

Wirksamkeit eines Sprinttrainings mit «optimalem Zugwiderstand» auf die Verbesserung der Anlaufgeschwindigkeit am Pferdsprung sowie der horizontalen Sprint- und vertikalen Sprungleistung bei Elite Kunstturnern

Abschlussarbeit zur Erlangung des Master of Science in Sportwissenschaften

Option Unterricht

eingereicht von

Luca von Siebenthal

an der

Universität Freiburg, Schweiz

Mathematisch-Naturwissenschaftliche und Medizinische Fakultät

Abteilung Medizin

Department für Neuro- und Bewegungswissenschaften

in Zusammenarbeit mit der

Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent

PD Dr. Silvio Lorenzetti

Betreuer

Christoph Schärer

Bern, 27. April 2020

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Einleitung.....	5
1.1 Sportart Kunstturnen	5
1.2 Leistungsstruktur der Sportart Kunstturnen	6
1.3 Leistungsstruktur am Pferdsprung.....	12
1.4 Trainingsmethoden zur Verbesserung von kurzen linearen Sprints.....	17
1.5 Ziel der Arbeit	19
2 Methode	21
2.1 Untersuchungsgruppe	21
2.2 Studiendesign	21
2.3 Instrumente	24
2.4 Datenauswertung	25
3 Resultate	26
3.1 Anlaufgeschwindigkeit.....	26
3.2 Horizontale Sprintleistung.....	27
3.3 Vertikale Sprungleistung	29
4 Diskussion	32
4.1 Anlaufgeschwindigkeit.....	32
4.2 Horizontale Sprintleistung.....	34
4.3 Vertikale Sprungleistung	36
4.4 Schwachpunkte der Studie	37
4.5 Ausblick.....	37
5 Schlussfolgerung	38
Literatur	39
Anhang	44
Dank	46

Zusammenfassung

Einleitung: In der hochkomplexen Sportart Kunstturnen sind die Anforderungen der Wettkampfbübungen in den letzten Jahren markant angestiegen. Beim Turngerät Pferdsprung ist die muskuläre Leistung der unteren Extremitäten die Voraussetzung, um schnell sprinten zu können. Dies ist für eine hohe Anlaufgeschwindigkeit entscheidend. Letztere erklärt bis zu 64 % die Schwierigkeit des gezeigten Pferdsprungs. Sprinten mit Zugwiderstand ist eine vielversprechende Trainingsmethode, um den Pferdsprunganlauf optimieren zu können. Neuere Studien verwenden hierfür den optimalen Zugwiderstand mit 69-96 % des Körpergewichts.

Ziel: In dieser Studie wurde die Wirksamkeit eines Sprinttrainings mit optimalem Zugwiderstand in Bezug auf die Verbesserung der Anlaufgeschwindigkeit am Pferdsprung, der muskulären horizontalen Sprint- und vertikalen Sprungleistung bei Elite Kunstturnern überprüft.

Methode: Fünf Elite Kunstturner nahmen an der Studie teil. Vor und nach einer dreiwöchigen Sprinttrainingsintervention (2 Trainings pro Woche mit jeweils 6 Sprints mit optimalem Zugwiderstand) wurde die maximale Anlauf- und 20 m-Sprintgeschwindigkeit sowie deren 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten, die horizontale 20 m-Sprintleistung mit ansteigendem Zugwiderstand und die vertikale Sprungleistung gemessen. Die Daten wurden anschliessend mit einem Mittelwertvergleich analysiert und auf signifikante Unterschiede geprüft. Der optimale Zugwiderstand wurde mittels Sprint-Laststufenprotokoll und dem daraus resultierten individuellen Kraft-Geschwindigkeits-Leistungs-Profiles berechnet.

Resultate: Die maximale Anlaufgeschwindigkeit beim Pferdsprung verbesserte sich nur leicht um 0.99 % ($p = 0.18$; $r = 0.47$). Im dritten Abschnitt (10-15 m) konnten hierbei hohe Effekte ($p = 0.16$; $r = 0.50$) festgestellt werden. Beim 20 m-Sprint (maximale Sprint- und 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten) konnten keine Verbesserungen festgestellt werden. Hingegen verbesserte sich die horizontale Sprintleistung im Sprint-Laststufenprotokoll im ersten Abschnitt (0-5 m) bei allen Laststufen (mittlere bis hohe Effekte). Signifikante Unterschiede konnten jedoch nur bei der 13 und 19 kg-Laststufe ($p = 0.04$; $r = 0.64$) beobachtet werden. Im zweiten (5-10 m) und dritten Abschnitt (10-15 m) resultieren Leistungssteigerungen vor allem mit einem Zugwiderstand im Bereich des optimalen Widerstandes (jeweils bei Laststufe 17 und 21 kg: $p = 0.04$; $r = 0.64$). Im letzten Abschnitt (15-20 m) konnten keine Veränderungen festgestellt

werden. Bei der vertikalen Sprungleistung konnte einzig im Countermovement-Jump mit 120 % des Körpergewichts eine Verbesserung ($p = 0.07$; $r = 0.65$) erzielt werden.

Diskussion und Konklusion: Die Resultate dieser Studie zeigen, dass durch das Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand die Anlaufgeschwindigkeit beim Pferdsprung nur leicht verbessert wird. Hingegen steigerte sich die Beschleunigungsfähigkeit bei Sprints mit hohen Zugwiderständen im Sprint-Laststufentest signifikant. Die möglichen Hauptgründe für den ungenügenden Transfer zum sportartspezifischen Bewegungsmuster beim Sprint / Pferdsprunganlauf können wahrscheinlich auf die unterschiedlichen Test- und Trainingsbedingungen (Fitness-Zustand der Athleten, anderer Sprint-Untergrund, mit und ohne Laufschuhe, Test- und Trainingszeiten) zurückgeführt werden. Für weitere Trainingsprogramme wird empfohlen die Test- und Trainingsbedingungen sportartspezifisch zu gestalten und zu standardisieren. In Kombination mit dem Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand sollen künftig vertikale Sprungkrafttrainingsformen trainiert werden. Mit dieser Trainingsform kann der Sprintantritt und die maximale Sprintgeschwindigkeit zusätzlich verbessert werden.

1 Einleitung

1.1 Sportart Kunstturnen

Kunstturnen ist eine komplexe Sportart bei welcher aufgrund der Verbesserung der Turngeräte und der Abschaffung der Höchstnote «Zehn» im Jahre 2006 die Schwierigkeit und die Dauer der Übungen in den letzten Jahren markant angestiegen sind (Naundorf, Brehmer, Körner, & Seidel, 2017; Naundorf, Fetzer, & Brehmer, 2009). Die technisch-kompositorische Sportart besteht im Mehrkampf bei den Frauen aus den Disziplinen Pferdsprung, Stufenbarren, Schwebebalken und Boden. Bei den Männern sind dies die Turngeräte Boden, Pauschenpferd, Pferdsprung, Ringe, Barren und Reck. Bei grossen Wettkämpfen wie den Olympischen Spielen, Welt- und Europameisterschaften werden nebst dem Mehrkampf (bei welchem eine Endnote aus allen Turngeräten resultiert) auch die besten Kunstturnerinnen und Kunstturner pro Turngerät in den Gerätefinals ausgezeichnet. Ein Jahr nach den Olympischen Spielen, welche in einem Vierjahres-Zyklus stattfinden, werden die Wertungsvorschriften jeweils angepasst und durch neue Regelungen oder Turnelemente ergänzt.

Die Übungen an den Wettkämpfen werden gemäss dem Code de Pointage (Fédération Internationale de Gymnastique, 2017) dem Regelwerk des Kunstturnens, durch insgesamt neun Kampfrichter, nach Schwierigkeit und Ausführung benotet. Dabei wird der Schwierigkeitswert (D-Note) von zwei und die Ausführungsnote (E-Note) von fünf Kampfrichtern ermittelt. Zwei weitere Kampfrichter dienen als Referenzkampfrichter für die E-Note, welche sich mittels Punkteabzüge von der maximalen Note «Zehn» ergibt. Durch die Addition der zehn am höchsten eingestuften Übungselemente wird die D-Note berechnet. Die Addition der beiden Noten ergibt schliesslich die Endnote (F-Wert). Somit wird nicht nur die Schwierigkeit der gezeigten Elemente, sondern auch deren qualitative Ausführung bewertet. Bei den Männern konnte in der Bewertung eine Dominanz der Schwierigkeitsnote gegenüber der Ausführungsnote festgestellt werden. Bei den Frauen beeinflussen beide Noten ausgeglichen die Endnote (F-Wert) (Naundorf et al., 2017). Die steigende Bedeutung von schwierigen Elementen in den Wettkampfübungen in den letzten Jahrzehnten, hatte zur Folge, dass die Athletinnen und Athleten schon früh möglichst viele schwierige Elemente turnen müssen. Diese Anpassungen haben einen Einfluss auf die Leistungsstruktur im Kunstturnen, welche im Vergleich zu anderen Sportarten sehr breit und umfangreich ist. Dies erklärt der hohe Trainingsaufwand und ist der Grund,

weshalb bereits in jungen Jahren mit einem intensiven, spezifischen Training begonnen werden muss (French et al., 2004; Jemni, Friemel, Sands, & Mikesky, 2001; Sands, 2000).

In den folgenden Abschnitten werden die generellen sowie insbesondere die Pferdsprungspezifischen konditionellen Voraussetzungen für die Sportart Kunstturnen anhand eines Modells und Literatur beschrieben. Die wichtigsten leistungsbestimmenden Eigenschaften für den Pferdsprunganlauf werden dabei erläutert und die dazugehörigen Trainingsmethoden und -empfehlungen vorgestellt.

1.2 Leistungsstruktur der Sportart Kunstturnen

Eine Leistungsstruktur enthält diverse leistungsbestimmende Eigenschaften. Im Allgemeinen gibt es in jeder Sportart unterschiedliche Schwerpunkte. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Turngeräte ist die Leistungsstruktur im Kunstturnen hochkomplex. Weineck (2010) entwickelte ein Modell der sportlichen Leistungsfähigkeit. Das Modell teilt die Anforderungen an eine Athletin oder einen Athleten in sechs Kategorien (siehe Abbildung 1) ein. Die Technik wird zudem unterteilt in koordinative Fähigkeiten und Bewegungsfertigkeiten und die Kondition in Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer und Beweglichkeit (Weineck, 2010).

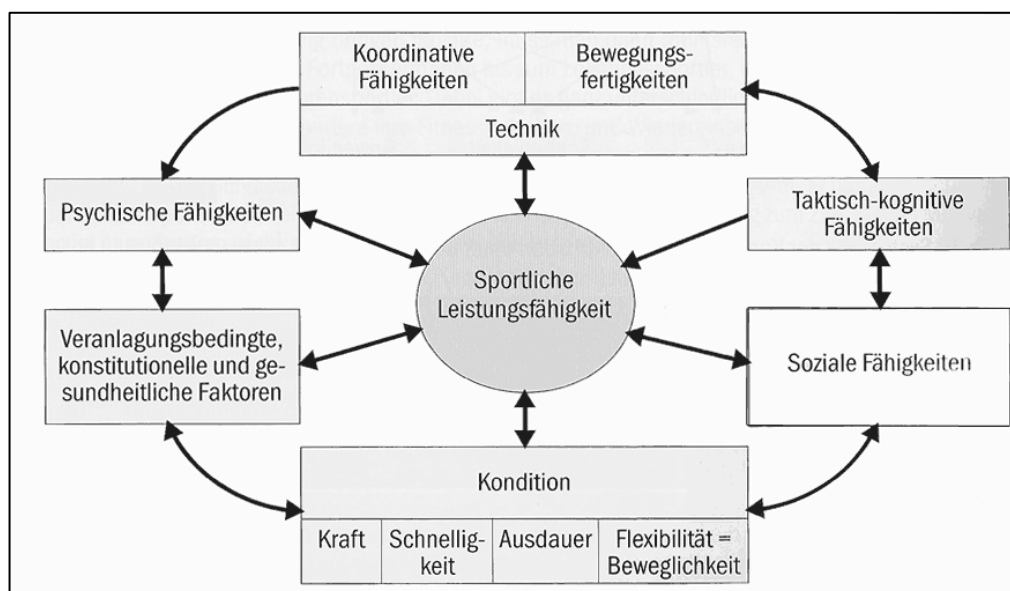


Abbildung 1. Modell der Komponenten der sportlichen Leistung nach Weineck (2010, S. 25).

Mithilfe dieser Komponenten ist es möglich, die Anforderungen einer Sportart oder spezifisch im Kunstturnen die notwendigen Voraussetzungen für die Leistungsfähigkeit an einem einzelnen Turngerät zu analysieren und einen Fokus im Training festzulegen. Dies gilt für alle

konditionellen Faktoren. Folglich werden die Komponenten der Kondition und die Technik näher umschrieben und der allgemeine Bezug zu den Anforderungen in der Sportart Kunstturnen hergestellt.

1.2.1 Kondition.

Kraft. In physikalischer Hinsicht wird die Kraft (F) als Produkt von Masse (m) und Beschleunigung (a) angesehen (Fröhlich, 2014). French et al. (2014) betiteln die Kraft als entscheidende Komponente der sportspezifischen Leistungsfähigkeit im Kunstturnen. Kraft heisst jedoch nicht nur kräftig zu sein und hohe Widerstände überwinden zu können, sondern der Begriff wird in verschiedene Teilkomponente unterteilt. Im motorischen Kraftverhalten wird die Kraft je nach Krafteinsatz unterschiedlich klassifiziert. Güllich und Schmidtbleicher (1999) strukturieren die Erscheinungsformen der motorischen Kraft in Maximalkraft (statisch und dynamisch), Schnellkraft und Kraftausdauer. Dabei nimmt die Maximalkraft als Basis und Voraussetzung für die beiden anderen Kraftfähigkeiten eine übergeordnete Rolle ein.

Die Maximalkraft beschreibt die höchstmögliche Kraft, «die das neuromuskuläre System bei einer maximalen willkürlichen Kontraktion entfalten kann» (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 224). Die statische Maximalkraft, relativ zum Körpergewicht, wird im Kunstturnen speziell bei statischen Elementen wie beispielsweise einer Stützwaage am Turngerät Ringe oder Barren vorausgesetzt (Hassan, 2003). Ein solches Element muss dabei für mindestens fünf Sekunden gehalten werden. Die dynamische Maximalkraft ist beim Kunstturnen aufgrund der vielen dynamischen Bewegungen eine wichtige Voraussetzung für die Schnellkraft und somit entscheidend für die Kondition der Kunstturnerinnen und Kunstturner. Sie ist essenziell, um beispielsweise bei akrobatischen Flug-Elementen oder auch Landungen die nötige Schnellkraft zu erreichen (Gerling, 2008; Hassan, 2003).

Die Schnellkraft wird dabei mittels Zusammenspiel von Kraft und Schnelligkeit gebildet und ist eine zentrale Komponente im Kunstturnen (Hassan, 2003). Gerling (2008) beschreibt die Bedeutung der Schnellkraft im Kunstturnen folgendermassen:

Die Schnellkraft ermöglicht es, in kurzer Zeit und in hohem Maße den Körper zu beschleunigen. Dies wird im Turnen vor allem für alle Schwungelemente und für Sprünge benötigt. Die Muskulatur muss hierzu eine schnelle Kontraktionsfähigkeit besitzen.

Diese Schnellkraftfähigkeit basiert auf dem Niveau der Maximalkraft. (Gerling, 2008, S. 48)

Schnellkraftleistungen sind dabei immer dynamisch und haben das Ziel, den Körper oder ein Körperteil einer Athletin oder eines Athleten schnell zu beschleunigen (Hassan, 2003). Im Kunstturnen werden diese vor allem bei Sprints, Sprüngen und bei allgemein schnellen Bewegungen ersichtlich und bilden unter anderem die Grundlage für alle Elemente, welche aus und im Stütz- und Hangverhalten geturnt werden (Gerling, 2008). Somit ist die Schnellkraft bei allen Turngeräten eine leistungsbestimmende Eigenschaft. Bei der Ausführung von Elementen müssen Arm-Rumpf- und Bein-Rumpf-Winkel häufig möglichst schnell geöffnet oder geschlossen werden (Gerling, 2008). Beim Verlassen eines Turngeräts in die Überleitung zu einer Flugphase bei einem Flugelement kann eine ausgeprägte Schnellkraft ausserdem die erforderliche Wirkung erzielen (Bessi, 2009).

Bei den Wettkampfübungen werden immer schwierigere Elemente geturnt, welche in den meisten Fällen schnelleren Bewegungen vorausgesetzt werden. Dies ist zum Beispiel am Pferdsprung zu beobachten. Zur Generierung der notwendigen Flughöhe und Rotation müssen immer höhere Abdruck- und Absprungimpulse bei gleichbleibenden Abdruckzeiten erzeugt werden. Daraus entsteht mehr Flugzeit, welche benötigt wird, um noch mehr Drehungen und Saltos zu turnen (Farana & Vaverka, 2012). Dementsprechend nimmt die Wichtigkeit der Schnellkraft immer wie mehr zu.

Die Struktur und die Einflussgrössen der Schnellkraft werden in der Folge nach Güllich und Schmidtbleicher (1999) im Detail beschrieben. Die Autoren definieren die Schnellkraft als «die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, einen möglichst grossen Impuls (Kraftstoss) innerhalb einer verfügbaren Zeit zu entfalten» (S. 225). Der Impuls ergibt sich dabei aus der Steilheit des Kraftanstiegs (Explosivkraft), realisiertem Kraftmaximum und der Impulsdauer (Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Liegt die Kontraktionszeit einer schnellkräftigen Bewegung unter 200 ms, wird von einem schnellen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) gesprochen. Aktionen im schnellen DVZ sind abhängig von der Reaktivkraft. Die Reaktivkraftfähigkeit ist «die Fähigkeit, bei kurzzeitiger Kopplung exzentrischer und konzentrischer Muskelkontraktion, das heisst im DVZ, schnellkräftig zu agieren» (Schnabel, Harre, & Krug, 2014, S. 163). Dabei wird die Reaktivkraft als mehrheitlich von der Maximalkraft unabhängige muskuläre Eigenschaft betrachtet (Schnabel et al., 2014). Bei einer längeren Impulsdauer über 200 ms (langer DVZ)

nimmt die Bedeutung des dynamisch realisierten Kraftmaximums, welches durch das Niveau der Maximalkraft bestimmt wird, an Bedeutung zu (Güllich & Schmidtbleicher, 1999).

Damit die Maximal- und Explosivkraft der unteren Extremitäten von Athletinnen und Athleten standardisiert gemessen und verglichen werden können, gibt es diverse Messmethoden. Hübner (2009) entwickelte dafür ein Messverfahren (Muskelleistungs-Diagnostik: MLD), welches für Sportarten mit hohem Explosivkraftanteil angewendet werden kann. Der Test beinhaltet die Bestimmung der isometrischen Maximalkraft sowie der Explosivkraft durch Countermovement (CMJ) und Squat Jumps (SJ) (mit 0 %-100 % Zusatzlast). Mithilfe der Ergebnisse können individuelle Trainingsempfehlungen im kurz- und langfristigen Sinne festgelegt werden (Hübner, 2009). Der MLD wird unter anderem auch beim schweizerischen Nationalkader im Kunstturnen phasenweise angewendet, um Fortschritte oder Defizite in den genannten Kraftleistungsfähigkeiten der unteren Extremitäten erkennen zu können. Mithilfe des Verhältnisses zwischen der Bodenkontaktzeit und der Sprunghöhe bei Drop Jumps (DJ) von unterschiedlichen Höhen kann zusätzlich das Kraftverhalten im schnellen DVZ (Reaktivkraft) bestimmt werden.

Neben der Schnellkraft ist die Kraftausdauer die zweite der Maximalkraft untergeordnete Kraftfähigkeit. Sie bezeichnet «die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, eine möglichst hohe Impulssumme (Kraftstosssumme) in einer gegebenen Zeit gegen höhere Lasten zu produzieren» (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 226). Da im Kunstturnen die Übungen zwischen fünf (Pferdsprung) bis 70 Sekunden (Boden) andauern, ist auch die Kraftausdauerfähigkeit eine wichtige Komponente, um beispielsweise die Körperspannung während den Elementverbindungen bis hin zur Landung aufrecht zu erhalten (Gerling, 2008). An den meisten Geräten sind jedoch wiederholte Schnellkraftleistungen der oberen und unteren Extremitäten bedeutsamer. Die wirkliche Kraftausdauer im Sinne von Maximalkraftausdauer wird vor allem an den Ringen vorausgesetzt.

Schnelligkeit. Die Komponente Schnelligkeit ist sehr vielfältig und kann in den verschiedensten Sportarten auf unterschiedliche Weise dargestellt werden (Weineck, 2010). Grosser und Renner (2007) beschreiben die Fähigkeit folgendermassen: «Unter Schnelligkeit versteht man die Fähigkeit, aufgrund kognitiver Prozesse, maximaler Willenskraft und der Funktionalität des Nerv-Muskel-Systems höchstmögliche Reaktions- und Bewegungsgeschwindigkeiten (vorwiegend gegen geringe Widerstände) zu erzielen» (S. 14). Allgemein wird die Schnelligkeit in Reaktionsschnelligkeit und Bewegungsschnelligkeit aufgegliedert (Steinhöfer, 2008). Die

Reaktionsschnelligkeit wird gemäss Steinhöfer (2008) als die Fähigkeit «auf Reize in kürzest möglicher Zeit zu reagieren» (S. 173) beschrieben und kann in einfache (Sprintstart) und komplexe (Spilsport) Reaktionen eingeteilt werden. Die Bewegungsschnelligkeit umfasst zyklische (Laufen, Radfahren) und azyklische (Schlag, Wurf, Sprung) Bewegungen (Steinhöfer, 2008).

In diesem Zusammenhang ist im Kunstturnen die zyklische Bewegungsschnelligkeit die Voraussetzung für schnellkräftige Bewegungen beim Pferdsprunganlauf. Im Sprintverhalten wird dabei auf unterschiedliche Sprintfähigkeiten in einzelnen Abschnitten hingewiesen: Sprintantritt beziehungsweise die Beschleunigungsfähigkeit (0-10 m), Aufbau der Laufgeschwindigkeit bis zum Maximum (10-36 m) und Aufrechterhaltung der Maximalgeschwindigkeit (36-100 m) (Delecluse et al., 1995). Auf die Bedeutsamkeit der Anlaufgeschwindigkeit und der innervierten Kraftfähigkeiten der unteren Extremitäten beim Pferdsprung, wird in einem späteren Abschnitt dieser Einleitung genauer eingegangen (siehe Kapitel 1.3). Die azyklische Schnelligkeit hingegen ist eine wichtige Voraussetzung in Bezug auf die Schnellkraft bei der Ausführung von Schwungelementen oder Sprüngen (Condovici & Dörrer, 1999). Die Schnelligkeit im Kunstturnen steht somit immer im Zusammenhang mit den Kraftfähigkeiten, insbesondere der Schnellkraft.

Ausdauer. Diese konditionelle Teilkomponente hat das Ziel, «einer sportlichen Belastung physisch und psychisch möglichst lange widerstehen zu können (das heisst eine bestimmte Leistung über einen möglichst langen Zeitraum aufrecht erhalten zu können) und / oder sich nach sportlichen Belastungen möglichst rasch zu erholen» (Grosser & Starischka, 1998, S. 110). Dabei wird die Leistungs-Laktat-Beziehung mittels verschiedenen Schwellen definiert. Die aerobe Schwelle beschreibt die Belastung, bei welcher ein erstmaliger Anstieg der Laktatkonzentration über den Ruhewert zu erkennen ist. Die anaerobe Schwelle beschreibt die maximale Leistung, bei welcher die Bilanz zwischen Laktatbildung, -verteilung und -abbau noch ausgeglichen ist (Laube, Anders, Angleitner, Blümel, & Kannenberg, 2009). Im Kunstturnen konnte hierbei festgestellt werden, dass die besten Athleten tiefe Schwellenwerte aufzeigen und dies wiederum zu vergleichen ist, mit einer untrainierten Person (Jemni et al., 2001). Somit ist die Ausdauer kaum ein limitierender Faktor in der Leistungsstruktur im Kunstturnen.

Beweglichkeit. Nebst der allgemeinen Ganzkörper-Beweglichkeit, welche beim Kunstturnen sehr wichtig ist, ist auch eine spezielle – turnspezifische Beweglichkeit in mehreren Bereichen

für das Erbringen guter Leistungen erforderlich. In den meisten Fällen handelt es sich beim Kunstturnen um aktiv-dynamische Formen der Beweglichkeit (Bessi, 2009; Hassan, 2003). Wenn ein Athlet oder eine Athletin bei einem Element nicht die bestimmte Position einnehmen kann, hat dies einen Bewertungsabzug zur Folge (Fédération Internationale de Gymnastique, 2017). Somit ist ein Beweglichkeitstraining zum Erreichen bestimmter Positionen enorm wichtig (Sands & McNeal, 2000). Bessi (2009) beschreibt jedoch, dass die Beweglichkeit keine leistungsbestimmende, sondern lediglich eine leistungsbegrenzende Rolle im Kunstturnen einnehmen kann.

1.2.2 Technik. Schnabel et al. (2014) definieren den Begriff der sportlichen Technik als ein «in der Praxis erprobtes, auf Grund der allgemeinen psychophysischen Voraussetzungen des Menschen realisierbares charakteristisches Lösungsverfahren einer in sportlichen Handlungen erwachsenden Bewegungsaufgabe, das als Bewegungsalgorithmus der jeweiligen Bewegung immanent ist.» (S. 121). Dabei beruhen Bewegungsfertigkeiten und koordinative Fähigkeiten auf den Prozessen der Bewegungsregulation, beziehungsweise der Bewegungskoordination (Schnabel et al., 2014).

Das Erlernen einer sportlichen Technik ist im Kunstturnen bedeutend, da eine Bewegungsfertigkeit das unmittelbare Ziel darstellt, welches in einem Wettkampf bewertet wird (Härtig & Buchmann, 2011). Um eine Bewegungsfertigkeit erwerben zu können, muss genügend Zeit für den Entwicklungsprozess eingeplant werden. Dies wird von Schnabel et al. (2014) als das «motorische Lernen» bezeichnet. Dafür gibt es verschiedene methodische Vorgehensweisen. Im Allgemeinen umfasst die sporttechnische Ausbildung im Turnsport den gesamten motorischen Lernprozess, welcher mit dem Erwerb von einfach technischen Grundlagen beginnt und sich bis zum Erlernen von schwierigen Bewegungsverbindungen erstreckt (Härtig & Buchmann, 2011). Bechter, Haller, Bechter und Donàth (2009) haben ein Schalenmodell entwickelt welches die grundlegenden Bewegungsfertigkeiten im Kunstturnen in Kernposen, Kernstellungen, Kernbewegungen und Kernverbindungen einteilt. Das Endprodukt und somit die geturnte Bewegungsfertigkeit ist die Kernverbindung. Als Voraussetzung gelten die Kernposen (kleinste bewegungsbestimmende Einheiten) die Kernstellungen (Stand, Hang- und Stützformen) und die Kernbewegungen in Form von dynamischen Übergängen von Kernstellungen, Drehungen um die Längs-, Breiten- und Tiefenachse sowie Absprünge und Landungen (siehe Abbildung 2).

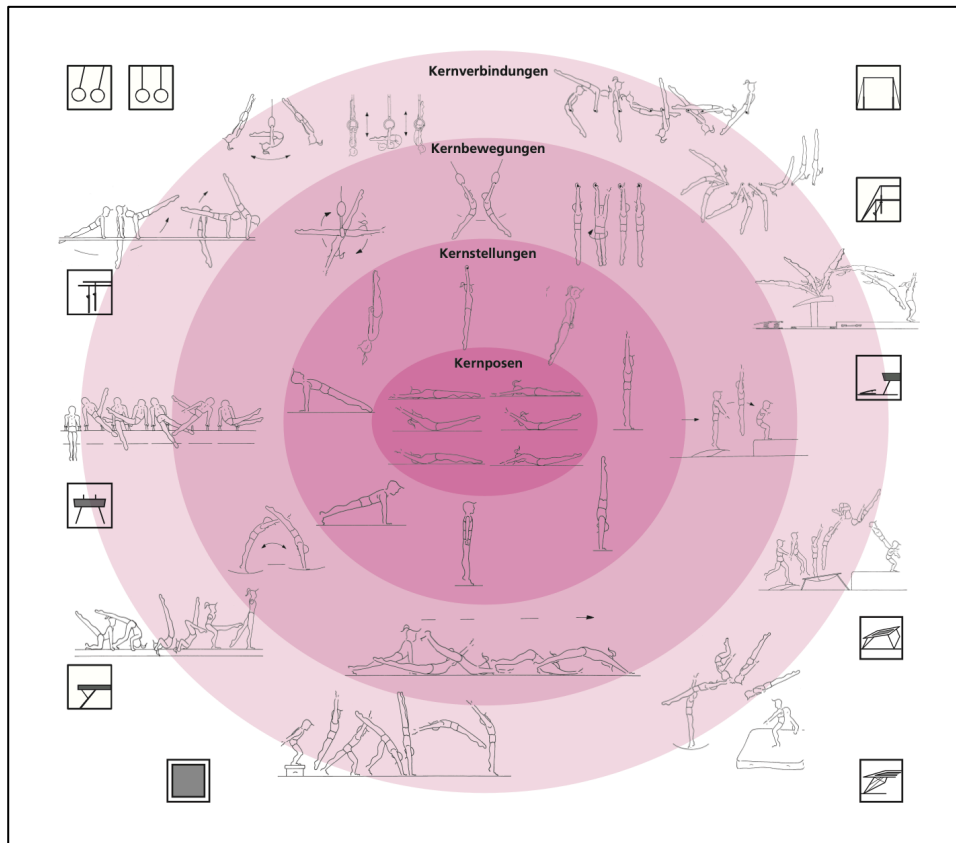


Abbildung 2. Das Schalenmodell für die Sportarten Geräteturnen, Kunstturnen und Trampolin (Bechter, Haller, Bechter, & Donàth, 2009).

In den letzten Abschnitten konnte aufgezeigt werden, welche konditionellen und technischen Anforderungen im Kunstturnen grundlegend sind, um gute Leistungen erbringen zu können. Ebenfalls wurde erläutert, dass die Anforderungen gerätespezifisch sind. Aufgrund der Komplexität der verschiedenen Turngeräte im Kunstturnen, werden in der Folge die für diese Arbeit relevanten Aspekte und deren Zusammenhänge der Leistungsstruktur beim Pferdsprung erläutert.

1.3 Leistungsstruktur am Pferdsprung

In einem Mehrkampf muss die Kunstturnerin oder der Kunstturner jeweils einen Pferdsprung turnen. Um sich für ein Gerätefinal zu qualifizieren sowie im Sprungfinal müssen jeweils zwei Pferdsprünge aus unterschiedlichen Sprunggruppen geturnt werden. Der Durchschnitt der beiden Pferdsprünge ergibt die Endnote. Dabei gibt es viele verschiedene Varianten von Pferdsprüngen in unterschiedlichen Schwierigkeits- und Ausführungsformen.

Alle existierenden Pferdsprünge sind gemäss dem Regelwerk des Kunstturnens in fünf Sprunggruppen eingeteilt (Fédération Internationale de Gymnastique, 2017). Überschlag-, Tsukahara-

und Yurchenkosprünge sind im Leistungssport die am häufigsten geturnten Sprungvarianten. Diese unterscheiden sich in der Form des Absprunghes oder Abdruckes vom Sprungbrett und / oder Sprungtisch. Jeder Pferdsprung lässt sich hierbei in die Phasen Anlauf, Einsprung, Absprung vom Sprungbrett, Abstoss vom Sprungtisch, zweite Flugphase und Landung einteilen. Dabei werden schwierige Sprünge durch eine hohe zweite Flugphase gekennzeichnet (bei gleichzeitig hohem Drehimpuls) (Knoll, 2004). In dieser Hauptphase, im Moment nach dem Abstoss vom Sprungtisch, muss ein auffälliger Anstieg der Körperschwerpunkthöhe generiert werden, wobei sich die Athletin oder der Athlet anschliessend oft mehrmals gehockt, gebückt oder gestreckt um die eigene Breiten- und / oder Längsachse dreht (Atikovic & Smajlović, 2011). Diese Bewegungen erfordern je nach Pferdsprung, ein optimales Mass an Energie und Drehimpuls (Knoll, 2004). Wenn die Athletin oder der Athlet die beabsichtigte Körperposition auf undeutliche Weise präsentiert, wird dies von den E-Kampfrichtern abgezogen und kann dazu führen, dass die D-Jury den Schwierigkeitswert des Pferdsprungs vermindert. Die Landung muss abschliessend in einem markierten Bereich erfolgen. Dies sind nur einige der allgemeinen Bewertungskriterien eines Pferdsprungs (Fédération Internationale de Gymnastique, 2017).

Der Pferdsprunganlauf, welcher nicht in die Bewertung miteinbezogen wird, ist dabei bedeutend für die Darbietung über den Sprungtisch (Schärer, Lehmann, Naundorf, Taube, & Hübner, 2019). Um überhaupt die sportliche Technik über den Sprungtisch erwerben und ausführen zu können, werden bereits beim Pferdsprunganlauf gewisse konditionelle und technische Fähigkeiten vorausgesetzt, damit die geforderte horizontale Energie auf Sprungbrett und -tisch in Rotations- und Translationsenergie umgewandelt werden kann. Die Verbesserung der Anlaufgeschwindigkeit in Form von Sprinttrainings von jungen Kunstturnerinnen und Kunstturner ist oft der Beste Weg, um Pferdsprünge verbessern zu können (Uzunov, 2009).

Die Anlaufgeschwindigkeit, welche in der Entwicklung eines Nachwuchsturners bis zum 18. Lebensjahr durchschnittlich bis zu 0.20 m/s pro Jahr zu nimmt (Brehmer & Naundorf, 2011), ist entscheidend für die Höhe des Sprungs (Schärer, Lehmann, et al., 2019; Tashiro, Takata, Harada, Kano, & Yanagiya, 2008). Detaillierter betrachtet, ist die horizontale Bewegungsgeschwindigkeit unmittelbar vor dem Kontakt mit dem Sprungbrett / -tisch ausschlaggebend (Fujihara, 2016). Schärer, Lehmann et al. (2019) fanden heraus, dass die Schwierigkeit des geturnten Pferdsprungs bis zu 64 % durch die Anlaufgeschwindigkeit erklärt wird. Bei den Frauen konnte hierbei eine signifikante Korrelation zwischen Anlaufgeschwindigkeit,

Schwierigkeitswert sowie Flughöhe bei allen Sprunggruppen ($r \leq 0.80$) und bei Männern bei Tsukahara- ($r \leq 0.69$) und Yurchenkosprünge ($r \leq 0.65$) festgestellt werden (Schärer, Lehmann, et al., 2019).

Um die gewünschte hohe Anlaufgeschwindigkeit über die auf 25 m beschränkte Anlaufdistanz erzielen zu können, ist die horizontale Beschleunigung im Sprint entscheidend (Uzunov, 2009). Gemäss Uzunov (2009) sind Start- und Beschleunigungsphase beim Pferdsprung, aufgrund des kurzen Anlaufs, die wichtigsten Sprintphasen da die Distanz zu kurz ist, um die Höchstgeschwindigkeit erreichen zu können. Bei solch kurzen Sprint-Einheiten sind explosive Bewegungen in den unteren Extremitäten leistungsbestimmend (Morin et al., 2012). Dabei wird eine grosse Vorwärtsbeschleunigung impliziert, welche mit der Fähigkeit zusammenhängt, eine grosse Leistung in horizontaler Richtung auf den Boden zu erzeugen und anzuwenden (Morin et al., 2012). Speziell in der Phase der Beschleunigung, in welcher es das Ziel ist, möglichst schnell eine hohe Geschwindigkeit zu erreichen, sind hohe Bodenreaktionskräfte essenziell (Hunter, Marshall, & McNair, 2005; Nagahara, Mizutani, Matsuo, Kanehisa, & Fukunaga, 2018). Aus einer hohen Horizontalkraft ergibt sich in der Vorwärtsrichtung eine positive Beschleunigung und je höher die Kraft ist, desto höher ist auch die Beschleunigung (Morin, Edouard, & Samozino, 2011). Dabei ist es wichtig beim Pferdsprunganlauf gleichmässig zu beschleunigen und dabei die Kontrolle nicht zu verlieren. Diese Aussage gilt gemäss Uzunov (2009) als die wichtigste Sprinteigenschaft beim Pferdsprung.

Damit die Ausführung des Pferdsprungs schlussendlich auch kontrolliert werden kann, werden die konditionellen Voraussetzungen beim Pferdsprunganlauf nicht komplett ausgeschöpft (Schärer, Haller, Taube, & Hübner, 2019; Trillhose, 1995). Das Ziel ist es jedoch, die Sprintfähigkeiten soweit zu entwickeln, dass die Kunstturnerin oder der Kunstturner nicht das gesamte horizontale Sprintpotential anwenden muss, jedoch die Anlaufgeschwindigkeit trotzdem genügend hoch ist, um die schwierigsten Pferdsprünge zeigen zu können (Schärer, Haller, et al., 2019; Trillhose, 1995). Die Anlaufgeschwindigkeit sollte somit, möglichst hoch, aber noch optimal sein, um den Absprung vom Sprungbrett und den Abstoss vom Sprungtisch kontrollieren zu können (Schärer, Haller, et al., 2019; Trillhose, 1995).

Eine weitere Komponente für konstant gute Pferdsprünge ist eine stabile Schrittgestaltung (Trillhose, 1995). Trillhose (1995) erwähnt, dass nicht nur die Anlaufgeschwindigkeit, sondern auch das Schrittverhalten trainiert werden sollte. Denn das grundlegendste Konzept eines

Sprints ist, dass die Sprintgeschwindigkeit abhängig ist von der Schrittlänge und der Schrittfrequenz ($\text{Geschwindigkeit} = \text{Schrittlänge} \cdot \text{Schrittfrequenz}$) (Uzunov, 2009). Die beiden Variablen können zu einer Verbesserung der Sprintgeschwindigkeit beitragen und stehen immer in Beziehung zueinander. Es besteht somit immer die Herausforderung der Trainerin oder des Trainers, das optimale Gleichgewicht zwischen Schrittlänge und Schrittfrequenz zu entwickeln (Uzunov, 2009).

Auch in anderen Sportarten hat die Schrittkinematik in der horizontalen Sprintleistung einen entscheidenden Einfluss. In Feldsportarten wie Rugby oder Fussball ist bei kurzen Sprintdistanzen ($> 10 \text{ m}$) eine grosse Schrittlänge wesentlich für die Sprintgeschwindigkeit (Lockie, Murphy, Jeffriess, & Callaghan, 2013). Hingegen gehört eine höhere Schrittfrequenz infolge von kurzen Kontaktzeiten in den zweiten 50 m bei einem 100 m-Lauf in der Leichtathletik zu den wichtigsten mechanischen Determinanten (Morin et al., 2012). Morin et al. (2012) erläutern dabei, dass die muskuläre horizontale Sprintleistung mehr mit der Wirksamkeit der Kraftübertragung auf den Boden zusammenhängt als mit der erzeugten Kraft in den unteren Extremitäten. Die Technik der Kraftübertragung sei ein entscheidender Faktor für die Leistung in einem 100 m-Sprint und es scheint, dass die Ausrichtung der Gesamtkraft, welche während der Sprintbeschleunigung auf den Boden ausgeübt wird, wichtiger ist für die Leistung als die Höhe der Kraft (Morin et al., 2011). Auch Uzunov (2009) erwähnt, dass die Richtung der Kraft genauso wichtig ist wie die Grösse der Kraft, denn der Schlüssel liege darin, die horizontalen Kräfte zu minimieren und die vertikalen Vortriebskräfte zu maximieren. Vertikale Vortriebskräfte sind insofern wichtig, weil es nach der Entwicklung des maximalen Impulses während der Beschleunigungsphase einfacher ist, die Sprintgeschwindigkeit im Flug zwischen zwei Schritten aufrecht zu erhalten (Uzunov, 2009). Uzunov (2009) erläutert somit, dass in einem Sprinttraining sowohl Kraft als auch die Sprintmechanik trainiert werden sollte.

Um die Beziehung zwischen der muskulären horizontalen Sprintleistung und der Explosivkraft der unteren Extremitäten in einem Sprint zu untersuchen, gibt es verschiedene Methoden. Stationäre Fahrradergometer, oder spezielle Laufbänder wurden bisher als Messmethoden verwendet, mit denen die mechanischen Leistungen der Gliedmassen während des Sprints profiliert wurden (Cross, Brugherelli, Samozino, & Morin, 2017). Die neusten Methoden verwenden komplexe Einrichtungen mit direkten Kraftmesssystemen, um beispielsweise die Abdruckkräfte der unteren Extremitäten am Boden oder die Sprintmechanik mittels Zeitdistanzmessungen während eines Sprints zu identifizieren (Cross et al., 2017). Hierbei konnte festgestellt werden, dass

die Kraft in den unteren Extremitäten mit den einwirkenden horizontalen Kräfte bei einer Sprintleistung korrelieren (Comfort, Stewart, Bloom, & Clarkson, 2014; Seitz, Reyes, Tran, de Villarreal, & Haff, 2014; Weyand, Sternlight, Bellizzi, & Wright, 2000; Wisloff, 2004). In der Studie von Comfort et al. (2014) konnte zusätzlich ein Zusammenhang zwischen den horizontalen Bodenreaktionskräften und der vertikalen Sprungleistung in Form von vertikalen Sprüngen beobachtet werden ($r = 0.76$).

Vertikale Sprünge eignen sich gut, um die vertikale Kraftleistung zu überprüfen und zu trainieren. Sie aktivieren vor allem die Streckermuskeln im Fuss-, Knie-, Hüft- und Rückenbereich und sind damit geeignet die Muskelleistung zu bestimmen (MacKenzie, Lavers, & Wallace, 2014). Delecluse et al. (1995) konnten mithilfe einer Trainingsintervention, welche Horizontalsprünge, Vertikalsprünge und Hürdensprünge beinhaltete, eine Verbesserung der maximalen Sprintgeschwindigkeit in der Distanz von 10 bis 36 m feststellen. Die Autoren erwähnen hierbei, dass die Kombination von vertikalen und horizontalen Sprungkrafttrainingsformen am effektivsten ist, um die Maximalgeschwindigkeit zu verbessern (Delecluse et al., 1995). Die vertikale Sprungleistung ist nicht nur bei Sprint- und Spportsportarten von Bedeutung, sondern auch beim Pferdsprung im Kunstturnen (Koperski, Kochanowicz, & Słodkowski, 2010). Hierbei geben die Federeigenschaften der Turngeräte beim Pferdsprung das Zeitmuster der Absprünge vor. In der Analyse von Koperski et al. (2010) wurden die Schnellkraftfähigkeiten bei vertikalen Sprüngen von jungen Kunstturnerinnen und Kunstturner unter Laborbedingungen untersucht und anschliessend mit den Kraftwerten beim Absprung eines Pferdsprungs verglichen. Dabei korrelierte die muskuläre vertikale Sprungleistung, gemessen auf einer Kraftmessplatte, mit der Abdruckkraft ($r = 0.92$) und der Bodenkontaktzeit ($r = 0.69$) auf dem Sprungbrett (Koperski et al., 2010). Aus diesem Grund ist die vertikale Sprungleistung eine weitere entscheidende Komponente beim Pferdsprung.

Nach dem Absprung folgt unmittelbar der Abstoss vom Sprungtisch. Hierbei ist ein kräftiger Übergang am 1.35 m, beziehungsweise 1.25 m bei den Frauen, hohen Sprungtisch bedeutend, um die geforderten Treibhöhen und Drehimpulse erzielen zu können (Knoll, 2004). Diese sogenannte Übergangsbewegung (Absprung auf dem Sprungbrett, Abstoss am Sprungtisch und Aufschwung in die Flugphase) wird durch die Anlaufgeschwindigkeit und Kraftfähigkeiten der oberen Extremitäten beeinflusst und gestaltet sich, je nachdem welcher Pferdsprung geturnt wird, unterschiedlich (Knoll, 2004).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Leistungsstruktur beim Pferdsprung im Kunstturnen sehr vielseitig ist und die effektive sportliche Technik über den Sprungtisch abhängig ist vom Pferdsprunganlauf. Deshalb werden folglich allgemeine Trainingsmethoden für kurze lineare Sprints vorgestellt und anschliessend ein spezifisches Sprinttraining für eine mögliche Verbesserung des Pferdsprunganlaufs präsentiert.

1.4 Trainingsmethoden zur Verbesserung von kurzen linearen Sprints

Die Umsetzung von unspezifischen Trainingsmethoden wie zum Beispiel ein Maximal- oder Schnellkrafttraining für die unteren Extremitäten können die Sprintgeschwindigkeit und die sportliche Leistung verbessern (Rumpf, Lockie, Cronin, & Jalilvand, 2016). Nebst einem unspezifischen Training gibt es viele spezifische Trainingsmethoden, um die Sprintgeschwindigkeit, die horizontale Sprintleistung oder die vertikale Sprungleistung zu trainieren und zu optimieren. Techniktraining, freies Sprinten, Sprinten mit Zusatzgewichten, plyometrisches Training, Sprünge oder ein Sprinttraining mit Zugwiderstand oder Zugunterstützung sind einige Varianten. Das Ziel, die Sportart oder die geforderten Sprintdistanzen sind dabei entscheidend, welche Modalität ausgewählt werden sollte (Rumpf et al., 2016). Rumpf et al. (2016) erwähnen, dass bei einem Sprinttraining, die Distanz trainiert werden soll, welche später auch im Wettkampf gelaufen werden muss. Weiter sollte für kurze Distanzen bis zu 20 m ein spezifisches Sprinttraining angewendet werden, insbesondere mit freien Sprints und Sprints mit Zugwiderstand ($> 10\%$ des Körpergewichts welches die Gesamtdauer des Sprint um mehr als 10% erhöht), um die Sprintgeschwindigkeit erhöhen zu können (Rumpf et al., 2016). Somit wäre, gemäss der Metaanalyse von Rumpf et al. (2016), ein spezifisches Sprinttraining mit oder ohne Widerstand eine geeignete Trainingsmethode, um die benötigte, hohe Anlaufgeschwindigkeit der Athletin oder des Athleten verbessern zu können.

1.4.1 Sprinttraining mit Zugwiderstand. Eine häufig angewendete Form eines Sprinttrainings mit konstantem Zugwiderstand ist das Training mit einem Gewichtsschlitten. Dabei ist die Athletin oder der Athlet beispielsweise mittels Gurt am Trainingsgerät festgebunden und es ist möglich, mit individuellen Zusatzgewichten niveauspezifisch zu trainieren. Das Ziel einer solchen Trainingsmethode ist die Verbesserung der Abdruckkräfte in horizontaler Richtung (Petrakos, Morin, & Egan, 2016). Die Leistungsvorteile gegenüber einem freien Sprinttraining sind jedoch noch nicht eindeutig nachgewiesen (Petrakos et al., 2016). Petrakos et al. (2016) erläutern, dass in den Studienvergleichen Diskrepanzen bei der Schlittenbelastung sowie Trainingsstatus und Trainingsphase bestehen. Wie in der Studie von Rumpf et al. (2016) haben die

Wissenschaftler auch in anderen Studien meistens geringe Zugwiderstände verwendet ($\sim 10\%$ Abnahme der Maximalgeschwindigkeit). Dies aufgrund der Angst vor negativen Anpassungen wie beispielsweise langsamere Laufgeschwindigkeit oder veränderte Lauftechnik beim Sprinten ohne Zugwiderstand (Alcaraz, Palao, & Elvira, 2009; Lockie, Murphy, & Spinks, 2003; Spinks, Murphy, Spinks, & Lockie, 2007). Eine neuere Studie (Cross, Brughelli, Samozino, Brown, & Morin, 2017) beruft sich auf eine viel höhere Zuglast als bisher verwendet worden ist. Gemäss Cross et al. (2017) sollte die optimale Belastung bei 69-96 % des Körpergewichts ($\sim 50\%$ Abnahme der Maximalgeschwindigkeit) liegen, um für eine Verbesserung der horizontalen Sprintleistung zu sorgen. Es gibt bereits einige Hinweise, welche zeigen, dass ein Sprinttraining mit hohen Zugwiderständen in Bezug auf die Beschleunigungsfähigkeit wirksam ist (Kawamori, Newton, & Nosaka, 2014; Morin et al., 2017). In der Studie von Morin et al. (2017) konnte nach einer achtwöchigen Trainingsintervention mit insgesamt 16 Sprint-Trainings (10 x 20 m Sprints) mit einem schweren Zugschlitten (Schlittenbelastung: 80 % des Körpergewichts) eine Leistungsverbesserung in den muskulären horizontalen Kraftfähigkeiten (Effektgrösse von 0.80 vs. 0.20 für die Kontrollgruppe) bei Amateurfussballern festgestellt werden. Ein Training mit einer solch hohen Belastung sorgt theoretisch für eine erhöhte maximale Leistung und somit zu einer Steigerung der Kraftübertragung während der gesamten Sprintphase (Morin & Samozino, 2016).

In einem Sprint kann die mechanische Fähigkeit, Kraft unter verschiedenen Geschwindigkeiten zu erzeugen, erfasst und in einer Beziehung von Kraft, Geschwindigkeit und Leistung ausgedrückt werden (Cross et al., 2018). Die neusten Erkenntnisse von Cross et al. (2018) erklären, wie der optimale Zugwiderstand berechnet werden kann. Mit mehreren aneinandergereihten Sprints unter ansteigendem Zugwiderstand, kann ein Kraft-Geschwindigkeits-Leistungs-Profil berechnet werden, bei welchem der optimale Zugwiderstand bei der maximalen horizontalen Sprintleistung liegt (Cross et al., 2018). Mit der Berechnung des optimalen Zugwiderstand nach Cross et al. (2018) konnte bereits eine wirksame Trainingsintervention mit Kunstturnerinnen durchgeführt werden (Schärer, Lüthy, Felder, Gross, & Hübner, 2019). Mithilfe eines Sprint-Laststufenprotokolls (3, 6, 9, 12, 15, 18 und 21 kg) wurde der optimale Zugwiderstand ermittelt. Dieser betrug zwischen 85.9 % bis 104.7 % des Körpergewichts. Nach einer vierwöchigen Trainingsintervention mit optimalem Zugwiderstand wurde die Wirksamkeit des Training auf die Anlaufgeschwindigkeit beim Pferdsprung, 20 m-Sprintgeschwindigkeit sowie der vertikalen Sprungleistung überprüft.

Im Vergleich mit anderen Studien wurde in der Untersuchung von Schärer, Lüthy et al. (2019) kein Schlitten verwendet, sondern eine computergesteuerte Zugwiderstandsmaschine (1080 Sprint, 1080 Motion, Lindingö, Schweden). Dabei sind die Probanden mittels Seilzug mit dem Trainingsgerät verbunden. Nach einem Sprint wird direkt die Leistungs- und Kraftproduktion sowie die Geschwindigkeit in einer verlinkten Software gemessen. Mit dieser einfach bedienbaren Trainingstechnologie verbesserten die Kunstturnerinnen ihre End-, Maximalgeschwindigkeit und Abschnittsgeschwindigkeiten beim Pferdsprunganlauf, sowie beim 20 m-Sprint um bis zu 4.5 % (hohe Effekte: $r > 0.5$) (Schärer, Lüthy, et al., 2019). Bei der Überprüfung der vertikalen Sprungleistung resultierte zudem eine signifikante Steigerung (5.1 %) der einbeinigen vertikalen Sprungleistung und mittlere Effekte bei Sprüngen mit und ohne Ausholbewegung (Schärer, Lüthy, et al., 2019). Schärer, Lüthy et al. (2019) erläutern, dass durch ein Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand nach Cross et al. (2018) die generelle muskuläre Leistung der unteren Extremitäten gesteigert werden kann.

Angesichts dieser positiven Ergebnisse, soll nun auch bei Elite Kunstturnern die gleiche Trainingsmethode getestet werden. Das Sprinttraining mit Zugwiderstand soll dazu führen, dass sich die Athleten in der Anlaufgeschwindigkeit beim Pferdsprung, der muskulären horizontalen Sprint- und vertikalen Sprungleistung verbessern. Eine weitere erfolgreiche Durchführung eines Sprinttrainings mit optimalem Zugwiderstand nach Cross et al. (2018) könnte gewinnbringend sein, nicht nur für die Sportart Kunstturnen, sondern auch für alle anderen Sportarten, bei welchen ein schneller Antritt und eine hohe Sprintgeschwindigkeit entscheidend ist (Schärer, Lüthy, et al., 2019).

1.5 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Studie ist es, herauszufinden ob ein Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand nach Cross et al. (2018) mit dem 1080 Sprint (1080 Motion, Lindingö, Schweden), wirksam ist in Bezug auf die Verbesserung der Anlaufgeschwindigkeit am Pferdsprung, der muskulären horizontalen Sprint- und vertikalen Sprungleistung bei Elite Kunstturnern. Dies führt zu folgenden drei Fragestellungen:

- a) Wie wirksam ist ein Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand mit dem «1080 Sprint» auf die maximale Anlaufgeschwindigkeit bei Elite Kunstturner am Pferdsprung?

- b) Wie wirksam ist ein Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand mit dem «1080 Sprint» auf die maximale muskuläre horizontale Sprintleistung bei Elite Kunstturnen?
- c) Wie wirksam ist ein Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand mit dem «1080 Sprint» auf die maximale muskuläre vertikale Sprungleistung bei Elite Kunstturner?

2 Methode

2.1 Untersuchungsgruppe

Die Probandengruppe bestand aus 5 Elite Kunstturnern (Alter: 18.80 ± 1.48 Jahre; Grösse: 1.70 ± 3.81 m; Gewicht: 65.16 ± 5.33 kg) des schweizerischen Nationalkaders ($n = 5$).

Alle Athleten trainierten professionell (wöchentliches Trainingsvolumen: 24 h) und waren frei von Verletzungen. Bevor sie die Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie unterzeichneten, wurden sie über die Nutzen und Risiken der Untersuchung informiert. Die Messungen wurden von der Berner Ethikkommission genehmigt (Projekt-ID: 2017-01891) und in Übereinstimmung mit der aktuellen Version der Deklaration von Helsinki, den Richtlinien für gut klinische Praxis (ICH-GCP ISO EN 14.155) und allen nationalen gesetzlichen und regulatorischen Anforderungen durchgeführt.

2.2 Studiendesign

Pretest: <ul style="list-style-type: none"> • Anlaufgeschwindigkeit • Horizontale Sprintleistung • Vertikale Sprungleistung 	Trainingsintervention, 2 Einheiten pro Woche: <ul style="list-style-type: none"> • 1 maximaler Sprint ohne Zugwiderstand • 6 maximale Sprints mit optimalem Zugwiderstand • 1 Sprint mit leichtem Zugwiderstand 	Posttest: <ul style="list-style-type: none"> • Anlaufgeschwindigkeit • Horizontale Sprintleistung • Vertikale Sprungleistung
1. Woche	2. – 4. Woche	5. Woche

Abbildung 3. Skizze Ablauf Studiendesign.

Eine Woche vor und eine Woche nach der dreiwöchigen Trainingsintervention fand der Pre- und Posttest statt. Folgende Messungen wurden durchgeführt (in Klammern: erhobene Messparameter):

Anlaufgeschwindigkeit:

- Zwei Wettkampfsprünge am Pferdsprung (maximale Anlaufgeschwindigkeit: $v_{\text{max-Sprung}} + 5$ m-Abschnittsgeschwindigkeiten)

Horizontale Sprintleistung:

- Zwei maximale Sprints über 20 m (maximale Sprintgeschwindigkeit: $v_{\text{maxSprint}} + 5$ m-Abschnittsgeschwindigkeiten)
- Sprint-Laststufenprotokoll über 20 m mit 8 Zugwiderstandstufen von 1, 5, 9, 13, 17, 21, 25 und 29 kg (maximale horizontale Sprintleistung: $P_{\text{maxSprint}} + 5$ m-Abschnittsleistung)

Vertikale Sprungleistung:

- MLD-Test nach Hübner (2016):
 - Countermovement-Jumps (CMJ) ohne (CMJ_{100}) und mit 120, 140, 160, 180 und 200 % Zusatzlast (CMJ_{120} - CMJ_{200}), prozentual zum Körpergewicht (maximale relative vertikale Sprungleistung: P_{maxrel})
 - Squat-Jumps (SJ) ohne (SJ_{100}) und mit 120, 140, 160, 180 und 200 % Zusatzlast (SJ_{120} - SJ_{200}), prozentual zum Körpergewicht (P_{maxrel})
 - Einbeinige und beidbeinige relative isometrische Maximalkraft (F_{maxrel})
- Drei einbeinige CMJ (SL-CMJ) links und rechts (P_{maxrel})
- Zwei Drop-Jumps (DJ) von 20, 40 und 60 cm (Reaktivkraftindex 1 [RI 1]: Sprunghöhe / Kontaktzeit; Reaktivkraftindex 2 [RI 2]: $P_{\text{rel}} (-) * P_{\text{rel}} (+) / 100$)

Nach dem Pretest konnte der individuelle optimale Zugwiderstand nach Cross et. al (2018) aus dem Sprint-Laststufenprotokoll berechnet werden. Dies geschah durch eine Ermittlung des individuellen Kraft-Geschwindigkeits-Leistungs-Profils. Die mechanische Fähigkeit der Krafterzeugung unter verschiedenen Geschwindigkeiten kann dabei während einer Sprintbeschleunigung gemessen und in einer linearen Kraft-Geschwindigkeit Beziehung ausgedrückt werden (Cross et al., 2018). Die Achsenschnittpunkte (Berechnung der maximalen Krafterzeugung bei Geschwindigkeit 0 m/s und maximaler Geschwindigkeit bei Kraft 0 N) dieser linearen Gleichung stellen die maximale Kapazität des neuromuskulären Systems dar (Cross et al., 2018). Die Beziehung zwischen externer Krafterzeugung und Geschwindigkeit wird bei beschleunigten Bewegungen mit einer linearen Regression angepasst, wobei die Kraft-Geschwindigkeit parabolisch und mit Hilfe von Polynombeziehungen zweiter oder dritter Ordnung angeglichen wird (Cross et al., 2018). Dabei kann die maximale horizontale Leistung (P_{max}) mittels optimaler Kombination von Kraft, Geschwindigkeit bestimmt werden, welche zentral als Spitze der Leistungs-Geschwindigkeits-Kurve resultiert. Der optimale Zugwiderstand liess sich darin

anhand der höchsten horizontalen Sprintleistung bestimmen. In Abbildung 4 ist ein Berechnungsbeispiel mit eruiertem optimalem Zugwiderstand von 21 kg zu sehen.

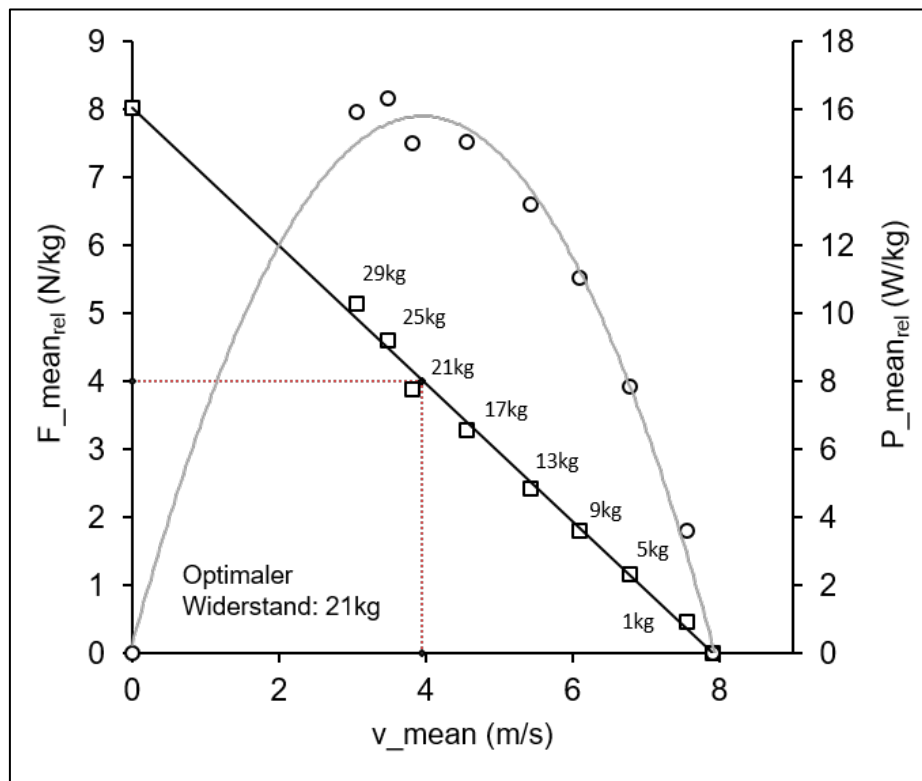


Abbildung 4. Beispiel eines Kraft-Geschwindigkeits-Leistungs-Profil von acht aneinandergereihten Sprints mit ansteigendem Zugwiderstand (1 bis 29 kg) mittels Trainingsgerät «1080 Sprint» für die Berechnung des optimalen Zugwiderstandes nach Cross et al. (2018). $F_{\text{mean_rel}}$ = relative mittlere horizontale Kraft; $P_{\text{mean_rel}}$ = relative mittlere horizontale Leistung; v_{mean} = mittlere Geschwindigkeit.

Die dreiwöchige Sprint-Trainingsintervention fand mithilfe des Trainingsgerätes «1080 Sprint» (1080 Motion, Lidingö, Schweden) statt. Die Probanden absolvierten dabei zwei Trainingseinheiten pro Woche. Das Training umfasste einen maximalen Sprint (ohne Zugwiderstand), sechs Sprints mit optimalen Zugwiderstand und abschliessend einen Sprint mit leichtem Zugwiderstand (40 % des Körpergewichts). Die Distanz bei den Sprints betrug jeweils 20 m. Zwischen den acht Laufeinheiten hatten die Kunstturner jeweils zwei Minuten Pause. Eine Woche nach der Trainingsintervention fand der Posttest statt, mit den gleichen Inhalten wie beim Pretest (siehe Abbildung 3).



Abbildung 5. Frontale und Rückseitige Ansicht eines Kunstturners bei einem Sprint mit Zugwiderstand mittels Trainingsgerät «1080 Sprint».

2.3 Instrumente

Um einen Überblick über die Untersuchungsinstrumente zu erhalten, werden diese untenstehend aufgezählt.

Messung der maximalen Anlauf- und Sprintgeschwindigkeit. Die maximale Anlauf- und Sprintgeschwindigkeit über 20 m im Pre- und Posttest, wurden mittels Laser (LDM, Jenoptik, Rostock, Germany) aufgezeichnet.

Messung der maximalen horizontalen Sprintleistung. Die Sprints mit Zugwiderstand in der Trainingsintervention sowie Sprint-Laststufenprotokoll im Pre- und Posttest wurden mit dem 1080 Sprint (1080 Motion, Lindingö, Schweden) durchgeführt und mithilfe eines Tablets und der Software 1080 Motion (Version 6.9, 1080 Motion, Lindingö, Schweden) konnten die Ergebnisse aufgezeichnet werden.

MLD-Test; Messung der isometrischen Maximalkraft und Vertikalsprünge. Die Messung der isometrischen Maximalkraft und der Vertikalsprünge (CMJ und SJ) wurden auf einer Kraftmessplatte durchgeführt (MLD Test Evo 2, SPSSport, Innsbruck, Österreich). Mit einer Langhantelstange und Hantelscheiben konnte das Zusatzgewicht bei den CMJ und SJ mit Zusatzlasten erreicht werden.

2.4 Datenauswertung

Die Datenanalyse wurde mittels Microsoft-Excel-Datenbank (Microsoft Corporation, Redmond, USA) und dem Statistikprogramm SPSS Version 25.0 (IBM Corporation, Armonk, New York, USA) durchgeführt.

Die Resultate vom Pre- und Posttest wurden auf Normalverteilung überprüft (Shapiro-Wilk) und anschliessend die Mittelwerte (M) sowie Standardabweichungen (SD) gebildet. Die M und SD der gemessenen Parameter für die Anlaufgeschwindigkeit ($v_{\text{maxSprung}}$), horizontale Sprintleistung ($v_{\text{maxSprint}}$, $P_{\text{maxSprint}}$), vertikale Sprungleistung (P_{maxrel} bei CMJ und SJ in allen Laststufen sowie SL-CMJ, RI 1, RI 2) und relative isometrische Maximalkraft (F_{maxrel}) wurden daraufhin auf signifikante Unterschiede (p -Wert) überprüft (Wilcoxon-Test). Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0.05$ festgelegt. Ausserdem wurden die Effektstärken (r) nach Fritz, Morris und Richler (2012) berechnet ($r = \frac{Z}{\sqrt{n}}$):

- geringer Effekt: $0.10 \leq r < 0.30$
- mittlerer Effekt: $0.30 \leq r < 0.50$
- hoher Effekt: $r \geq 0.50$

3 Resultate

Ein Proband konnte die Tests $v_{\text{maxSprung}}$, CMJ₁₂₀-CMJ₂₀₀ und SJ₁₂₀-SJ₂₀₀ und DJ aufgrund von (bereits vor der Intervention bestehenden) Rückenschmerzen nicht absolvieren. Alle Athleten haben die Intervention verletzungsfrei absolviert.

3.1 Anlaufgeschwindigkeit

Wie bei der $v_{\text{maxSprung}}$ konnten auch bei den 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten kleine Verbesserungen, jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen Pre- und Posttest festgestellt werden. Ein hoher Effekt ($r = 0.50$) ist in der dritten Abschnittsgeschwindigkeit (10-15 m) zu beobachten. In der letzten Abschnittsgeschwindigkeit (15-20 m), sowie bei der $v_{\text{maxSprung}}$ gibt es Tendenzen zu hohen Effekten (jeweils $r = 0.47$). Bei der ersten Abschnittsgeschwindigkeit (0-5 m) resultierte ein mittlerer Effekt ($r = 0.35$) und in der zweiten Abschnittsgeschwindigkeit (5-10 m) konnte kein Effekt erzielt werden.

Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der $v_{\text{maxSprung}}$ und 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten am Pferdsprung von Pre- und Posttest, deren Veränderung in % sowie das Signifikanzniveau (p -Wert).

Tabelle 1

Mittelwert \pm Standardabweichung der maximalen Anlaufgeschwindigkeit und 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten am Pferdsprung von Elite Kunstturnern ($n = 4$) vor (Pretest) und nach (Posttest) einem dreiwöchigen Sprintraining mit optimalem Zugwiderstand

Testparameter	n	Pretest $M \pm SD$ [m/s]	Posttest $M \pm SD$ [m/s]	Veränderung M von Pre- zu Posttest [%]	p -wert
$v_{\text{maxSprung}}$	4	7.58 ± 0.36	7.65 ± 0.30	+ 0.99	0.180
$v_{\text{maxSprung}}$ 0-5 m	4	4.68 ± 0.15	4.65 ± 0.19	- 0.53	0.317
$v_{\text{maxSprung}}$ 5-10 m	4	6.33 ± 0.13	6.33 ± 0.15	0.00	1.000
$v_{\text{maxSprung}}$ 10-15 m	4	7.18 ± 0.17	7.23 ± 0.13	+ 0.70	0.157
$v_{\text{maxSprung}}$ 15-20 m	4	7.58 ± 0.36	7.65 ± 0.30	+ 0.99	0.180

Anmerkung. Die Werte der maximalen Anlaufgeschwindigkeit ($v_{\text{maxSprung}}$) und 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten am Pferdsprung von Pre- und Posttest sind als Mittelwert (M) \pm Standardabweichung (SD) angegeben. Das Signifikanzniveau beträgt $p < 0.05$.

3.2 Horizontale Sprintleistung

3.2.1 Sprintgeschwindigkeit. Im Pre- und Posttest konnte jeweils ein Unterschied zwischen $v_{\text{maxSprint}}$ und $v_{\text{maxSprung}}$ festgestellt werden. Dabei ist die $v_{\text{maxSprint}}$ im Posttest um 0.61 m/s (7.97 %) besser als die $v_{\text{maxSprung}}$.

In keinem der 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten beim 20 m-Sprint sowie der $v_{\text{maxSprint}}$ konnte eine signifikante Veränderung zwischen Pre- und Posttest festgestellt werden. Bei der $v_{\text{maxSprint}}$ sowie allen 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten konnten geringe bis keine Effekte beobachtet werden.

Tabelle 2 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der $v_{\text{maxSprint}}$ und den 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten beim 20 m-Sprint von Pre- und Posttest, deren Veränderung in % sowie das Signifikanzniveau (p -Wert).

Tabelle 2

Mittelwert \pm Standardabweichung der maximalen 20 m-Sprintgeschwindigkeit und 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten bei Elite Kunstturnern ($n = 5$) vor (Pretest) und nach (Posttest) einem dreiwöchigen Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand

Testparameter	n	Pretest $M \pm SD$ [m/s]	Posttest $M \pm SD$ [m/s]	Veränderung M von Pre- zu Posttest [%]	p -wert
$v_{\text{maxSprint}}$	5	8.20 ± 0.36	8.26 ± 0.27	+ 0.73	0.414
$v_{\text{maxSprint}}$ 0-5 m	5	5.18 ± 0.15	5.14 ± 0.15	- 0.68	0.655
$v_{\text{maxSprint}}$ 5-10 m	5	6.78 ± 0.24	6.82 ± 0.16	+ 0.59	0.581
$v_{\text{maxSprint}}$ 10-15 m	5	7.56 ± 0.30	7.58 ± 0.22	+ 0.26	0.655
$v_{\text{maxSprint}}$ 15-20 m	5	8.10 ± 0.39	8.14 ± 0.28	+ 0.49	0.715

Anmerkung. Die Werte der maximalen 20 m-Sprintgeschwindigkeit ($v_{\text{maxSprint}}$) sowie 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten von Pre- und Posttest sind als Mittelwert (M) \pm Standardabweichung (SD) angegeben. Das Signifikanzniveau beträgt $p < 0.05$.

3.2.2 Sprint-Laststufenprotokoll. Der individuelle optimale Zugwiderstand ($M = 20$ kg; $SD = 1.58$ kg) wurde nach Cross et al. (2018) berechnet.

Abbildung 6 zeigt die durchschnittliche horizontale Kraft (F_{mean}), Geschwindigkeit (v_{mean}) und Sprintleistung (P_{mean}) des Sprint-Laststufenprotokolls des ersten Abschnitts (0-5 m) von Pre- und Posttest. Bei der 13 kg und 29 kg-Laststufe konnte eine signifikante Verbesserung ($p = 0.04$; $r = 0.64$) von P_{mean} festgestellt werden. Bei der 13 kg-Laststufe konnte hierbei die prozentual höchste Verbesserung um 8.72 % erzielt werden. In den Widerstandsstufen 1, 17, 21 und 25 kg resultierten bei P_{mean} tendenzielle Verbesserungen ($p = 0.08$; $r = 0.55$) (siehe Abbildung 6).

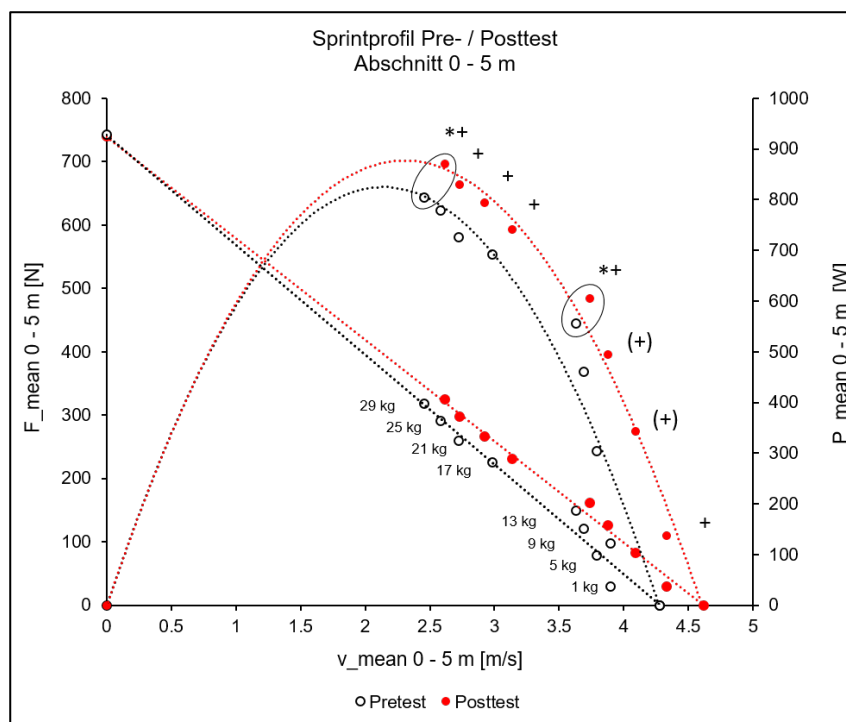


Abbildung 6. Vergleich des Abschnitts 0-5 m des Kraft-Geschwindigkeits-Leistungs-Profils des Sprint-Laststufenprotokolls (8 Sprints mit ansteigendem Zugwiderstand) bei Elite Kunstturnern ($n = 5$) vor (Pretest) und nach (Posttest) einem dreiwöchigen Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand. * = signifikanter Unterschied; + = hoher Effekt; (+) = mittlerer Effekt.

Im zweiten Abschnitt (5-10 m) konnte ebenfalls eine deutliche Verbesserung von P_{mean} in den hohen Laststufen mit 13, 17, 21 und 29 kg Zugwiderstand ($p = 0.04$; $r = 0.64$) (siehe Abbildung 7) beobachtet werden. Der höchste signifikante Anstieg von P_{mean} in diesem Abschnitt resultierte bei der 21 kg-Laststufe um 7.73 %.

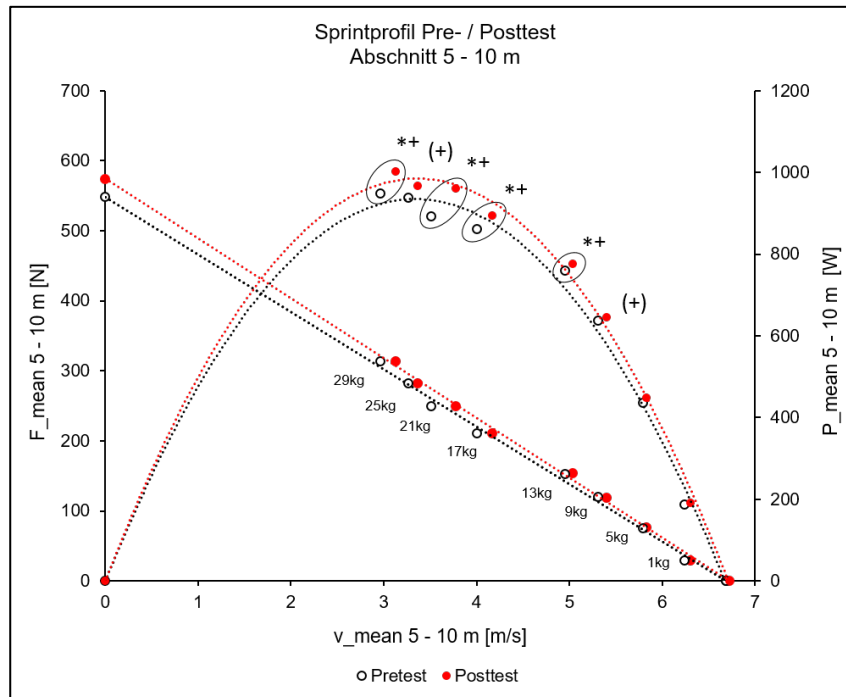


Abbildung 7. Vergleich des Abschnitts 5-10 m des Kraft-Geschwindigkeits-Leistungs-Profils des Sprint-Laststufenprotokolls (8 Sprints mit ansteigendem Zugwiderstand) bei Elite Kunstturnern ($n = 5$) vor (Pretest) und nach (Posttest) einem dreiwöchigen Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand. * = signifikanter Unterschied; + = hoher Effekt; (+) = mittlerer Effekt.

Beim Abschnitt 10-15 m steigerte sich P_{mean} einzig in den Laststufen 17 und 21 kg signifikant ($p = 0.04$; $r = 0.64$). Im letzten Abschnitt (15-20 m) konnten keine signifikanten Verbesserungen und keine hohen Effekte beobachtet werden.

3.3 Vertikale Sprungleistung

Beim CMJ und SJ-Laststufenprotokoll (100, 120, 140, 160, 180 und 200 % des Körpergewichts) sowie SL-CMJ und DJ RI 1 und 2 wurde einzig bei CMJ_{120} eine Tendenz zur signifikanten Verbesserung sowie ein hoher Effekt ($r = 0.65$) festgestellt. Bei SJ_{160} konnte ein mittlerer Effekt ($r = 0.39$) beobachtet werden. Bei den restlichen Messparametern resultierten nur geringe bis keine Effekte.

Tabelle 3 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen vertikalen Sprungleistung ($P_{\text{max}_{\text{rel}}}$) von Pre- und Posttest, deren Veränderung in % sowie das Signifikanzniveau (p -Wert).

Tabelle 3

Mittelwert \pm Standardabweichung der relativen vertikalen Sprungleistung bei Elite Kunstturnern vor (Pretest) und nach (Posttest) einem dreiwöchigen Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand

Testparameter	<i>n</i>	Pretest <i>M</i> \pm <i>SD</i> [P_max _{rel}]	Posttest <i>M</i> \pm <i>SD</i> [P_max _{rel}]	Veränderung <i>M</i> von Pre- zu Posttest [%]	<i>p</i> -wert
CMJ ₁₀₀	5	59.47 \pm 3.53	59.72 \pm 4.34	+ 0.41	0.893
CMJ ₁₂₀	4	54.33 \pm 5.79	56.13 \pm 5.55	+ 3.31	0.068
CMJ ₁₄₀	4	54.63 \pm 7.28	53.28 \pm 6.39	- 2.47	0.465
CMJ ₁₆₀	4	50.50 \pm 5.55	52.45 \pm 4.59	+ 3.86	0.465
CMJ ₁₈₀	4	49.85 \pm 8.36	49.83 \pm 5.73	- 0.05	1.000
CMJ ₂₀₀	4	49.05 \pm 6.01	49.25 \pm 4.33	+ 0.41	1.000
SJ ₁₀₀	5	55.44 \pm 5.56	55.26 \pm 5.68	- 0.32	0.893
SJ ₁₂₀	4	53.48 \pm 7.65	51.80 \pm 5.58	- 3.13	0.273
SJ ₁₄₀	4	51.83 \pm 5.84	49.60 \pm 4.65	- 4.29	0.144
SJ ₁₆₀	4	48.40 \pm 6.60	49.35 \pm 6.47	+ 1.96	0.273
SJ ₁₈₀	4	48.63 \pm 4.50	48.70 \pm 5.55	+ 0.15	0.713
SJ ₂₀₀	4	45.90 \pm 5.20	46.70 \pm 7.28	+ 1.74	1.000
SL-CMJ	5	36.45 \pm 2.93	35.18 \pm 3.29	- 3.47	0.080
DJ RI 1	4	22.48 \pm 3.40	21.63 \pm 3.07	- 3.78	0.465
DJ RI 2	4	68.45 \pm 15.98	68.35 \pm 18.65	- 0.15	1.000

Anmerkung. Die Werte der relativen vertikalen Sprungleistung (P_max_{rel}) von Pre- und Posttest sind als Mittelwert (*M*) \pm Standardabweichung (*SD*) angegeben. CMJ₁₀₀ = Countermovement-Jump ohne Zusatzlast; CMJ₁₂₀-CMJ₂₀₀ = Countermovement-Jump mit Zusatzlast (prozentual zum Körpergewicht); SJ₁₀₀ = Squat-Jump ohne Zusatzlast; SJ₁₂₀-SJ₂₀₀ = Squat-Jump mit Zusatzlast (prozentual zum Körpergewicht); SL-CMJ = Countermovement-Jump einbeinig; DJ RI 1 = Drop-Jump Reaktivkraftindex 1; DJ RI 2 = Drop-Jump Reaktivkraftindex 2. Das Signifikanzniveau beträgt *p* < 0.05.

Bei der Überprüfung der isometrischen beidbeinigen ($p = 0.465$; $r = 0.23$) und einbeinigen ($p = 0.715$; $r = 0.12$) Maximalkraft (F_{maxrel}) konnten keine signifikanten Verbesserungen zwischen Pre- und Posttest beobachtet werden.

4 Diskussion

Dies ist die erste Studie, welche die Wirksamkeit eines Sprinttrainings mit optimalem Zugwiderstand nach Cross et al. (2018) auf die Verbesserung der Anlaufgeschwindigkeit am Pferdsprung, die horizontale Sprint- respektive vertikale Sprungleistung im Kunstturnen der Männer untersucht.

Die Anlaufgeschwindigkeit beim Pferdsprung hat sich einzig in der dritten Abschnittsgeschwindigkeit (10-15 m) verbessert (hoher Effekt; nicht signifikant). In Bezug auf die Beschleunigungsfähigkeit mit hohen Zugwiderständen im Sprint-Laststufenprotokoll konnten signifikante Verbesserungen und hohe Effekte beobachtet werden. Dies gilt für die Zugwiderstände 13 und 29 kg auf den ersten fünf Metern. Ebenso im zweiten Abschnitt (5-10 m) bei 13, 17, 21 und 29 kg und im dritten Abschnitt (10-15 m) bei einem Zugwiderstand von 17 und 21 kg. Ausserdem sind die Effekte im ersten Abschnitt (0-5 m) bei den Zugwiderständen 1, 17, 21, und 25 kg ebenfalls hoch. Ein weiterer hoher Effekt wurde in der vertikalen Sprungleistung beim Testparameter CMJ₁₂₀ beobachtet.

Obwohl das Untersuchungsdesign fast identisch ist wie dasjenige von Schärer, Lüthy et al. (2019), gibt es einige Diskrepanzen, welche die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Studien erklären können. In den folgenden Abschnitten werden die Unterschiede der beiden Studien in der Diskussion der einzelnen Fragestellungen miteinbezogen.

4.1 Anlaufgeschwindigkeit

Im letzten Abschnitt (15-20 m) des Pferdsprunganlaufs erreichen die Kunstturner jeweils ihre $v_{\max\text{Sprung}}$. Letztere konnte mit der Sprint-Trainingsintervention mit optimalem Zugwiderstand nach Cross et al. (2018) um 0.99 % (mittlerer Effekt) leicht verbessert werden. Die Abschnittsgeschwindigkeit im Bereich von 10 bis 15 m und somit kurz vor der $v_{\max\text{Sprung}}$ hat sich in dieser Studie mit einem hohen Effekt um 0.70 % verbessert. Die beiden positiven Wert-Unterschiede zwischen Pre- und Posttest sind jedoch nicht signifikant unterschiedlich ($p > 0.05$). Da jedoch die Stichprobe ($n = 4$) extrem klein ist, ist der Effektstärke mehr Bedeutung zuzuordnen. Aufgrund dieser Ergebnisse sowie der Tendenzen zu hohen Effekten bei der $v_{\max\text{Sprung}}$ und der letzten Abschnittsgeschwindigkeit (15-20 m) kann gefolgert werden, dass durch das in dieser Studie angewandte Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand die Anlaufgeschwindigkeit beim Pferdsprung leicht verbessert werden kann. Für die im Vergleich mit der Studie von

Schärer, Lüthy et al. (2019) kleinen Verbesserungen der Anlaufgeschwindigkeit gibt es mögliche verantwortliche Gründe, welche folglich beschrieben werden.

Die Hauptgründe könnten die unterschiedlichen Bedingungen von den Trainings- und Testtagen sein. Der Lauf-Untergrund variierte hierbei von einem harten Boden im Training, bei welchem mit Laufschuhen gesprintet wurde, zur gewöhnlichen Pferdsprunganlaufbahn auf einer dünnen Mattenbahn im Pre- und Posttest (ohne Schuhe gelaufen). Schärer, Lüthy et al. (2019) dagegen haben die Trainings und Tests auf dem gleichen Lauf-Untergrund, ohne Laufschuhe, direkt auf der Pferdsprunganlaufbahn und somit sportartspezifischer durchgeführt. Dies war in dieser Studie, aufgrund der Weltmeisterschafts-Vorbereitung der anderen Athleten nicht möglich. Weiter wird vermutet, dass ein deutlicher Unterschied des Fitness-Zustandes der Athleten zwischen den Testtagen bestand. Vor dem Posttest besuchten die Kunstturner für einige Tage die Kunstturn-Weltmeisterschaft 2019 in Stuttgart. Nach diesem Ausflug waren die Athleten sichtlich ermüdet. Weiter variierte die Uhrzeit der Trainings- und Testterminen. Bezüglich des strikten Trainingsprogramms der Kunstturner sind diese Termine teilweise ungünstig ausgewählt worden. Die Trainings fanden am frühen Morgen wie auch am späteren Nachmittag statt. Die Vorbelastung war somit nicht immer gleich und der Körper unterschiedlich gut erholt. Das Gleiche gilt für den Pre- und Posttest, welche nicht am gleichen Wochentag und zur selben Zeit durchgeführt wurden. Dies sind mögliche Ursachen für die nur geringe Steigerung der $v_{\max\text{Sprung}}$ bei den männlichen Athleten in dieser Überprüfung.

Zweitens könnte die fortgeschrittene Entwicklung der Probanden eine Grund sein. Schärer, Lüthy et al. (2019) testeten junge Kunstturnerinnen (Alter: 16.30 ± 1.48 Jahre) welche möglicherweise noch weniger austrainiert sind, als die jungen Athleten (Alter: 18.80 ± 1.48 Jahre) dieser Studie. Denn in der Entwicklung des Alters konnte eine Zunahme der $v_{\max\text{Sprung}}$ bis zum Ende des Juniorenalters festgestellt werden, gefolgt von einer Stagnation im frühen Erwachsenenalter ab 19 Jahren (Brehmer & Naundorf, 2011). Für diese Feststellungen sind verschiedene Prozesse verantwortlich. In der Kindheit bis zur Pubertät bestimmen vor allem koordinative Aspekte die Verbesserung von $v_{\max\text{Sprung}}$ (Brehmer & Naundorf, 2011). Weiter erläutern Brehmer und Naundorf (2011), dass koordinative und konditionelle Faktoren für die Entwicklung der $v_{\max\text{Sprung}}$ in der Pubertät und Adoleszenz gleichermassen verantwortlich sind. Auch Schärer, Haller et al. (2019) gehen davon aus, dass Training, Wachstum und Reifung wesentliche Einflussfaktoren für die Entwicklung der $v_{\max\text{Sprung}}$ sind. Die Autoren erläutern dabei, dass sich nach dem Wachstum, die Schrittlänge nicht mehr wesentlich verändert und dies das

Erlernen eines neuen Anlaufmusters erschwert (Schärer, Haller, et al., 2019). Um die Anlaufgeschwindigkeit dennoch verbessern zu können, sollte gemäss Schärer, Haller et al. (2019) die Schrittfrequenz und / oder die Explosivkraft in den unteren Extremitäten erhöht werden.

Die Schrittfrequenz und somit das Schrittmuster ist ein dritter möglicher Grund für die geringe Verbesserung der Anlaufgeschwindigkeit dieser Überprüfung. Zur Steigerung der Anlaufgeschwindigkeit im Sprunganlauf muss sich die Schrittfrequenz ändern (Schärer, Haller, et al., 2019). Daher ist es schwierig mit der gewählten Trainingsintervention eine hohe Verbesserung in der Anlaufgeschwindigkeit generieren zu können, weil wahrscheinlich durch den Zugwiderstand sich die horizontale Abdruckkraft steigern und dadurch die Schrittlänge in der Beschleunigungsphase verlängern würde. Diese Erkenntnis würde aber wiederum das Schrittmuster verändern. Da aber im Kunstturnen schon im frühen Kindesalter mit einem spezifischen Training begonnen wird, erarbeiten sich die Athletinnen und Athleten ein automatisiertes Sprunganlaufmuster am Pferdsprung (Bradshaw, 2004). Sobald die Kunstturnerin oder der Kunstturner sich für einen Pferdsprung vorbereitet, ist die übliche Abfolge des Schritt- und Beschleunigungsverhalten bereits bestimmt (Bradshaw, 2004). Der Pferdsprunganlauf unterscheidet sich somit von einem gewöhnlichen linearen Sprint. Diese Aussage wird auch von Tashiro et al. (2008) unterstützt. Zudem beträgt die Sprintdistanz zum Sprungtisch meistens die maximalen 25 m, was wiederum bedeutet, dass sich der Kunstturner oder die Kunstturnerin an die Distanz und somit an die Anzahl der Schritte bis zum Sprungtisch gewöhnt. Somit ist es schwierig, dieser über sich Jahre eingeprägte Pferdsprunganlauf, in kurzer Zeit zu verändern / verbessern.

4.2 Horizontale Sprintleistung

4.2.1 Sprintgeschwindigkeit. Bei der $v_{\max\text{Sprint}}$ sowie 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten im 20 m-Sprint, konnten nach dem Sprinttraining mit Zugwiderstand keine Veränderungen festgestellt werden.

Die $v_{\max\text{Sprint}}$ vom Posttest ist um 7.97 % schneller als die $v_{\max\text{Sprung}}$ beim Pferdsprung. Das Ziel wäre diese Differenz bei unzureichender Geschwindigkeit möglichst klein zu halten (Schärer, Haller, et al., 2019; Trillhose, 1995). Gemäss Trillhose (1995) sollten somit Trainingsmethoden «dahin tendieren, dass nicht allein die weitere Erhöhung der Anlaufgeschwindigkeit in den Mittelpunkt zu rücken sind, sondern auch die Verbesserung der Schrittgestaltung» (S. 3).

Dies soll Kunstturnerinnen und Kunstturnern dazu helfen, möglichst ihr gesamtes lineares Sprintgeschwindigkeitspotential auszunutzen.

Die nahezu gleichbleibenden Ergebnisse der $v_{max\text{Sprint}}$ von Pre- und Posttest in dieser Studie sind, wie im Kapitel 4.1 in Bezug auf die Anlaufgeschwindigkeit beschrieben, hauptsächlich wohl auch auf die unterschiedlichen Trainings- und Testbedingungen (Fitness-Zustand der Athleten, anderer Sprint-Untergrund, mit und ohne Laufschuhe, Test- und Trainingszeiten) zurückzuführen.

4.2.2 Sprint-Laststufenprotokoll. Im Sprint-Laststufenprotokoll konnte eine Steigerung der P_{mean} im ersten (0-5 m) und zweiten (5-10 m) Abschnitt bei allen Laststufen festgestellt werden. Die Athleten erreichten somit früher ihre maximale Geschwindigkeit. Dies spricht für eine positive Entwicklung der Beschleunigungsfähigkeit und der innervierten Muskeln in den unteren Extremitäten, einer effizienteren Kraftübertragung oder besseren Kraftrichtung. In den weiteren Abschnitten (> 10 m) wurde vor allem eine Leistungssteigerung im Bereich der Laststufe festgestellt, mit welcher auch trainiert wurde. Würden sich diese positiven Einsichten der verbesserten Beschleunigungsfähigkeit auf den Pferdsprunganlauf transferieren, wäre dies eine positive Erkenntnis für den Pferdsprung im Kunstturnen. Denn die Athletin oder der Athlet erreicht mit dieser Anpassung früher die $v_{max\text{Sprung}}$ und kann sich somit länger auf den Einsprung vorbereiten.

Die verbesserte Beschleunigungsfähigkeit konnte hingegen nicht auf den Pferdsprunganlauf oder den 20 m-Sprint übertragen werden. Deshalb wird befürchtet, dass die Gewöhnung an das Trainingsgerät ein Grund für die Verbesserung der Beschleunigungsfähigkeit ist. Für die Athleten, welche sich nicht gewohnt sind, mit diesem Trainingsgerät und einem so hohen Widerstand loszulaufen, ist die Beschleunigung auf den ersten Metern der wohl schwierigste Abschnitt (0-5 m). Zu Beginn der Trainingsintervention konnten die Kunstturner die gerade Laufrichtung nicht beibehalten, bei den letzten Trainings und im Posttest konnten diese Beobachtungen weniger festgestellt werden. Diese Erkenntnis spricht für eine bessere Kraftrichtung und Kraftübertragung, welche mit einer Angewöhnung an das Trainingsgerät passiert. Die Probanden haben gelernt, mit einem hohen Zugwiderstand zu trainieren und ihren Laufstil daran anzupassen. Die veränderte Lauftechnik (Oberkörper aufrechter, konstantere Schrittabfolge, stabilere Position) konnte im Posttest subjektiv und mittels Videovergleich beobachtet werden. Dies ist eine nützliche Beobachtung dieser Studie.

Ein weiterer Diskussionspunkt ist der berechnete optimale Zugwiderstand nach Cross et al. (2018). In den Kraft-Geschwindigkeits-Leistungs-Profilen des Pretests (siehe Beispiel Abbildung 4) ist ersichtlich, dass die Kurve und somit P_{mean} bei den höchsten Lasten noch nicht abfällt. Diese Erkenntnis konnte bei allen Probanden festgestellt werden. Daraus lässt sich vermuten, dass die in dieser Studie berechnete optimale horizontale Leistung höchstwahrscheinlich unter der wirklichen maximalen Leistung liegt. Der optimale Zugwiderstand wurde in diesem Studiendesign somit eventuell zu tief ausgewählt. Jedoch standen keine weiteren Laststufen zur Verfügung. Wie sich die Kurve mit höheren Zugwiderständen entwickelt, müsste mit weiteren Forschungsarbeiten beantwortet werden. Dafür müssten zwei «1080 Sprint» Trainingsgeräte kombiniert werden, was in dieser Studie nicht möglich war.

4.3 Vertikale Sprungleistung

Bei keiner Testvariable der vertikalen Sprungleistung konnte eine signifikante Verbesserung von Pre- zu Posttest festgestellt werden. Einzig beim Testparameter CMJ_{120} konnte eine Tendenz zu einer signifikanten Verbesserung und hohe Effekte beobachtet werden. Dieser Wert könnte sich jedoch als zufällig erklären. Mithilfe diesen Resultaten ist, isoliert gesehen, ein Sprinttraining mit optimalem Zugwiderstand nach Cross et al. (2018) nicht wirksam, um die gemessenen Sprungkraftparameter zu verbessern.

In den ersten Abschnitten hat sich die horizontale Sprintleistung gering verbessert, jedoch ist bei der vertikalen Sprungleistung keine Entwicklung zu beobachten. Daher stützt dieses Resultat die Aussage, dass sich die Beschleunigungsfähigkeit im Sprint-Laststufenprotokoll lediglich aufgrund der Angewöhnungszeit des Trainingsgeräts verbessert hat (siehe Kapitel 4.2.2). Somit wird vermutet, dass die Athleten nicht direkt ihre Explosivkraft in den unteren Extremitäten verbessern konnten, sondern wussten einzig, besser mit der Trainingsmethode und dem Trainingsgerät umzugehen.

Die horizontale Sprintleistung hat in der Studie von Delecluse et al. (1995) einen hohen Zusammenhang mit der vertikalen Sprungleistung. In unserer Trainingsintervention wurde einzig die horizontale Sprintleistung trainiert. Somit wird für zukünftige Untersuchungen eine Ergänzung durch ein spezifisches Sprungkraftprogramm wie in der Studie von Delecluse et al. (1995) empfohlen.

4.4 Schwachpunkte der Studie

Die Ergebnisse sind aufgrund der kleinen Probandengruppe ($n = 5$, in einigen Tests $n = 4$) nicht sehr repräsentativ. Weitere Studien und eine grössere Stichprobe sind nötig, um klare, für Kunstturner generalisierbare Resultate zu erhalten. Für eine Trainingsintervention im Spitzensport, besonders in Einzelsportarten wie Kunstturnen ist es jedoch nicht immer einfach, eine hohe Probandenzahl erhalten zu können.

Weitere Schwachpunkte dieser Studie sind die unterschiedlichen Test- und Trainingsbedingungen (Fitness-Zustand der Athleten, anderer Sprint-Untergrund, mit und ohne Laufschuhe, Test- und Trainingszeiten), welche im Kapitel 4.1 umfangreich beschrieben wurden. Für zukünftige ähnliche Untersuchungen müssten diese Bedingungen standardisiert werden. Optimal wäre es, wenn die Trainingsintervention am gleichen Ort, auf gleichem Sprint-Untergrund und ohne Laufschuhe stattfinden wie in den Tests und die Athleten jeweils einen ähnlichen Fitness-Zustand sowie Vorbelastung aufweisen.

Dies sind wichtige Erkenntnisse dieser Studie und sollten bei weiteren Untersuchungen in allen Sportarten beachtet werden.

4.5 Ausblick

In Bezug auf die $v_{\max\text{Sprung}}$ beziehungsweise $v_{\max\text{Sprint}}$ wäre es insbesondere aufgrund der angeeigneten Bewegungsmuster beim Pferdsprunganlauf von Kunstturnerinnen und Kunstturnern interessant, die Untersuchung in einer anderen Sportart oder bei weniger trainierten Athleten durchzuführen. Um die $v_{\max\text{Sprint}}$ verbessern zu können, empfehlen Delecluse et al. (1995) eine Trainingskombination von horizontalen Sprint- und vertikalen Sprungkraftformen. Daher wäre es sinnvoll bei einer nächsten ähnlichen Untersuchung, die Trainingsintervention mit vertikalen Sprungkrafteinheiten zu ergänzen.

Weiter müssten die Gütekriterien Validität (Vergleich mit Goldstandard) und Reliabilität (mittels Messwiederholung) des Sprint-Laststufenprotokolls mit dem Trainingsgerät «1080 Sprint» überprüft werden.

5 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Trainingsmethode Sprint mit optimalem Zugwiderstand die maximale Anlaufgeschwindigkeit am Pferdsprung leicht verbessert. Ausserdem konnte die horizontale Sprintleistung (P_{mean}) in den ersten 15 m, vor allem bei hohen Zugwiderständen im Sprint-Laststufenprotokoll signifikant um bis zu 8.72 % verbessert werden. Die verbesserte Beschleunigungsfähigkeit beim Sprint mit Zugwiderstand konnte aber nur gering in das sportartspezifische Bewegungsmuster beim Sprint / Pferdsprunganlauf übertragen werden. Die möglichen Hauptgründe für den geringen Transfer sind die unterschiedlichen Bedingungen zwischen den Trainings- und Testtagen (Fitness-Zustand der Athleten, anderer Sprint-Untergrund, mit und ohne Laufschuhe, Test- und Trainingszeiten).

Die positive Leistungssteigerung beim Sprint-Laststufenprotokoll könnte zusätzlich auf eine Angewöhnung an das Trainingsgerät zurückgeführt werden. Diese Aussage müsste jedoch mit weiteren Studien belegt werden.

Damit der Trainingsreiz so sportartenspezifisch wie möglich gesetzt werden kann muss schliesslich darauf geachtet werden, dass bei weiteren Sprint-Trainingsinterventionen mit Zugwiderstand die Trainings- und Testbedingungen möglichst identisch gestaltet und standardisiert werden (ohne Laufschuhe, gleicher Sprintuntergrund, gleiche Test- und Trainingszeiten). Ausserdem ist es wichtig, dass die Athleten bei den Tests und Trainings jeweils in bester gesundheitlicher Verfassung sind, damit die optimale Leistung abgerufen werden kann.

Zusätzlich zu einem Sprinttraining empfehlen sich Trainingsmethoden in Form von vertikalen Sprungkraftformen (Delecluse et al., 1995). Mit diesen zusätzlichen Trainingseinheiten können gemäss Delecluse et al. (1995) der Sprintantritt sowie die maximale Sprintgeschwindigkeit mitverbessert werden.

Literatur

- Alcaraz, P., Palao, J. & Elvira, J. (2009). Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 480–485. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318198f92c>
- Atikovic, A. & Smajlović, N. (2011). Relation between vault difficulty values and biomechanical parameters in men's artistic gymnastics. *Science of Gymnastics Journal*, 3(3), 91–105.
- Bechter, B., Haller, C., Bechter, M. & Donath, F. (2009). *Geräte- und Kunstturnen/Trampolin Fachgrundlagen*. Magglingen: Bundesamt für Sport BASPO.
- Bessi, F. (2009). *Materialien für die Trainerbildung im Geräteturnen: 1. Lizenzstufe*. (3. veränderte Auflage). Freiburg: Eigenverlag.
- Bradshaw, E. (2004). Gymnastics: Target-directed running in gymnastics: a preliminary exploration of vaulting. *Sports Biomechanics*, 3(1), 125–144. <https://doi.org/10.1080/14763140408522834>
- Brehmer, S. & Naundorf, F. (2011). Age related development of run up velocity on vault. *Science of Gymnastics Journal*, 3(3), 19–27.
- 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318291b8c7>
- Condovici, G. & Dörrer, H.-J. (1999). *Weibliches Kunstturnen. Rahmenkonzeption für Kinder und Jugendliche im Leistungssport* (Bd. 1). Wiebelsheim: Limpert Verlag GmbH.
- Cross, M. R., Brughelli, M., Samozino, P., Brown, S. R. & Morin, J.-B. (2017). Optimal loading for maximizing power during sled-resisted sprinting. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(8), 1069–1077. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0362>
- Cross, M. R., Brughelli, M., Samozino, P. & Morin, J.-B. (2017). Methods of power-force-velocity profiling during sprint running: a narrative review. *Sports Medicine*, 47(7), 1255–1269. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0653-3>
- Cross, M. R., Lahti, J., Brown, S. R., Chedati, M., Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., ... Morin, J.-B. (2018). Training at maximal power in resisted sprinting: Optimal load determination methodology and pilot results in team sport athletes. *PLOS ONE*, 13(4), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195477>

- Delecluse, C., van Coppenolle, H., Willems, E., van Leemputte, M., Diels, R. & Goris, M. (1995). Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(8). <https://doi.org/10.1249/00005768-199508000-00015>
- Farana, R. & Vaverka, F. (2012). The effect of biomechanical variables on the assessment of vaulting in top-level artistic female gymnasts in world cup competitions. *Acta Gymnica*, 42(2), 49–57. <https://doi.org/10.5507/ag.2012.012>
- Fédération Internationale de Gymnastique (2017). *Code de Pointage MAG (2017-2020)*. Lausanne: FIG.
- French, D. N., Gómez, A. L., Volek, J. S., Rubin, M. R., Ratamess, N. A., Sharman, M. J., ... Kraemer, W. J. (2004). Longitudinal tracking of muscular power changes of NCAA division I collegiate women gymnasts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(1), 101–107. <https://doi.org/10.1519/00124278-200402000-00015>
- Fröhlich, M. (2014). Krafttraining. In H.-D. Kempf (Hrsg.), *Funktionelles Training mit Hand- und Kleingeräten* (S. 3–12). https://doi.org/10.1007/978-3-662-43659-2_1
- Fujihara, T. (2016). *Revisiting run-up velocity in gymnastics vaulting*. (34th International Conference of Biomechanics in Sports, Tsukuba, Japan), 593–596.
- Gerling, I. E. (2008). *Geräteturnen für Fortgeschrittene. Band 2: Sprung, Hang- und Stützgeräte*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Grosser, M. & Renner, T. (2007). *Schnelligkeitstraining: Grundlagen, Methoden, Leistungssteuerung, Programm für alle Sportarten* (2. Aufl.). München: BLV Buchverlag GmbH & Co.
- Grosser, M. & Starischka, S. (1998). *Das neue Konditionstraining. Für alle Sportarten, für Kinder, Jugendliche und Aktive*. München: BLV Buchverlag GmbH & Co.
- Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50(7/8), 223–234.
- Härtig, R. & Buchmann, G. (2011). *Geräteturnen—Trainingsmethodik*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Hassan, O. (2003). *Evaluation sportartspezifischer konditioneller Fähigkeiten bei Talenten: Ein Vergleich zwischen deutschen und ägyptischen Kunstturn-Talenten im Alter von 10-12 Jahren* (Dissertation, Universität Konstanz). Zugriff unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:352-opus-10444>
- Hübner, K. (2009). *Veränderung der Explosivkraft der unteren Extremitäten in Abhängigkeit vom Widerstand: Studie bei Schweizer Spitzensportlern aus Sportarten mit hohem*

- Explosivkraftanteil* (Dissertation). Universität Leipzig, Leipzig.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N. & McNair, P. J. (2005). Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *Journal of Applied Biomechanics*, 21(1), 31–43. <https://doi.org/10.1123/jab.21.1.31>
- Jemni, M., Friemel, F., Sands, W. & Mikesky, A. (2001). Evolution du profil physiologique des gymnastes durant les 40 dernières années (revue de littérature). *Canadian Journal of Applied Physiology*, 26(5), 442–456. <https://doi.org/10.1139/h01-027>
- Kawamori, N., Newton, R. & Nosaka, K. (2014). Effects of weighted sled towing on ground reaction force during the acceleration phase of sprint running. *Journal of Sports Sciences*, 32(12), 1139–1145. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.886129>
- Knoll, K. (2004). Aufbau und Erhalt des Drehimpulses bei Absprüngen und Abdrücken in technisch-akrobatischen Sportarten. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 11(1), 72–83.
- Koperski, A., Kochanowicz, A. & Słodkowski, C. (2010). Gymnasts' special quickness-force abilities and the indicators of jump from a springboard. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 2(2). <https://doi.org/10.2478/v10131-0014-9>
- Laube, W., Anders, C., Angleitner, C., Blümel, G. & Kannenberg, A. (2009). *Sensomotorisches System: Physiologisches Detailwissen für Physiotherapeuten* (1. Aufl.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Jeffriess, M. D. & Callaghan, S. J. (2013). *Step kinematic predictors of short sprint performance in field sport athletes*. 7(2), 71–77.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J. & Spinks, C. D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 760–767. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0760:eorsto>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0760:eorsto>2.0.co;2)
- MacKenzie, S. J., Lavers, R. J. & Wallace, B. B. (2014). A biomechanical comparison of the vertical jump, power clean, and jump squat. *Journal of Sports Sciences*, 32(16), 1576–1585. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.908320>
- Morin, J.-B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P. & Lacour, J.-R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3921–3930. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2379-8>
- Morin, J.-B., Edouard, P. & Samozino, P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1680–1688. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318216ea37>
- Morin, J.-B., Petrakos, G., Jiménez-Reyes, P., Brown, S. R., Samozino, P. & Cross, M. R.

- (2017). Very-heavy sled training for improving horizontal-force output in soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(6), 840–844. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0444>
- Morin, J.-B. & Samozino, P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(2), 267–272. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0638>
- Nagahara, R., Mizutani, M., Matsuo, A., Kanehisa, H. & Fukunaga, T. (2018). Association of sprint performance with ground reaction forces during acceleration and maximal speed phases in a single sprint. *Journal of Applied Biomechanics*, 34(2), 104–110. <https://doi.org/10.1123/jab.2016-0356>
- Naundorf, F., Brehmer, S., Körner, S. & Seidel, I. (2017). Analyse aktueller Entwicklungstendenzen im Gerätturnen. *Schriftenreihe Angewandte Trainingswissenschaft*, 7, 129–141.
- Naundorf, F., Fetzer, J. & Brehmer, S. (2009). Entwicklungstendenzen im Gerätturnen bis zu den Olympischen Sommerspielen 2008 in Peking (CHN). *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 16, 137–146.
- Petrakos, G., Morin, J.-B. & Egan, B. (2016). Resisted sled sprint training to improve sprint performance: a systematic review. *Sports Medicine*, 46(3), 381–400. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0422-8>
- Rumpf, M. C., Lockie, R. G., Cronin, J. B. & Jalilvand, F. (2016). Effect of different sprint training methods on sprint performance over various distances: A brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1767–1785.
- Sands, W. A. (2000). Injury prevention in women's gymnastics. *Sports Medicine*, 30(5), 359–373. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030050-00004>
- Sands, W. A. & McNeal, J. R. (2000). Enhancing flexibility in gymnastics. *USA Gymnastics Online: Technique: Enhancing Flexibility in Gymnastics*, 20(5), 1–5.
- Schärer, C., Haller, N., Taube, W. & Hübner, K. (2019). *Physical determinants of vault performance and their age-related differences across male junior and elite top-level gymnasts (Manuscript draft)*. PLOS ONE.
- Schärer, C., Lehmann, T., Naundorf, F., Taube, W. & Hübner, K. (2019). The faster, the better? Relationships between run-up speed, the degree of difficulty (D-score), height and length of flight on vault in artistic gymnastics. *PLOS ONE*, 14(3), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213310>
- Schärer, C., Lüthy, F., Felder, A., Gross, M. & Hübner, K. (2019, November). *Sprints mit «optimalem Zugwiderstand» verbessern die Sprunganlauf- und Sprintgeschwindigkeit*

- sowie die vertikale Sprungleistung bei Kunstturnerinnen. Poster gehalten auf der Magglinger Trainertagung - Swiss Olympic Science Award, Magglingen, Schweiz.
- Schnabel, G., Harre, H.-D. & Krug, J. (2014). *Trainingslehre - Trainingswissenschaft: Leistung, Training, Wettkampf* (3. aktualisierte Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Seitz, L. B., Reyes, A., Tran, T. T., de Villarreal, E. S. & Haff, G. G. (2014). Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 44(12), 1693–1702. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0227-1>
- Spinks, C. D., Murphy, A. J., Spinks, W. L. & Lockie, R. G. (2007). The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 77–85. <https://doi.org/10.1519/00124278-200702000-00015>
- Steinhöfer, D. (2008). *Athletiktraining im Sportspiel: Theorie und Praxis zu Kondition, Koordination und Trainingssteuerung*. Münster: Philippka-Sportverlag.
- Tashiro, K., Takata, Y., Harada, M., Kano, M. & Yanagiya, T. (2008). Comparative studies about kinematics of maximal sprint running and running up in horse vaulting. *Coaching and Sports Performance*, (International Conference on Biomechanics in Sports (2008)).
- Trillhose, A. (1995). Zu Aspekten der Schrittgestaltung im Anlauf und des Brettaufsatzsprunges bei turnerischen Stützsprüngen am Pferd. *Leistungssport*, 5(95), 1–3.
- Uzunov, V. (2009). Sprint training for vault: Off-season training program for 7-12yr old gymnasts. *Gym Coach Journal*, (3), 8–20.
- Weineck, J. (2010). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (16. durchgesehene Auflage). Balingen: Spitta-Verlag.
- Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J. & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1991–1999. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.5.1991>
- Wisloff, U. (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. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2002.002071>

Anhang

Rohdatentabelle für die Überprüfung der Anlaufgeschwindigkeit am Pferdsprung sowie 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten

Proband	Test 1 vmax _{Sprung} 0-5m [m/s]	Test 2 vmax _{Sprung} 0-5m [m/s]	Test 1 vmax _{Sprung} 5-10m [m/s]	Test 2 vmax _{Sprung} 5-10m [m/s]	Test 1 vmax _{Sprung} 10-15m [m/s]	Test 2 vmax _{Sprung} 10-15m [m/s]	Test 1 vmax _{Sprung} 15-20m [m/s]	Test 2 vmax _{Sprung} 15-20m [m/s]	Test 1 vmax _{Sprung} [m/s]	Test 2 vmax _{Sprung} [m/s]
1	4.80	4.80	6.50	6.50	7.40	7.40	7.50	7.50	7.50	7.50
2										
3	4.80	4.80	6.30	6.40	7.00	7.10	7.10	7.30	7.10	7.30
4	4.50	4.40	6.20	6.20	7.10	7.20	7.80	7.90	7.80	7.90
5	4.60	4.60	6.30	6.20	7.20	7.20	7.90	7.90	7.90	7.90

Rohdatentabelle für die Überprüfung der 20 m-Sprintgeschwindigkeit sowie 5 m-Abschnittsgeschwindigkeiten

Proband	Test 1 vmax _{Sprint} 0-5m [m/s]	Test 2 vmax _{Sprint} 0-5m [m/s]	Test 1 vmax _{Sprint} 5-10m [m/s]	Test 2 vmax _{Sprint} 5-10m [m/s]	Test 1 vmax _{Sprint} 10-15m [m/s]	Test 2 vmax _{Sprint} 10-15m [m/s]	Test 1 vmax _{Sprint} 15-20m [m/s]	Test 2 vmax _{Sprint} 15-20m [m/s]	Test 1 vmax _{Sprint} [m/s]	Test 2 vmax _{Sprint} [m/s]
1	5.30	5.20	7.00	6.90	7.90	7.80	8.50	8.40	8.60	8.60
2	5.30	5.30	6.90	7.00	7.80	7.70	8.50	8.20	8.50	8.30
3	5.10	5.10	6.40	6.60	7.20	7.30	7.60	7.80	7.70	7.90
4	5.00	5.20	6.70	6.90	7.60	7.70	8.00	8.40	8.10	8.40
5		4.90	6.90	6.70	7.30	7.40	7.90	7.90	8.10	8.10

Rohdatentabelle für die Überprüfung der horizontalen Leistung im Sprint-Laststufenprotokoll im ersten Abschnitt (0-5 m)

Proband	Abschnitt	Test 1 Pmean _{Sprint} 1kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 1kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 5kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 5kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 9kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 9kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 13kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 13kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 17kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 17kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 21kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 21kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 25kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 25kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 29kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 29kg
1	0-5m	132.68	146.2	326.3	386.46	503.5	561.52	618.04	674.94	764.7	841.58	822.98	890.29	884.86	930.79	903.89	920.1
2	0-5m	128.13	144.42	277.44	360.85	448.78	511.58	539.6	599.54	670.87	725.38	670.4	782.22	762.09	826.77	763.24	862.94
3	0-5m	111.5	126.27	312.78	310.27	439.53	449.48	534.06	557.41	657.24	708.2	724.87	755.33	753.96	768.73	761.85	779.72
4	0-5m	133.12	128.91	330.24	331.41	484.28	473.21	582.94	592.33	740.14	702.53	753.03	746.22	815.98	811.1	860.03	893.47
5	0-5m	102.31	137.57	273.07	326.45	422.33	474.44	507.72	600.71	630.34	726.61	658.21	793.29	673.56	812.65	734.82	895.82

Rohdatentabelle für die Überprüfung der horizontalen Leistung im Sprint-Laststufenprotokoll im zweiten Abschnitt (5-10 m)

Proband	Abschnitt	Test 1 Pmean _{Sprint} 1kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 1kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 5kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 5kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 9kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 9kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 13kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 13kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 17kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 17kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 21kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 21kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 25kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 25kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 29kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 29kg
1	5-10m	204.88	207.06	476.96	473.75	682.09	701.27	836.76	844.24	973.72	979.32	1009.56	1049.92	1062.61	1082.88	1105.82	1120.05
2	5-10m	181.06	196.42	387.99	455.87	639.66	659.09	731.35	750.96	832.23	888.35	836.17	904.02	870.07	917.67	863	934.79
3	5-10m	173.04	178.33	416.64	426.91	573.54	574.62	682.22	690.38	786.45	809.47	831.01	877.69	822.96	905.76	867.61	873.24
4	5-10m	196.79	196.52	466.38	460.28	650.41	662.3	777.69	799.96	890.06	910.14	922.95	975.96	992.26	970.73	963.15	1005.85
5	5-10m	183	179.57	434.31	421.89	639.65	631.96	774.93	800.07	825.5	888.99	858.38	994.91	945.92	963.22	943.57	1076.06

Rohdatentabelle für die Überprüfung der horizontalen Leistung im Sprint-Laststufenprotokoll im dritten Abschnitt (10-15 m)

Proband	Abschnitt	Test 1 Pmean _{Sprint} 1kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 1kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 5kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 5kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 9kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 9kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 13kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 13kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 17kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 17kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 21kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 21kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 25kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 25kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 29kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 29kg
1	10-15m	228.73	221.26	526.24	513.36	715.57	728.58	901.99	891.69	979.34	1036.15	1043.31	1103.1	1111.65	1099.82	1105.1	1086.36
2	10-15m	219.59	211.5	429.87	492.12	684.44	664.81	807.26	762.93	849.72	911.71	857.36	900.73	914.01	958.01	864.29	917.57
3	10-15m	190.84	202.43	437	443.91	610.16	636.53	724.99	719.88	826.73	880.94	821.9	903.46	872.57	906.01	908.59	899.72
4	10-15m	231.93	224.27	487.3	489.07	702.96	681.18	837.98	832.77	923.97	939.18	940.8	969.76	1019.91	972.27	987.69	1013.96
5	10-15m	208.56	207.33	473.82	453.8	673.94	660.89	804.68	836.83	886.21	988.01	911.26	976.4	986.63	966.45	927.72	1050.04

Rohdatentabelle für die Überprüfung der horizontalen Leistung im Sprint-Laststufenprotokoll im vierten Abschnitt (15-20 m)

Proband	Abschnitt	Test 1 Pmean _{Sprint} 1kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 1kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 5kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 5kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 9kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 9kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 13kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 13kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 17kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 17kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 21kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 21kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 25kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 25kg	Test 1 Pmean _{Sprint} 29kg	Test 2 Pmean _{Sprint} 29kg
1	15-20m	235.13	227.19	539.94	522.87	763.99	721.06	921.34	849.79	1001.01	986.51	1053.71	1011.76	1101.52	1063.39	1119.5	1038.28
2	15-20m	229.9	203.76	436.45	455.75	721.74	705.87	815.64	908.65	862.91	908.65	867.64	855.44	873.53	818.72	851.85	823.94
3	15-20m	206.71	220.85	451.21	462.39	643.83	637.63	728.75	745.73	820.04	826.12	830.19	842.51	808.3	866.67	871.54	852.39
4	15-20m	225.94	219.34	490.92	495.88	690.91	676.8	824.58	819.65	941.51	915.89	938.33	936.54	992.49	963.75	995.63	975.43
5	15-20m	243.1	206.44	491.39	449.19	676.86	657.04	823.76	830.65	882.27	946.79	905.7	921.71	944.34	933.03	929.08	993.27

Rohdatentabelle für die Überprüfung der vertikalen Sprungleistung

Proband	Test 1 CMJ 100% Pmax _{rel}	Test 2 CMJ 100% Pmax _{rel}	Test 1 CMJ 120% Pmax _{rel}	Test 2 CMJ 120% Pmax _{rel}	Test 1 CMJ 140% Pmax _{rel}	Test 2 CMJ 140% Pmax _{rel}	Test 1 CMJ 160% Pmax _{rel}	Test 2 CMJ 160% Pmax _{rel}	Test 1 CMJ 180% Pmax _{rel}	Test 2 CMJ 180% Pmax _{rel}	Test 1 CMJ 200% Pmax _{rel}	Test 2 CMJ 200% Pmax _{rel}
1	65.30	65.60	60.10	60.60	60.10	60.80	52.30	57.50	58.80	55.00	53.50	52.80
2	56.66	62.58										
3	56.70	56.50	46.30	48.20	44.60	46.90	42.90	47.20	39.40	43.70	40.50	45.50
4	59.60	58.80	55.00	59.20	59.90	56.20	56.10	54.80	53.70	54.40	53.00	53.20
5	59.10	55.10	55.90	56.50	53.90	49.20	50.70	50.30	47.50	46.20	49.20	45.50

Proband	Test 1 SJ 100% Pmax _{rel}	Test 2 SJ 100% Pmax _{rel}	Test 1 SJ 120% Pmax _{rel}	Test 2 SJ 120% Pmax _{rel}	Test 1 SJ 140% Pmax _{rel}	Test 2 SJ 140% Pmax _{rel}	Test 1 SJ 160% Pmax _{rel}	Test 2 SJ 160% Pmax _{rel}	Test 1 SJ 180% Pmax _{rel}	Test 2 SJ 180% Pmax _{rel}	Test 1 SJ 200% Pmax _{rel}	Test 2 SJ 200% Pmax _{rel}
1	59.20	62.60	62.10	57.50	57.80	55.10	55.60	56.30	52.60	55.10	50.30	55.90
2	57.82	56.92										
3	46.80	48.80	43.80	45.40	45.00	45.60	40.40	43.40	42.80	42.20	39.70	40.10
4	60.30	57.70	55.90	55.30	55.40	51.80	51.50	53.40	51.70	50.90	50.10	49.10
5	53.10	50.30	52.10	49.00	49.10	45.90	46.10	44.30	47.40	46.60	43.50	41.70

Proband	Test 1 Beidb. 100° Fmax _{rel}	Test 2 Beidb. 100° Fmax _{rel}	Test 1 SL Li Fmax _{rel}	Test 2 SL Li Fmax _{rel}	Test 1 SL Re Fmax _{rel}	Test 2 SL Re Fmax _{rel}	Test 1 SL-CMJ 100% Pmax _{rel}	Test 2 SL-CMJ 100% Pmax _{rel}	Test 1 DJ RI 1	Test 2 DJ RI 1	Test 1 DJ RI 2	Test 2 DJ RI 2
1	33.60	37.00	20.80	20.80	21.00	21.30	39.06	38.50	27.50	25.90	90.30	91.70
2							36.20	34.80				
3	30.20	30.80	19.70	20.20	19.40	19.60	32.44	32.80	21.20	21.60	70.30	74.90
4	26.00	27.50	18.10	18.10	18.90	20.20	39.51	38.54	21.20	18.80	58.00	55.40
5	27.50	25.70	18.10	16.90	19.00	17.80	35.05	31.29	20.00	20.20	55.20	51.40

Dank

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei diesen Personen bedanken, welche mich während der Masterarbeit unterstützt haben.

Ein grosser Dank gilt meinem Referenten PD Dr. Silvio Lorenzetti und Betreuer Christoph Schärer für die Themenstellung. Für die jederzeitige Unterstützung bei Fragen und Unklarheiten während der Datenerhebung, -auswertung und beim Schreiben der Arbeit möchte ich mich vor allem bei Christoph bedanken. Ohne seine Hilfe hätte die Studie nicht durchgeführt werden können.

Ausserdem gilt ein Lob an die Athleten des schweizerischen National- und Juniorenkaders im Kunstturnen des nationalen Leistungszentrums in Magglingen. Sie waren stets motiviert und zeigten vollen Einsatz während der Trainingsintervention und den Testtagen. Besten Dank auch den Trainern für das entgegengebrachte Vertrauen und das Benutzen der Infrastruktur.

Für die Anwendung des Trainingsgeräts «1080 Motion» und der Muskelleistungsdiagnostik-Testeinrichtung möchte ich mich beim Leiter Bereich Sportphysiologie Kraft Dr. Klaus Hübner in Magglingen bedanken.

Abschliessend gilt ein Dank meinen Eltern Margrith und Reto von Siebenthal, für die dagewesene Unterstützung meines Studiums sowie Jasmin Schweer für das Gegenlesen und korrigieren der Arbeit.

Luca von Siebenthal

Masterstudent an der Universität Freiburg in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen