigen diese Aussage, indem sie im Ausblick ihrer Untersuchung die Validität der isometrisch bestimmten Maximalkraft nach dynamisch induzierten Trainingsanpassungen in Frage stellen. Auf quantitativer Ebene ist die Steigerung der Maximalkraft von 22,8% im Bereich der BP am stärksten ausgeprägt. Dieser Befund deckt sich mit den Ergebnissen der Forschergruppe um Lovell et al., die nach einem 16-wöchigen Fahrradergometer-Training eine Steigerung der BP-Maximalkraftleistung von 22% erzielten. Die Studie von Hersey et al., die eine zu dieser Studie vergleichbare Walking-

Intervention durchgeführt haben, konnte dagegen keine signifikante Veränderung der Maximalkraftleistung im Bereich der BP belegen. Unterzieht man abschließend die beiden Interventionsgruppen AT und KT einem direkten Vergleich, unterscheidet sich KT signifikant in der Höhe der Maximalkraftentwicklung der KE und KF von AT.

Zusammenfassend können Transferwirkungen von Ausdauertraining auf die Maximalkraftleistung der unteren Extremitäten bestätigt werden. Nach Einordnung in den Forschungsstand decken sich die erzielten Transferwirkungen in der Höhe ihrer Ausprägung mit den Befunden anderer Studien, die eine Transferwirkung belegen konnten. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese Studien entweder eine differentielle Messmethodik (isometrische Maximalkraftmessung) oder Trainingsintervention (Fahrradergometer, Laufband) nutzten und daher mit Studie I nur bedingt vergleichbar sind. Des Weiteren bestätigt lediglich ein Teil der Untersuchungen eine durch ein Ausdauertraining induzierte Transferwirkung auf die Maximalkraft der unteren Extremitäten. Abschließend sollte festgehalten werden, dass die Anpassungserscheinungen der AT-Gruppe in KE und KF signifikant unter den Adaptionen der KT-Gruppe liegen.

#### *Transferwirkungen von Krafttraining*

Äquivalent zu den Ergebnissen der Ausdauertrainingsintervention, kann anhand Studie I eine Transferwirkung von Krafttraining der unteren Extremitäten auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test bestätigt werden. Sowohl für die Ganggeschwindigkeit (6,6%) als auch für die VO<sub>2</sub>max (11,6%) wurde in der KT-Gruppe eine signifikante Leistungssteigerung über den Interventionszeitraum von 12 Wochen ermittelt. Die Ergebnisse der ANOVA belegen dabei einen statistisch bedeutsamen Unterschied für die Parameter Ganggeschwindigkeit und VO<sub>2</sub>max im Vergleich zu KON.

Die ermittelten Ergebnisse decken sich dabei mit den Ergebnissen des aktuellen Forschungsstandes: Die Studie von Hagerman, Walsh, Staron, Hikida, Gilders, Murray, Toma und Ragg (2000) sowie Haykowsky et al. (2005) belegen nahezu äquivalente Anpassungserscheinungen nach einer 12- bzw. 16-wöchigen identischen

Krafttrainingsintervention. Im Vergleich zu diesen Studien wurden in den Untersuchungen von McCartney, Hicks, Martin und Webber (1995) und Vincent, Braith, Feldman, Kallas und Lowenthal (2002) quantitativ größere Leistungssteigerungen ermittelt. Dies gilt sowohl für die Ganggeschwindigkeit (18 bzw. 23%) als auch für die  $VO_2\text{max}$  (16%). In beiden Studien fand jedoch auch ein bedeutend längerer Interventionszeitraum (24 bzw. 42 Wochen) Anwendung. Tendenziell könnte dies auf einen Einfluss der Dauer des Interventionszeitraumes hindeuten und würde den Erkenntnissen der Dosis-Wirkungs-Beziehungen im Bereich des Krafttrainings (siehe Kapitel 2.1.2) entsprechen. Aufgrund der geringen Anzahl an zugrundeliegenden Studien lässt sich dies nicht hinreichend belegen. Ebenfalls unklar sind die genauen Mechanismen, die zur Erhöhung der Ausdauerleistung durch ein Krafttraining führen. Haykowsky et al. (2005) sehen eine vermehrte Kapillarisation der Muskulatur sowie eine gesteigerte Sauerstofftransportkapazität des Blutes als potentielle Einflussfaktoren. Unterstützung erhält diese Hypothese durch die Erkenntnisse von Frontera, Meredith, O'Reilly und Evans (1990), die eine um 15% gesteigerte Kapillarisation nach einem 12-wöchigen Krafttraining bei Senioren ermitteln konnten. Einen weiteren Erklärungsansatz liefern McCartney et al. sowie Vincent et al., die die Leistungssteigerung auf muskulärer Ebene verorten. Die Forschergruppe um McCartney stellt dabei die Hinweise anderer Studien in den Vordergrund, die eine Steigerung der Maximalkraft der Knieflexoren nach einem Ausdauertraining feststellen konnten. Gemäß der Interpretation der Autoren stellt im Umkehrschluss die Maximalkraft der Beinbeuger-Muskulatur einen limitierenden Faktor schneller Gehbewegungen im hohen Alter dar. Eine ähnliche Theorie verfolgen Vincent et al. (2002), indem sie die Beinmuskulatur als limitierenden Faktor zur maximalen kardiopulmonalen Ausbelastung im höheren Alter nennen. Diese Annahmen können anhand Studie I teilweise gestützt werden, da der Einfluss eines Ausdauertrainings auf die Maximalkraft der Beinbeuger-Muskulatur eine wichtige Erkenntnis, wie im vorherigen Kapitel erläutert, darstellt. Unter Berücksichtigung der im vorherigen Kapitel diskutierten „cost of walking“ sollte aus Sicht des Autors die Laufökonomie als leistungsbestimmender Faktor der Ausdauerleistung im hohen Alter gezählt werden. Im Leistungssport stellt die Laufökonomie laut Bassett und Howley (2000) eine wesentliche Komponente der maximalen Ausdauerleistung in Laufdisziplinen

dar. Intra- und intermuskuläre Anpassungserscheinungen sind durch eine Fülle von Studien (u.a. Keijo Häkkinen, Newton, Gordon, McCormick, Volek, Nindl, Gotshalk, Campbell, Evans, Häkkinen, Humphries & Kraemer, 1998; Turpela, Keijo Häkkinen, Haff & Walker, 2017) bei unterschiedlichen Zielgruppen bis in das hohe Alter belegt. Gleichzeitig bestätigen die Untersuchungen von LaRoche, Roy, Knight und Dickie (2008) und Kuruganti, Parker, Rickards und Tingley (2006) eine um 15-20% reduzierte Koaktivierung der Antagonisten nach einem Krafttraining bei Probanden zwischen 65-84 Jahren. Die reduzierten Koaktivierungsmuster könnten in Verbindung mit einer gesteigerten Maximalkraft einen entscheidenden Beitrag zur Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit leisten. Wie auch von den Autoren der aufgeführten Studien postuliert, besteht hier noch ein deutliches Forschungsdefizit.

Weiterhin muss beachtet werden, dass eine Transferwirkung durch Krafttraining bislang nur ein Teil der im Forschungsstand aufgeführten Studien belegen konnte. Ein Forschungsansatz, der die genauen Wirkungen von Krafttraining in Bezug auf die leistungsdeterminierenden Faktoren der Ausdauer auf kardiopulmonaler und neuromuskulärer Ebene untersucht, könnte hier weiteren Erkenntnisgewinn bringen. Da jedoch neben den morphologischen Veränderungen der Muskulatur und neuronalen Aktivierungsmustern, auch die Mechanismen der aeroben und anaeroben Energiebereitstellung sowie die Anpassungserscheinungen auf kinematischer Ebene überprüft werden sollten, bedeutet dies einen großen messtechnischen Aufwand, mit interdisziplinärem Forschungsansatz.

Zusammenfassend können die Transferwirkungen eines gerätegestützten Maximalkrafttrainings auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test bestätigt werden. Nach Einordnung in den Forschungsstand decken sich die erzielten Transferwirkungen in der Höhe ihrer Ausprägung mit den Befunden anderer Studien, die ebenfalls eine Transferwirkung belegen konnten. Dabei bleibt jedoch festzuhalten, dass diese Studien eine andere Messmethodik (Fahrradergometer, Laufband) nutzen und daher auch nur bedingt mit Studie I vergleichbar sind.

#### 2.4.1 Limitierung der Studie

Eine potentielle Einschränkung von Studie I stellt die indirekte Bestimmung der 1 RM Maximalkraftparameter sowie der  $VO_2\text{max}$  dar. Obwohl die Validität der verwendeten indirekten Messungen in einer Vielzahl von Studien nachgewiesen wurde (Abdul-Hameed et al., 2012; Laukkanen et al., 2000; Rance et al., 2005), würden direkte Messverfahren, insbesondere der  $VO_2\text{max}$ , die Aussagekraft der Studie erhöhen. Ebenso kann die Messmethodik des 2km Walking-Test aus Sicht des Autors als weitere Limitation angesehen werden. Aufgrund der großen Probandenzahl wurde das Ausdauerstestverfahren in kleinen Gruppen durchgeführt, weshalb sich ein Interaktionseffekt zwischen den einzelnen Teilnehmenden nicht ausschließen lässt.

Des Weiteren liefert die Studie ausschließlich Erkenntnisse, die die Veränderung der Maximalkraft sowie der Ausdauerleistungsfähigkeit in ihrer direkten Expression nach einem KT- oder AT-Training nachweisen. Dagegen liefert die Untersuchung keine Erklärung, welche morphologischen, neurologischen und metabolischen Anpassungen für diese Veränderungen verantwortlich sind. Im Rückblick wäre die Erfassung der Herzfrequenz sowie deren Veränderung im Verlauf der Trainings auch in der KT-Gruppe hilfreich gewesen, um die metabolische Belastung der beiden Interventionsgruppen vergleichen zu können. Zur Einordnung der Leistungsfähigkeit der beiden Interventionsgruppen hätte eine dritte Trainingsgruppe mit einem kombinierten Kraft-Ausdauertraining zu weiteren Erkenntnissen führen können; die Effekte eines kombinierten Kraft-Ausdauertrainings sind aber bereits durch eine Vielzahl an Studien (u.a. García-Pinillos, Laredo-Aguilera, Muñoz-Jiménez & Latorre-Román, 2019; Sillanpää, Laaksonen, Häkkinen, Karavirta, Jensen, Kraemer, Nyman & Häkkinen, 2009) belegt und waren deshalb kein Bestandteil der Kernziele von Studie I.

#### 2.4.2 Schlussfolgerung

In der gesundheitsorientierten Forschung gelten sowohl die Ganggeschwindigkeit als auch diverse Maximalkraftparameter als starke Prädiktoren für die Mortalität sowie auch für die Aufrechterhaltung der Lebensqualität im hohen Alter (u.a. Datta

et al., 2014; Menning, 2006) Zu diesem Aspekt erzielten beide Interventionsgruppen signifikante Leistungssteigerungen. Dabei traten bedeutende Veränderungen, mit Ausnahme der Maximalkraft der Knieextensoren in der AT-Gruppe, bereits nach 6 Wochen ein. Bis zum Ende der Intervention kam es in beiden Interventionsgruppen in allen erhobenen Parametern zu weiteren Steigerungen. Vergleicht man die Veränderungen der VO<sub>2</sub>max (12% in KT und 20% in AT) bzw. der dynamischen Maximalkraftwerte der Beinpresse (34% in KT und 23% in AT) mit den altersbedingten Rückgängen dieser Parameter, so kann bereits ein 3-monatiges Training einen altersbedingten Leistungsverlust von 5-15 Jahren neutralisieren. Aufgrund der in dieser Studie nachgewiesenen Transferwirkungen genügt dabei sowohl entweder ein Ausdauer- als auch ein Krafttraining, um bedeutenden Verbesserungen in beiden Fähigkeiten zu erzielen. Inwiefern diese Aussage für langfristige Anpassungen im Bereich des Seniorensports gilt, lässt sich anhand dieser Untersuchung nicht klären. Ebenso können keine Aussagen zu den physiologischen Hintergründen der ermittelten Transferwirkungen getroffen werden. Im Vergleich beider Trainingsinterventionen grenzt sich die KT-Gruppe mit signifikant größeren Steigerungen im Bereich der Maximalkraft der Knieextensoren sowie -flexoren von der AT-Gruppe ab. Für die Parameter Ganggeschwindigkeit sowie VO<sub>2</sub>max besteht hingegen kein statistisch bedeutsamer Unterschied zwischen den beiden Trainingsarten; es besteht lediglich eine leichte Tendenz bei dem Maximalkrafttraining über 12 Wochen in Richtung einer etwas größeren globalen Leistungsentwicklung. Für eine optimale Entwicklung der Kraft- und Ausdauerleistung ist jedoch auch bei Senioren ein singuläres Training der jeweiligen motorischen Fähigkeit zu empfehlen. Diesem Anspruch wird jedoch hauptsächlich der leistungsorientierte Seniorensport gerecht. Ein gesundheitsorientiertes Training muss nach den Erkenntnissen dieser Studie kein spezifisches Training einzelner Fähigkeiten enthalten, um positive Effekte nicht zuletzt für ein aktives und selbstbestimmtes Leben im hohen Alter zu erzielen.

# Studie II

## **3 „Veränderung der Sprintleistung nach einer Konditionierungsaktivität bei Fußball-Nachwuchsleistungssportlern“**

### 3.1 Einleitung

In vielen Sportarten erreichen Athleten einen entscheidenden Vorteil in Wettkampfsituationen, wenn sie deutlich weniger Zeit benötigen, um mit ihrem Körper, ihren Körperteilen oder einem Sportgerät eine bestimmte Strecke zu überwinden. Dieser Zusammenhang zwischen Ortsveränderung und der Zeit wird durch die Bewegungsgeschwindigkeit charakterisiert, die eine wichtige Beschreibungsgröße der sportmotorischen Schnelligkeit darstellt. Im Umfeld des Leistungssports sind Athleten seit jeher bestrebt, schneller zu agieren als der jeweilige Kontrahent (Hottenrott & Seidel, 2017).

In der Sportart Fußball gilt die Schnelligkeit als eine der elementaren Fähigkeiten (Reilly, Bangsbo & Franks, 2000). Dabei kann in den Sportsportarten die zyklische Sprintfähigkeit nur bedingt als dominierende Leistungsdeterminante betrachtet werden; sie spielt im Fußball nur bei langen Sprints ohne Ball und Gegnerkontakt eine Rolle. Die schnelle Veränderung von Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung werden der komplexen azyklischen Schnelligkeit zugeordnet. Ein Beispiel hierfür ist ein schneller Richtungswechsel als Anpassung auf eine neue Spielsituation. Im Profifußball kommt es nach Ergebnissen von Stølen, Chamari, Castagna und Wisløff (2005) ca. alle 90 Sekunden zu Sprintaktionen, die jeweils 2-4 Sekunden dauern. Obwohl Spieler über die Gesamtdauer eines Fußballspiels also nur eine kurze Zeit Sprintleistungen mit hohen Intensitäten absolvieren, sind dies jedoch häufig die spielentscheidenden Anteile (Wragg, Maxwell & Doust, 2000). Diese Erkenntnisse führten zwangsläufig dazu, dass der Entwicklung der Schnelligkeitsfähigkeit auch im Bereich des fußballspezifischen Athletiktrainings eine große Rolle zukommt (Haugen, Tønnessen, Hisdal & Seiler, 2014). Dabei konzentriert sich das Training der Schnelligkeit seit geraumer Zeit nicht mehr nur auf Übungsformen, die die Schnelligkeit in ihrer Reinform trainieren. In zahlreichen Studien (u.a. Comfort, Stewart, Bloom & Clarkson, 2014; Wisløff, Castagna, Helgerud, Jones & Hoff, 2004) konnte eine hohe Korrelation zwischen der Maximalkraft der unteren Extremitäten und schnelligkeitsorientierten Bewegungs- und Sprungleistungen ermittelt werden. Diese Erkenntnisse führten unter anderem dazu, dass ein Schnelligkeitstraining heute fast ausschließlich als multimodales Training durchgeführt wird.

Auf der Suche nach effektiven Möglichkeiten, die sportliche Leistung im Spitzensport weiter zu steigern, ist seit einigen Jahren das Phänomen der Postaktivierungspotenzierung (PAP) in den Fokus der Wissenschaft gerückt. Bei der PAP kommt es durch eine unmittelbare Voraktivierung eines Muskels oder einer Muskelgruppe zu einer Steigerung der nachfolgenden Muskelleistung (Lesinski, Muehlbauer, Büsch & Granacher, 2013). Obwohl die physiologischen Hintergründe nicht gänzlich geklärt sind, ist die Existenz sowie Dosis-Wirkungs-Beziehungen des Phänomens der PAP durch systematische Literaturüberblicke und Meta-Analysen bereits umfassend belegt (DeRenne, 2010; Hodgson, Docherty & Robbins, 2005; Seitz & Haff, 2016). Demnach erscheint es besonders wichtig, eine maximale neuromuskuläre Beanspruchung der Muskelkette zu erzielen, die an der späteren Zielbewegung beteiligt ist (Seitz & Haff, 2016). Im Bereich der Sprint- und Sprungkraftleistungen werden dabei zum Großteil Voraktivierungen mit einer externen Zusatzlast, wie beispielsweise eine Langhantel-Kniebeuge, absolviert. Ein Problem in der Trainingspraxis, im Besonderen im Bereich des Nachwuchsleistungssportes, besteht darin, dass eine Langhantel-Kniebeuge eine sehr komplexe Bewegungsausführung darstellt. In Kombination mit hohen Trainingslasten stellt dies eine koordinativ anspruchsvolle motorische Herausforderung dar. Der Athlet muss dabei über Erfahrungen in dieser Art des Krafttrainings verfügen, um den Anforderungen einer Kniebeuge mit maximalen Intensitäten physiologisch und psychologisch gewachsen zu sein. Eine wiederkehrende Erkenntnis in den Diskussionen aktueller Übersichtsarbeiten und Einzelstudien (u.a. Borba, Ferreira-Júnior, Santos, Carmo & Coelho, 2017; Tillin & Bishop, 2009) stellt das überzufällige Auftreten von Respondern und Non-Respondern dar. Da in Forschungsarbeiten, die Athleten mit einer stark ausgeprägten Maximalkraft untersuchten, der Anteil an Non-Respondern wesentlich geringer ausfällt, besteht Grund zur Annahme, dass Athleten mit unterdurchschnittlich entwickeltem Kraftniveau eine zu große Ermüdung erfahren und somit eine Leistungssteigerung ausbleibt (Seitz & Haff, 2016). Eine gut abgestimmte Trainingsplanung mit individueller Ausrichtung auf den einzelnen Athleten gilt daher als entscheidender Faktor für die Wirksamkeit eines PAP-Trainings (Borba et al., 2017). Insbesondere bei Mannschaftssportarten gestaltet sich diese individuelle Vorgehensweise jedoch schwierig, da oftmals weder Zeit noch Mittel vorhanden sind, um gezielt auf die

einzelnen Athleten einzugehen. Des Weiteren benötigt der Aufbau eines solchen Trainings spezielle infrastrukturelle Voraussetzungen: Um den Effekt der PAP nutzen zu können, muss innerhalb weniger Minuten nach der Vorbelastung die jeweilige Zielleistung absolviert werden (Seitz & Haff, 2016). Im Falle eines PAP-Trainings mit der Zielleistung Sprint, das zur Voraktivierung eine Langhantel-Kniebeuge einsetzt, benötigt man entweder eine Sprintmöglichkeit in unmittelbarer Nähe zu einem Krafraum oder einen mobilen Kniebeugeständer nahe einer Sprintstrecke. Im direkten wettkampforientierten Leistungsbezug scheint das Auslösen eines PAP-Effektes in Sportarten und Disziplinen sinnvoll, in denen eine maximale Leistung in einem kurzen Zeitraum absolviert werden muss, beispielsweise sind hier die Sprintdisziplinen der Leichtathletik oder des Eisschnelllaufs zu nennen. In Sportarten wie Basketball, Fußball oder Handball, die durch eine Belastungszeit von 40-90 Minuten charakterisiert sind, ist der wettkampfbezogene Nutzen eines PAP-Effektes, dessen leistungssteigernde Wirkung 5-10 Minuten nach dem Setzen des spezifischen Belastungsreizes erfolgt (u.a. Tillin & Bishop, 2009), zu vernachlässigen.

In der Trainingspraxis ist der Effekt einer PAP jedoch sportartübergreifend und vielfältig einsetzbar. Im Bereich des Schnelligkeitstrainings sind beispielsweise maximale bis supra-maximale Intensitäten nötig um (weitere) Leistungssteigerungen zu erzielen (vgl. theoretische Grundlagen der Schnelligkeit in Kapitel 1.2.6). Demnach führt ein wiederholtes Training mit supra-maximalen Intensitäten zu chronischen Adaptionen der Schnelligkeit (DeWeese & Nimphius, 2016). Um möglichst große PAP-Effekte in Schnelligkeitsleistungen zu erzielen, bedarf es nach den Erkenntnissen der bereits erwähnten Übersichtsarbeiten von DeRenne (2010) und Seitz und Haff (2016) einer Konditionierungsaktivität (KA) mit hohen bis maximalen Intensitäten.

Eine Möglichkeit, um eine hohe neuromuskuläre Belastung durch ein Krafttraining zu erzielen, stellen Trainingsmaschinen dar, die anstelle der Schwerkraft auf einen Trainingswiderstand setzen, der durch die Massenträgheit einer rotierenden Schwungradscheibe induziert wird. Diese Trainingsform ist hauptsächlich unter den Begriffen Flywheel-Training (FWT), inertia training (Trägheitstraining) oder, bedingt durch die auftretende Trainingswirkung, als Exzentrisches Overload-Training (EOL) bekannt. Bei den folgenden Ausführungen zu Studie II beschränkt sich der

Autor auf den Begriff des Flywheel-Trainings, der im Folgenden als FWT abgekürzt wird. Einen großen Vorteil des FWT stellt die individuelle Trainingsbelastung dar: Jeder Athlet trainiert exzentrisch mit der Last, die er zuvor in der konzentrischen Phase aufbauen konnte. Diese individuelle Last passt sich mit jeder einzelnen Wiederholung der konzentrisch-exzentrischen Bewegungsausführung an, so dass bei korrekter Ausführung eine hohe Ausbelastung bei jeder einzelnen Wiederholung gewährleistet ist. Ebenso ist das Trainingsgerät portabel und benötigt keine zusätzlichen Gewichte oder weitere Zubehörteile. Die Wirkungen eines FWT als spezifisches Krafttraining über einen längeren Interventionszeitraum sind wissenschaftlich belegt und weisen signifikante Zuwächse in Maximalkraft- und Schnelligkeitswerten sowie bei plyometrischen Leistungen auf (Maroto-Izquierdo, García-López, Fernandez-Gonzalo, Moreira, González-Gallego & Paz, 2017).

Aufgrund der maximalen neuromuskulären Ausbelastung sowie der individuellen Trainingssteuerung sollte das FWT in der Theorie ein ideales Instrument zur PAP-Voraktivierung darstellen. Nach ausführlicher Literaturrecherche gibt es aktuell nur sehr wenige Studien, die das FWT als PAP-Vorbelastung eingesetzt haben. Zwei Studien der Autorengruppe um Cuenza et al. (2015; 2018) untersuchten den Einfluss einer FWT-KA im Schwimmsport und ermittelten dabei signifikante Steigerungen in der Startsprung- und Schwimmleistung. Die Arbeit von Hoyo, La Torre, Pradas, Sañudo, Carrasco, Mateo-Cortes, Domínguez-Cobo, Fernandes und Gonzalo-Skok (2015) untersuche als bisher einzige Studie den Einfluss einer FWT-KA auf die Sprintleistung. Dabei wurden nach einer FWT-KA kürzere Bodenkontaktzeiten in einem 45 Grad Richtungswechselsprint ermittelt. Konträr dazu konnten jedoch keine signifikanten Veränderungen in den Sprintleistungen über 10 und 20 Meter festgestellt werden. Aktuell stützt sich der Forschungsstand zu Auswirkungen einer FWT-KA auf die Sprintleistung lediglich auf diese Studie. Wie die Autoren in ihrem Studien-Ausblick konstatieren, besteht hier ein Bedarf an weiterer Forschung, um beispielsweise geeignete Belastungsnormative zur ermitteln und die ermittelten Trainingswirkungen zu bestätigen.

Zusammenfassend besteht bisher eine geringe Evidenz im Forschungsfeld der PAP-Wirkungen einer FWT-KA auf die körperliche Leistungsfähigkeit. Die Auswirkungen auf die Sprintleistungen, für die in bisherigen Untersuchungen mit konventionellen

PAP-KA (bspw. ein Langhanteltraining) die größten Effektstärken ermittelt wurden (Seitz & Haff, 2016; Tillin & Bishop, 2009), wurden bisher von nur einer Forschungsarbeit untersucht. Somit besteht derzeit ein großes Defizit in der Studienlage, hinsichtlich der Überprüfung der Auswirkungen einer PAP auf die Leistungen in einem Richtungswechsel-Sprint (RWS) (Lockie, Lazar, Davis & Moreno, 2018). Ebenso sind die Auswirkungen einer FWT-KA auf lineare Sprintleistung unzureichend erforscht. Aufgrund der großen Vorteile in der praxisorientierten Anwendung und den in bisherigen Studien angedeuteten Trainingswirkungen, stellt ein FWT aus Sicht des Autors ein interessante KA zur Auslösung eines PAP-Effektes dar. Daher widmet sich Studie II den Auswirkungen einer FWT-KA auf die Sprintleistung von Nachwuchsleistungssportlern. Ihr Forschungskontext wird mit der folgenden theoretischen Vorbetrachtung sowie dem aktuellen Forschungsstand erläutert.

### 3.1.1 Theoretische Vorbetrachtung

Im Folgenden werden zunächst die zentralen Konstrukte der Untersuchung charakterisiert, um im Anschluss detailliert auf die aktuellen Erkenntnisse zu den Wirkungen einer PAP sowie den Trainingswirkungen eines FWT einzugehen.

#### *Exzentrisches Training*

Im Vergleich von konzentrischer und exzentrischer Phase kann ein Muskel aus mechanischer Sicht höhere Absolutkräfte in der exzentrischen Phase generieren (Crenshaw, Karlsson, Styf, Backlund & Friden, 1995). Dabei wird während der exzentrischen Bewegungsausführung trotz geringerer metabolischer Last eine größere neuronale Aktivierung erzielt (Roig, O'Brien, Kirk, Murray, McKinnon, Shadgan & Reid, 2009). Gleichzeitig induziert ein exzentrisches Training eine höhere Spannung der Muskulatur, die für morphologische Anpassungserscheinungen als entscheidender Faktor angesehen wird (Hather, Tesch, Buchanan & Dudley, 1991). Die leistungsphysiologischen Vorteile des exzentrischen Krafttrainings werden in der Trainingspraxis häufig im Leistungssport oder beim Kraftsport mit ausgewählten Trainingsformen angewandt. Einen entscheidenden Faktor bei der Trainingssteuerung stellt die exakte Dosierung der exzentrischen Überlast dar. Eine zu

große exzentrische Überlast führt zu größeren Microtraumata in der beanspruchten Muskulatur, die sich aufgrund längerer Regenerationsprozesse negativ auf die langfristige Leistungsentwicklung auswirken (Brentano & Martins, 2011). Um in der Trainingspraxis eine exzentrische Überlast zu erzeugen, sind klassische gerätegestützte Krafttrainingsformen sowie das Freihanteltraining ungeeignet. Bei diesen Trainingsformen bestimmt die konzentrische Maximalkraft das Gewicht, das während des Trainings bewegt werden kann. Aufgrund der höheren Maximalkraft der Muskulatur in der exzentrischen Arbeitsphase, führt das konzentrische Maximalgewicht zu einer unzureichenden Ausbelastung der Muskulatur in der Exzentrik (Maroto-Izquierdo et al., 2017). Aus diesem Grund haben sich, überwiegend im Kraftsport, spezielle Trainingsformen wie beispielsweise das Negativtraining entwickelt. Bei dieser Trainingsform wird zu Beginn einer Einheit ein Gewicht bestimmt, das in der konzentrischen Phase nicht mehr selbständig bewegt werden kann. Das entsprechende Gewicht wird anschließend in exzentrischer Arbeitsweise langsam über die maximal mögliche Bewegungsamplitude bewegt. Anschließend wird die konzentrische Phase durch Gewichtsreduktion oder Partnerhilfe durchgeführt. Im Bereich des gerätegestützten Trainings wurden zu Beginn der 90er Jahre computergesteuerte Trainingsgeräte entwickelt, die über elektrisch gesteuerte Isokineten Widerstände erzeugen. Diese Widerstände können getrennt nach Arbeitsweise gesteuert werden und folglich eine maximale exzentrische Ausbelastung erzielen. Zusammengefasst wurde diese Trainingsform unter dem Oberbegriff des desmodromischen Trainings (Friedmann, 2007). Während diese Geräte in den Anfangszeiten aufgrund ihrer für die damalige Zeit komplexen Technik dem Leistungssport vorbehalten waren, gibt es heute eine Vielzahl an Modellen diverser Hersteller in der Fitness- und Gesundheitsbranche. Etwa zur gleichen Zeit wurde aus dem Interessensfeld der Weltraumforschung heraus nach einer schwerkraftunabhängigen Trainingsmethode gesucht. Auf diesem Bedarf basierend, entwickelte sich das auf dem Prinzip der Trägheit basierende Flywheel-Training (Berg & Tesch, 1994).

### *Flywheel-Training*

Aus physikalischer Sicht greifen Flywheel-Trainingsgeräte auf einen Trainingswiderstand zurück, der durch die Massenträgheit einer rotierenden Schwungscheibe

generiert wird. Das erzeugte Drehmoment wird aus der Winkelgeschwindigkeit sowie der Massenträgheit der Schwungscheibe berechnet (vgl. Harten, 2017, S. 74). Folglich ist der Trainingswiderstand abhängig von Durchmesser und Gewicht der Schwungscheibe sowie ihrer Rotationsgeschwindigkeit. Die Funktionsweise eines Flywheel-Gerätes lässt sich vereinfacht mit einem Jojo vergleichen: Ein aufgewickeltes Jojo wird von der Erdanziehungskraft beschleunigt. Beim Abwickeln wird es in eine Drehbewegung versetzt und speichert dabei Energie. Nachdem das Jojo vollständig abgewickelt ist, wird es durch die gespeicherte Energie wieder aufgewickelt. Bei einem Flywheel-Gerät sitzt eine Schwungscheibe auf einer drehbaren Welle. Die Welle wird über einen Gurt anhand der ausgeübten Muskelkraft in der konzentrischen Bewegungsphase beschleunigt. Sobald der Gurt am Ende der konzentrischen Bewegung abgewickelt ist, wickelt er sich wieder auf die Welle auf und der Trainierende muss in der exzentrischen Phase die zuvor aufgebaute Energie wiederum abbauen. Je nach Ausführung der Bewegung wird die aufgebaute Energie innerhalb einer kurzen Zeit von der exzentrisch arbeitenden Muskulatur umgewandelt. Dabei kommt es zu einer exzentrischen Überlast, die das Flywheel-Training charakterisiert (Norrbrand, Fluckey, Pozzo & Tesch, 2008).

#### *Trainingswirkungen des Flywheel-Trainings*

Die Anpassungsreaktionen des menschlichen Organismus auf ein Flywheel-Training wurden im Verlauf der letzten 20 Jahre umfassend erforscht und in Übersichtsarbeiten, wie beispielsweise der Meta-Analyse von Maroto-Izquierdo et al. (2017), systematisiert. Zu den langfristigen Trainingswirkungen zählen u.a.:

- eine Steigerung der Muskelmasse von 5-15%
- eine Erhöhung der konzentrischen Maximalkraft von 11-39%
- eine Zunahme der exzentrischen Maximalkraft von 13-90%
- eine Verbesserung der Sprintleistung von 6-10%
- ein Anstieg der Sprungleistung um 6-15%

Wie bereits in der Problemstellung beschrieben, gibt es zu den durch ein Flywheel-Training hervorgerufenen PAP-Effekten nur sehr wenige Studien. Neben der aufgeführten Studie von Hoyo et al. (2015) steht aktuell eine Studie von Beato, Keijzer,

Leskauskas, Allen, Dello Iacono und McErlain-Naylor (2019) vor der Veröffentlichung, die u.a. die Auswirkungen einer Flywheel-PAP auf die Sprungleistungen sowie einen Richtungswechselsprint (45 Grad) von 12 Freizeitsportlern untersuchte. Der Artikel wurde im Journal of Strength and Conditioning Research (JSCR) angekündigt. Auf die vollständigen Ergebnisse besteht zum aktuellen Zeitpunkt noch kein Zugriff.

### *Charakterisierung der PAP*

Bei der post activation potentiation, zu Deutsch Postaktivierungspotenzierung (PAP), handelt es sich um ein Phänomen, bei dem die von einem Muskel erzeugte Kraft aufgrund seiner vorherigen (maximalen) Kontraktion erhöht wird (Lorenz, 2011). Diese vorgeschaltete Kontraktion wird generell als conditioning activity (CA), im deutschen Sprachgebrauch als Konditionierungsaktivität (KA), bezeichnet. Obwohl das Phänomen der PAP in der Trainingspraxis schon geraume Zeit bekannt ist, wurde eine systematische Einordnung erstmals in der Übersichtsarbeit von Robbins (2005) vorgenommen. Seit dieser Einordnung wurde eine Fülle an Studien und Übersichtsarbeiten veröffentlicht, die die spezifischen oder globalen Wirkungen einer PAP dokumentieren. Der Forschungsbereich der meisten Studien umfasst den Einfluss einer PAP auf plyometrische Leistungen wie Sprint- und Sprungkraft (Lesinski et al., 2013). Dieser Kreis erweitert sich aktuell auf weitere Handlungsfelder, wie beispielsweise die Übersichtsarbeit von Boulosa, Del Rosso, Behm und Foster (2018) belegt. Die Arbeit überprüft den Einfluss der PAP auf die Leistungsfähigkeit im Ausdauersport und ermittelt für diese konditionelle Fähigkeit erste Tendenzen zur Wirksamkeit. Auf welcher physiologischen Basis der Effekt der PAP beruht, wird im Folgenden erläutert.

### *Physiologische Hintergründe der PAP*

Die genauen anatomisch-physiologischen Hintergründe zur Wirkungsweise einer PAP sind nach aktuellem Stand der Wissenschaft nicht eindeutig geklärt (J. Wilson, Duncan, Marin, Brown, Loenneke, Wilson, Jo, Lowery & Ugrinowitsch, 2013). Nach Tillin und Bishop (2009) sind im Wesentlichen drei Mechanismen für den Effekt der PAP verantwortlich:

## Studie II Theoretische Vorbetrachtung

---

- Phosphorylierung von myosin regulatory light chains (RLC)
- Erhöhte Rekrutierung von motorischen Einheiten
- Verringerter Fiederungswinkel der Muskulatur

Die Phosphorylierung der RLC (regulatorische leichte Kette) führt nach Stull, Kamm und Vandenboom (2011) zu einer Erhöhung der  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen-Sensitivität des kontraktilen Apparates, die eine erhöhte Kraftentwicklungsrate durch Bildung von Myosin-Kreuzbrücken ermöglicht (s. Abb. 22).

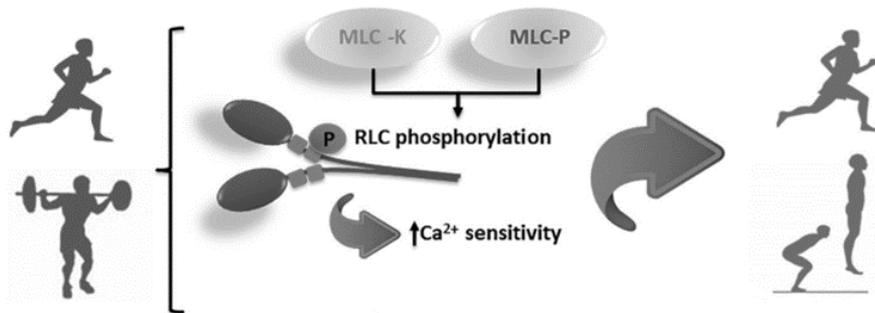


Abbildung 22: Phosphorylierung der regulatorischen leichten Kette (mod. nach Boulosa et al., 2018)

Die erhöhte Rekrutierung von Alpha-Motoneuronen zählt nach Hodgson et al. (2005) ebenfalls zu den potentiellen Anpassungserscheinungen einer PAP. Dabei kommt es durch eine gesteigerte Innervation der Muskelfasern zu einer Erhöhung der muskulären Maximalkraft. Neben diesen biochemischen bzw. neuronalen Anpassungen stellt der verringerte Fiederungswinkel der aktivierten Muskulatur eine Anpassung auf morphologischer Ebene dar (Tillin & Bishop, 2009). Alle drei beschriebenen Mechanismen finden überwiegend in theoretischen Konstrukten Bestätigung und werden teilweise kontrovers diskutiert. Smith und Fry (2007) untersuchten anhand einer Muskelbiopsie nach einer maximalen isometrischen Muskelkontraktion über 10 Sekunden die Phosphorylierung der Beinmuskulatur. Dabei kam es nach einem Zeitraum von 7 Minuten bei 7 von 11 Probanden (Respondern) zu einer gesteigerten Phosphorylierung. Diese „Responder“ unterschieden sich jedoch bei einer anschließend durchgeführten Maximalkraftmessung nicht signifikant von den „Non-Respondern“. Die Forschungsarbeit von Reardon, Hoffman, Mangine, Wells, Gonzalez, Jajtner, Townsend, McCormack, Stout, Fragala und Fukuda (2014)

untersuchte die Veränderung in der Muskelarchitektur nach einem Krafttraining mit unterschiedlichen Intensitäten. Dabei wurden Korrelationen zwischen der Zunahme des Muskelquerschnittes und der Steigerung der Muskelkraft ermittelt. Die Veränderung des Fiederungswinkels korrelierte dagegen leicht negativ mit der Muskelkraft und ist aus Sicht der Autoren vermutlich nicht für die Steigerung der Muskelkraft ausschlaggebend. Um weitere Erkenntnisse zur Funktionsweise der PAP zu erhalten, bedarf es hier weiterer Forschungsarbeiten. Basierend auf deren Ergebnissen, könnten möglicherweise auch in der Praxisanwendung weitere Fortschritte erzielt werden (Hodgson et al., 2005).

#### *PAP in der Trainingspraxis*

Für die Anwendung der PAP in der Trainingspraxis hat sich der Begriff des Komplextrainings etabliert. Das Komplextraining kombiniert moderate bis hochintensive gerätegestützte Kraft- oder Freihantelübungen mit bewegungs-technisch nahen plyometrischen Übungen (z.B. eine Langhantel-Kniebeuge in Kombination mit einem nachfolgenden Counter-Movement-Jump) innerhalb einer Trainingseinheit (Ebben, 2002). In der Praxis werden Kraft- und plyometrische Übungen alternierend in sogenannten Komplexpaaren durchgeführt. Diese Trainingsvariante wird in der Literatur als alternierende Methode bezeichnet (Wallenta, Granacher, Lesinski, Schönemann & Muehlbauer, 2016). Im Gegensatz dazu wird bei der blockweisen Variante innerhalb einer Trainingseinheit zunächst ein Trainingsabschnitt mit Kraftübungen durchgeführt, dem unmittelbar ein Trainingsabschnitt mit plyometrischen Übungen folgt (Lesinski et al., 2013). Diese Unterscheidungsform in der Trainingspraxis ist Gegenstand der aktuellen Forschung, wie zum Beispiel in der Studie von Wallenta et al. (2016). Demnach scheint das blockweise Training Vorteile gegenüber der alternierenden Methode zu besitzen; für eine globale Aussage mangelt es derzeit noch an der notwendigen Evidenz. Zur Einordnung der erzielten Trainingswirkungen von Studie II folgt im nächsten Abschnitt eine Übersicht der Ergebnisse vergleichbarer Studien. Dabei liegt der Fokus auf PAP-Effekten bei Sprintleistungen.

*Trainingswirkungen einer PAP*

Aktuelle Übersichtsarbeiten belegen, dass eine PAP zur Steigerung der Leistungsfähigkeit bei Lauf-, Wurf- und Sprungdisziplinen führt (Seitz & Haff, 2016). Zusätzlich können explosive Zug- und Druckbewegungen, die beispielsweise in diversen Kampfsportarten als leistungsbestimmende Merkmale angesehen werden, durch eine Voraktivierung gesteigert werden (Yilmaz, Gurses & Gulsen, 2018). Die aktuelle Studienlage belegt signifikante Leistungssteigerungen im Bereich der Sprungdisziplinen zwischen 3-7% (u.a. Esformes, Cameron & Bampouras, 2010; Gouvêa, Fernandes, César, Silva & Gomes, 2013). In Abhängigkeit zur Disziplin stellen verschiedene Forschungsarbeiten (u.a. Judge, Bellar, Craig, Gilreath, Cappos & Thrasher, 2016; Kontou, Berberidou, Pilianidis, Mantzouranis & Methenitis, 2018) signifikante Veränderungen in der Wurfweite von 1,3-4% fest. Veränderungen der Sprintleistungen unterscheiden sich je nach Testverfahren und Stichprobe deutlich und bewegen sich in einem Bereich zwischen 1,6-9%. In der Meta-Analyse von Seitz und Haff (2016) werden die Effektstärken, die den Einfluss einer PAP für die entsprechende Zielbewegung beschreiben, zusammengefasst (s. Abb. 23).

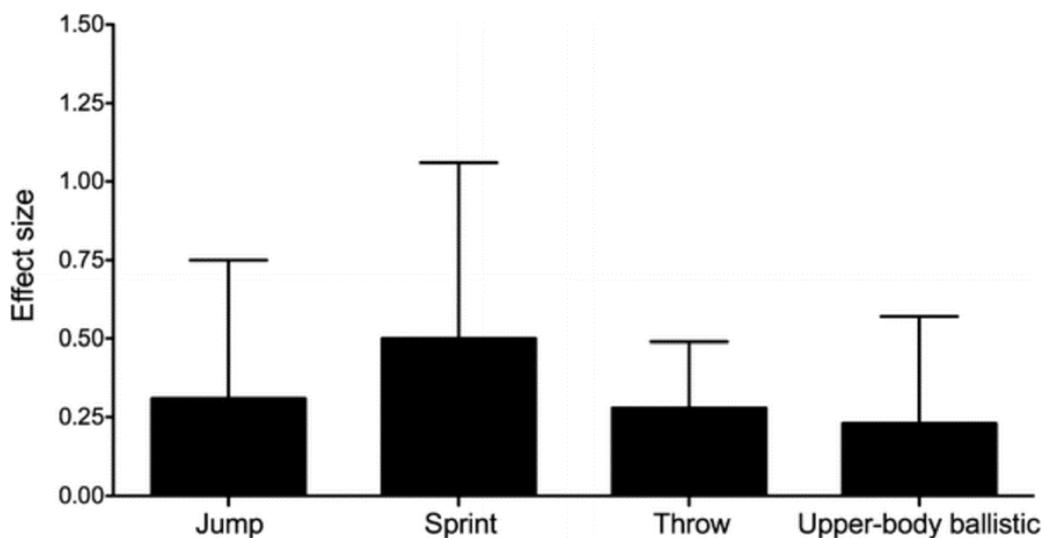


Abbildung 23: Effektstärken unterteilt nach Grundbewegungen. Angabe als Mittelwert und Standardabweichung (nach Seitz und Haff, 2016)

Demzufolge sind die größten Anpassungserscheinungen für Sprintleistungen zu erwarten. Sprung- und Wurfdisziplinen sowie explosive Schnellkraftleistungen des

Oberkörpers (explosives Bankdrücken) befinden sich hinter den Sprintleistungen ungefähr auf gleicher Ebene. Der Einfluss der ausgewählten Belastungsparameter auf die Effektivität einer PAP wird im folgenden Abschnitt dargestellt.

### *Dosis-Wirkungs-Beziehungen*

Für die Effektivität einer PAP können die Intensität der KA sowie die anschließende Pausendauer als entscheidend angesehen werden (DeRenne, 2010). Dabei steht die Länge der gewählten Pause in einer Wechselbeziehung mit der Intensität der KA, was zu Schwierigkeiten in der Bestimmung der exakten Pausenlänge führt. Nach Hodgson et al. (2005) tritt eine optimale Leistungssteigerung ein, wenn der Einfluss der Ermüdung geringer ist und die Leistungssteigerung der PAP überwiegt (s. Abb. 24).

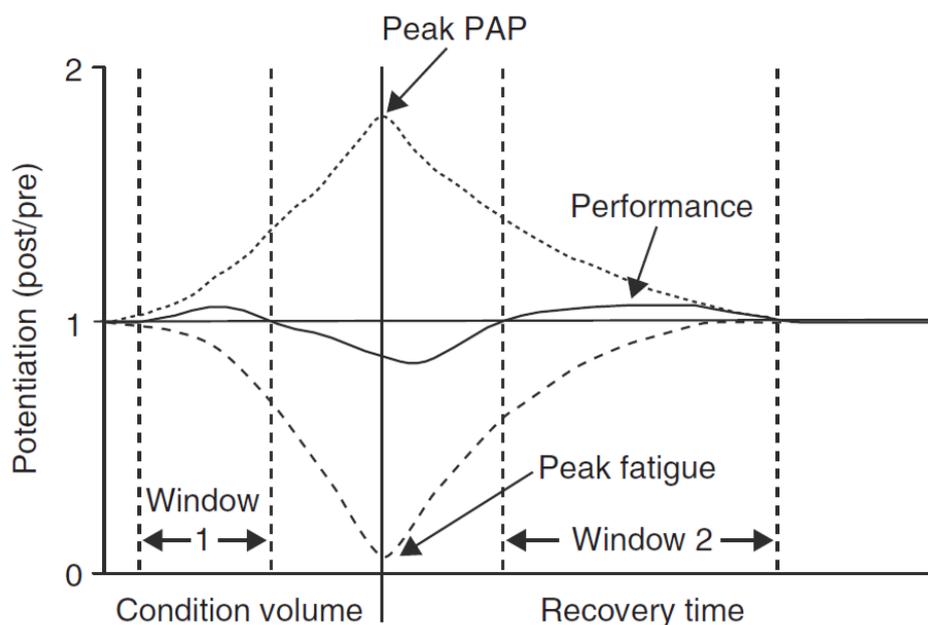


Abbildung 24: Zusammenhang zwischen Ermüdung und der PAP und die daraus resultierende Leistungssteigerung (nach Tillin & Bishop, 2009)

In ihrem hypothetischen Modell zum Zusammenhang zwischen Ermüdung und der PAP greifen Tillin und Bishop (2009) auf das globale zwei Faktoren Modell von Zaciorskij und Kraemer (2016, S. 33) zurück. Dieses Modell beschreibt die Adaptionen nach einem Training als Verhältnis von Leistungssteigerung und Ermüdung. In dem theoretischen Modell von Tillin und Bishop überwiegt in der ersten Phase, die den

Zeitraum der KA beschreibt, zu Beginn die Leistungssteigerung. Mit Anstieg der induzierten Last dominiert die Ermüdung. Zum Abschluss der KA erreichen sowohl Leistungssteigerung als auch Ermüdung ihre Maximalwerte. Aufgrund der höheren Ausprägung der Ermüdung führt dies zu einer verminderten Leistungsfähigkeit. In der Erholungsphase verläuft der Rückgang der Ermüdung schneller, so dass ab einem bestimmten Zeitpunkt die Leistungssteigerung überwiegt. Eine Pausendauer von 1-3 Minuten zeigt in den zugrundeliegenden Übersichtsarbeiten die geringste PAP-Leistungssteigerung. Der Zeitraum von 4-8 Minuten ermöglicht, nach aktuellem Stand der Wissenschaft, die größten Anpassungseffekte (Seitz & Haff, 2016; Tillin & Bishop, 2009). Der zeitliche Ablauf sowie die Höhe der Ausprägung von Ermüdung und Leistungssteigerung sind abhängig von der individuellen Vorraussetzung der zu trainierenden Person. Demnach erreichen „stärkere“ Athleten, die seit längerer Zeit Krafttraining betreiben, nach Seitz und Haff (2016) signifikant größere PAP-Effekte als „schwächere“ Athleten. Die individuelle Leistungsfähigkeit spiegelt sich auch in den signifikanten Unterschieden bei der Auswahl der Belastungsnormative wider. Während „starke“ Individuen eine signifikant höhere PAP-Leistung nach einem Einsatz-Training mit maximalen Lasten erzielen, erreichen „schwächere“ Individuen eine größere Leistungssteigerung nach einem Mehrsatz-Training mit submaximalen Widerständen. Des Weiteren belegen Tillin und Bishop (2009) einen signifikanten Unterschied zwischen der Art der Muskelarbeit während einer KA und der nachfolgenden PAP-Leistung: Demnach resultiert aus einer dynamischen Muskelarbeit eine größere Leistungssteigerung im Vergleich zu einer isometrisch ausgeführten KA. Aufgrund der dargelegten Erkenntnisse können die Belastungsnormative der KA im Zusammenspiel mit den individuellen Vorraussetzungen der Zielperson als entscheidende Kriterien der PAP festgehalten werden. Die optimale Relation aus Belastung und Erholung spielt nach aktuellem Wissensstand eine übergeordnete Rolle.

### 3.1.2 Forschungsstand/ Auswirkung einer PAP auf die Sprintleistung

Wie bereits im vorherigen Kapitel konstatiert, gibt es bisher nur eine äußerst begrenzte Anzahl an Studien, die ein Flywheel-Training als KA eingesetzt haben. Dieses Kapitel widmet sich daher den Auswirkungen einer konventionellen KA (Kniebeuge, Beinpresse) auf die Sprintleistung.

Zur Analyse der PAP-Studien wurden im ersten Schritt die Datenbanken PubMed, SPORTDiscus und Google Scholar durchsucht. Die systematische Suche beinhaltete Kombinationen aus zwei Teilbereichen: Teil 1 mit dem Fokus KA der Intervention und den Suchbegriffen: „PAP“, „post-activation potentiation“, „conditioning contraction“ und „conditioning activity“; Teil 2 mit den Outcome-Variablen: „sprint“, „10m sprint“, „change of direction“ „agility“. Nach diesem Verfahren wurden 37 Studien zur weiteren Analyse aufgenommen. Im zweiten Schritt wurde eine inhaltliche Prüfung anhand der in Tabelle 15 aufgeführten Ein- und Ausschlusskriterien vorgenommen. Schlussendlich wurden 9 Studien in die Analyse aufgenommen (s. Tab. 16). Die Darstellung der Ergebnisse der ausgewerteten Studien erfolgt sowohl deskriptiv (prozentuale Veränderung) als auch inferenzstatistisch (signifikante Veränderung und Angabe der Effektstärke).

Tabelle 15: Ein- und Ausschlusskriterien der Literaturrecherche Studie II

<b>Faktor</b>	<b>Einschlusskriterien</b>	<b>Ausschlusskriterien</b>
Art der Publikation	peer-reviewed	Kongressbeiträge, unveröffentlichte Arbeiten, graue Literatur
Stichprobengröße	>9 Probanden	<9 Probanden
Testverfahren	10m LNS, RWS	LNS>10m
Konditionierungsaktivität	KA mit Zusatzgewicht	KA mit Körpergewicht (z.B. Drop Jumps)
Belastungsnormative	Angabe von Intensität und Pausendauer	Keine Angaben zu Intensität und Pausendauer
Testverfahren	Valides Testverfahren zur Bestimmung von Kraft und Ausdauerleistung	Nicht abgrenzbares Testverfahren. z.B. Kraftmessung auf einem Ruderergometer

Tabelle 16: PAP Effekte bei Sprintleistungen über 10m und im Richtungswechselsprint

Studie	Stichprobe	Konditionierungsaktivität (KA)	Test	Pausendauer nach KA	Veränderung der Sprintzeit in %	Effektstärke <i>d</i>
Bevan et al. (2010)	16 Rugby-Sp. (LSP)	1x3 Wdh. KB 91% 1RM	10m LNS	8 min	-2,19%*	0.5
Chatzopoulos et al. (2007)	15 Ballsportler (AS)	10x1 Wdh. KB 90% 1RM	10m LNS	5 min	-2,65%*	1.96
Crewther et al. (2011)	9 Rugby-Sp. (LSP)	1x3 KB 93% 1RM	10m LNS	4 min	-1,8%*	2.55
Hoyo et al. (2015)	20 Fußball-Sp. (NLSP)	4x6 FWT maxPower	10m LNS	5 min	-0,2%	0.02
McBride et al. (2005)	15 Football Sp. (LSP)	1x3 Wdh. KB 90% 1RM	10m LNS	4 min	-1,39%	0.27
Sole et al. (2013)	10 LA (5m, 5w) (AS)	1x5,1x3,1x3 KB 50,60,90% 1RM	5x5 RWS	8 min	-2,27%	0.18
Till und Cooke (2009)	12 Fußball-Sp. (NLSP)	1x5 KH 5RMmax	10m LNS	5 min	-1,12%*	0.85
Turner et al. (2015)	23 College Sp. (AS)	Wechselsprünge 3x10, 10% ZL	10m LNS	4 min	1,6%*	0.87
Yetter und Moir (2008)	10 College Sp. (AS)	1x5,1x4,1x3 KB 30,50,70%	10m LNS	4 min	0,56%	0.11

Sp., Spieler; LSP, Leistungssport; NLSP Nachwuchs-Leistungssport; AS, Amateur-Sport; Wdh., Wiederholungen; KB, Kniebeuge; FWT, Flywheel-Training; maxPower, maximale Leistung; KH, Kreuzheben; LNS, Linear-Sprint; RWS, Richtungswechselsprint; min, Minuten

Wie aus Tabelle 16 hervorgeht, setzten sich die Stichproben überwiegend aus Sportlern zusammen, wovon etwas mehr als die Hälfte aus (Nachwuchs-)Leistungssportlern bestand. Nur die Arbeit von Sole et al. untersuchte eine Gruppe aus Leichtathleten. Der etwas geringere Teil der Stichproben bestand aus Amateursportlern mit langjähriger Krafttrainingserfahrung. Dabei untersuchten 6 der 9 Arbeiten Distanzen zwischen 5-40m. Für diese Studien wurde jeweils die 10 Meter Zwischenzeit angegeben. Differenzierte eine Studie die Effekte verschiedener Pausenlängen nach einer KA, so wurde diejenige Pausenlänge angegeben, die die größten Effekte aufweisen konnte. 6 der 9 Studien verwendeten ein Langhantel-Kniebeuge als KA. Die Untersuchung der Forschergruppe um Hoyo et al. verwendete ein Flywheel-Training als KA und grenzt sich mit diesem Alleinstellungsmerkmal von den restlichen Untersuchungen ab. Die ausgewählten Belastungsnormative unterscheiden sich teilweise erheblich. Während sich die Studien von Bevan, Cunningham, Tooley, Owen, Cook und Kilduff (2010) sowie Till und Cooke (2009) eine Einsatz-KA mit 3-5 Wdh. konzentrierten, fand in den restlichen Untersuchungen ein KA mit mehreren Sätzen Anwendung. Die Intensitäten lagen dabei zwischen 30-93%. Die Länge der absolvierten Pause ordnet sich zwischen 4-8 Minuten ein. Mit Ausnahme der Studien von Turner, Bellhouse, Kilduff und Russell (2015) sowie Yetter und Moir (2008), ermittelten alle Studien quantitative Verbesserungen zwischen 0,2-2,65%. Dabei konnten 5 von 9 Studien einen signifikanten Unterschied in der Sprintleistung über 10 Meter nach einer KA belegen. Die Arbeit von Hoyo et al. (2015) konnte keine signifikante Veränderung der Sprintleistung ermitteln. Die Effektstärken bewegen sich hier auf einem mittleren bis hohen Niveau ( $d=0,5-2,55$ ). Äquivalent zu den Erkenntnissen der Dosis-Wirkungs-Beziehungen weisen diejenigen Studien mit annähernd maximalen Trainingslasten und einer geringeren Anzahl an Wiederholungen tendenziell größere Anpassungseffekte auf. Obwohl die Anpassungseffekte bei den Sprintleistungen quantitativ gering erscheinen, kann ein PAP unter Berücksichtigung der Stichproben-Qualität und den partiell hohen Effektstärken als wirksame Trainingsmethode betrachtet werden. Inwiefern die Ergebnisse einer konventionellen PAP-KA mit einer FWT-KA vergleichbar sind, soll mit Hilfe von Studie II geklärt werden.

### 3.1.3 Synthese

Ausgangspunkt der von Studie II sind die bereits in der Einleitung konstatierten Forschungsdefizite im Bereich der PAP-Wirkungen bei Sprintleistungen nach einer FWT-KA. Dabei wird in dieser Studie erstmals die Auswirkungen einer FWT-KA auf die Leistung in einem 180 Grad RWS über 5m überprüft. Der Hauptgrund für die Durchführung eines 180 Grad RWS liegt in der ausgewählten Bewegungsform der KA. Wie bereits beschrieben, sind PAP-Effekte in der Zielbewegung zu erwarten, deren beanspruchte Muskulatur zuvor in ähnlicher Kontraktionsform aktiviert wurde. Die in dieser Studie durchgeführte Kniebeuge auf einem Flywheel-Trainingsgerät induziert eine Überlast, die in der exzentrischen Phase abgebremst werden muss. Diese Belastungsform ähnelt der Bewegungsausführung, auf die bei der Ausführung reaktiver Bewegungen in einem Richtungswechsel zurückgegriffen wird (Jones, Bampouras & Marrin, 2009; W. Young, James & Montgomery, 2002). Da bei einem 180 Grad RWS eine vollständige Änderung der Bewegungsrichtung erfolgt und es demnach zu einer reaktiven Belastung der an der Bewegung beteiligten Kniemuskulatur kommt, sind hier PAP-Effekte aus Sicht des Autors zu erwarten. Des Weiteren wird ähnlich der Studie von Hoyo et al. (2015) die lineare Sprintleistung über 10m überprüft. Hierbei finden jedoch unterschiedliche Belastungsparameter (Einsatz- vs. Mehrsatz-KA) Anwendung, für die im Forschungsstand in klassischen PAP-Protokollen ein Einfluss auf die PAP-Effekte nachgewiesen werden konnte. Zur Beantwortung der offenen Fragen im Bereich der PAP-Wirkungen eines FWT wurden folgenden Forschungsfragen formuliert:

1. Gibt es Auswirkungen einer FWT-KA auf die Sprintleistung in einem 10m LNS bei Fußball-Nachwuchsleistungssportlern?
2. Wirkt sich eine FWT-KA auf die Sprintleistung in einem 5m RWS bei Fußball-Nachwuchsleistungssportlern?
3. Besteht ein Zusammenhang der zusätzlichen erhobenen Messdaten während der FWT-KA, wie beispielsweise der exzentrischen Peak-Power (exPP), mit den erhobenen Parametern der Sprintleistung?

## Studie II

### Forschungsstand

---

Die Forschungsfragen I und II zielen auf die primäre Fragestellung von Studie II ab. Die Forschungsfrage III versucht, Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Sprintleistung sowie den während des FWT ermittelten Leistungsparametern herzustellen.

### 3.2 Methodik

In der kontrollierten, randomisierten Studie mit cross-over Design wurden Nachwuchsleistungssportler der U17 sowie U19 Bundesliga-Mannschaft des Karlsruher SC untersucht. Im Fokus der Interventionsstudie, stand die Auswirkung einer Flywheel-Training-Konditionierungsaktivität (FWT-KA) auf die Sprintleistung in einem 10m-Linearsprint-Test sowie einem 5m-Richtungswechselsprint-Test

Die Testmessungen fanden im laufenden Trainingsbetrieb beider Mannschaften statt. An den Testtagen absolvierten die Probanden bis zum Start der Testung keine Trainingseinheiten. Um die Effekte externer Einflüsse (unterschiedliche Vorbelastungen an den Tagen vor den Testmessungen, Temperaturunterschiede während der Outdoor-Messung, etc.) zu minimieren, erfolgte im ersten Schritt eine randomisierte Zuteilung der Probanden in die Flywheel-Trainings-Gruppe (FWT-Gruppe) oder Standard-Warm-Up-Gruppe (SWU-Gruppe). Nach der ersten Testwoche wurde ein Wechsel der Gruppeneinteilung vollzogen. In dem ausgewählten Studiendesign (s. Tab.17) bildet jeder Proband somit seine eigene Kontrollgruppe. Da im Trainingsalltag der Nachwuchsleistungssportler nur ein begrenzter Zeitrahmen zur Verfügung stand, erstreckte sich der gesamte Messzeitraum über insgesamt zwei Wochen.

Tabelle 17: Cross-over Design

	Testzeitraum I		Testzeitraum II
<b>FWT-Gruppe</b>	Proband A	„washout“	Proband D
	Proband B		Proband F
	Proband C		Proband G
<b>SWU-Gruppe</b>	Proband D		Proband A
	Proband F		Proband B
	Proband G		Proband C

FWT, Flywheel-Training-Gruppe; SWU, Standard Warm-Up-Gruppe

#### 3.2.1 Stichprobe

Aufgrund der Erkenntnisse aus dem aktuellen Forschungsstand wurden für die Auswirkung der FWT-KA von Studie II mittelgroße PAP-Effekte auf die Sprintleistung ( $d=.5$ ) nach Cohen (1988) erwartet. Eine Poweranalyse mit G\*Power3.1 (Faul et al., 2009) ergab für einen T-test für abhängige Stichproben, bei erwarteter Effektstärke

von  $d=.5$ , einem festgelegten Alpha-Niveau von  $\alpha=.05$  und einer festgelegten Power von  $\beta=.90$  einen optimalen Stichprobenumfang von 36 Personen.

An der Interventionsstudie nahmen insgesamt 40 männliche Nachwuchsleistungssportler der U17 sowie U19 Bundesliga-Mannschaft des Karlsruher SC teil. Spezifischen Daten zu Alter, Körpergewicht, Körpergröße und Body-Mass-Index (BMI) können Tabelle 18 entnommen werden. Aufgrund von Verletzungen oder Krankheiten mussten 4 Probanden die Untersuchung vorzeitig abbrechen; somit wurden 36 Probanden in die Auswertung aufgenommen.

Tabelle 18: Stichprobe

	<b>MW</b>	<b>SD</b>
Alter (Jahren)	17,6	$\pm 0,86$
Größe (cm)	181,15	$\pm 5,45$
Gewicht (kg)	72,26	$\pm 5,84$
BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	22,01	$\pm 1,38$

BMI; body mass Index, MW, Mittelwert; SD, Standardabweichung

Für die Studie lag eine Genehmigung des Institutional Review Board vor. Die Teilnehmer wurden im Voraus über die Teilnahmebedingungen, Rücktrittsmöglichkeiten sowie die Risiken der Studie schriftlich aufgeklärt. Eine schriftliche Einverständniserklärung der Teilnehmer bzw. eines Erziehungsberechtigten waren Grundvoraussetzung zur Teilnahme an der Studie. Die zugehörigen Teilnehmerunterlagen befinden sich im Appendix dieser Arbeit

### 3.2.2 Intervention

Beide Gruppen absolvierten ein standardisiertes Aufwärmprogramm (SWU) vor Beginn der jeweiligen Sprinttestung. Das Aufwärmprogramm umfasste drei Bereiche: In der ersten Phase liefen die Probanden bei mäßigem Tempo innerhalb eines Korridors von 30 Metern über einen Zeitraum von 5min. Anschließend folgten 6 komplexe Grundübungen aus einem Lauf ABC (u.a. Wechselsprünge, Kniehebeläufe), die den Probanden aus dem alltäglichen Trainingsbetrieb bekannt sind. In der dritten Phase wurden kurze submaximale Linearsprints sowie Richtungswechselsprints

über Distanzen von 5-10m absolviert. Daran schloss sich eine Pause von 5min bis zum Start der Testmessung (SWU) bzw. bis zum Beginn der Konditionierungsaktivität (FWT) an.

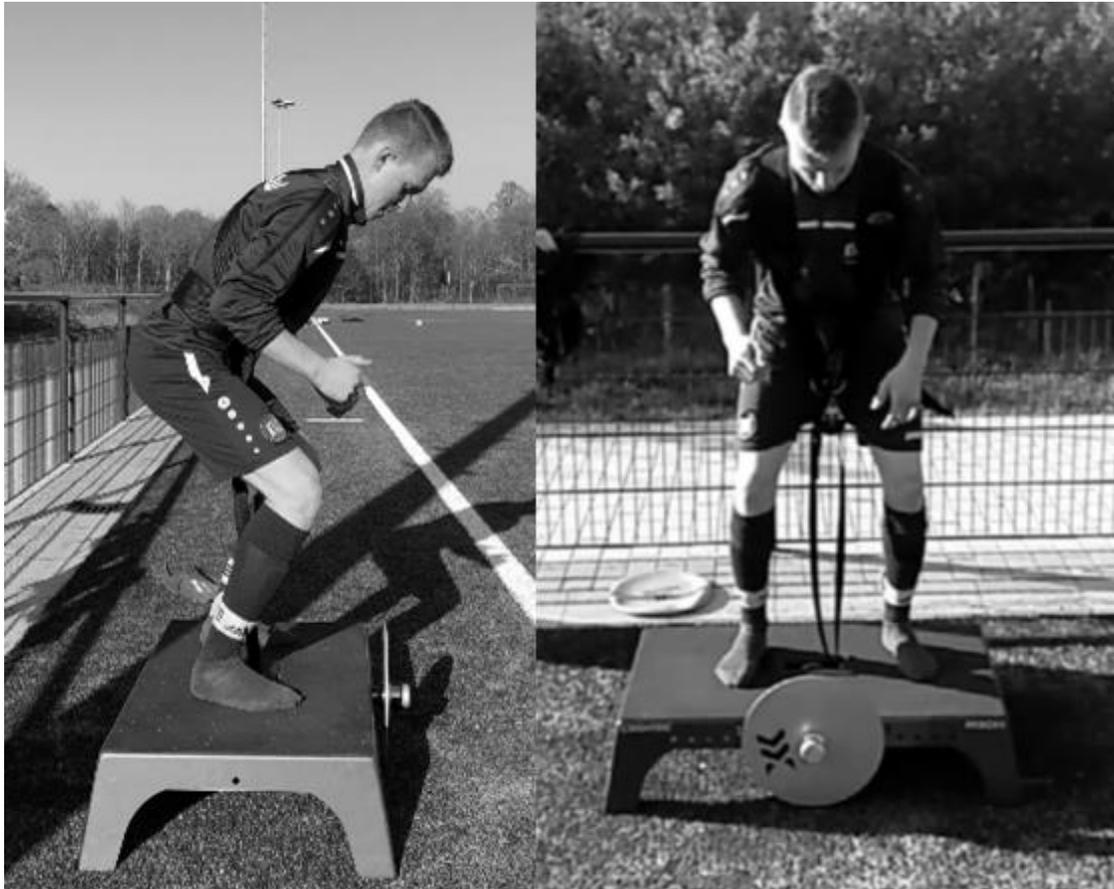


Abbildung 25: Flywheel-KA

Die KA wurde an einem Flywheel-Trainingsgerät (Kbox4, Exxentric AB, Schweden) mit einer  $0,05\text{kgm}^2$  Schwungscheibe durchgeführt. Dabei führten die Probanden nach 2-3 Auftaktwiederholungen 8 Wdh. mit maximaler Intensität durch. Die Probanden trugen zur Energieübertragung einen Harnisch, der die auftretenden Kräfte, ähnlich den Gurten eines Rucksacks, auf die Schultern verteilte (s. Abb. 25). Der Harnisch wurde über einen Karabiner mit dem Zugband der Kbox4 verbunden. Die Teilnehmer wurden zuvor instruiert, ihre maximale Leistungsfähigkeit abzurufen und die Kniebeugen bis zu einer Tiefe von ca. 90 Grad durchzuführen. Vor Beginn der KA wurde das Zugband der Kbox4 so eingestellt, dass der Umkehrpunkt der Bewegung bei vollständiger Kniestreckung erfolgen kann. Alle Probanden trainierten vor dem

Messzeitraum im Rahmen des Mannschaftstrainings mit dem Flywheel-Trainingsgerät, um sich an den ungewohnten Bewegungsablauf mit exzentrischer Überlast zu gewöhnen.

### 3.2.3 Testverfahren



Abbildung 26: kombinierter 15 Meter Sprinttest (5-0-5 Test)

Aktuelle fußballspezifische Testbatterien umfassen neben den Linearsprinttests (5, 10, 20 und 30m), Sprintwiederholungstests (4, 6 oder 8x30m) und Richtungswechseltests (45, 60, 180 Grad) auch Testverfahren zur sportartspezifischen Gewandtheit (Di Mascio, Ade, Musham, Girard & Bradley, 2017). Die Gewandtheitstests werden unter dem Oberbegriff der in Kapitel 3.4.1 beschriebenen Agility eingeordnet. Demnach umfasst die Agility neben schnellen Richtungswechseln auch die Reaktionsfähigkeiten auf externe Einflussfaktoren (Sheppard & Young, 2006). Die Reaktionsfähigkeit auf externe Stimuli wird neben physiologischen Parametern auch maßgeblich von der kognitiven Leistungsfähigkeit bestimmt (Young, Dawson & Henry,

2015). Unter einer rein physiologischen Betrachtungsweise der körperlichen Leistungsfähigkeit stellen kognitive Leistungsunterschiede potentielle Störvariablen dar, die nicht durch die manipulierende Variable beeinflusst werden können. Aus diesem Grund wurde der Fokus der Studie auf die Veränderung der überwiegend konditionell bestimmten Sprintleistung gerichtet. Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, steht bei der Auslösung einer PAP nur ein gewisses Zeitfenster (4-8 min) zur Verfügung, in dem eine potentielle Leistungssteigerung zu erwarten ist. Berücksichtigt man den Zeitbedarf einzelner Leistungstest aus einer umfassenden Testbatterie, liegt der Zeitaufwand inklusive der benötigten Pausen zur vollständigen Erholung weit über dem zuvor genannten Zeitfenster. Da bei einer mehrmaligen Durchführung einer Konditionierungsaktivität ein Überlagerungseffekt mit der vorherigen PAP nicht ausgeschlossen werden kann, wurde eine wiederholte Auslösung der PAP aufgrund der mangelnden wissenschaftlichen Evidenz ausgeschlossen. In Folge dieser Einschränkungen und den zuvor ausgeschlossenen Testverfahren wurde mit einem modifizierten 5-0-5 Test nach Draper und Lancaster M.G. (1985) die lineare Sprintleistung über 10m sowie die Leistung in einem 5m Richtungswechselsprint überprüft. Der 5-0-5 Test gilt als valides Messsystem für Richtungswechselbewegungen >1m (Sayers, 2015) und wurde mehrfach in Studien eingesetzt, die Sprintleistungen im Fußball analysierten (u.a. Emmonds, Nicholson, Begg, Jones & Bissas, 2019; Yanci, Los Arcos, Mendiguchia & Brughelli, 2014) Die folgenden Studienerkenntnisse unterstützen die Praxisrelevanz des angewandten Testverfahren. Nach den Ergebnissen der Übersichtsarbeit von Stølen et al. (2005) sind die Hälfte aller Sprintaktionen im modernen Fußball kürzer als 10 Meter und bewegen sich folglich im Bereich der Antrittsschnelligkeit. Schlumberger (2006) bezeichnet die Antrittsschnelligkeit als elementare Ausprägung der Sprintleistung im Fußball. Eine Bestätigung dieser Aussage liefern Cometti, Maffiuletti, Pousson, Chatard und Maffulli (2001), die in ihrer Untersuchung die Leistungsparameter zwischen Profi-Fußballspielern und Amateurspielern verglichen. Demnach stellen 10m Sprintzeiten einen stärkeren Prädiktor zur Trennung zwischen Amateur- und Profifußballern dar als die Sprintzeiten über 20 oder 30 Meter. In den häufigsten Spielsituationen weist das

Sprintverhalten im Fußball keine lineare Richtung auf. Stølen et al. (2005) bestätigen ca. 1300 Richtungsveränderungen eines Spielers in 90 Minuten. Nach Wisløff et al. (2004) finden dabei bis zu 50 Richtungswechsel mit maximalen Intensitäten statt. Die Fähigkeit zu schnellen Richtungswechseln stellt demzufolge einen weiteren leistungsdeterminierenden Faktor des Fußballspiels dar (Schlumberger, 2006). Die Steigerung dieser Fähigkeit sollte nach Chaouachi, Manzi, Chaalali, Wong, Chamari und Castagna (2012) Schwerpunkt eines fußballspezifischen Athletiktrainings sein. Wie dem Forschungsstand in Kapitel 3.1.2 zu entnehmen ist, konnten bisherige Studien PAP-Steigerungen in der Sprintleistung über 10m erzielen. Zusammenfassend bilden die ausgewählten Sprintleistungstests elementare Fähigkeiten des modernen Fußballs mit einem hohen Bezug zur Trainingspraxis ab.

#### *Aufbau und Ablauf des Sprinttests*

Der kombinierte 15m Sprintest wurde auf einem Kunstrasen innerhalb der Trainingsanlage des Karlsruher SC absolviert. Entlang der 15m langen Teststrecke wurden zwei Lichtschrankenpaare (Smartspeed, Fusion Sport, Australien) an der Startlinie und nach einer Distanz von 10 Metern platziert (s. Abb. 27).

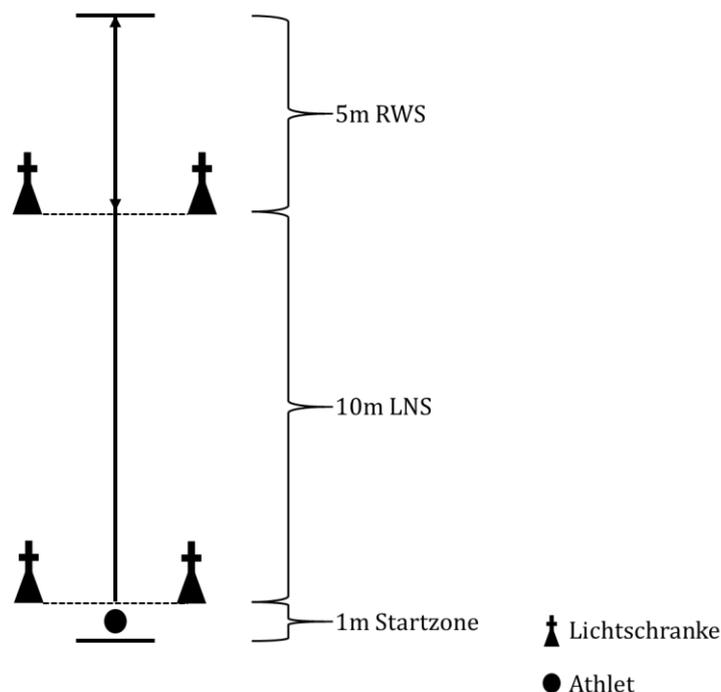


Abbildung 27: Testaufbau des kombinierten 15m Sprinttest

Das Ende der Teststrecke (Umkehrpunkt für den RWS) wurde mit einer Linie und zwei Hütchen markiert. Die Probanden starteten dabei in Schrittstellung aus dem Stand. Der vordere Fuß stand unmittelbar hinter der Startlinie, das hintere Bein befand sich innerhalb der 1m-Startzone. Nach der Freigabe durch das Messsystem konnten die Probanden den Startzeitpunkt selbst bestimmen. Die Studienteilnehmer liefen dabei im höchstmöglichen Tempo in den Korridor des RWS hinein, um dort nach vollzogenem Richtungswechsel von 180 Grad bis zur zweiten Lichtschranke zurück zu sprinten. Das zweite Lichtschrankenpaar ermittelte sowohl die Zeit nach der ersten Unterbrechung (0-10m LNS) als auch nach dem zweiten Auslösen (5m RWS). Jede Messung wurde von zwei geschulten Personen überwacht. Eine Person war für die Zeitaufnahme zuständig und kontrollierte die korrekte Startausführung. Die zweite Person überprüfte am Ende des RWS-Korridors, ob die Probanden das mit einer Linie gekennzeichnete Ende des Korridors erreichten. Alle Probanden absolvierten zwei Durchgänge mit einer Pausendauer von 2min. Der Bestwert aus den Durchgängen wurde in die Untersuchung aufgenommen. Jeder Proband trug während der Testmessung einen programmierbaren Timer bei sich, der die jeweiligen Start- und Pausenzeiten akustisch signalisierte. Um einen Übungseffekt auszuschließen, absolvierten die Probanden in den Wochen vor der Leistungsmessung die Testsituation im Rahmen ihres regulären Trainings (ohne Zeitmessung).

#### *Leistungsmessung der Flywheel Konditionierungsaktivität*

Die Ermittlung der exzentrischen Peak-Power (exPP) sowie der konzentrischen Peak-Power (konPP) konnte während der KA mit einem in der Kbox4 eingebauten Sensor ermittelt werden. Dieser sendet drahtlos in Echtzeit die ermittelten Werte an die kMeter-Software (Exxentric AB, Schwenden). Die Leistungswerte werden aus der zurückgelegten Strecke der Masse pro Zeit berechnet und resultierend in Watt angegeben. In der Ergebnisdarstellung werden die Muskelleistung normalisiert auf das Körpergewicht dargestellt (exPP/kg, konPP/kg). Die Kbox4 wurde mit der dazugehörigen Software in einer Studie von Weakley, Fernández-Valdés, Thomas, Ra-

mirez-Lopez und Jones (2019) einer Validitätsprüfung unterzogen. Für die gemessenen Werte wurden hohe bis perfekte Korrelationen zu den Werten der Vergleichsmessung (zwei Kraftmessplatten unterhalb der Kbox4) ermittelt.

### 3.2.4 Statistik

Die erhobenen Werte der Sprintmessungen sowie ID, Alter, Körpergröße, Körpergewicht und Body-Mass-Index wurden in einem Microsoft Excel 2013 Datenblatt zusammengeführt. Die deskriptive sowie inferenzstatistische Auswertung erfolgte über IBM SPSS (Version 24.0; IBM SPSS, Chicago). Bei der Berechnung der deskriptiven Statistik wurden Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Um einen Sequenzeffekt im cross-over Design auszuschließen, wurde eine ANOVA mit Messwiederholung berechnet. Als Innersubjektfaktor wurde die jeweilige Sprintleistung definiert. Der Faktor Gruppeneinteilung (FWT vs. SWU) wurde als Zwischensubjektfaktor festgelegt. Die Überprüfung der PAP-Effekte erfolgte anhand eines T-tests für gepaarte Stichproben. Die Normalverteilung wurde anhand des Shapiro-Wilk-Test überprüft. Die Effektstärken wurden nach Cohen (1988) berechnet und als kleiner ( $d < .20$ ), mittlerer ( $d = .50$ ) oder größer ( $d = .80$ ) Effekt klassifiziert. Zur Überprüfung der Zusammenhänge zwischen den Sprintzeiten und den ermittelten Maximalkraftwerten wurde eine Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson gerechnet. Der Korrelationskoeffizient  $r$  wurde nach Cohen (1988) als geringe Korrelation ( $r = .10$ ), moderate Korrelation ( $r = .30$ ) oder starke Korrelation ( $r = .50$ ) eingeordnet.

### 3.3 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse in diesem Kapitel orientiert sich an den in Kapitel 3.1.3 aufgestellten Forschungsfragen. Im ersten Abschnitt werden die Veränderungen der Sprintleistung dargestellt. Der folgende Teil stellt die Überprüfung der Zusammenhänge zwischen der erhobenen Sprintleistung sowie der maximalen konzentrischen bzw. exzentrischen Muskelleistung dar. Um einen Sequenzeffekt (Reihenfolgeeffekt FWT-KA, SWU vs. SWU, FWT-KA) im cross-over Design auszuschließen, wurde für die Veränderung der Sprintleistung eine ANOVA mit Messwiederholung berechnet. Sowohl für den 10m LNS ( $p=.571$ ) als auch für den 5m RWS ( $p=.263$ ) wurden keine signifikanten Unterschiede ermittelt. Es gab also keine auf dem Effekt der Sequenzierung beruhenden Veränderungen der Sprintleistung. Demzufolge sind auch keine Einschränkungen bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

#### 3.3.1 Auswirkung der FWT-KA auf die Sprintleistung

Tabelle 19: Auswirkung der FWT-KA auf die Sprintleistung

	<b>M</b>	<b>SD</b>	$\Delta\%$	<b>T</b>	<b>p</b>	<b>d</b>
10m LNS SWU (sec)	1,84	0,06				
10m LNS FWT KA (sec)	1,85	0,07	0,54%	-,581	,565	-,153
5m RWS SWU (sec)	2,25	0,11				
5m RWS FWT-KA (sec)	2,19	0,10	-2,67%	3,983	<0,001	,571

\* $p<.05$ ; 10m LNS, 10 Meter Linearsprint; 5m RWS, 5 Meter Richtungswechselsprint; SWU, Standard Warm-Up; FWT-KA, Flywheel-Training Konditionierungsaktivität; sec, Sekunden; M, Mittelwert; SD Standardabweichung

Der Vergleich der beiden Konditionierungsaktivitäten in Bezug auf die Sprintleistung wird in Tabelle 19 dargestellt. Für die lineare Sprintleistung über 10m konnte kein signifikanter Unterschied ( $p=0.565$ ) zwischen dem SWU und dem SWU+FWT-KA festgestellt werden. Die Ergebnisse aus dem 5m Richtungswechselsprint belegen einen signifikanten Unterschied ( $p<.001$ ,  $T=3.983$ ,  $d=.571$ ) zwischen dem SWU und dem SWU+FWT-KA. Dabei benötigten die Probanden nach der FWT-

KA durchschnittlich 0,06 Sekunden weniger für den 5m RWS, was einer Differenz von 2,67% entspricht.

### 3.3.2 Zusammenhang zwischen der maximalen Muskelleistung und der Sprintleistung

Tabelle 20: Zusammenhang zwischen der maximalen Muskelleistung und der Sprintleistung. Dargestellt als Korrelationskoeffizient r

	10-m LNS	5-m RWS	exPP/kg	konPP/kg
10m LNS	1	.266	-.251	0.122
5m RWS	.266	1	-.357*	-.203
exPP/kg	-.251	-.357*	1	.640*
konPP/kg	.122	-.203	.640*	1

p<.05; 10m LNS, 10 Meter Linearsprint; 5m RWS, 5 Meter Richtungswechselsprint; exPP exzentrische Peak Power; konPP, konzentrische Peak Power

Tabelle 20 stellt den Korrelationskoeffizient r für die aufgeführten Paare dar. Signifikante Zusammenhänge sind durch einen Stern markiert. Folgende Ergebnisse können somit festgehalten werden. Zwischen der maximalen konzentrischen Peak-Power (konPP) und den Sprintleistungen über 10m(linear) und 5m (RWS) konnte in der vorliegenden Studie keine Zusammenhänge ermittelt werden. Des Weiteren konnte für die exzentrische Peak-Power (exPP) keine signifikante Korrelation mit den Ergebnissen des 10m LNS belegt werden. Zwischen der exPP/kg und dem 5m RWS besteht dagegen ein signifikanter negativer Zusammenhang mit einer moderaten Effektstärke ( $r=-.357$ ). Demnach korreliert eine hohe exPP mit einer niedrigen Sprintzeit auf moderater Ebene.

### 3.4 Diskussion

Das Kernziel von Studie II besteht aus der Fragestellung, wie sich eine FWT-KA auf die Sprintleistung bei Nachwuchsleistungssportlern im Fußball auswirkt. Dabei wurde erstmalig die Auswirkung einer FWT-KA auf die Leistung in einem 180 Grad RWS überprüft. Zusätzlich wurde der Zusammenhang zwischen der maximalen Muskelleistung während der KA und den erhobenen Sprintzeiten überprüft. Folgende zentrale Befunde wurden dabei ermittelt: Eine FWT-KA führt zu (1) keiner Verbesserung der Sprintleistung in einem 10m LNS; (2) einer Verbesserung der Sprintleistung in einem 180 Grad RWS über 5m. Des Weiteren konnte ein moderater Zusammenhang zwischen der während der KA gemessenen exPP und der Sprintleistung in einem 180 Grad RWS über 5m ermittelt werden. Die konPP scheint nach den Erkenntnissen dieser Untersuchung keinen Einfluss auf die erhobenen Sprintleistungen zu besitzen. Die zentralen Erkenntnisse dieser Studie werden in den folgenden Abschnitten differenziert betrachtet.

#### *Auswirkungen einer FWT-KA auf die Sprintleistung*

Wie aus den Ergebnissen in Kapitel 3.3.1 hervorgeht, kann für den 10m LNS keine Steigerung der Leistungsfähigkeit nach einer FWT-KA bestätigt werden. Dieses Ergebnis steht in einer Linie mit der Untersuchung von Hoyo et al. (2015) und im Kontrast zu den Studien von Bevan et al. (2010) sowie Crewther, Kilduff, Cook, Middleton, Bunce und Yang (2011), die signifikante Unterschiede nach einer Langhantel-Kniebeuge-KA auf Leistungssportniveau ermitteln konnten. Die Studien von Bevan et al. (2010) und Crewther et al. (2011) verwendeten eine KA mit hohen bis maximalen Intensitäten und 1-3 Wdh. Bei der klassischen Ausführung der Kniebeuge kommt es dabei zu keiner exzentrischen Überlast. Leider liegen für diese Studien keine Auswertungen der aktivierten Muskulatur vor; Ergebnisse vorheriger Untersuchungen (u.a. Gullett, Tillman, Gutierrez & Chow, 2009; Marchetti, Jarbas da Silva, Jon Schoenfeld, Nardi, Pecoraro, D'Andréa Greve & Hartigan, 2016) belegen jedoch eine deutlich erhöhte Aktivierung der Knieextensoren. Die mit Studie II vergleichbare Untersuchung von Hoyo et al. (2015) verwendete ebenfalls eine FWT-KA, jedoch mit einem größeren Massenträgheitsmoment ( $0,22 \text{ kgm}^2$  vs.  $0,05 \text{ kgm}^2$ ) und

einer höheren Anzahl an Wiederholungen (4x6 vs. 1x8). Ein kleineres Trägheitsmoment ermöglicht größerer Beschleunigungen und Bewegungsgeschwindigkeiten. Ein höheres Trägheitsmoment verursacht ein größere exzentrische Überlast mit höheren Trägheitswiderständen (Tous-Fajardo, Maldonado, Quintana, Pozzo & Tesch, 2006). Trotz der unterschiedlichen Belastungsnormative konnte weder in der Studie von Hoyo et al. (2015) noch in dieser Untersuchung eine Leistungssteigerung, wie sie in den Studien von Bevan et al. (2010) und Crewther et al. (2011) in einem 10m LNS erzielt wurde, belegt werden. Eine mögliche Erklärung liefert die Übersichtsarbeit von Young, Benton und Pryor (2001), in der die Energiebeiträge der Muskulatur innerhalb einzelner Sprintphasen sowie diversen Laufgeschwindigkeiten untersucht wurden. Die Forschergruppe kommt zum Ergebnis, dass bei kurzen Sprintdistanzen bis 10m die Muskelleistung der Knieextensoren entscheiden ist. Mit zunehmender Geschwindigkeit und der damit verbundenen größeren Schrittlänge, steigt nach den Erkenntnissen der Untersuchung der Beitrag der Knieflexoren. Mero und Komi (1986) unterstützen diese Aussage durch EMG-Messungen der unteren Extremitäten, die höchste Aktivitäten der Hamstring-Muskulatur ab einer Distanz von 30 Metern belegen. Young et al. (2001) bestätigen zusätzlich die Dominanz reaktiver Muskelleistungen ab einer Sprintstrecke von 30 Metern sowie bei schnellen Richtungswechseln. Setzt man diese Erkenntnisse in Verbindung mit der erhöhten neuromuskulären Aktivierung der Knieflexoren durch die exzentrische Überlast einer FWT-KA, ist das Ausbleiben einer Leistungssteigerung aus physiologischer Sicht plausibel.

Eine neue wissenschaftliche Erkenntnis liefert das Ergebnis des 180 Grad RWS über 5 Meter. Demnach kam es nach einer FWT-KA zu einer signifikanten Leistungssteigerung der Sprintleistung um 2,7%. Damit wird mit dieser Studie erstmalig ein PAP-Effekt durch eine FWT-KA auf einen 180 Grad RWS belegt. Die bereits erwähnte Studie von Hoyo et al. (2015) untersuchte zwar ebenfalls die Veränderungen in einem RWS nach einer FWT-KA, jedoch wurden dabei die Bodenkontaktzeiten in einem 45 Grad RWS überprüft. Aufgrund der divergenten Untersuchungsparameter ist ein Vergleich mit den Ergebnissen dieser beiden Studien nicht möglich. Im weitesten Sinne vergleichbar ist die Untersuchung von Sole, Moir, Davis und Witmer (2013),

die die Auswirkung einer klassischen Langhantel-KA (90% 1RM, 3 Wdh.) auf einen 180 Grad RWS über 5 Meter überprüfte. Dabei konnte jedoch keine signifikante Veränderung der Sprintleistung belegt werden. Aus rein physiologischer Sicht sollte sowohl für den 10m LNS als auch für den 5m RWS die Vergleichbarkeit mit den im Forschungsstand aufgeführten Studien kritisch hinterfragt werden. Mit Ausnahme der Studie von Hoyo et al. (2015) konnte keine weitere Studie ermittelt werden, die die Auswirkungen einer FWT-KA untersucht. Aus diesem Grund stützt sich der Forschungsstand auf Interventionsstudien, die im weitesten Sinne eine KA mit Zusatzlast nutzen. Wie bereits erwähnt, kommt es beim Flywheel-Training zu einer stärkeren Aktivität der Beinbeuger-Muskulatur (u.a. Chiu & Salem, 2006; Norrbrand et al., 2008), während es bei einer klassischen KA mit Zusatzgewicht zur einer erhöhten Voraktivierung der Kniestrecker-Muskulatur kommt. Gleichzeitig führt ein Flywheel-Training zu einer starken Aktivierung der leistungsdeterminierenden Strukturen der Reaktivkraft (Maroto-Izquierdo et al., 2017). Aufgrund der reaktiven Aktivierung durch die FWT-KA, war eine Steigerung der Sprintleistung im 5m RWS zu erwarten und konnte in Studie II bestätigt werden. Eine Veränderung der linearen Sprintleistung ist, nach aktuellem Stand der Forschung, durch eine KA in Form einer Kniebeuge mit Zusatzlast auch über kurze Distanzen möglich (Bevan et al., 2010; Crewther et al., 2011). Durch die erhöhte Aktivierung der Knieflexoren während einer FWT-KA, ist eine Leistungssteigerung auf längeren Sprintdistanzen auf theoretischer Basis wahrscheinlicher (Young et al., 2015). Eine wissenschaftliche Bestätigung dieser Annahme wurde bisher aber von keiner dem Autor bekannten Studie geliefert. Ob die Veränderungen der Sprintleistung in dieser Studie in Zusammenhang mit der konzentrischen sowie exzentrischen Muskelleistung stehen, wird im Folgenden erörtert.

#### *Zusammenhänge zwischen Muskel- und Sprintleistung*

Neben ihrer Funktion als KA diente das Flywheel-Trainingsgerät ebenfalls als Messsystem der maximalen konzentrischen und exzentrischen Muskelleistung. Wie den Ergebnissen zu entnehmen ist, konnte lediglich zwischen der exPP und dem 5m RWS eine signifikante Korrelation ( $r=-.0356$ ) ermittelt werden. Das negative Vorzeichen weist auf die Richtung des Effektes hin und stellt eine moderate Korrelation

zwischen einem hohen Wert für die exPP sowie einem kleinen Wert für die Sprintzeit dar. Die Ergebnisse bestätigen somit die theoretische Annahme aus dem vorherigen Abschnitt und belegen einen Zusammenhang zwischen der exzentrischen Muskelleistung und der Leistung in einem RWS. Demnach scheint die exPP einen leistungsbestimmenden Faktor für eine RWS darzustellen. Im Gegensatz dazu konnte kein Einfluss der exPP auf die lineare Schnelligkeit über 10m bestätigt werden. Hierbei stellt sich die jedoch die Frage, weshalb in Studie II kein Zusammenhang zwischen der konPP und den Sprintleistungen ermittelt werden konnte. Anhand der bereits dargestellten physiologischen Einflussfaktoren der verschiedenen Phasen einer Sprintleistung wäre ein Zusammenhang der konPP mit der linearen Sprintleistung über 10 Meter zur erwarten gewesen. Ein Grund für dieses Ergebnis könnte das Messsystem darstellen. Die Messung der exPP und konPP wurde während der KA gemessen. Durch die exzentrische Überlast könnte es zu einer Hemmung der konzentrischen Maximalkraftentwicklung gekommen sein, da die Probanden sich hauptsächlich auf das „Abfangen“ der Überlast konzentrierten. In zukünftigen Studie wäre es daher ratsam, eine von der KA getrennt durchgeführte Messung mit einer genauen Vorgabe zur maximalen konzentrischen und exzentrischen Bewegungsausführung anzuwenden. Ebenso könnte das gewählte Trägheitsmoment ( $0,05 \text{ kgm}^2$ ) die Entwicklung der maximalen konPP limitiert haben. Einen Hinweis darauf gibt die Studie von Martinez-Aranda und Fernandez-Gonzalo (2017), die einen signifikanten Rückgang der maximalen Power mit steigendem Trägheitsmoment bestätigt. Bei einem Trägheitsmoment von  $0,05 \text{ kgm}^2$  war dabei der größte prozentuale Rückgang zu verzeichnen, jedoch ist dieser Rückgang sowohl für die exPP als auch für konPP zu verzeichnen. Daher stellt dieser Aspekt ein rein hypothetisches Konstrukt dar, das auf Basis der bestehenden Literatur und den Ergebnissen dieser Studie nicht belegt werden kann.

Zusammenfassend liefert Studie II erstmalig Erkenntnisse für die Wirksamkeit einer FWT-KA auf die Sprintleistung im Bereich des Leistungssportes. Die Steigerung der reaktiven Schnelligkeitsleistung im ausgewählten RWS war auf theoretischer Basis zu erwarten und konnte in der Studie bestätigt werden. Eine Steigerung in einem 10m LNS konnte dagegen nicht belegt werden. Die Leistungsmessung während der

KA ergab einen moderaten Zusammenhang zwischen der exPP und der Leistung in einem RWS über 5m. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die exPP für die Veränderung der reaktiven Leistungsfähigkeit in einem RWS verantwortlich ist.

#### 3.4.1 Limitationen der Studie

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob die ausgewählte Sportart Fußball eine ideale Zielgruppe für eine PAP-Studie darstellt. Betrachtet man ausschließlich die Auswirkungen auf die wettkampforientierte Leistungsfähigkeit, erscheint der Nutzen in Spilsportarten, wie beispielsweise Handball, Basketball oder Fußball, gering. Hauptgrund hierfür ist der kurze Zeitraum von 5-10 Minuten, in dem der Effekt einer PAP genutzt werden kann. Eine größere wettkampforientierte Bedeutung einer PAP sollte in Sportarten bestehen, in denen eine maximale Leistung innerhalb eines kurzen Zeitraumes abgerufen werden muss, wie beispielsweise bei Sprintdisziplinen der Leichtathletik oder des Eisschnelllaufs. Erste Sportverbände reagierten bereits auf die zunehmende Verwendung von PAP-KA im Wettkampf. Dies führte zu Änderungen des Reglements in einigen Sportarten (z.B. Leichtathletik), die die Durchführung von Kraftübungen während der akuten Wettkampfvorbereitung im „Call-Room“ nicht mehr erlauben. Demzufolge erscheint die Nutzung des PAP-Effektes im Training besonders bedeutsam (vgl. Lesinski et al., 2013).

Aus methodischer Sicht stellt in erster Linie die eingeschränkte Auswahl an Sprinttestverfahren eine Limitierung von Studie II dar, da nur ein spezifischer Teil der Schnelligkeit abgeprüft werden konnte. Weiterhin würde eine separierte Messung von RWS und LNS die Aussagekraft dieser Studie erhöhen, indem eine eventuelle wechselseitige Beeinflussung (bspw. eine Reduktion in der Endphase des 10m LNS aufgrund des bevorstehenden RWS) ausgeschlossen werden könnte. Die Belastungsnormative für die KA dieser Studie wurden aus den Erkenntnissen des Forschungsstandes bestimmt. Diese Erkenntnisse stammen fast ausschließlich aus Studien, die eine anderweitige Form einer KA (Langhanteltraining, Gewichtsweste) verwendeten. Aus diesem Grund hätte eine Unterscheidung der PAP-Wirkungen nach verschiedenen Belastungsnormativen (Intensität, Umfänge, Pausengestaltung der KA) weitere Erkenntnisse liefern können. Dies war jedoch mit den zeitlichen

Ressourcen der Nachwuchsleistungssportler nicht vereinbar, sollte aber in zukünftigen Studien Berücksichtigung finden. Die Aufnahme einer weiteren KA in das Studiendesign, wie beispielweise eine Langhantelkniebeuge, könnte dabei einen direkten Vergleich zu bisherigen PAP-Studien ohne FWT-KA ermöglichen. Ein besseres Verständnis der physiologischen Auswirkungen des FWT könnten zusätzliche Messsysteme liefern. Die Untersuchung der Muskelaktivität (EMG), der Energiebeiträge (KMP+3D motion capture) sowie morphologischer Veränderungen (Ultraschall) könnten hier noch weitere wichtige Erkenntnisse liefern.

### 3.4.2 Schlussfolgerung und Fazit

Wie Lockie et al. (2018) in ihrer Meta-Analyse zu Auswirkungen von PAP-Effekten auf die Sprintleistung bekräftigen, besteht derzeit ein großes Defizit an Studien, die die Auswirkungen einer KA auf Leistungen in einem RWS untersuchen. Studie II konnte in diesem Untersuchungsfeld erstmals eine Leistungssteigerung durch eine FWT-KA bestätigen. Grundsätzlich ist zu beachten, dass bisher nur äußerst wenige Studien die Auswirkungen einer FWT-KA auf die Sprintleistung untersuchten. Daher betritt diese Studie in einigen Bereichen Neuland und liefert hier erste Erkenntnisse für die Trainingspraxis. Dabei besteht der praxisorientierte Nutzen hauptsächlich in einer Steigerung der Trainingsleistung, die langfristig auch die Leistungsfähigkeit im Wettkampf beeinflusst.

In der Trainingspraxis zeigt das Flywheel-Training einige nicht zu unterschätzende Vorteile: Zum Einen ist der materielle Aufwand im direkten Vergleich zu herkömmlichen KA als sehr gering einzustufen. Trotz der ungewohnten Bewegungsvorgabe durch die EOL-Überlast, konnten alle Athleten nach wenigen Wiederholungen eine saubere Bewegungsausführung bei hohen Intensitäten erzielen. Der zeitliche Aufwand der KA ist sehr gering, da beispielsweise keine Gewichte individuell angepasst werden müssen.

Wie bereits im Kapitel Limitationen beschrieben, konnte diese Studie bei weitem nicht alle offenen Fragen im Bereich der PAP einer FWT-KA klären. Aus Sicht des Autors empfiehlt sich das FWT aufgrund der Erkenntnisse dieser Studie sowie der Vorteile in der praktischen Anwendung ausdrücklich für weitere Untersuchungen.

## **4 Zusammenfassende Betrachtung und Ausblick**

In diesen abschließenden Teil der Dissertation werden auf Basis der neu gewonnenen Erkenntnisse Implikationen und Empfehlungen für künftige Studien in diesem Bereich abgeleitet. Dabei ist grundsätzlich noch einmal festzuhalten und zugrunde zu legen, dass die beiden Interventionsstudien in diametralen Handlungsfeldern der Trainingswissenschaft durchgeführt wurden: Studie I ist im gesundheitsorientierten Seniorensport angesiedelt; die Stichprobe weist eine alters- und trainingsbedingte geringe bis moderate Leistungsfähigkeit auf. Studie II bewegt sich auf dem Gebiet des Leistungssporttrainings; Nachwuchsleistungssportler aus den höchsten Jugendspielklassen des Deutschen Fußballbundes mit entsprechend hoher körperlicher Leistungsfähigkeit bildeten hier die Gruppe der untersuchten Probanden. Der zentrale Fokus beider Studien lag auf dem Wirkungsnachweis für ein jeweils spezifisches konditionelles Training – dies ist für beide Studien mit den in den Kapiteln 2.4.1 und 3.4.1 dargelegten Einschränkungen gelungen.

Anhand Studie I sollten die Auswirkungen (1) eines 12-wöchigen Walking-Trainings auf die dynamisch gemessene Maximalkraft der unteren Extremitäten und (2) eines 12-wöchigen Maximalkrafttrainings auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test untersucht werden. Dieses Forschungsinteresse gründet auf dem heterogenen Forschungsstand im Bereich der Transferwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining. Zudem wurden bisher in sehr wenigen Studien die Auswirkungen eines gangbasierten Ausdauertrainings auf die Maximalkraft der unteren Extremitäten untersucht oder die Überprüfung der funktionell dynamischen Maximalkraft erfolgte mittels isometrischer Maximalkraftmessung (z.B. Kubo et al., 2008), so dass die hier gefundenen Ergebnisse aufgrund der unterschiedlichen Kraftfähigkeiten kritisch betrachtet werden müssen (vgl. Baker et al, 1994). Ferner wurden die Auswirkungen eines Krafttrainings auf die Ganggeschwindigkeit nur über kurze Distanzen (bspw. 10MWT) überprüft und gangbasierte Ausdauer Tests wie der 2km Walking-Test, die die kardiopulmonale Leistung überprüfen und somit eine Transfer-

wirkung auf die Ausdauerleistung ermitteln können, fanden bis dato gar keine Anwendung. Für einen kurzen Überblick werden die zentralen Befunde von Studie I an dieser Stelle noch einmal wie folgt zusammengefasst:

(1) Für beide Interventionsgruppen (Krafttrainings- und Ausdauer-Gruppe) sind signifikant größere Zuwächse in den Leistungsmessungen der trainierten Fähigkeiten im Vergleich zur Kontrollgruppe zu verzeichnen; (2) Erstmals konnten Transferwirkungen von Ausdauertraining auf die dynamische Maximalkraftleistung der unteren Extremitäten nachgewiesen werden; (3) Erstmals erfolgte auch ein Nachweis über die Transferwirkungen eines Maximalkrafttrainings der unteren Extremitäten auf die Ausdauerleistung in einem 2km Walking-Test. Dabei konnten Steigerungen in der Kraftleistung durch ein Ausdauertraining von 5 bis 23% festgehalten werden, die Ausdauerleistung verbesserte sich mittels Krafttraining um 7 bis 12%. Diese Befunde stellen insbesondere für die Trainingspraxis und die Arbeit im gesundheitsorientierten Seniorensport wichtige Erkenntnisse dar. Demnach kann bereits ein 3-monatiges konditionelles Training einen altersbedingten Leistungsverlust von 5 bis 15 Jahren aufheben. Studie I wie auch weitere Studien (u.a. Holviala et al., 2012) belegen die auf wissenschaftstheoretischer Basis zu erwartenden größten Anpassungen der Leistungsfähigkeit mittels direktem Training der jeweiligen Fähigkeit. Dieser Anspruch optimaler Leistungsentwicklung besteht jedoch eher überwiegend im Bereich des leistungsorientierten Sports. Die für die Altersgruppe der Senioren relevanten gesundheitsorientierten Trainingseffekte und -ziele werden nach den Erkenntnissen von Studie I sowohl durch ein Kraft- als auch durch ein Ausdauertraining erreicht. Dies stellt aus Sicht des Autors einen besonders wichtigen Aspekt für die Praxis dar, da somit individuelle ausdauer- oder kraftorientierte Präferenzen der Trainierenden ohne schwerwiegende Wirkungseinbußen berücksichtigt werden können. In der gerontologischen Forschung der Medizin gelten sowohl die Ganggeschwindigkeit als auch diverse Maximalkraftparameter als starke Prädiktoren für die Mortalität wie auch für die Aufrechterhaltung der Lebensqualität im hohen Alter (u.a. Datta et al., 2014; Menning, 2006). Unter diesen Gesichtspunkten können Charles Darwins Schlagworte „Survival of the Fittest“ in diesem Zusam-

menhang neu interpretiert werden: Aktuelle Übersichtsarbeiten (u.a. Brook, Wilkinson, Phillips, Perez-Schindler, Philp, Smith & Atherton, 2016; McLeod, Breen, Hamilton & Philp, 2016) bestätigen einheitlich, dass die „stärksten“ und „fittesten“ Individuen ein längeres und gesünderes Leben führen können.

Obwohl die Frage nach der physiologischen Basis für Transferwirkungen bewusst keinen Bestandteil der eigenen Untersuchung darstellte, wäre dies noch ein wichtiger zu klärender Aspekt, um ein ganzheitliches Bild in diesem Bereich zu erhalten. Deshalb wäre es wünschenswert, die Veränderung physiologischer Parameter in künftigen Studien zu erfassen. Dies würde jedoch einen interdisziplinären Ansatz (z.B. Trainingswissenschaft, Bewegungswissenschaft, (Sport)Medizin) mit sich bringen und eine entsprechend aufwändige Untersuchung bedeuten. Darüber hinaus empfehlen sich aus den Erfahrungen und Erkenntnissen von Studie I aus Sicht des Autors weitere Untersuchungsaspekte: In erster Linie könnte eine direkte Bestimmung der  $VO_2\max$  – insbesondere nach einer Krafttrainingsintervention – die Aussagekraft zusätzlich erhöhen, da in dieser Studie nur ein indirektes Verfahren zu Bestimmung der  $VO_2\max$  verwendet wurde. Neben dem gewählten Schwerpunkt des Krafttrainings der unteren Extremitäten würde die Überprüfung potentieller Transferwirkungen eines Ausdauertrainings auf die Maximalkraft des Oberkörpers, wie zum Beispiel der Streck- und Beugeschlinge, eine weitere, vertiefende Forschungsfrage bilden.

Das Kernziel der Studie II bestand aus der Fragestellung, wie sich eine Flywheel-Training Konditionierungsaktivität (FWT-KA) auf die Sprintleistung bei Nachwuchsleistungssportlern im Fußball auswirkt. Dabei wurde neben der Überprüfung der Leistung in einem 10m Linearsprint (10m LNS) auch erstmals die Auswirkung einer FWT-KA auf die Leistung in einem 180 Grad Richtungswechselsprint (180 Grad RWS) überprüft. Zusätzlich wurde der Zusammenhang zwischen der maximalen Muskelleistung während der KA und den erhobenen Sprintzeiten überprüft.

Hier ist grundsätzlich zu beachten, dass bisher nur äußerst wenige Studien die Auswirkungen einer FWT-KA auf die Sprintleistung untersuchten. Somit trägt Studie II unmittelbar zur Schließung bestehender Forschungslücken bei und liefert – mit Ausnahme von (1) – die folgenden neuen Erkenntnisse: Eine FWT-KA führt zu (1)

keiner Verbesserung der Sprintleistung in einem 10m LNS; (2) einer Verbesserung der Sprintleistung in einem 180 Grad RWS über 5m um 2,7 %. Zusätzlich konnte ein moderater Zusammenhang zwischen der, während der KA gemessenen, exzentrischen Peak Power und der Sprintleistung in einem 180 Grad RWS über 5 Meter ermittelt werden.

Schnelle Richtungsänderungen sind essentielle Bestandteile vieler Sportsportarten. Unter diesem Aspekt bietet das FWT gemäß den Ergebnissen von Studie II eine neue Trainingsmöglichkeit zur Leistungssteigerung in diesem spezifischen Anwendungsfeld. Der praxisorientierte Nutzen ist dabei hauptsächlich in einer Steigerung der Trainingsleistung zu sehen, die langfristig auch die Leistungsfähigkeit im Wettkampf beeinflusst. Das Flywheel-Training bietet im Trainingsalltag zudem praktische Vorteile: Sowohl der materielle als auch der zeitliche Aufwand im direkten Vergleich zu herkömmlichen KA sind als sehr gering einzustufen, da beispielsweise aufgrund der Funktionsweise per Schwungscheibe keine Gewichte angepasst werden müssen und somit jederzeit das richtige individuelle Ausbelastungsmaß gegeben ist. Aus diesen Gründen stellt eine FWT-KA eine wirksame Alternative im Bereich des Post Activation Potentiation (PAP)-Trainings dar.

Neben den in Studie II gewählten Forschungsaspekten bedarf es zusätzlicher Untersuchungen, um beispielsweise weitere potentielle Trainingswirkungen sowie die genaue Wirkweise zu belegen. Veränderungen der linearen Sprintleistung wurden in bestehenden Studien mit konventionellen KA (z.B. einer Langhantelkniebeuge) bereits belegt (Lockie et al., 2018). Für künftige trainingswissenschaftliche Studien in diesem Bereich wäre demnach eine Abgrenzung der FWT-KA von „klassischen“ PAP-Protokollen ein interessanter Forschungsansatz: Ein Beispiel hierfür wäre der Vergleich einer FWT-KA mit einer Drop-Jump-KA, die ebenfalls zu den reaktiven Voraktivierungen zählt und in Studien (u.a. Bomfim Lima, Marin, Barquilha, Da Silva, Puggina, Pithon-Curi & Hirabara, 2011) bereits signifikante Steigerungen in diversen Sprint- und Sprungleistungen erzielen konnte. Außerdem würde die Differenzierung von Belastungsnormativen innerhalb des FWT ein weiteres interessantes Untersuchungsfeld darstellen, das die gefundenen Erkenntnisse weiter vertiefen

könnte. Für klassische PAP-Protokolle sind Dosis-Wirkungs-Beziehungen umfassend belegt (Tillin & Bishop, 2009). Die mittels FWT-KA induzierter exzentrischer Überlast legt aufgrund der Ergebnisse von Studie II jedoch die Schlussfolgerung nahe, dass eine FWT-KA differenzielle Anpassungseffekte im Vergleich zu klassischen PAP-Trainingsformen hervorruft. Somit wäre die Untersuchung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen auf dieser Basis weiter zu vertiefen.

Ein auffälliges Merkmal bisheriger Studien im Bereich der PAP besteht aus den unterschiedlichen Anpassungen innerhalb einer Stichprobe. Nach Ansicht von Seitz und Haff (2016) besteht der Unterschied zwischen den Respondern und Non-Respondern im Verhältnis des Kraftniveaus des jeweiligen Individuums sowie der Intensität der KA. Demnach benötigen Individuen mit einem hohen Kraftniveau maximale Intensitäten zur Auslösung einer PAP, die bei „schwächeren“ Individuen jedoch zu einem Rückgang der Leistungsfähigkeit führt. Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnis stellt ein Vergleich zwischen einer konventionellen KA und einer FWT-KA aus Sicht des Autors eine spannende Forschungsfrage dar. Zwar konnte auch in Studie II zwischen Respondern und Non-Respondern differenziert werden, ob sich der Anteil an Non-Respondern durch die individuelle Belastungsintensität während der FWT-KA von klassischen PAP-KA unterscheidet, konnte aufgrund des gewählten Studiendesigns aber nicht überprüft werden. Dies könnte in künftigen Studien mit der Unterscheidung in entsprechende Trainingsgruppen methodisch untersucht werden.

Auf theoretischer Basis wurde für das FWT eine Aktivierung leistungsbestimmender Strukturen der reaktiven Schnelligkeitsleistungen vermutet. Die Ergebnisse von Studie II liefern einen ersten Beleg hierzu. In Folge dessen sollten zukünftige Forschungsarbeiten aus Sicht des Autors den Fokus auf die Auswirkungen einer FWT-KA auf plyometrische Bewegungen wie zum Beispiel Sprünge richten. Gemäß aktuellem Forschungsstand liegen in diesem Bereich die größten PAP-Potentiale einer FWT-KA.

Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse dieser Dissertation die Effektivität beider durchgeführten Trainingsinterventionen und liefern neue wissenschaftliche Erkenntnisse über die Auswirkungen von spezifischem konditionellen Training sowohl im gesundheitsorientierten Seniorensport (Studie I) als auch dem Nachwuchsleistungssport (Studie II). Die diametralen Zielgruppen stehen dabei für zwei besonders spannende wie gesellschaftlich bedeutsame Gruppen und bieten – wie zuvor beschrieben – vielfältige Ansatzpunkte für weitere spannende Fragestellungen in der trainingswissenschaftlichen Forschung.



## Literaturverzeichnis

- Abdul-Hameed, U., Rangra, P., Shareef, M. Y. & Hussain, M. E. (2012). Reliability of 1-repetition maximum estimation for upper and lower body muscular strength measurement in untrained middle aged type 2 diabetic patients. *Asian journal of sports medicine*, 3 (4), 267-273.
- Badtke, G. & Bittmann, F. (Hrsg.). (1999). *Lehrbuch der Sportmedizin. Mit 63 Tabellen* (UTB für Wissenschaft, 4., Neubearb. Aufl.). Heidelberg: Barth.
- Baker, D., Wilson, G. & Carlyon, B. (1994). Generality versus specificity: a comparison of dynamic and isometric measures of strength and speed-strength. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68 (4), 350-355.
- Bassett, D. R., JR & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (1), 70-84.
- Bauman, A., Merom, D., Bull, F. C., Buchner, D. M. & Fiatarone Singh, M. A. (2016). Updating the Evidence for Physical Activity: Summative Reviews of the Epidemiological Evidence, Prevalence, and Interventions to Promote "Active Aging". *The Gerontologist*, 56 Suppl 2, S268-80.
- Beato, M., Keijzer, K. L. de, Leskauskas, Z., Allen, W. J., Dello Iacono, A. & McErlain-Naylor, S. A. (2019). Effect of Postactivation Potentiation After Medium vs. High Inertia Eccentric Overload Exercise on Standing Long Jump, Countermovement Jump, and Change of Direction Performance. *Journal of strength and conditioning research*.
- Berg, H. E. & Tesch, A. (1994). A gravity-independent ergometer to be used for resistance training in space. *Aviation, space, and environmental medicine*, 65 (8), 752-756.
- Bevan, H. R., Cunningham, D. J., Tooley, E. P., Owen, N. J., Cook, C. J. & Kilduff, L. P. (2010). Influence of postactivation potentiation on sprinting performance in professional rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (3), 701-705.
- Billaut, F. & Bishop, D. (2009). Muscle Fatigue in Males and Females during Multiple-Sprint Exercise. *Sports Medicine*, 39 (4), 257-278.
- Bohannon, R. W. (1997). Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79 years: reference values and determinants. *Age and ageing*, 26 (1), 15-19.

- Bomfim Lima, J., Marin, D., Barquilha, G., Da Silva, L., Puggina, E., Pithon-Curi, T. et al. (2011). Acute Effects of Drop Jump Potentiation Protocol on Sprint and Counter-movement Vertical Jump Performance. *Human Movement, 12* (4).
- Borba, D. d. A., Ferreira-Júnior, J. B., Santos, L. A. d., Carmo, M. C. d. & Coelho, L. G. M. (2017). Effect of post-activation potentiation in Athletics: a systematic review. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano, 19* (1), 128-138.
- Borde, R., Hortobágyi, T. & Granacher, U. (2015). Dose–Response Relationships of Resistance Training in Healthy Old Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine, 45* (12), 1693-1720.
- Bös, K. & Mechling, H. (1983). *Dimensionen sportmotorischer Leistungen* (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Deutschen Sportbundes, Bd. 17). Schorndorf: Hofmann.
- Boullosa, D., Del Rosso, S., Behm, D. G. & Foster, C. (2018). Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports: A review. *European Journal of Sport Science, 18* (5), 595-610.
- Braith, R. W., Graves, J. E., Leggett, S. H. & Pollock, M. L. (1993). Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. *Medicine and science in sports and exercise, 25* (1), 132-138.
- Brentano, M. A. & Martins, L. K. (2011). A review on strength exercise-induced muscle damage: applications, adaptation mechanisms and limitations. *The Journal of sports medicine and physical fitness, 51* (1), 1-10.
- Brightwell, C. R., Markofski, M. M., Moro, T., Fry, C. S., Porter, C., Volpi, E. et al. (2019). Moderate-intensity aerobic exercise improves skeletal muscle quality in older adults. *Translational Sports Medicine, 1* (1), 11.
- Brook, M. S., Wilkinson, D. J., Phillips, B. E., Perez-Schindler, J., Philp, A., Smith, K. et al. (2016). Skeletal muscle homeostasis and plasticity in youth and ageing: impact of nutrition and exercise. *Acta physiologica (Oxford, England), 216* (1), 15-41.
- Brzycki, M. (1993). Strength Testing—Predicting a One-Rep Max from Reps-to-Fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance, 64* (1), 88-90.
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Bottaro, M. & Izquierdo, M. (2014). Strength and Endurance Training Prescription in Healthy and Frail Elderly. *Aging and Disease, 5* (3), 183-195.
- Campos, G. E. R., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F. et al. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European journal of applied physiology, 88* (1-2), 50-60.

- Chang, K.-V., Wu, W.-T., Huang, K.-C., Jan, W. H. & Han, D.-S. (2018). Limb muscle quality and quantity in elderly adults with dynapenia but not sarcopenia: An ultrasound imaging study. *Experimental gerontology*, *108*, 54-61.
- Chaouachi, A., Manzi, V., Chaalali, A., Wong, D. P., Chamari, K. & Castagna, C. (2012). Determinants analysis of change-of-direction ability in elite soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, *26* (10), 2667-2676.
- Cheng, S.-P., Tsai, T.-I., Lii, Y.-K., Yu, S., Chou, C.-L. & Chen, I.-J. (2009). The effects of a 12-week walking program on community-dwelling older adults. *Research quarterly for exercise and sport*, *80* (3), 524-532.
- Chiu, L. Z. F. & Salem, G. J. (2006). Comparison of joint kinetics during free weight and flywheel resistance exercise. *Journal of strength and conditioning research*, *20* (3), 555-562.
- Clark, B. C. & Manini, T. M. (2008). Sarcopenia ≠ Dynapenia. *The Journals of Gerontology: Series A*, *63* (8), 829-834.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Coker, R. H., Hays, N. P., Williams, R. H., Wolfe, R. R. & Evans, W. J. (2015). Bed Rest Promotes Reductions in Walking Speed, Functional Parameters, and Aerobic Fitness in Older, Healthy Adults. *The Journals of Gerontology: Series A*, *70* (1), 91-96.
- Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C. & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International journal of sports medicine*, *22* (1), 45-51.
- Comfort, P., Stewart, A., Bloom, L. & Clarkson, B. (2014). Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28* (1), 173-177.
- Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 2--training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine*, *41* (2), 125-147 unter <https://go.gale-group.com/ps/i.do?p=AONE&sw=w&issn=01121642&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA247441776&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>
- Crenshaw, A. G., Karlsson, S., Styf, J., Backlund, T. & Friden, J. (1995). Knee extension torque and intramuscular pressure of the vastus lateralis muscle during eccentric and concentric activities. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *70* (1), 13-19.
- Crewther, B. T., Kilduff, L. P., Cook, C. J., Middleton, M. K., Bunce, P. J. & Yang, G.-Z. (2011). The acute potentiating effects of back squats on athlete performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25* (12), 3319-3325.

- Cruz-Jentoft, A. J., Baeyens, J. P., Bauer, J. M., Boirie, Y., Cederholm, T., Landi, F. et al. (2010). Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *A. J. Cruz-Gentoft et al. Age and Ageing, 39* (4), 412-423.
- Cuenca-Fernández, F., Ruiz-Teba, A., López-Contreras, G. & Arellano, R. (2018). Effects of 2 Types of Activation Protocols Based on Postactivation Potentiation on 50-m Freestyle Performance. *Journal of strength and conditioning research*.
- Cuenca-Fernández, F., López-Contreras, G. & Arellano, R. (2015). Effect on swimming start performance of two types of activation protocols: lunge and YoYo squat. *Journal of Strength and Conditioning Research, 29* (3), 647-655.
- Daly, R. M., Rosengren, B. E., Alwis, G., Ahlborg, H. G., Sernbo, I. & Karlsson, M. K. (2013). Gender specific age-related changes in bone density, muscle strength and functional performance in the elderly: a-10 year prospective population-based study. *BMC Geriatrics, 13* (1), 71.
- Damas, F., Libardi, C. A. & Ugrinowitsch, C. (2018). The development of skeletal muscle hypertrophy through resistance training: the role of muscle damage and muscle protein synthesis. *European journal of applied physiology, 118* (3), 485-500.
- Datta, D., Datta, P. P. & Majumdar, K. (2014). Relationship of Activity of Daily Living with Quality of Life. *British Biomedical Bulletin, 2* (4) unter <http://www.imedpub.com/articles/relationship-of-activity-of-daily-living-with-quality-of-life.pdf>
- Delmonico, M. J., Harris, T. B., Visser, M., Park, S. W., Conroy, M. B., Velasquez-Mieyer, P. et al. (2009). Longitudinal study of muscle strength, quality, and adipose tissue infiltration. *The American journal of clinical nutrition, 90* (6), 1579-1585.
- DeRenne, C. (2010). Effects of Postactivation Potentiation Warm-up in Male and Female Sport Performances: A Brief Review. *Strength and Conditioning Journal, 32* (6), 58-64.
- DeWeese, B. & Nimphius, S. (2016). Program Design and Technique for Speed and Agility Training. In G. G. Haff & N. T. Triplett (Eds.), *Essentials of strength training and conditioning* (4<sup>th</sup> ed., pp. 521–563). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Di Mascio, M., Ade, J., Musham, C., Girard, O. & Bradley, P. S. (2017). Soccer-Specific Reactive Repeated-Sprint Ability in Elite Youth Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research, 1*.
- Doherty, T. J. (2001). The influence of aging and sex on skeletal muscle mass and strength. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care, 4* (6), 503-508.
- Doherty, T. J. (2003). Invited review: Aging and sarcopenia. *Journal of Applied Physiology, 95* (4), 1717-1727.

- Draper, J. A. & Lancaster M.G. (1985). The 505 test: A test for agility in horizontal plane. *Aust J Sci Med Sport*, 17 (1), 15-18.
- Ebben, W. P. (2002). Complex Training: A Brief Review. *Journal of Sports Science & Medicine*, 1 (2), 42-46.
- Ehlenz, H., Grosser, M. & Zimmermann, E. (1998). *Krafttraining. Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme* (BLV Sportwissen, 6., erw. Aufl.). München: BLV.
- Ellison, J. B., Drummond, M., Dickinson, J. M., McGaugh, J. M., Paddon-Jones, D. & Volpi, E. (2016). Short-Term Intensive Rehabilitation Induces Recovery of Physical Function After 7 Days of Bed Rest in Older Adults. *Journal of Acute Care Physical Therapy*, 7 (4), 156-163.
- Emmonds, S., Nicholson, G., Begg, C., Jones, B. & Bissas, A. (2019). Importance of Physical Qualities for Speed and Change of Direction Ability in Elite Female Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33 (6), 1669-1677.
- Esformes, J. I., Cameron, N. & Bampouras, T. M. (2010). Postactivation potentiation following different modes of exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (7), 1911-1916.
- Evans, W. J. (1995). What is sarcopenia? *The Journals of Gerontology: Series A*, 50 Spec No, 5-8.
- Fairhall, N. & Sherrington, C. (2011). Dose-response relationship of resistance training in older adults: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 45 (3), 233-234.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A. & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G\*Power 3.1: tests for correlation and regression analyses. *Behavior research methods*, 41 (4), 1149-1160.
- Fitzgerald, M. D., Tanaka, H., Tran, Z. V. & Seals, D. R. (1997). Age-related declines in maximal aerobic capacity in regularly exercising vs. sedentary women: a meta-analysis. *Journal of Applied Physiology*, 83 (1), 160-165.
- Fleg, J. L. & Lakatta, E. G. (1988). Role of muscle loss in the age-associated reduction in VO<sub>2</sub> max. *Journal of Applied Physiology*, 65 (3), 1147-1151.
- Fleg, J. L., Morrell, C. H., Bos, A. G., Brant, L. J., Talbot, L. A., Wright, J. G. et al. (2005). Accelerated longitudinal decline of aerobic capacity in healthy older adults. *Circulation*, 112 (5), 674-682.
- Friedmann, B. (2007). Neuere Entwicklungen im Krafttraining. Muskuläre Anpassungsreaktionen bei verschiedenen Krafttrainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58(1), 12-18.

- Frontera, W. R., Meredith, C. N., O'Reilly, K. P. & Evans, W. J. (1990). Strength training and determinants of VO<sub>2</sub>max in older men. *Journal of Applied Physiology*, 68 (1), 329-333.
- García-Pinillos, F., Laredo-Aguilera, J. A., Muñoz-Jiménez, M. & Latorre-Román, P. A. (2019). Effects of 12-Week Concurrent High-Intensity Interval Strength and Endurance Training Program on Physical Performance in Healthy Older People. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33 (5), 1445-1452.
- Gollhofer, A., Schmidtbleicher, D. & Dietz, V. (1984). Regulation of muscle stiffness in human locomotion. *International journal of sports medicine*, 5 (1), 19-22.
- Gouvêa, A. L., Fernandes, I. A., César, E. P., Silva, W. A. B. & Gomes, P. S. C. (2013). The effects of rest intervals on jumping performance: a meta-analysis on post-activation potentiation studies. *Journal of sports sciences*, 31 (5), 459-467.
- Granacher, U., Mechling, H. & Voelcker-Rehage, C. (2018). *Handbuch Bewegungs- und Sportgerontologie* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 194). Schorndorf: Hofmann.
- Granacher, U., Prieske, O. & Krüger, T. (2017). Schnelligkeit und Schnelligkeitstraining. In K. Hottenrott & I. Seidel (Hrsg.), *Handbuch Trainingswissenschaft - Trainingslehre* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Band 200, S. 205-224). Schorndorf: Hofmann.
- Granacher, U., Zahner, L. & Gollhofer, A. (2008). Strength, power, and postural control in seniors: Considerations for functional adaptations and for fall prevention. *European Journal of Sport Science*, 8 (6), 325-340.
- Grosser, M. & Renner, T. (2007). *Schnelligkeitstraining. Grundlagen, Methoden, Leistungssteuerung, Programme für alle Sportarten* (BLV-Sportwissen, 2., neu bearb. Aufl., Neuausg). München: BLV-Buchverl.
- Gullett, J. C., Tillman, M. D., Gutierrez, G. M. & Chow, J. W. (2009). A biomechanical comparison of back and front squats in healthy trained individuals. *Journal of strength and conditioning research*, 23 (1), 284-292.
- Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50 (7/8), 223-234.
- Gupta, S. D., Kistemaker, D. A., Faber, H. & Bobbert, M. (2018). Metabolic cost of transport in over-ground and treadmill walking of healthy elderly and effects of a treadmill familiarization protocol. In Amsterdam Movement Sciences (Hrsg.), *Sensomotoric 2018*.
- Hagerman, F. C., Walsh, S. J., Staron, R. S., Hikida, R. S., Gilders, R. M., Murray, T. F. et al. (2000). Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I. Strength, cardiovascular, and metabolic responses. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 55 (7), B336-46.

- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H. et al. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European journal of applied physiology*, 89 (1), 42-52.
- Häkkinen, K., Kraemer, W. J., Newton, R. U. & Alen, M. (2001). Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta physiologica Scandinavica*, 171 (1), 51-62.
- Häkkinen, K., Newton, R. U., Gordon, S. E., McCormick, M., Volek, J. S., Nindl, B. C. et al. (1998). Changes in Muscle Morphology, Electromyographic Activity, and Force Production Characteristics During Progressive Strength Training in Young and Older Men. *The Journals of Gerontology: Series A*, 53A (6), B415-B423.
- Harber, M. P., Konopka, A. R., Douglass, M. D., Minchev, K., Kaminsky, L. A., Trappe, T. A. et al. (2009). Aerobic exercise training improves whole muscle and single myofiber size and function in older women. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 297 (5), R1452-9.
- Harber, M. P., Konopka, A. R., Udem, M. K., Hinkley, J. M., Minchev, K., Kaminsky, L. A. et al. (2012). Aerobic exercise training induces skeletal muscle hypertrophy and age-dependent adaptations in myofiber function in young and older men. *Journal of Applied Physiology*, 113 (9), 1495-1504.
- Harre, D. (2005). Kraftfähigkeiten. In G. Schnabel, D. Harre, J. Krug & A. Borde (Hrsg.), *Trainingswissenschaft. Leistung - Training - Wettkampf* (Studienausgabe, stark überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 146-154). Berlin: Sportverlag.
- Harten, U. (2017). *Physik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hather, B. M., Tesch, P. A., Buchanan, P. & Dudley, G. A. (1991). Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta physiologica Scandinavica*, 143 (2), 177-185.
- Haugen, T., Tonnessen, E., Leirstein, S., Hem, E. & Seiler, S. (2014). Not quite so fast: effect of training at 90% sprint speed on maximal and repeated-sprint ability in soccer players. *Journal of sports sciences*, 32 (20), 1979-1986.
- Haugen, T., Tønnessen, E., Hisdal, J. & Seiler, S. (2014). The role and development of sprinting speed in soccer. *International journal of sports physiology and performance*, 9 (3), 432-441.
- Haykowsky, M., McGavock, J., Vonder Muhll, I., Koller, M., Mandic, S., Welsh, R. et al. (2005). Effect of Exercise Training on Peak Aerobic Power, Left Ventricular Morphology, and Muscle Strength in Healthy Older Women. *The Journals of Gerontology: Series A*, 60 (3), 307-311.

- Hepple, R. T., Mackinnon, S. L., Goodman, J. M., Thomas, S. G. & Plyley, M. J. (1997). Resistance and aerobic training in older men: effects on VO<sub>2</sub>peak and the capillary supply to skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 82 (4), 1305-1310.
- Hersey, W.C., Graves, J. E., Pollock, M. L., Gingerich, R., Shireman, R. B., Heath, G. W. et al. (1994). Endurance exercise training improves body composition and plasma insulin responses in 70- to 79-year-old men and women. *Metabolism*, 43 (7), 847-854.
- Hirtz, P. (2005). Koordinative Fähigkeiten. In G. Schnabel, D. Harre, J. Krug & A. Borde (Hrsg.), *Trainingswissenschaft. Leistung - Training - Wettkampf* (Studienausgabe, stark überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 126-133). Berlin: Sportverlag.
- Hirtz, P. (2007). Koordinative Fähigkeit und Beweglichkeit. In K. Meinel & G. Schnabel (Hrsg.), *Bewegungslehre - Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11., überarb. und erw. Aufl., S. 212-242). Aachen: Meyer & Meyer.
- Hodgson, M., Docherty, D. & Robbins, D. (2005). Post-Activation Potentiation. *Sports Medicine*, 35 (7), 585-595.
- Hoffman, J. (2014). *Physiological aspects of sport training and performance* (2. ed.). Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2014). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (6., unveränderte Auflage). Wiebelsheim: Limpert Verlag.
- Hollenberg, M., Yang, J., Haight, T. J. & Tager, I. B. (2006). Longitudinal changes in aerobic capacity: implications for concepts of aging. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 61 (8), 851-858.
- Hollmann, W. (2001). Altern, Leistungsfähigkeit, Gesundheit. *Der Urologe B*, 41 (4), 331-337.
- Hollmann, W. & Strüder, H. K. (2009). *Sportmedizin. Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin* (Orthopädie, Sportmedizin, 5. Aufl.). s.l.: Schattauer GmbH Verlag für Medizin und Naturwissenschaften.
- Holviala, J., Kraemer, W. J., Sillanpää, E., Karppinen, H., Avela, J., Kauhanen, A. et al. (2012). Effects of strength, endurance and combined training on muscle strength, walking speed and dynamic balance in aging men. *European journal of applied physiology*, 112 (4), 1335-1347.
- Hortobágyi, T., Finch, A., Solnik, S., Rider, P. & DeVita, P. (2011). Association Between Muscle Activation and Metabolic Cost of Walking in Young and Old Adults. *The Journals of Gerontology: Series A*, 66A (5), 541-547.

- Hortobágyi, T., Lesinski, M., Gäbler, M., VanSwearingen, J. M., Malatesta, D. & Granacher, U. (2015). Effects of Three Types of Exercise Interventions on Healthy Old Adults' Gait Speed: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45 (12), 1627-1643.
- Hottenrott, K. (2017). Ausdauer und Ausdauertraining. In K. Hottenrott & I. Seidel (Hrsg.), *Handbuch Trainingswissenschaft - Trainingslehre* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Band 200, S. 137-168). Schorndorf: Hofmann.
- Hottenrott, K. & Neumann, G. (2016). *Trainingswissenschaft. Ein Lehrbuch in 14 Lektionen* (Sportwissenschaft studieren, Band 7, 3., überarbeitete Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Hottenrott, K. & Seidel, I. (2017). *Handbuch Trainingswissenschaft - Trainingslehre* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Band 200). Schorndorf: Hofmann.
- Hoyo, M. de, La Torre, A. de, Pradas, F., Sañudo, B., Carrasco, L., Mateo-Cortes, J. et al. (2015). Effects of eccentric overload bout on change of direction and performance in soccer players. *International journal of sports medicine*, 36 (4), 308-314.
- Huang, G., Wang, R., Chen, P., Huang, S. C., Donnelly, J. E. & Mehlferber, J. P. (2016). Dose-response relationship of cardiorespiratory fitness adaptation to controlled endurance training in sedentary older adults. *European journal of preventive cardiology*, 23 (5), 518-529.
- Iwamura, M. & Kanauchi, M. (2017). A cross-sectional study of the association between dynapenia and higher-level functional capacity in daily living in community-dwelling older adults in Japan. *BMC Geriatrics*, 17.
- Iwasaki, K.-I., Zhang, R., Zuckerman, J. H. & Levine, B. D. (2003). Dose-response relationship of the cardiovascular adaptation to endurance training in healthy adults: how much training for what benefit? *Journal of Applied Physiology*, 95 (4), 1575-1583.
- Izquierdo, Mikel, Ibañez, Javier, Hakkinen, Keijo, Kraemer, William J., Larrión, José L., Gorostiaga, Esteban M. (2004). Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Medicine and science in sports and exercise*, 36 (3), 435-443.
- Judge, L. W., Bellar, D. M., Craig, B. W., Gilreath, E. L., Cappos, S. A. & Thrasher, A. B. (2016). Influence of Postactivation Potentiation on Shot Put Performance of Collegiate Throwers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30 (2), 438-445.
- Kamen, G. (2005). Aging, resistance training, and motor unit discharge behavior. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquee*, 30 (3), 341-351.

- Knutzen, K. & Brilla, Lorraine, Caine, Dennis. (1999). Validity of 1RM Prediction Equations for Older Adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13 (3), 242-246.
- Komi, P. V. (1979). Neuromuscular performance. Factors influencing force and speed production. *Scandinavian journal of sports sciences*, 1 (1), 2-15.
- Komi, P. V. (2003). *Strength and power in sport* (The Encyclopaedia of sports medicine, v. 3, 2nd ed.). Osney Mead, Oxford: Blackwell Science.
- Kontou, E. I., Berberidou, F. T., Pilianidis, T. C., Mantzouranis, N. I. & Methenitis, S. K. (2018). Acute Effect of Upper and Lower Body Postactivation Exercises on Shot Put Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32 (4), 970-982.
- Kruse, A. (2007). *Alter. Was stimmt? ; Die wichtigsten Antworten* (Herder Spektrum, Bd. 5750, Orig.-Ausg). Freiburg im Breisgau: Herder.
- Kubo, K., Ishida, Y., Suzuki, S., Komuro, T., Shirasawa, H., Ishiguro, N. et al. (2008). Effects of 6 months of walking training on lower limb muscle and tendon in elderly. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 18 (1), 31-39.
- Kuruganti, U., Parker, P., Rickards, J. & Tingley, M. (2006). Strength and muscle co-activation in older adults after lower limb strength training. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36 (9), 761-766.
- LaFortuna, C. L., Agosti, F., Galli, R., Busti, C., Lazzer, S. & Sartorio, A. (2008). The energetic and cardiovascular response to treadmill walking and cycle ergometer exercise in obese women. *European journal of applied physiology*, 103 (6), 707.
- Lai, C.-C., Tu, Y.-K., Wang, T.-G., Huang, Y.-T. & Chien, K.-L. (2018). Effects of resistance training, endurance training and whole-body vibration on lean body mass, muscle strength and physical performance in older people: a systematic review and network meta-analysis. *Age and ageing*, 47 (3), 367-373.
- LaRoche, D. P., Roy, S. J., Knight, C. A. & Dickie, J. L. (2008). Elderly women have blunted response to resistance training despite reduced antagonist coactivation. *Medicine and science in sports and exercise*, 40 (9), 1660-1668.
- Latham, N. K., Bennett, D. A., Stretton, C. M. & Anderson, C. S. (2004). Systematic Review of Progressive Resistance Strength Training in Older Adults. *The Journals of Gerontology: Series A*, 59 (1), M48-M61.
- Laukkanen, R. M. T., Kukkonen-Harjula, T. K., Oja, P., Pasanen, M. E. & Vuori, I. M. (2000). Prediction of change in maximal aerobic power by the 2-km walk test after walking training in middle-aged adults. *International journal of sports medicine*, 21 (2), 113-116.

- Laukkanen, R. M. T., Oja, R., Pasanen, M. E. & Vuori, I. M. (1993). Criterion validity of a two-kilometer walking test for predicting the maximal oxygen uptake of moderately to highly active middle-aged adults. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 3 (4), 267-272.
- Lesinski, M., Muehlbauer, T., Büsch, D. & Granacher, U. (2013) [Acute effects of postactivation potentiation on strength and speed performance in athletes]. *Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin*, 27 (3), 147-155.
- Levinger, I., Goodman, C., Hare, D. L., Jerums, G., Toia, D. & Selig, S. (2009). The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *Journal of science and medicine in sport*, 12 (2), 310-316.
- Lockie, R. G., Lazar, A., Davis, D. L. & Moreno, M. R. (2018). Effects of Postactivation Potentiation on Linear and Change-of-Direction Speed. *Strength and Conditioning Journal*, 40 (1), 75-91.
- Locks, R. R., Costa, T. C., Koppe, S., Yamaguti, A. M., Garcia, M. C. & Gomes, A. R. S. (2012). Effects of strength and flexibility training on functional performance of healthy older people. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 16 (3), 184-190.
- Lorenz, D. (2011). Postactivation Potentiation: An Introduction. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 6 (3), 234-240.
- Louie, G. H. & Ward, M. M. (2010). Sex disparities in self-reported physical functioning: true differences, reporting bias, or incomplete adjustment for confounding? *Journal of the American Geriatrics Society*, 58 (6), 1117-1122.
- Lovell, D. I., Cuneo, R. & Gass, G. C. (2010). Can aerobic training improve muscle strength and power in older men? *Journal of aging and physical activity*, 18 (1), 14-26.
- Marchetti, P. H., Jarbas da Silva, J., Jon Schoenfeld, B., Nardi, P. S. M., Pecoraro, S. L., D'Andréa Greve, J. M. et al. (2016). Muscle Activation Differs between Three Different Knee Joint-Angle Positions during a Maximal Isometric Back Squat Exercise. *Journal of Sports Medicine*, 2016.
- Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., Fernandez-Gonzalo, R., Moreira, O. C., González-Gallego, J. & Paz, J. A. de. (2017). Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*, 20 (10), 943-951.
- Marques, E. A., Figueiredo, P., Harris, T. B., Wanderley, F. A. & Carvalho, J. (2017). Are resistance and aerobic exercise training equally effective at improving knee muscle strength and balance in older women? *Archives of gerontology and geriatrics*, 68, 106-112.

- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (1993). *Handbuch Trainingslehre* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 100, 2., unveränd. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Martinez-Aranda, L. M. & Fernandez-Gonzalo, R. (2017). Effects of Inertial Setting on Power, Force, Work, and Eccentric Overload During Flywheel Resistance Exercise in Women and Men. *Journal of strength and conditioning research*, 31 (6), 1653-1661.
- McCartney, N., Hicks, A. L., Martin, J. & Webber, C. E. (1995). Long-term resistance training in the elderly: effects on dynamic strength, exercise capacity, muscle, and bone. *The Journals of Gerontology: Series A*, 50 (2), B97-104.
- McGavock, J. M., Hastings, J. L., Snell, P. G., McGuire, D. K., Pacini, E. L., Levine, B. D. et al. (2009). A Forty-Year Follow-Up of the Dallas Bed Rest and Training Study: The Effect of Age on the Cardiovascular Response to Exercise in Men. *The Journals of Gerontology: Series A*, 64A (2), 293-299.
- McLay, K. M., Murias, J. M. & Paterson, D. H. (2017). Similar pattern of change in  $\dot{V}O_2$  kinetics, vascular function, and tissue oxygen provision following an endurance training stimulus in older and young adults. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 312 (4), R467-R476.
- McLeod, M., Breen, L., Hamilton, D. L. & Philp, A. (2016). Live strong and prosper: the importance of skeletal muscle strength for healthy ageing. *Biogerontology*, 17 (3), 497-510.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (Hrsg.). (2007). *Bewegungslehre - Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11., überarb. und erw. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Menning, S. (2006). *Lebenserwartung, Mortalität und Morbidität im Alter* unter [https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/document/37023/1/ssoar-2006-menning-Lebenserwartung\\_Mortalitat\\_und\\_Morbiditat\\_im.pdf](https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/document/37023/1/ssoar-2006-menning-Lebenserwartung_Mortalitat_und_Morbiditat_im.pdf)
- Mero, A. & Komi, P. V. (1986). Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55 (5), 553-561.
- Mian, O. S., Baltzopoulos, V., Minetti, A. E. & Narici, M. V. (2007). The impact of physical training on locomotor function in older people. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 37 (8), 683-701.
- Miles, D. S., Critz, J. B. & Knowlton, R. G. (1980). Cardiovascular, metabolic, and ventilatory responses of women to equivalent cycle ergometer and treadmill exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 12 (1), 14-19.

- Mitchell, W. K., Atherton, P. J., Williams, J., Larvin, M., Lund, J. N. & Narici, M. (2012). Sarcopenia, Dynapenia, and the Impact of Advancing Age on Human Skeletal Muscle Size and Strength; a Quantitative Review. *Frontiers in Physiology*, 3, 260.
- Mulder, E., Clément, G., Linnarsson, D., Paloski, W. H., Wuyts, F. P., Zange, J. et al. (2015). Musculoskeletal effects of 5 days of bed rest with and without locomotion replacement training. *European journal of applied physiology*, 115 (4), 727-738.
- Murray, M. P., Spurr, G. B., Sepic, S. B., Gardner, G. M. & Mollinger, L. A. (1985). Treadmill vs. floor walking: kinematics, electromyogram, and heart rate. *Journal of Applied Physiology*, 59 (1), 87-91.
- Neumann, G., Pfützner, A. & Berbalk, A. (2013). *Optimiertes Ausdauertraining. Trainingsplanung, Leistungsaufbau, Ernährungstipps* (7. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Neves, T., Martin Lopes, M. B., Crespilho Souza, M. G., Fett, C. A. & Rezende Fett, C. R. (2018). Sarcopenia versus Dynapenia: Functional Performance and Physical Disability in Cross Sectional Study.
- Norrbrand, L., Fluckey, J. D., Pozzo, M. & Tesch, P. A. (2008). Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *European journal of applied physiology*, 102 (3), 271-281.
- Padulo, J., Iuliano, E., Dello Iacono, A., Milić, M., Rizzi, M. & Ardigò, L. P. (2018). Nordic walking versus natural walking: an easy approach to comparing metabolic demands. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18 (5), 686-692.
- Pellegrini, B., Peyré-Tartaruga, L. A., Zoppiroli, C., Bortolan, L., Savoldelli, A., Minetti, A. E. et al. (2017). Mechanical energy patterns in nordic walking: comparisons with conventional walking. *Gait & Posture*, 51, 234-238.
- Peterson, D. S. & Martin, P. E. (2010). Effects of age and walking speed on coactivation and cost of walking in healthy adults. *Gait & Posture*, 31 (3), 355-359.
- Peterson, M., Rhea, M. R., Sen, A. & Gordon, P. M. (2010). Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Ageing research reviews*, 9 (3), 226-237.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R. & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (2), 377-382.
- Plisk, S. (2008). Speed, agility, and speed-endurance development. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *Essentials of strength training and conditioning* (3<sup>rd</sup> ed., pp. 457-486). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Podsiadlo, D. & Richardson, S. (1991). The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39 (2), 142-148.
- Rance, M., Boussuge, P.-Y., Lazaar, N., Bedu, M., van Praagh, E., Dabonneville, M. et al. (2005). Validity of a V.O<sub>2</sub> max prediction equation of the 2-km walk test in female seniors. *International journal of sports medicine*, 26 (6), 453-456.
- Raymond, M. J., Bramley-Tzerefos, R. E., Jeffs, K. J., Winter, A. & Holland, A. E. (2013). Systematic review of high-intensity progressive resistance strength training of the lower limb compared with other intensities of strength training in older adults. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 94 (8), 1458-1472.
- Reardon, D., Hoffman, J. R., Mangine, G. T., Wells, A. J., Gonzalez, A. M., Jajtner, A. R. et al. (2014). Do Changes in Muscle Architecture Affect Post-Activation Potentiation? *Journal of Sports Science & Medicine*, 13 (3), 483-492.
- Reilly, T., Bangsbo, J. & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of sports sciences*, 18 (9), 669-683.
- Robbins, D. W. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19 (2), 453-458.
- Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B. et al. (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 43 (8), 556-568.
- Roth, K. (1991). Die empirisch analytische Betrachtungsweise der Motorik. In K. Willimczik & K. Roth (Hrsg.), *Bewegungslehre. Grundlagen, Methoden, Analysen* (rororo rororo Sport, Bd. 7048, Orig.-Ausg., 19. - 20. Tsd, S. 53-89). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verl.
- Roth, K. (1999). Die fähigkeitsorientierte Betrachtungsweise. In K. Roth & K. Willimczik (Hrsg.), *Bewegungswissenschaft* (rororo rororo-Sport, Bd. 18679, Orig.-Ausg, S. 227-288). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verl.
- Roth, K. & Roth, C. (2009). Entwicklung Koordinativer Fertigkeiten. In J. Baur, K. Bös, A. Conzelmann & R. Singer (Hrsg.), *Handbuch motorische Entwicklung* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 106, 2., komplett überarbeitete Auflage, S. 227-247). Schorndorf: Hofmann.
- Röthig, P. & Prohl, R. (Hrsg.). (2003). *Sportwissenschaftliches Lexikon* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, 49/50, 7., völlig neu bearb. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Santos, L., Ribeiro, A. S., Schoenfeld, B. J., Nascimento, M. A., Tomeleri, C. M., Souza, M. F. et al. (2017). The improvement in walking speed induced by resistance

- training is associated with increased muscular strength but not skeletal muscle mass in older women. *European Journal of Sport Science*, 17 (4), 488-494.
- Sargeant, A. J. (1987). Effect of muscle temperature on leg extension force and short-term power output in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56 (6), 693-698.
- Sayers, M. G. L. (2015). Influence of Test Distance on Change of Direction Speed Test Results. *Journal of strength and conditioning research*, 29 (9), 2412-2416.
- Schlumberger, A. (2006). Sprint-und Sprungkrafttraining bei Fußballspielern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 57 (5), 125-131.
- Schmidtbleicher, D. (1987). Motorische Beanspruchungsform Kraft. Struktur und Einflussgrößen, Adaptationen, Trainingsmethoden, Diagnose und Trainingsansteuerung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 38 (9), 356-377.
- Schnabel, G., Harre, D., Krug, J. & Borde, A. (Hrsg.). (2005). *Trainingswissenschaft. Leistung - Training - Wettkampf* (Studienausgabe, stark überarbeitete und erweiterte Auflage). Berlin: Sportverlag.
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. & Krieger, J. W. (2017). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *Journal of sports sciences*, 35 (11), 1073-1082.
- Seitz, L. B. & Haff, G. G. (2016). Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 46 (2), 231-240.
- Seo, D.-i., Kim, E., Fahs, C. A., Rossow, L., Young, K., Ferguson, S. L. et al. (2012). Reliability of the One-Repetition Maximum Test Based on Muscle Group and Gender. *Journal of Sports Science & Medicine*, 11 (2), 221-225.
- Sheppard, J. M. & Young, W. B. (2006). Agility literature review: classifications, training and testing. *Journal of sports sciences*, 24 (9), 919-932.
- Sillanpää, E., Laaksonen, D. E., Häkkinen, A., Karavirta, L., Jensen, B., Kraemer, W. J. et al. (2009). Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. *European journal of applied physiology*, 106 (2), 285-296.
- Smith, J. C. & Fry, A. C. (2007). Effects of a ten-second maximum voluntary contraction on regulatory myosin light-chain phosphorylation and dynamic performance measures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (1), 73-76.
- Sole, C. J., Moir, G. L., Davis, S. E. & Witmer, C. A. (2013). Mechanical Analysis of the Acute Effects of a Heavy Resistance Exercise Warm-Up on Agility Performance in Court-Sport Athletes. *Journal of human kinetics*, 39, 147-156.

- Spina, R. J., Ogawa, T., Kohrt, W. M., Martin, W. H., Holloszy, J. O. & Ehsani, A. A. (1993). Differences in cardiovascular adaptations to endurance exercise training between older men and women. *Journal of Applied Physiology*, 75 (2), 849-855.
- Steib, S., Schoene, D. & Pfeifer, K. (2010). Dose-response relationship of resistance training in older adults: a meta-analysis. *Medicine and science in sports and exercise*, 42 (5), 902-914.
- Stein, T. & Hossner, E.-J. (2017). Koordination und Koordinationstraining. In K. Hottenrott & I. Seidel (Hrsg.), *Handbuch Trainingswissenschaft - Trainingslehre* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Band 200, S. 240-262). Schorndorf: Hofmann.
- Steinbach, D. & Hartmann, S. (2007). Demografischer Wandel und organisierter Sport – Projektionen der Mitgliederentwicklung des DOSB für den Zeitraum bis 2030 / Demographic Changes and Organized Sports - Projections for the Membership Development of the DOSB until 2030. *Sport und Gesellschaft*, 4 (3), 223-242.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C. & Wisløff, U. (2005). Physiology of Soccer. *Sports Medicine*, 35 (6), 501-536.
- Stull, J. T., Kamm, K. E. & Vandenboom, R. (2011). Myosin Light Chain Kinase and the Role of Myosin Light Chain Phosphorylation in Skeletal Muscle. *Archives of biochemistry and biophysics*, 510 (2), 120-128.
- Tanaka, H. & Seals, D. R. (2008). Endurance exercise performance in Masters athletes: age-associated changes and underlying physiological mechanisms. *The Journal of Physiology*, 586 (Pt 1), 55-63.
- Tieland, M., Trouwborst, I. & Clark, B. C. (2018). Skeletal muscle performance and ageing. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*, 9 (1), 3-19.
- Till, K. A. & Cooke, C. (2009). The effects of postactivation potentiation on sprint and jump performance of male academy soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (7), 1960-1967.
- Tillin, N. A. & Bishop, D. (2009). Factors Modulating Post-Activation Potentiation and its Effect on Performance of Subsequent Explosive Activities. *Sports Medicine*, 39 (2), 147-166.
- Tous-Fajardo, J., Maldonado, R. A., Quintana, J. M., Pozzo, M. & Tesch, P. A. (2006). The flywheel leg-curl machine: offering eccentric overload for hamstring development. *International journal of sports physiology and performance*, 1 (3), 293-298.
- Turner, A. P., Bellhouse, S., Kilduff, L. P. & Russell, M. (2015). Postactivation potentiation of sprint acceleration performance using plyometric exercise. *Journal of strength and conditioning research*, 29 (2), 343-350.

- Turpela, M., Häkkinen, K., Haff, G. G. & Walker, S. (2017). Effects of different strength training frequencies on maximum strength, body composition and functional capacity in healthy older individuals. *Experimental gerontology*, 98, 13-21.
- Vincent, K. R., Braith, R. W., Feldman, R. A., Kallas, H. E. & Lowenthal, D. T. (2002). Improved cardiorespiratory endurance following 6 months of resistance exercise in elderly men and women. *Archives of internal medicine*, 162 (6), 673-678.
- Voss, G., Witt, M. & Werthner, R. (2007). *Herausforderung Schnelligkeitstraining*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Walker, S., Haff, G. G., Häkkinen, K. & Newton, R. U. (2017). Moderate-Load Muscular Endurance Strength Training Did Not Improve Peak Power or Functional Capacity in Older Men and Women. *Frontiers in physiology*, 8, 743.
- Wallenta, C., Granacher, U., Lesinski, M., Schünemann, C. & Muehlbauer, T. (2016). Einfluss eines Komplex- versus blockweisen Krafttrainings auf sportmotorische Leistungen von Nachwuchsleistungsfußballern. *Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin*, 30 (1), E2.
- Wank, V. (2017). Kraft und Krafttraining. In K. Hottenrott & I. Seidel (Hrsg.), *Handbuch Trainingswissenschaft - Trainingslehre* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Band 200, S. 171-203). Schorndorf: Hofmann.
- Warburton, D. E.R., Nicol, C. W. & Bredin, S. S.D. (2006). Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ*, 174 (6), 801-809.
- Weakley, J., Fernández-Valdés, B., Thomas, L., Ramirez-Lopez, C. & Jones, B. (2019). Criterion Validity of Force and Power Outputs for a Commonly Used Flywheel Resistance Training Device and Bluetooth App. *Journal of strength and conditioning research*, 33 (5), 1180-1184.
- Weineck, J. (2019). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (17., neu überarbeitete Auflage). Ballingen: Spitta.
- Weiss, E. P., Spina, R. J., Holloszy, J. O. & Ehsani, A. A. (2006). Gender differences in the decline in aerobic capacity and its physiological determinants during the later decades of life. *Journal of Applied Physiology*, 101 (3), 938-944.
- Wick, D. (Hrsg.). (2013). *Biomechanik im Sport. Lehrbuch der biomechanischen Grundlagen sportlicher Bewegungen* (3., überarbeitete und erweiterte Auflage). Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Willimczik, K. & Singer, R. (2009). Motorische Entwicklung. In J. Baur, K. Bös, A. Conzelmann & R. Singer (Hrsg.), *Handbuch motorische Entwicklung* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 106, 2., komplett überarbeitete Auflage, S. 15-46). Schorndorf: Hofmann.

- Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. J., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S. M. C. et al. (2013). Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27 (3), 854-859.
- Wilson, T. M. & Tanaka, H. (2000). Meta-analysis of the age-associated decline in maximal aerobic capacity in men: relation to training status. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 278 (3), H829-34.
- Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R. & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38 (3), 285-288.
- Wood, R. H., Reyes, R., Welsch, M. A., Favaloro-Sabatier, J., Sabatier, M., Matthew Lee, C. et al. (2001). Concurrent cardiovascular and resistance training in healthy older adults. *Medicine and science in sports and exercise*, 33 (10), 1751-1758.
- Wood, T. M., Maddalozzo, G. F. & Harter, R. A. (2002). Accuracy of Seven Equations for Predicting 1-RM Performance of Apparently Healthy, Sedentary Older Adults. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 6 (2), 67-94.
- Yanci, J., Los Arcos, A., Mendiguchia, J. & Brughelli, M. (2014). RELATIONSHIPS BETWEEN SPRINTING, AGILITY, ONE- AND TWO-LEG VERTICAL AND HORIZONTAL JUMP IN SOCCER PLAYERS. *Kinesiology: International journal of fundamental and applied kinesiology*, 46 (2), 194-201 unter <https://hrcak.srce.hr/file/194804>
- Yetter, M. & Moir, G. L. (2008). The acute effects of heavy back and front squats on speed during forty-meter sprint trials. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (1), 159-165.
- Yilmaz, A., Gurses, V. V. & Gulsen, M. (2018). The effect of combined preconditioning strategies on isokinetic strength in well trained kickboxers. 2075-5279 unter <http://acikerisim.baskent.edu.tr/bitstream/11727/3141/1/document.pdf>
- Young, W., Benton, D. & Pryor, J. (2001). Resistance training for short sprints and maximum-speed sprints. *Strength & Conditioning Journal*, 23 (2), 7.
- Young, W., Dawson, B. & Henry, G. (2015). Agility and Change-of-Direction Speed are Independent Skills: Implications for Training for Agility in Invasion Sports. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 10 (1), 159-169.
- Zaciorskij, V. M. & Kraemer, W. J. (2016). *Krafttraining. Praxis und Wissenschaft* (4. Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Zakariás, G., Petrekanits, M. & Laukkanen, R. (2003). Validity of a 2-km Walk Test in predicting the maximal oxygen uptake in moderately active Hungarian men. *European Journal of Sport Science*, 3 (1), 1-8.

Zintl, F. & Eisenhut, A. (2009). *Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung* (BLV Sportwissen, [7., überarb. Aufl., Neuausg.]. München: BLV-Buchverl.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Motorikmerkmale von Bewegungen (nach Roth & Willimczik, 1999, S. 231) .....	4
Abbildung 2: Systematisierung motorischer Fähigkeiten (nach Bös & Mechling, 1983, S. 94) .....	7
Abbildung 3: Systematik der Kondition und Koordination unter besonderer Berücksichtigung der Wechselbezüge von Kraft, Schnelligkeit und Beweglichkeit (nach Hohmann et al., 2014, S. 49) .....	8
Abbildung 4: Wechselbeziehung zwischen den konditionellen Fähigkeiten Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit (nach Schnabel, Harre, Krug und Borde, 2005, S. 144) .....	8
Abbildung 5: Struktur der motorischen Fähigkeit Kraft (nach Güllich und Schmidtbleicher, 1999, S. 224) .....	15
Abbildung 6: Fähigkeitsstruktur der Schnelligkeit nach Hohmann, Lames und Letzelter (2014, S. 87) .....	19
Abbildung 7: Einflussgrößen der motorischen Schnelligkeit (mod. nach Grosser & Renner, 2007, S. 87) .....	21
Abbildung 8: Entwicklung der VO <sub>2</sub> max in der Lebensspanne (nach Hollmann, 2001) .....	30
Abbildung 9: Entwicklung der VO <sub>2</sub> max im Alter – Vergleich der Daten aus Quer- und Längsschnittstudien (nach Fleg et al., 2005) .....	31
Abbildung 10: Der Einfluss von Alter auf die Ausdauerleistungsfähigkeit nach Tanaka und Seals (2008) .....	32
Abbildung 11: Entwicklung der VO <sub>2</sub> max über die Lebens-spanne bei Frauen in Abhängigkeit des Trainingszustandes nach Wilson und Tanaka (2000) .....	33
Abbildung 12: Entwicklung der Maximalkraft über 5 Jahre in Abhängigkeit zu der Entwicklung der Muskelmasse (nach Delmonico et al., 2009) .....	35
Abbildung 13: Einflussfaktoren der Dynapenie (nach Clark und Manini, 2008) .....	36
Abbildung 14: Fähigkeiten im Altersgang (nach Neumann, Pfützner und Berbalk, 2013) .....	38

Abbildung 15: Berechnete Effektstärke der VO<sub>2</sub>max Steigerung in Abhängigkeit von (a) der Trainingsintensität (% der Herzfrequenz-Reserve), (b) der Trainingsdauer (Minuten), (c) der Trainingsfrequenz (Tage/Woche) sowie (d) der Dauer der Intervention (Wochen) (nach Huang et al., 2016).....40

Abbildung 16: Ausführung der Krafttests .....62

Abbildung 17: Veränderung der Maximalkraftwerte der BP in Prozent. \*: p < 0.05 within group; †: p < 0.05 im Vergleich mit KON .....69

Abbildung 18: Veränderung der Maximalkraftwerte der KE in Prozent. \*: p < 0.05 within group; †: p < 0.05 im Vergleich mit KON; §: p < 0.05 im Vergleich mit AT .....70

Abbildung 19: Veränderung der Maximalkraftwerte der KE in Prozent. \*: p < 0.05 within group; †: p < 0.05 im Vergleich mit KON; §: p < 0.05 im Vergleich mit AT .....71

Abbildung 20: Veränderung der Ganggeschwindigkeit in Prozent; \*: p < 0.05 within group; †: p < 0.05 im Vergleich mit KON.....73

Abbildung 21: Veränderung der VO<sub>2</sub>max in Prozent. \*: p < 0.05 within group; †: p < 0.05 im Vergleich mit KON .....74

Abbildung 22: Phosphorylierung der regulatorischen leichten Kette (mod. nach Boullosa et al., 2018).....94

Abbildung 23: Effektstärken unterteilt nach Grundbewegungen. Angabe als Mittelwert und Standardabweichung (nach Seitz und Haff, 2016) .....96

Abbildung 24: Zusammenhang zwischen Ermüdung und der PAP und die daraus resultierende Leistungssteigerung (nach Tillin & Bishop, 2009) .....97

Abbildung 25: Flywheel-KA..... 106

Abbildung 26: kombinierter 15 Meter Sprinttest (5-0-5 Test)..... 107

Abbildung 27: Testaufbau des kombinierten 15m Sprinttest..... 109

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kriterien der Strukturierung und Erscheinungsformen der Ausdauer (mod. nach Hottenrott & Seidel, 2017, S. 138) .....	10
Tabelle 2: Differenzierung der Ausdauer (nach Hottenrott & Neumann, 2016) .....	10
Tabelle 3: Einteilung der muskulären Aktionsformen (nach Komi, 2003, S. 5). .....	14
Tabelle 4: Methoden des Maximalkrafttrainings(modifiziert nach Ehlenz, Grosser und Zimmermann, 1998, S.112) .....	17
Tabelle 5: Kriterien der Strukturierung und Erscheinungsformen der Ausdauer (mod. nach Granacher et al., 2017, S. 220) .....	22
Tabelle 6: Vergleich der Siegerlaufzeiten der Olympischen Spiele von 1896 mit den aktuellen Master-Weltrekorden die diese Zeiten unterbieten (nach Tanaka und Seals, 2008) .....	37
Tabelle 7: Ein- und Ausschlusskriterien der Literaturrecherche Studie I.....	43
Tabelle 8: Transferwirkungen von Ausdauertraining auf die Maximalkraft der unteren Extremitäten Teil 1.....	44
Tabelle 9: Transferwirkungen von Ausdauertraining auf die Maximalkraft der unteren Extremitäten Teil 2.....	45
Tabelle 10: Transferwirkungen von Krafttraining der unteren Extremitäten auf die aerobe Ausdauerleistung Teil 1.....	49
Tabelle 11: Transferwirkungen von Krafttraining der unteren Extremitäten auf die aerobe Ausdauerleistung Teil 2.....	50
Tabelle 12: Stichprobe Studie I.....	56
Tabelle 13: Veränderung der aeroben Ausdauerleistung.....	66
Tabelle 14: Veränderung der Maximalkraft der unteren Extremitäten .....	67
Tabelle 15: Ein- und Ausschlusskriterien der Literaturrecherche Studie II.....	99
Tabelle 16: PAP Effekte bei Sprintleistungen über 10m und im Richtungswechselsprint .....	100
Tabelle 17: Cross-over Design .....	104
Tabelle 18: Stichprobe .....	105

## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 19: Auswirkung der FWT KA auf die Sprintleistung.....	112
Tabelle 20: Zusammenhang zwischen der maximalen Muskelleistung und der Sprintleistung. Dargestellt als Korrelationskoeffizient $r$ .....	113

## Appendix

- I Deskriptive Statistiken Studie
- II Teilnehmerunterlagen Studie I
- III Teilnehmerunterlagen Studie II

	Baseline (T1)			6 Wochen (T2)			12 Woche (T3)		
	KT	AT	KON	KT	AT	KON	KT	AT	KON
BP 1-RM (kg)	101,76 ±22,83	102,26 ±30,19	102,84 ±25,25	120,75 ±25,26	117,73 ±34,01	104,33 ±24,33	136,32 ±29,87	125,52 ±35,1	111,31 ±26,54
KF 1-RM (kg)	52,9 ±14,55	49,91 ±16,95	53,84 ±17,15	60,16 ±15,91	51,5 ±16,23	53,1 ±17,7	63,16 ±16,6	54,42 ±17,24	53,04 ±18,12
KE 1-RM (kg)	60,34 ±16,37	57,41 ±20,04	63,44 ±16,4	66,26 ±16,79	58,21 ±18,43	63,27 ±16,79	70,73 ±19,02	60,28 ±18,48	63,55 ±17,08
Zeit/2km (sec)	1106 ±121	1123 ±82	1089 ±98	1060 ±118	1066 ±78	1075 ±103	1033 ±109	1042 ±80	1060 ±98
GS (m/s)	1,83 ±0,2	1,79 ±0,13	1,85 ±0,18	1,91 ±0,21	1,89 ±0,13	1,87 ±0,19	1,95 ±0,21	1,93 ±0,14	1,9 ±0,18
Pulse (bpm)	130 ±17,1	128 ±13,64	132 ±13,5	139 ±15,56	136 ±10,6	134 ±14,55	141,1 ±13,95	140,18 ±11,13	135,90 ±13,88
UKK-Index	91,49 ±14,56	89,17 ±20,72	92,31 ±17,63	95,3 ±20,06	95,76 ±20,06	93,53 ±15,71	99,69 ±14,35	98,30 ±19,12	95,29 ±15,84
VO2max (ml.min-1.kg-1)	27,42 ±6,64	25,07 ±6,44	27,88 ±6,52	28,9 ±6,93	28,68 ±6,4	28,04 ±6,56	30,6 ±7,01	30,9 ±6,29	28,23 ±6,63

sec: Sekunden; m/s: Meter pro Sekunde; VO2max: maximale Sauerstoff Aufnahmekapazität kg: Kilogramm; KT: Krafttraining; AT: Ausdauertraining;



## Arzt-Information

### Studie:

**„Transferwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining bei Senioren“  
Institut für Sport und Sportwissenschaft (IfSS),  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**

Sehr geehrte behandelnde Ärztin / behandelnder Arzt,

die folgenden Informationen sollen Ihnen als Entscheidungshilfe dienen, ob eine Unbedenklichkeitsbescheinigung zur Teilnahme an einer Studie zum Gesundheitssport mit Senioren ausgesprochen werden kann. Falls Sie Fragen dazu haben, können Sie jederzeit mit dem Leiter der Studie Valentin Futterer (Tel.Nr: 0721-60846673, E-Mail: valentin.futterer@kit.edu) Rücksprache halten. Für diese Studie liegt ein positives Votum der Ethikkommission des KIT vor und der Ablauf der Studie ist auch von der Datenschutzbeauftragten des KIT genehmigt.

### Einleitung

In der Sportwissenschaft stellt sich die Frage, ob bei einem spezifischen Konditionstraining (bspw. Kraft- oder Ausdauertraining) auch Transferwirkungen auf andere motorische Fähigkeiten außerhalb der erwarteten Veränderungen der spezifisch trainierten konditionellen Fähigkeit auftreten (z.B. Auswirkungen von Krafttraining auf die Ausdauerleistungsfähigkeit). Besonders bei Senioren (> 60 Jahre), deren Alltag häufig von mangelnder körperlich-sportlicher Aktivität – und einer daraus resultierenden schlechten körperlichen Leistungsfähigkeit – geprägt ist, stellen diese Transferwirkungen ein wichtiges Forschungsthema dar, das bisher nicht umfassend untersucht ist und eine fundiertere Trainingsplanung im Sport von Senioren ermöglichen würde.

### Ablauf der Untersuchung

Die Studiendauer beträgt insgesamt zwölf Wochen und ist in drei Abschnitte unterteilt. Zu Beginn der Studie, am ersten Untersuchungstag, werden zuerst allgemeine Informationen zum Studienablauf gegeben, studienrelevante Probandeninformationen erhoben sowie offene Fragen geklärt. Anschließend wird mit den Probanden ein Test zur Gleichgewichtsfähigkeit (Beidbeinstand auf einer Kraftmessplatte) durchgeführt. Die Messung nimmt etwa 15 Minuten in Anspruch, ist völlig risikofrei und führt zu keiner sportlichen Belastungen der Probanden. Je nach zeitlichen Möglichkeiten werden am ersten Untersuchungstag noch ein Ausdauer- sowie ein Krafttest durchgeführt. Falls dies am ersten Testtag nicht möglich ist, wird dies an einem darauffolgenden Tag nachgeholt. Bei dem Ausdauer- und Krafttest handelt es sich um einen submaximalen Walking-Test mit Pulsteuerung, bei dem Krafttest um einen submaximalen Beinkrafttest (Gym80 Beinpresse, 10 Wiederholungen, Maximalkraft wird per Formel berechnet). Beide Testverfahren wurden bereits in anderen Studien mit gesunden Senioren angewendet und sind als standardisierte Testmethoden anerkannt (SEGUIN, R. 2003, *American Journal of Preventive Medicine*, 25:141–149). Den Ausdauer- bzw. Krafttest absolviert jeder Teilnehmer individuell nach seinen Voraussetzungen und Möglichkeiten. Nach Abschluss der Eingangstests werden in den folgenden Tagen alle Probanden über eine Zufallsverteilung in eine der drei Untersuchungsgruppen (Ausdauer-, Kraft- oder Kontrollgruppe) eingeordnet. Für die Teilnehmer der Ausdauer- und Kraftgruppe beginnt anschließend ein Training über zwölf Wochen. Zu diesem Training müssen die Probanden zwei Mal pro Wo-



che für je 60 Minuten an das Institut für Sport und Sportwissenschaft (IfSS) kommen. Die Kontrollgruppe erhält kein sportliches Training, kann dafür aber nach Ablauf der Studie an einem Gesundheitssportprogramm am IfSS teilnehmen. Nach sechs Wochen wird es für alle Probanden einen Zwischentest geben, der dem Test zu Beginn der Studie entspricht. Nach weiteren sechs Wochen Training findet ein Abschlusstest statt. Damit ist die Studie für die Probanden beendet (Teilnehmer der Kontrollgruppe und übrige Interessierte können nun an einem Gesundheitssportprogramm teilnehmen) und wird von wissenschaftlicher Seite ausgewertet.

### **Risiken**

Bei jeder Form von sportlicher Betätigung besteht ein gewisses Verletzungsrisiko. Während dem Training sowie bei den Kraft- und Ausdauerests können Herz-Kreislaufbelastungen auftreten. Durch die in dieser Studie gewählten submaximalen Belastungsformen werden diese aber in einem unkritischen Bereich gehalten. Das individuelle Risiko ist abhängig vom Allgemeinzustand des Betroffenen, von eventuell bestehenden Erkrankungen, von früheren Erkrankungen und vom aktuellen Trainingszustand. Durch das Training kann es zu Muskelkater, Gelenkschmerzen und Belastungen des Sehnen- und Bandapparates kommen. Da die Teilnehmer beim Training betreut werden, wird die aktuelle Befindlichkeit zu Beginn jeder Trainingseinheit vom geschulten Studienpersonal erfragt.

### **Nutzen**

Aus sportwissenschaftlicher Sicht liefert die Untersuchung wichtige Erkenntnisse für ein besseres Verständnis über die Transferwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining bei Senioren und ermöglicht eine effektivere Trainingsplanung für zukünftige Gesundheitssportprogramme.

### **Ausschlusskriterien (vom Arzt zu berücksichtigen)**

- akute orthopädische Erkrankungen/Verletzungen
- neurologische Erkrankungen (z.B. Parkinson-Krankheit, Epilepsie, Demenz, Multiple Sklerose)
- schwere Herz-Kreislauf-Erkrankungen
- Malignes Grundleiden  $\leq 1$  Jahr ohne Rezidiv
- Schlecht eingestellter Hypertonus (Syst.  $> 180$  mm Hg)

**Sollten andere Erkrankungen vorliegen, die aus Ihrer Sicht gegen eine Studienteilnahme sprechen, dann sind diese selbstverständlich ebenfalls zu berücksichtigen.**

### **Einschlusskriterien:**

- Alter: 60 bis 75 Jahre
- vorhandene Mobilität
- Sport-Unbedenklichkeitsbescheinigung eines Arztes



## Teilnehmerinformation

**Studie: „Transferwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining bei Senioren“  
Institut für Sport und Sportwissenschaft (IfSS),  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**

Sehr geehrte Studienteilnehmerin, sehr geehrter Studienteilnehmer,

die folgenden Informationen sollen Ihnen die Entscheidung erleichtern, ob Sie an dieser Studie teilnehmen möchten. Bitte lesen Sie das Dokument sorgfältig durch, bevor Sie eine Entscheidung treffen. Der Testleiter, der Sie am Testtag betreut, wird dieses Dokument mit Ihnen besprechen. Es ist wichtig, dass Sie nachfragen, wenn etwas unklar ist.

### Einleitung

In der Sportwissenschaft stellt sich die Frage, ob bei einem spezifischen Konditionstraining (bspw. Kraft- oder Ausdauertraining) auch Transferwirkungen auf andere motorische Fähigkeiten außerhalb der erwarteten Veränderungen der spezifisch trainierten konditionellen Fähigkeit auftreten (z.B. Auswirkungen von Krafttraining auf die Ausdauerleistungsfähigkeit). Besonders bei Senioren (> 60 Jahre), deren Alltag häufig von mangelnder körperlich-sportlicher Aktivität – und einer daraus resultierenden schlechten körperlichen Leistungsfähigkeit – geprägt ist, stellen diese Transferwirkungen ein wichtiges Forschungsthema dar, das bisher nicht umfassend untersucht ist und eine fundiertere Trainingsplanung im Sport von Senioren ermöglichen würde.

### Ablauf der Untersuchung

Die Studiendauer beträgt insgesamt zwölf Wochen und ist in drei Abschnitte unterteilt. Zu Beginn der Studie, am ersten Untersuchungstag, werden zuerst allgemeine Informationen zum Studienablauf gegeben, studienrelevante Probandeninformationen erhoben sowie offene Fragen geklärt. Anschließend wird mit den Probanden ein Test zur Gleichgewichtsfähigkeit (Beidbeinstand auf einer Messplatte) durchgeführt. Die Messung nimmt etwa 15 Minuten in Anspruch, ist völlig risikofrei und führt zu keiner sportlichen Belastungen der Probanden. Je nach zeitlichen Möglichkeiten werden am ersten Untersuchungstag noch ein Ausdauer- sowie ein Krafttest durchgeführt. Falls dies am ersten Testtag nicht möglich ist, wird dies an einem darauffolgenden Tag nachgeholt. Den Ausdauer- bzw. Krafttest absolviert jeder Teilnehmer individuell nach seinen Voraussetzungen und Möglichkeiten. Für die Teilnehmer der Ausdauer- und Kraftgruppe beginnt anschließend ein Training über zwölf Wochen. Zu diesem Training müssen die Probanden zwei Mal pro Woche für je 60 Minuten an das Institut für Sport und Sportwissenschaft (IfSS) kommen. Nach sechs Wochen wird es für alle Probanden einen Zwischentest geben, der dem Test zu Beginn der Studie entspricht. Nach weiteren sechs Wochen Training findet ein Abschlusstest statt. Damit ist die Studie für die Probanden beendet (Teilnehmer der Kontrollgruppe und übrige Interessierte können nun an einem Gesundheitssportprogramm teilnehmen) und wird von wissenschaftlicher Seite ausgewertet.



### Wichtiger Hinweis:

Zu den drei Testterminen sowie dem Ausdauer- und Krafttraining müssen die Probanden mit Sportbekleidung erscheinen.  
Während der Studie sollten keine weiteren sportlichen Betätigungen aufgenommen werden.

### Risiken

Bei jeder Form von sportlicher Betätigung besteht ein gewisses Verletzungsrisiko. Während dem Training sowie bei den Kraft- und Ausdauertests können Herz-Kreislaufbelastungen auftreten. Durch die in dieser Studie gewählten submaximalen Belastungsformen werden diese aber in einem unkritischen Bereich gehalten. Das individuelle Risiko ist abhängig vom Allgemeinzustand des Betreffenden, von eventuell bestehenden Erkrankungen, von früheren Erkrankungen und vom aktuellen Trainingszustand. Durch das Training kann es zu Muskelkater, Gelenkschmerzen und Belastungen des Sehnen- und Bandapparates kommen. Da die Teilnehmer beim Training betreut werden, wird die aktuelle Befindlichkeit zu Beginn jeder Trainingseinheit vom Studienpersonal erfragt.

### Nutzen

Aus sportwissenschaftlicher Sicht liefert die Untersuchung wichtige Erkenntnisse für ein besseres Verständnis über die Transferwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining bei Senioren und ermöglicht eine effektivere Trainingssteuerung für zukünftige Gesundheitssportprogramme.

### Freiwilligkeit der Teilnahme & Rücktrittsmöglichkeit

Ihre Teilnahme an der Studie ist ausschließlich freiwillig. Sie absolvieren die Tests auf eigene Gefahr. Die Studienleitung übernimmt keine Haftung für Verletzungen, Krankheiten oder sonstige gesundheitliche Beschwerden, die durch die Studie verursacht werden; es sei denn, sie sind durch schuldhaftes Verhalten (z.B. Nichteinhaltung der Sicherheitsmaßnahmen oder fehlerhaftes Bedienen von Geräten) durch die jeweiligen Testleiter verursacht.

Sie können jederzeit, ohne Nachteile und Angabe von Gründen von der Studienteilnahme zurücktreten sowie Ihre Einverständniserklärung zurückziehen. Es entstehen von Seiten der Studienleitung dadurch keine Schadensersatzansprüche. Die Studienleitung hat das Recht, Sie aus Sicherheitsgründen oder sonstigen Gründen aus der Studie herauszunehmen.

Eine Vergütung ist nicht vorgesehen.

### Datenschutzrechtliche Hinweise

Während der Studie werden zunächst Ihre Kontaktdaten erhoben, die Ihren Namen und Vornamen, Ihre Adresse, Telefonnummer und die Email-Adresse beinhalten. Ihre Kontaktdaten werden mit einem Zahlencode versehen und zusammen mit der Sport-Unbedenklichkeitsbescheinigung in einem verschlossenen Schrank im Sekretariat des BioMotion Centers bis zum Abschluss der Studie (Publikation der Ergebnisse) aufbewahrt und dann datenschutzgerecht vernichtet. Der Bogen enthält auch Ihr Geburtsdatum.

Des Weiteren werden in einem zweiten Bogen (Probandenerfassung) Ihr Geschlecht aufgenommen. Der Bogen zur Probandenerfassung wird in einem verschlossenen Schrank im Labor des BioMotion Centers bis zum Abschluss der Studie (Publikation der Ergebnisse) aufbewahrt und dann vernichtet.

Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig. Es entstehen für Sie keinerlei Nachteile, falls Sie sich nicht zu einer Teilnahme an der Studie entschließen sollten. Auch wenn Sie die Einver-



Institut für Sport und Sportwissenschaft  
BioMotion Center

**Einverständniserklärung**

Hiermit erkläre ich mich mit der Studienteilnahme am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Sport und Sportwissenschaft, Leitung Prof. Dr. Alexander Woll, einverstanden. Mit der Speicherung der erhobenen Daten und der anschließenden wissenschaftlichen Auswertung bin ich einverstanden.

Mir ist bekannt, dass bei jeder sportlichen Betätigung ein Verletzungsrisiko besteht und auch eine Herz-Kreislaufbelastung auftritt. Das individuelle Risiko ist abhängig vom Allgemeinzustand des Betroffenen, von eventuell bestehenden Erkrankungen, von früheren Erkrankungen und vom aktuellen Trainingszustand.

Ich bin mündlich und schriftlich über das Wesen, die Bedeutung, die Tragweite und mögliche Risiken der einzelnen Untersuchungen im Rahmen der wissenschaftlichen Studie informiert worden und hatte ausreichend Gelegenheit, meine Fragen hierzu in einem Gespräch mit dem/der Testleiter/In zu klären. Insbesondere habe ich die mir vorgelegte Teilnehmerinformation verstanden.

Die Teilnahme an der Studie erfolgt freiwillig und auf eigenes Risiko.

Ich bin damit einverstanden, dass im Rahmen der Studie die in den „Teilnehmerinformationen“ beschriebenen Daten erhoben und gespeichert und für die in den „Teilnehmerinformationen“ dargestellten Zwecke in pseudonymisierter Form verarbeitet werden. Auch bin ich damit einverstanden, dass die pseudonymisierten Daten bis zum Ende der Studie (Publikation der Ergebnisse) gespeichert werden.

Ort, Datum: \_\_\_\_\_

Name Proband/In: \_\_\_\_\_

Unterschrift Proband/In: \_\_\_\_\_



## Unbedenklichkeitsbescheinigung

(zur Vorlage beim Arzt)

Name: ..... Vorname: .....

Adresse: .....

PLZ: ..... Ort: .....

Geb.-Dat. : .....

Ich möchte an der Studie „*Transferwirkungen von Kraft- und Ausdauertraining bei Senioren*“ des Karlsruher Instituts für Technologie teilnehmen.

Es bestehen folgende gesundheitliche Probleme:

1. ....

2. ....

Datum: .....

Unterschrift des Patienten: .....

(vom Arzt auszufüllen)

**Hiermit bestätige ich, dass die Teilnahme an oben genannter Studie**

- aus ärztlicher Sicht ohne Bedenken möglich ist.
- aus ärztlicher Sicht nicht möglich ist.

Anmerkungen:

.....

Datum: .....

Unterschrift des Arztes: ..... Stempel Arzt



Institut für Sport und Sportwissenschaft  
BioMotion Center

## Teilnehmerinformation

### Studie: „Auswirkungen eines spezifischen Vorbelastung-Trainings auf die Sprintleistung bei Nachwuchsleistungssportlern“

Institut für Sport und Sportwissenschaft (IfSS),  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
In Kooperation mit dem Karlsruher Sport Club (KSC)

Sehr geehrte Studienteilnehmer, sehr geehrte Erziehungsberechtigte,

die folgenden Informationen sollen Ihnen einen kurzen Überblick über die Studie geben um Ihnen die Entscheidung erleichtern, ob Sie an dieser Studie teilnehmen möchten. Bitte lesen Sie das Dokument sorgfältig durch, bevor Sie eine Entscheidung treffen.

#### Einleitung

Das IfSS kooperiert seit längerer Zeit im Bereich der Leistungsdiagnostik und des Athletiktrainings mit dem Karlsruher Sport Club. Im Rahmen dieser Kooperation, führt das IfSS mit den Profi- sowie Nachwuchsleistungssportlern diverse Sprint-, Sprung- sowie Ausdauerleistungstests durch. Die gewonnenen Ergebnisse vermitteln den Trainern einen Überblick über den derzeitigen konditionellen Zustand der Spieler und ermöglichen so eine effektivere Trainingssteuerung. Im Rahmen dieser Maßnahmen führt das IfSS aktuell eine Studie zu einer spezifischen Trainingsvorbelastung durch, die in anderen Studien bereits einen positiven Einfluss auf die Sprintleistungsfähigkeit aufzeigen konnte. Hierbei wird vor dem eigentlichen Sprinttest ein Vorbelastungstraining an einem Schwungrad-Krafttrainingsgerät (Flywheel-Training) durchgeführt. Dieses Trainingsgerät erzeugt einen „Exzentrischen Overload“ und ruft damit u.a. eine hohe neuromuskuläre Aktivierung hervor. Diese neuromuskuläre Aktivierung ermöglicht eine post-activation potentiation (Postaktivierungspotenzierung kurz PAP). Durch die PAP wird in der Theorie die folgende Schnellkraftleistung positiv beeinflusst. In diesem Fall die Sprintleistung.

#### Ablauf der Studie

Die Studie wird - aller Voraussicht nach - in der letzten Märzwoche durchgeführt und findet im Rahmen des Athletiktrainings auf dem Trainingsgelände des KSC statt. Es werden also weder zusätzlichen Zeiträume beansprucht, noch werden externe Einrichtungen genutzt. Die Probanden starten die Untersuchung mit einem standardisierten 15-minütigen Aufwärmprogramm. Anschließend startet die kurze Trainingsintervention mit ca. 5-8 Wiederholungen am Schwungrad-Krafttrainingsgerät. In einem festgelegten Zeitfenster von 5-7 Minuten wird daraufhin der Sprinttest in zwei Durchgängen absolviert und die Untersuchung damit abgeschlossen.

#### Risiken

Die Studie findet unter ständiger Aufsicht des Studienleiters und/oder des Athletiktrainers statt. Bei jeder Form von sportlicher Betätigung besteht ein gewisses Verletzungsrisiko. Während des Trainings sowie bei dem Sprinttest können Herz-Kreislaufbelastungen, Muskelkater, Gelenkschmerzen und Belastungen des Sehnen- und Bandapparates auftreten. Die in der Studie



Institut für Sport und Sportwissenschaft  
BioMotion Center

auftreten Belastungen gehen aber nicht über die üblichen Belastungen des täglichen Trainingsbetriebes hinaus.

### **Nutzen**

Aus sportwissenschaftlicher Sicht liefert die Untersuchung wichtige Erkenntnisse für ein besseres Verständnis über die Auswirkungen eines spezifischen Vorbelastungstrainings und ermöglicht eine effektivere Trainingssteuerung im (Nachwuchs-) Leistungssport. Aus praktischer Sicht liefert die Untersuchung für den KSC, neben aktuellen Leistungsdiagnostik-Parametern, auch neue Erkenntnisse und Möglichkeiten im Bereich der Trainingsteuerung. Im Besonderen im Bereich des Schnelligkeits- und Sprungkrafttrainings sind hier praxisrelevante Ergebnisse zu erwarten, die direkt in das Training der Fußballer integriert werden können.

### **Freiwilligkeit der Teilnahme & Rücktrittsmöglichkeit**

Ihre Teilnahme an der Studie ist ausschließlich freiwillig. Sie absolvieren die Tests auf eigene Gefahr. Die Studienleitung übernimmt keine Haftung für Verletzungen, Krankheiten oder sonstige gesundheitliche Beschwerden, die durch die Studie verursacht werden; es sei denn, sie sind durch schuldhaftes Verhalten (z.B. Nichteinhaltung der Sicherheitsmaßnahmen oder fehlerhaftes Bedienen von Geräten) durch die jeweiligen Testleiter verursacht.

Sie können jederzeit, ohne Nachteile und Angabe von Gründen von der Studienteilnahme zurücktreten sowie Ihre Einverständniserklärung zurückziehen. Es entstehen von Seiten der Studienleitung dadurch keine Schadensersatzansprüche. Die Studienleitung hat das Recht, Sie aus Sicherheitsgründen oder sonstigen Gründen aus der Studie herauszunehmen.

### **Welche Daten werden erhoben?**

Während der Studie werden zunächst Ihre Kontaktdaten erhoben, die ausschließlich Namen und Vornamen sowie ihr Geburtsdatum beinhalten. Des Weiteren werden anthropometrische Daten (Größe und Gewicht) erfasst.

### **Ist die Teilnahme verpflichtend?**

Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig. Es entstehen für Sie keinerlei Nachteile, falls Sie sich nicht zu einer Teilnahme an der Studie entschließen sollten. Auch wenn Sie die Einverständniserklärung unterschrieben haben, können Sie die Untersuchung ohne Nennung von Gründen jederzeit abbrechen. In diesem Fall werden alle Ihre bis dahin erhobenen Daten datenschutzgerecht vernichtet.

### **Wer erhält Zugriff auf die Daten?**

Die Daten werden von einem Team von wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Karlsruher Instituts für Technologie aufbereitet und ausgewertet.

### **Wie werden die Daten ausgewertet?**

Ihre Kontaktdaten werden mit einem Zahlencode versehen und der Bogen in einem verschlossenen Schrank im Sekretariat des BioMotion Centers am KIT bis zum Abschluss der Studie (Publikation der Ergebnisse) aufbewahrt und dann datenschutzgerecht vernichtet. Der Bogen enthält auch Ihr Geburtsdatum.



Institut für Sport und Sportwissenschaft  
BioMotion Center

Alle im Verlauf der Studie erhobenen Daten werden streng vertraulich behandelt und wie oben beschrieben pseudonymisiert, das heißt mit einem Zahlencode versehen, weiterverarbeitet und ausgewertet. So wird sichergestellt, dass keine Rückschlüsse auf Ihre Person möglich sind.

Der Bogen zur Probandenerfassung wird in einem verschlossenen Schrank im Labor des BioMotion Centers am KIT bis zum Abschluss der Studie (Publikation der Ergebnisse) aufbewahrt und dann vernichtet. Auf diesem Bogen tauchen keinerlei Kontaktdaten von Ihnen auf, sondern lediglich, der Ihnen zugeordnete Zahlencode. Den Zugriff auf Ihre Kontaktdaten inklusive des Zuordnungscodes sowie auf den Probandenerfassungsbogen bekommen nur die Studienleiter und ihre Vertreter.

### **Werden personenbezogene Daten veröffentlicht?**

Im Rahmen des Projekts werden keine Daten veröffentlicht, die einen Rückschluss auf einzelne Personen zulassen.

Wenn Sie noch weitere Fragen über den Studienablauf haben oder Ihnen noch etwas unklar ist, wenden Sie sich bitte an die Studienleitung. Sollten Sie nach dem Untersuchungstermin noch Fragen haben, können Sie sich jederzeit an die Studienleiter wenden.



Institut für Sport und Sportwissenschaft  
BioMotion Center

### Informationen zur Erhebung personenbezogener Daten

#### Verantwortlich im datenschutzrechtlichen Sinne:

Postanschrift:  
Karlsruher Institut für Technologie  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
Deutschland  
Tel.: +49 721 608-0  
Fax: +49 721 608-44290  
E-Mail: [info@kit.edu](mailto:info@kit.edu)

**Datenschutzbeauftragte**  
Karlsruher Institut für Technologie  
Datenschutzbeauftragte  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
Deutschland  
Tel. 0721 608-41057  
E-Mail: [marina.bitmann@kit.edu](mailto:marina.bitmann@kit.edu)

#### Zweck und Folgen der Nichtangabe

Zweck der Datenerhebung ist die Teilnahme an der wissenschaftlichen Studie „Auswirkungen eines spezifischen Vorbelastung-Trainings auf die Sprintleistung bei Nachwuchsleistungssportlern“. Bei nicht-Teilnahme entstehen keine Nachteile.

#### Rechtsgrundlage

Einwilligung: Art. 6 Abs. 1 lit a DS-GVO

#### Empfänger

Karlsruher Institut für Technologie  
KIT-Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften  
Institut für Sport und Sportwissenschaft  
Valentin Futterer (Studienleitung), BioMotion Center  
Tel.: 0721 608-46673  
E-Mail: [valentin.futterer@kit.edu](mailto:valentin.futterer@kit.edu)  
JProf. Dr. Thorsten Stein (Studienleitung), BioMotion Center  
Tel. 0721 608-46654  
E-Mail: [thorsten.stein@kit.edu](mailto:thorsten.stein@kit.edu)  
Engler-Bunte-Ring 15  
76131 Karlsruhe  
Deutschland

#### Dauer der Speicherung

- Die Kontaktdaten inklusive des Zuordnungscodes sowie der Probandenerfassungsbogen werden, wie beschrieben, bis zum Abschluss der Studie (Publikation der Ergebnisse) am KIT aufbewahrt und dann vernichtet, so dass dann keine Zuordnung einer Person mehr möglich ist.
- Die Löschung der Forschungsdaten am KIT erfolgt 10 Jahre nach Abschluss des Projekts.



Institut für Sport und Sportwissenschaft  
BioMotion Center

### Ihre Rechte

- Sie haben das Recht, vom KIT Auskunft über die zu Ihrer Person gespeicherten Daten zu erhalten und/oder unrichtig gespeicherte Daten berichtigen zu lassen.
- Sie haben darüber hinaus das Recht auf Löschung oder auf Einschränkung der Verarbeitung oder ein Widerspruchsrecht gegen die Verarbeitung.
- Außerdem haben Sie das Recht, die sie betreffenden personenbezogenen Daten, die Sie der Universität bereitgestellt haben, in einem strukturierten, gängigen und maschinenlesbaren Format zu erhalten und diese Daten direkt einem anderen Verantwortlichen übermitteln zu lassen, sofern dies technisch machbar ist und Rechte und Freiheiten anderer Personen nicht beeinträchtigt werden.
- Darüber hinaus haben Sie das Recht, die Einwilligung jederzeit zu widerrufen, wobei die Rechtmäßigkeit der aufgrund der Einwilligung bis zum Widerruf erfolgten Verarbeitung nicht berührt wird.

Bitte wenden Sie sich dazu jeweils an:

Karlsruher Institut für Technologie  
KIT-Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften  
Institut für Sport und Sportwissenschaft

Valentin Futterer (Studienleitung), BioMotion Center  
Tel.: 0721 608-46673

E-Mail: [valentin.futterer@kit.edu](mailto:valentin.futterer@kit.edu)

JProf. Dr. Thorsten Stein (Studienleitung), BioMotion Center  
Tel. 0721 608-46654

E-Mail: [thorsten.stein@kit.edu](mailto:thorsten.stein@kit.edu)

Engler-Bunte-Ring 15  
76131 Karlsruhe  
Deutschland

- Sie haben das Recht auf Beschwerde bei der Aufsichtsbehörde, wenn Sie der Ansicht sind, dass die Verarbeitung der Sie betreffenden personenbezogenen Daten gegen die Rechtsvorschriften verstößt.

Die zuständige Aufsichtsbehörde ist der Landesbeauftragte für den Datenschutz und die Informationsfreiheit Baden-Württemberg, Stuttgart.

### Weiterverarbeitung für anderen Zweck

Sofern eine Weiterverarbeitung für andere Zwecke (z.B. weitere Forschungsprojekte) konkretisiert sind, werden Sie erneut um Ihre Einwilligung gebeten und die notwendigen Informationen erhalten.



Institut für Sport und Sportwissenschaft  
BioMotion Center

## Einverständniserklärung

**Studie:** „Auswirkungen eines spezifischen Vorbelastung-Trainings auf die Sprintleistung bei Nachwuchsleistungssportlern“

### Kontakt

Karlsruher Institut für Technologie  
KIT-Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften  
Institut für Sport und Sportwissenschaft

Valentin Futterer (Studienleitung), BioMotion Center  
Tel.: 0721 608-46673

JProf. Dr. Thorsten Stein (Studienleitung), BioMotion Center  
Tel. 0721 608-46654; E-Mail: thorsten.stein@kit.edu

E-Mail: valentin.futterer@kit.edu  
Engler-Bunte-Ring 15  
76131 Karlsruhe  
Deutschland

Ich habe die Teilnehmerinformationen zur Studie „Auswirkungen eines spezifischen Vorbelastung-Trainings auf die Sprintleistung bei Nachwuchsleistungssportlern“ gelesen und willige in die Teilnahme an der Studie und die damit verbundene Datenverarbeitung ein.

Mir ist bekannt, dass bei jeder körperlichen Betätigung ein Verletzungsrisiko besteht und auch eine Herz-Kreislaufbelastung auftritt. Das individuelle Risiko ist abhängig vom Allgemeinzustand des Betreffenden, von eventuell bestehenden Erkrankungen, von früheren Erkrankungen und vom aktuellen körperlichen Zustand.

Mir ist bewusst, dass die Einwilligung freiwillig ist und ohne Nachteile verweigert oder jederzeit auch ohne Angaben von Gründen widerrufen werden kann. Ich weiß, dass im Falle eines Widerrufs die Rechtmäßigkeit der aufgrund der Einwilligung bis zum Widerruf erfolgten Verarbeitung nicht berührt wird. Ich habe verstanden, dass ich mich für einen Widerruf einfach an die in den Informationen genannten Ansprechpartner wenden kann.

Ich versichere hiermit ausdrücklich, dass ich volljährig bin und in der Lage sehe, an dieser Untersuchung teilzunehmen. Falls der Proband minderjährig ist, ist die Unterschrift eines Erziehungsberechtigten erforderlich.

Mir wurden die Informationen zur Erhebung personenbezogener Daten zur Studie „Auswirkungen eines spezifischen Vorbelastung-Trainings auf die Sprintleistung bei Nachwuchsleistungssportlern“ mitgeteilt und zur Verfügung gestellt.

Schließlich bin ich damit einverstanden, dass die pseudonymisierten Daten bis zum Ende der Studie (Publikation der Ergebnisse) gespeichert werden.

Ort, Datum: \_\_\_\_\_

Name Proband/In: \_\_\_\_\_

Unterschrift Proband/In: \_\_\_\_\_

Unterschrift Erziehungsberechtigter: \_\_\_\_\_

