

Validierung einer neuartigen Methode zur Bestimmung von Kraft-Geschwindigkeits-Profilen bei Nachwuchs-Elite Fussballspielern

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Unterricht

eingereicht von

Kenan Calisici

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
Msc Pascal Andrey

Altdorf, Juli 2021

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
1.1 Anforderungsprofil Fussball	4
1.2 Ballistische Bewegungen	5
1.3 Das Kraft-Geschwindigkeits-Profil	6
1.4 Parameter der Leistungsprofile	8
1.5 Entwicklung Diagnostik und Testung	13
1.6 Praktische Forschung vergleichbar zur vorliegenden Studie	15
1.7 Ziel der Arbeit	17
2 Methode	18
2.1 Stichprobe	18
2.2 Studiendesign	19
2.3 Untersuchungsmethode und -instrumente	19
2.4 Auswertung und statistische Analyse	22
3 Resultate	25
3.1 Linearer Zusammenhang der Bodenreaktionskraft und der Geschwindigkeit	25
3.2 Multiple lineare Regression zur Sprintleistung	26
3.3 Multiple lineare Regression zur Sprunghöhe	27
4 Diskussion	29
4.1 Linearer Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeit bei einer neuartigen Methode von loaded Counter Movement Jumps	29
4.2 Erklärung der Sprintleistung	30
4.3 Erklärung der Sprunghöhe	31
4.4 Stärken, Schwächen und Ausblick	32
4.5 Bedeutung für die Praxis	33
5 Schlussfolgerung	36
Literatur	37
Anhang	46
Anhang 1: Einverständniserklärung	46
Anhang 2: Eintrittsfragebogen	51
Anhang 3: Multiple lineare Regression zur Sprintleistung	52
Anhang 4: Multiple lineare Regression zur Sprunghöhe	53

Zusammenfassung

Einleitung: Die Sportart Fussball ist geprägt von ballistischen Bewegungen der unteren Extremität. Zur Beurteilung einer Beschleunigung wird das Kraft-Geschwindigkeits (Fv) -Spektrum betrachtet, was eine umfassende Analyse der mechanischen Kapazität erlaubt. **Ziel:** Die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit von U18 Fussballspielern will erkannt werden. Durch das Fv-Profil versucht man die Orientierung der Muskeleigenschaften zu ermitteln und Unterschiede in der Sprint- und Sprungleistung zu erklären. **Methode:** 29 männliche Nachwuchs-Elite Fussballspieler nahmen an der quantitativen Querschnittstudie teil. An drei Messzeitpunkten absolvierten die Athleten unloaded und loaded Counter Movement Jumps (CMJ) mit Sandsäcken auf Kraftmessplatten. Zusätzlich wurde ein 40 m Sprint mit einem Lichtschrankensystem durchgeführt. Durch den Vergleich der Fv-Profile aller Athleten mit ihrem optimalen Profil wurde ihr neuromuskuläres System beurteilt. Multiple lineare Regressionen bezüglich der Sprintleistung und der Sprunghöhe zeigten Abhängigkeiten verschiedener Parameter auf. **Resultate:** Der durchschnittliche Zusammenhang der Bodenreaktionskraft und der Geschwindigkeit der CMJ ergab mit einem Bestimmtheitsmass von $R^2 = 0.95$ eine signifikant lineare Beziehung. Die deskriptive Statistik zeigte mit der Maximalgeschwindigkeit $v_0 = 4.83$ m/s, der Maximalkraft $F_0 = 41.22$ N/kg, dem maximalen Power Output $P_{max} = 41.67$ W/kg, dem Ungleichgewicht der Fv-Beziehung $Fv_{IMB30} = 40.74$ und $Fv_{IMB90} = 49.36$ Durchschnittswerte, die geschwindigkeitsorientierten Athleten entsprechen. Die multiple lineare Regression der 10 m Sprintleistung zeigte mit dem P_{max} (W/kg) ($t = -2.70$, $p = 0.01$) und dem Fv_{IMB30} ($t = 2.44$, $p = 0.02$) signifikante Einflüsse der zwei unabhängigen Variablen. Auch die multiple lineare Regression der Sprunghöhe mit Laststufe 100 % ergab mit P_{max} (W/kg) ($t = 19.33$, $p = 0.00$), Fv_{IMB90} ($t = -4.80$, $p = 0.00$) und dem Mittelwert des Beschleunigungswegs ($s_{pos_mittelwert}$) (cm) ($t = 12.22$, $p = 0.00$) eine signifikante Abhängigkeit. **Diskussion/Konklusion:** Durch den linearen Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeit bei einer neuartigen Methode von CMJ ermittelte sich eine generell geschwindigkeitsorientierte Nachwuchs-Elite Fussballmannschaft mit einem Kraftdefizit. Die multiple lineare Regression der 10 m Sprintzeit ergab eine kürzere Sprintzeit bei höherem P_{max} und eine langsamere Sprintzeit bei höherem Fv_{IMB30} . Die multiple lineare Regression der Sprunghöhe bei Laststufe 100 % zeigte eine ansteigende Sprunghöhe bei grösserem P_{max} und $s_{pos_mittelwert}$ und eine tiefere Sprunghöhe bei höherem Fv_{IMB90} . P_{max} ist zentraler Indikator der neuromuskulären Leistungsfähigkeit, wobei Kraft und Geschwindigkeit zusätzliche Informationen über die Muskelqualität liefern. Damit sich die Athleten ihrer optimalen Leistungskurve angleichen, muss das Maximalkrafttraining mehr Gewicht bekommen.

1 Einleitung

In diesem Abschnitt werden der wissenschaftliche Hintergrund und die Ausgangslage der vorliegenden Studie beschrieben. Die analysierte Sportart, Fussball, wird mit seinem Anforderungsprofil und seinen ballistischen Bewegungen vorgestellt. Es wird erklärt, wie die geforderten Fähigkeiten anhand des Kraft-Geschwindigkeits-Profils (Fv-Profil) analysiert werden und welche Parameter dabei wichtig sind. Eine kurze Übersicht zeigt die Entwicklung der Diagnostik und der Testung. Abschliessend wird das Ziel der Arbeit präsentiert.

1.1 Anforderungsprofil Fussball

Die Sportart Fussball zeichnet sich durch Eigenschaften wie hohe Geschwindigkeit (Stolen, Chamari, Castagna & Wisloff, 2005), kurze Beschleunigung und lineare Sprints aus (Dupont, Akakpo & Berthoin, 2004; Faude, Koch & Meyer, 2012). Ein Spiel beinhaltet für jeden Athleten eine relativ hohe mittlere Gesamtleistung von 10-12 km, während die Belastungscharakteristik intermittierend und intervallartig ist. Der Sport ist geprägt von explosiven, schnellen und schnellkräftigen Aktionen. Im konditionellen Bereich sind Ausdauerkapazität, Sprint- und Sprungkraftverhalten wichtige Leistungsfaktoren. Während eines Spiels zählt man durchschnittlich 1000-1400 Kurzzeitaaktionen mit variantenreichen Bewegungsformen pro Athleten (Stolen et al., 2005). Mit 0.5-11 % scheint der Anteil der Sprintbelastung eine kleine Rolle zu spielen. Jedoch gilt sie trotzdem als dominant, da sie entscheidend ist für die Ballgewinnung, -verteidigung, Torerzielung und -vermeidung (Reilly, Bangsbo & Franks, 2000). 96 % der Sprints erstrecken sich über bis zu 30 m, 49 % sind 10 m und kürzer (Stolen et al., 2005). Aus diesen Gründen gelten das Sprintantrittsverhalten und die maximale Sprintgeschwindigkeit als zentrale Leistungsindikatoren (Young, Benton & John Pryor, 2001). Wie auf Abbildung 1 erkennbar, gilt Fussball als multifaktorieller Teamsport mit seinen Komponenten Technik, Taktik, Physis und Psyche (Reilly, Williams, Nevill & Franks, 2000; Stolen et al., 2005). Das Hauptaugenmerk von Top-Fussballern ist die Fähigkeit, fussballspezifische Aktionen in hoher Geschwindigkeit zu beherrschen (Stolen et al., 2005). Tore im Match werden oft durch starke Aktionen, am häufigsten durch lineare Sprints, erzielt (Dupont et al., 2004; Faude et al., 2012). Offensichtlich müssen Fussballer während der gesamten Wettkampfsaison bei explosiven Aktionen wie Sprüngen, linearen Sprints, Richtungswechsel, Zweikampfsituationen oder Kicks, eine hohe Leistung zeigen (Faude et al., 2012; Stolen et al., 2005).

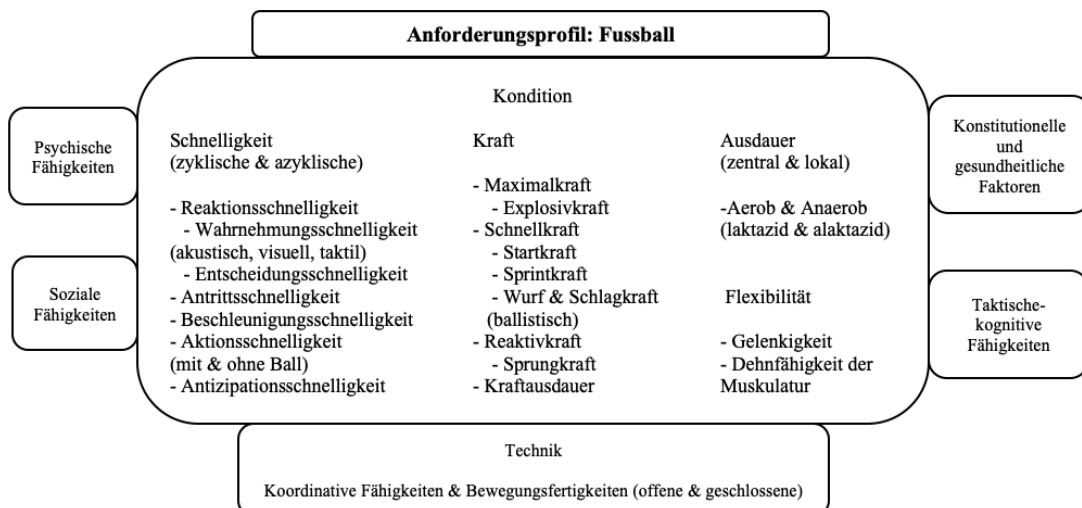


Abbildung 1. Anforderungsprofil Fußball (basierend auf Weineck, 2010, S.25)

1.2 Ballistische Bewegungen

Ballistische Bewegungen (Sprung, Sprintstart, Richtungswechsel) der unteren Extremität stellen ein Schlüsselfaktor in vielen Sportaktivitäten dar. Die ballistische Leistung bezeichnet die möglichst starke Beschleunigung einer Masse, um in möglichst kurzer Zeit eine möglichst hohe Geschwindigkeit zu erreichen. Es sind Bewegungen, die mit der höchstmöglichen Intensität von Kraft (F), Geschwindigkeit (v) und Power (P) ausgeführt werden. Sie sind vor allem durch die mechanische Kapazität des neuromuskulären Systems in der konzentrischen Kontraktionsphase limitiert. Die Fähigkeit für diese Bewegungseigenschaft hängt direkt von der mechanischen Kapazität des neuromuskulären Systems und somit der Leistungsfähigkeit ab. Anhand des newtonschen Gesetzes braucht es für die Beschleunigung einer Masse körperliche Fähigkeiten, um Energie zu erzeugen, und technisches Geschick, um die Energie zum Massenschwerpunkt zu übertragen. Für fortgeschrittene ballistische Bewegungen braucht es optimales motorisches Verhalten und Koordination (Samozino, 2018).

Methoden für die Bestimmung, Beurteilung und Bewertung der Eigenschaften ballistischer Fähigkeiten erlaubt eine Nachbereitung der Muskelkapazitäten von Athleten sowie der Vergleich zwischen den Athleten. Zudem verbessern sie das Verständnis der Körpercharakteristika, was hilfreich für die Trainingsoptimierung und die individuelle Belastung und Ausführung von Krafttraining ist. Diese Gründe machen solche Methoden sehr wertvoll für den Profisport (Samozino, 2018).

1.3 Das Kraft-Geschwindigkeits-Profil

Traditionell wird die Geschwindigkeit durch die benötigte Zeit für eine bestimmte Distanz im linearen Sprint beurteilt (Brito, Vaconcellos, Oliveira, Krustup & Robelo, 2014; de Hoyo et al., 2015; Ramirez-Campillo et al., 2016). Diese Methode beurteilt eine komplexe Leistung des gesamten Bewegungssystems. Neu betrachtet man das gesamte Fv-Spektrum während einer Beschleunigung. Dies beschreibt die Fähigkeit des neuromuskulären Systems bei hoher Kontraktionsgeschwindigkeit Kraft zu generieren. Daraus entsteht eine umfassende und aussagekräftige Analyse (Morin & Samozino, 2016). Die dynamische, mechanische Kapazität der gesamten unteren Extremität wird ausführlich in Fv- oder auch in Pv-Beziehungen beschrieben.

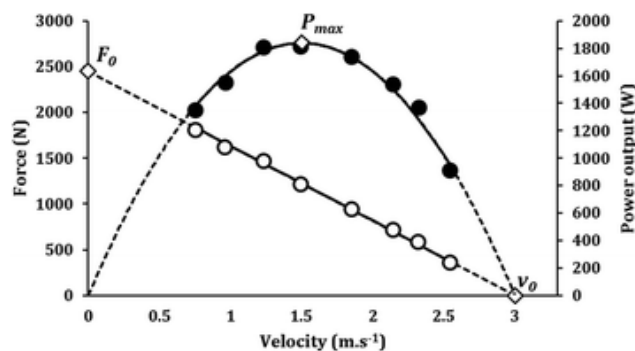


Abbildung 2. Grafische Darstellung von Kraft-Geschwindigkeits- (leere Kreise, linear) und Power-Geschwindigkeits- (gefüllte Kreise, polynomial) Beziehungen der unteren Extremität. Die Punkte stellen die Streckung der unteren Extremität gegen ein Gewicht dar. Die gestrichelten Linien zeigen die theoretischen, hochgerechneten Werte bis zum Maximalwert. Die mechanischen Outputs Maximalkraft (F_0), Maximalgeschwindigkeit (v_0) und maximaler Power Output (P_{max}), sind als leere Diamanten dargestellt (Morin & Samozino, 2018, S.69).

Die Fv-Beziehung für funktionelle, mehrgelenkige Aufgaben ergibt ein lineares Verhältnis (Bobbert, 2012; Bosco et al., 1995; Dorel et al., 2010; Jaric, 2015; Morin, Samozino, Bonnefoy, Edouard & Belli, 2010; Rabita et al., 2015; Rahmani, Viale, Dalleau & Lacour, 2001; Vandewalle, Peres, Heller, Panel & Monod, 1987; Yamauchi & Ishii, 2007). Dieses lineare Regressionsmodell stellt alle Kapazitäten der Muskeln dar, die Kraft, Geschwindigkeit und Leistung erzeugen (Jimenez-Reyes et al., 2018; Samozino et al., 2016). Während ballistischer Abstösse zeigen diese Beziehungen die Veränderung der maximalen Kapazität der unteren Extremität auf. Die Produktion von Kraft und Power verändert sich bei steigender Bewegungsgeschwindigkeit (Rahmani et al., 2001; Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli & Morin, 2012; Samozino et al., 2014; Yamauchi & Ishii, 2007). Die Beziehungen zeigen mit den typischen Parametern F , v und P die mechanischen Grenzen des neuromuskulären Systems auf und damit die unterschiedlichen Muskelkapazitäten (Samozino, 2018).

Das Fv-Profil eignet sich als mechanische Determinante der Leistung für kurze Beschleunigungen und für Sprints über längere Distanzen. Der maximale Power Output (P_{\max}) (siehe 1.4.1) und die Fv-slope (S_{Fv}) (siehe 1.4.3) sind Leistungsindikatoren für beides. Die Berechnungen basieren auf der theoretischen Maximalkraft (F_0) und der theoretischen Maximalgeschwindigkeit (v_0). Signifikante Veränderungen bei P_{\max} resultieren hauptsächlich aus Unterschieden in F_0 , dem gegenüber ist v_0 stabiler (Samozino et al., 2016). Eine Erklärung für die nicht signifikante v_0 könnte sein, dass Fussballtraining allein keinen ausreichenden Stimulus für die maximale Geschwindigkeit gibt. Sprints im Fussball sind eher kurz, eventuell zu kurz, um maximale Geschwindigkeiten zu erreichen und zu erhalten (Andrzejewski, Chmura, Pluta, Strzelczyk & Kasprzak, 2013; Di Salvo et al., 2010). Die Fv-Beziehung zeigt eine Veränderung in entgegengesetzte Richtung (F sinkt, wenn v steigt und umgekehrt). Grund dafür ist die Reaktion auf unterschiedliche mechanische Einflüsse. Anhand physikalischer Gesetze der Bewegung steigt die Geschwindigkeit, wenn die aufgebrachte Kraft steigt oder der Widerstand sinkt. Demgegenüber gilt nach mechanischen Eigenschaften des neuromuskulären Systems (mechanische Einflüsse durch die Biologie der menschlichen Bewegung) eine Reduktion der Kraft, wenn die Geschwindigkeit steigt (Abbildung 5). Die Physik sagt, die Geschwindigkeit ist abhängig von der Kraft, während die Physiologie besagt, dass die Kraft von der Geschwindigkeit abhängig ist. Während dem Sport sind die physikalischen Regeln für alle gleich, die Muskeleigenschaften aber nicht. Ballistische Abstösse sind die beste Lösung für beide mechanische Abhängigkeiten (Samozino, 2018).

Vertikale Sprünge sind die am Häufigsten verwendeten Bewegungen für die Bewertung explosiver oder ballistischer Qualitäten. Sie sind hoch intensiv sowie einfach und schnell in der Durchführung. Ein vertikaler Sprung erzeugt einer der meist explosiven Momente und zeigt eine hohe Korrelation mit dem P_{\max} (Davies & Young, 1984). Grundsätzlich eignen sie sich zur Bewertung der Muskeln der unteren Extremitäten (Claudino et al., 2017). Um eine umfassendere Muskelprüfung zu erhalten werden sie oft gegen äussere Lasten ausgeführt (Cuk et al., 2014; Samozino et al., 2014). Wichtige Einstiegsmessungen für das vertikale Profil sind Body Mass Index (BMI), Beinlänge in Extension, Starthöhe (h_s) und Sprunghöhe (h) (Abbildung 3) (Samozino, Morin, Hintzy & Belli, 2008; Samozino et al., 2012).

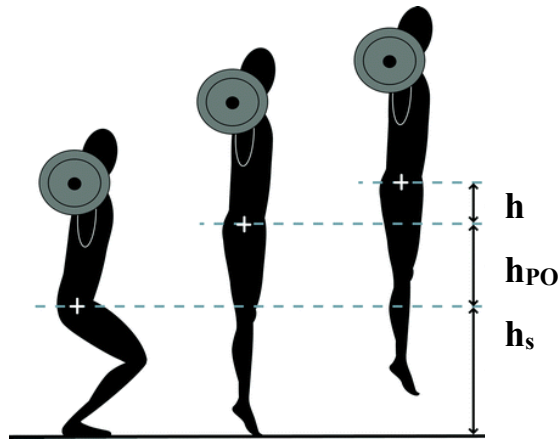


Abbildung 3. Drei Schlüsselpositionen während einem belasteten vertikalen Sprung und die drei Distanzen, Startposition (h_s), Push-off Distanz (h_{PO}), Sprunghöhe (h), die für die Berechnung verwendet werden (Morin & Samozino, 2018, S. 83).

Zur Hilfe der Identifikation der theoretischen maximalen horizontalen Kraftproduktion ($HZT-F_0$) wird das vertikale und das horizontale Profil verbunden. Man geht davon aus, dass die $HZT-F_0$ aus der Gesamtkraftfähigkeit resultiert und aus der Fähigkeit diese Kraft auf die Vorwärtssprintbewegung zu übertragen (erste Schritte oder schnelle Schritte) (Abbildung 16). Diese vertikalen und horizontalen F_v -Profile haben das Potenzial ein für Sportpraktiker einfaches, günstiges und individualisiertes Monitoring und Training für physische und technische Fähigkeiten anzuwenden (Morin & Samozino, 2016). Ebenfalls hilft es zur Verletzungsprophylaxe und für den Reha-Prozess (Mendiguchia et al., 2014; Mendiguchia et al., 2016).

1.4 Parameter der Leistungsprofile

Die Parameter P , F und v sind bezüglich der personellen Unterschiede vom Alter, dem Geschlecht, dem Kompetenzlevel oder der Sportaktivität sehr unterschiedlich. Ebenfalls eine Rolle spielt die Spielposition, die Trainingsgeschichte oder intrinsische Eigenschaften (Vandewalle, Peres & Monod, 1987). Bei ballistischen Aktivitäten ist ebenfalls zu beachten, dass die Maximalkraft relativ zur Körpermasse betrachtet wird (Samozino, 2018).

In den folgenden Abschnitten werden die Parameter P , F und v erläutert sowie die Steigung der F_v -Beziehung (S_{F_v}) und das Ungleichgewicht der S_{F_v} (S_{F_vIMB}) beschrieben.

1.4.1 Bedeutung von Power. Der wichtigste beeinflussende Faktor für die Leistungsfähigkeit bei diesen explosiven, ballistischen Aktionen ist die Fähigkeit des neuromuskulären Systems bei diesen Bewegungsaufgaben eine hohe mechanische Leistung/Power zu generieren (Cronin & Hansen, 2005; Cronin & Sleivert, 2005). Die Erzielung von einem hohen P_{max} ist wichtig,

um ein hohes Kraftlevel bei hoher Kontraktionsgeschwindigkeit zu generieren (Manson, Low, Legg, Patterson & Meylan, 2021). Die Power setzt sich aus zwei Eigenschaften zusammen, der Kraft und der Geschwindigkeit (Samozino, 2018). Ein vertikaler Sprung erzeugt einen der explosivsten Momente und zeigt, mit seiner Sprunghöhe, eine hohe Korrelation mit dem P_{\max} (Davies & Young, 1984). Diese enge Korrelation erklärt die Wichtigkeit von P_{\max} bei ballistischem Push-off. Trotzdem können nur 40-80 % der Unterschiede in der Sprungleistung der Athleten mittels P_{\max} erklärt werden. Die Variabilität kann den Untersuchungsumständen zugeschrieben werden, jedoch darf das Potential der Effekte der Muskelqualitäten nicht ausgeschlossen werden (Samozino, 2018).

Die Spitze der polynomialen Pv-Beziehung zweiter Ordnung, P_{\max} , ist der maximale Power Output der unteren Extremität bei einer Streckung und bezieht sich auf die Power Kapazität (Samozino, 2018). Die zwei Muskeleigenschaften, Kraft und Geschwindigkeit, können nicht alleine anhand der mechanischen Power unterschieden werden. Die maximale vertikale Sprunghöhe ist eines der besten Beispiele, da sie entweder als Index für die Kraft (Kawamori et al., 2006), die Geschwindigkeit (Yamauchi & Ishii, 2007) oder die Power (Cormie, McGuigan & Newton, 2011b) interpretiert werden kann.

Das Fv-Profil ist unabhängig von P_{\max} . Zwei Athleten können denselben P_{\max} erreichen mit unterschiedlichen Fv-Profilen. Einer kann den P_{\max} bei höherer Kraft und niedriger Geschwindigkeit erreichen und umgekehrt (Abbildung 4). So liest man aus dem Profil eine wertvolle Eigenschaft der Muskelqualität (Samozino, 2018).

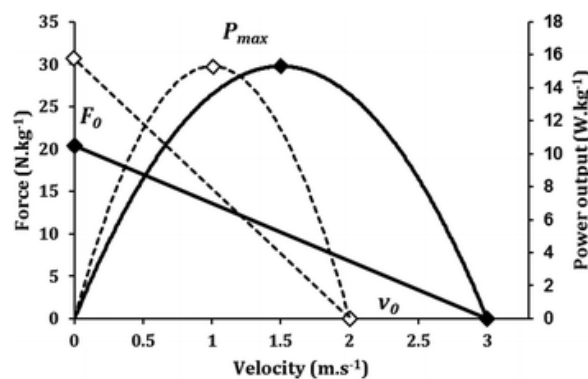


Abbildung 4. Kraft-Geschwindigkeits- (Fv) und Power-Geschwindigkeits- (Pv) Beziehung zweier Athleten mit dem gleichen maximalen Power Output (P_{\max}) und zwei gegensätzlichen Fv-Profilen. Ein Athlet mit einem Kraft-Profil mit hoher Maximalkraft (F_0) und tiefer Maximalgeschwindigkeit (v_0) (gestrichelte Linie) und ein Athlet mit einem Geschwindigkeits-Profil mit tiefer F_0 und hoher v_0 (durchgezogene Linie) (Morin & Samozino, 2018, S. 71).

1.4.2 Bedeutung von Kraft und Geschwindigkeit. Da sich Power aus Kraft und Geschwindigkeit zusammensetzt, sind Kraft- und Geschwindigkeitseigenschaften des neuromuskulären Systems und die sich daraus ergebende Leistungsfähigkeit bei ballistischen, explosiven Aktionen zentrale Leistungsvoraussetzungen für den Fussball (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011a, 2011b; Fischer, Lüthy & Tschopp, 2013). Die Kraft bezeichnet die Entwicklung von einem hohen Kraftlevel, wobei die Geschwindigkeit eine Muskelkontraktion in hohem Tempo beschreibt. Diese zwei Muskelfähigkeiten sind voneinander unabhängig, da die Erzeugung von einem Drehmoment und das Erreichen einer Geschwindigkeit nicht zusammenhängen. Die Kraft und die Geschwindigkeit können als theoretische Maximalwerte angegeben werden. Die F_0 würde bei einer theoretischen Streckbewegung bei null Geschwindigkeit erzeugt werden. Die v_0 würde dem gegenüber bei einer theoretischen Streckung bei null Belastung erreicht werden. Mit anderen Worten, es ist die maximale Geschwindigkeit, mit welcher die Muskulatur Kraft produzieren kann. F_0 und v_0 sind maximale Kapazitäten der gesamten unteren Extremität und beschreiben rein theoretische Werte, die nicht experimentell messbar sind. Sie bezeichnen Zielwerte, zu denen maximale Muskelkapazitäten tendieren, wenn die Geschwindigkeit steigt oder sinkt. Im Verhältnis zeigt sich, je höher das zu bewegende Gewicht (Körpermasse + Zusatzgewicht), desto grösser die Kraft und desto kleiner die Geschwindigkeit (Samozino, 2018). Der Effekt von Kraft und Geschwindigkeit auf die Sprungleistung ist zu diskutieren. Es gibt Studien mit unterschiedlichen Resultaten. Einige Studien sagen, der Effekt von Kraft auf die Sprunghöhe entstehe nur, wenn die Kraft bei hoher Geschwindigkeit und nicht bei Maximalkraft ausgeführt wird (Eckert, 1968; Genuario & Dolgener, 1980; Young, Wilson & Byrne, 1999). Der unklare Einfluss von Kraft und Geschwindigkeit auf die Sprünge könnte auf Unterschiede der Stichproben zurückzuführen sein.

Während einer ballistischen Bewegung entstehen mechanische Outputs durch Regeln der Dynamik und durch mechanische Eigenschaften des neuromuskulären Systems. Diese zwei mechanischen Gegebenheiten beeinflussen die Sprungleistung durch die gegenseitige Abhängigkeit der Kraftproduktion und der Bewegungsgeschwindigkeit. Biomechanische Modelle, basierend auf dynamischen Prinzipien, haben gezeigt, dass für eine gegebene Masse und ein gegebener Ausholwinkel die Beschleunigung der Gegenbewegung sowie die Geschwindigkeit der Gegenbewegung höher waren, je höher die produzierte Kraft auf dem Boden war. Also ist eine hohe Bewegungsgeschwindigkeit entscheidend für einen hohen Sprung oder eine hohe Geschwindigkeit am Ende vom Push-off. Dafür muss der Athlet die grösstmögliche Kraft auf den Boden entwickeln. Aber je höher die Bewegungsgeschwindigkeit, desto niedriger ist die Kapazität des Athleten Kraft zu produzieren. Die mechanischen Gegebenheiten des

neuromuskulären Systems - dargestellt durch die Fv-Beziehung - erklären, je höher die Streckgeschwindigkeit, desto kleiner die Maximalkraft, welche entwickelt werden kann. Die Konsequenz daraus ist, dass die maximale ballistische Leistung eine zirkuläre Interaktion zwischen diesen zwei mechanischen Gegebenheiten ist, welche eine unterschiedliche Beziehung der Kraft und der Bewegungsgeschwindigkeit beschreiben (Abbildung 5).

- Bewegungsdynamischer Zwang: Steigung der v , wenn die aufgebrauchte F steigt.
- Neuromuskulärer Zwang: Senkung der produzierten F , wenn die v steigt.

Die höchste ballistische Abstossleistung wird demnach im Punkt erreicht, in welchem sich beide mechanischen Zwänge respektieren (Samozino, 2018).

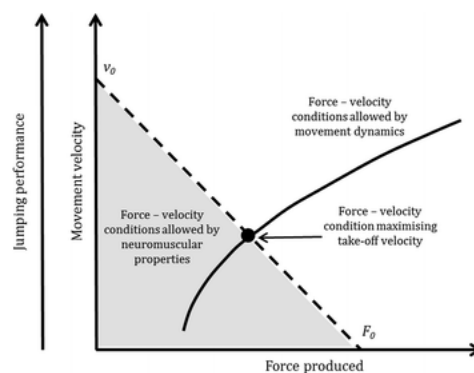


Abbildung 5. Theoretische Darstellung der mechanischen Zwänge, die durch die Bewegungsdynamik (durchgezogene Linie) und die neuromuskulären Eigenschaften (gestrichelte Linie) der unteren Extremitäten während eines typischen vertikalen Sprungs entstehen. Die Kraft- und Geschwindigkeitsachsen sind im Vergleich zu den üblichen Abbildungen der Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung vertauscht, was aber die Interpretation der Kurve nicht verändert (Morin & Samozino, 2018, S. 103).

Das Fv-Profil ist sensibel auf Krafttraining. Trainingsinterventionen im Kraftbereich können vor allem die Steigung vom Profil verändern (siehe 1.4.3) (Cormie, McCaulley & McBride, 2007; Cormie, McGuigan & Newton, 2010a, 2010b, 2011b; Kaneko, 1983; McBride, Triplett-McBride, Davie & Newton, 2002). Die maximale Kraftkapazität kann vor allem durch Krafttraining mit Zusatzlasten von $> 75-80\%$ repetition maximum (RM) erzielt werden. Die Geschwindigkeitsfähigkeit wird durch maximale Auslastung mit wenig, $< 30\%$ RM, oder negativem Gewicht verbessert (Argus, Gill, Keogh, Blazevich & Hopkins, 2011; Cormie et al., 2010a, 2010b; Cronin, McNair & Marshall, 2001; Markovic, Vuk & Jaric, 2011; McBride et al., 2002). Training für Maximalkraft hat keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit und umgekehrt. Dies wiederholt die Unabhängigkeit der beiden Parameter auf Grund der unterschiedlichen neuromuskulären Anforderungen (Cormie et al., 2010a, 2011a).

1.4.3 Bedeutung von S_{Fv} . Nicht nur eine möglichst hohe Ausprägung von F und v sind entscheidend. Das Verhältnis zwischen diesen Grössen hat ebenfalls Bedeutung. Dieses Verhältnis kommt zum Vorschein, wenn man F und v in Beziehung setzt und ein Fv -Profil erstellt. Die S_{Fv} stellt dieses lineare Verhältnis von F und v dar. Je steiler und negativer diese ist, desto kraftorientierter ist der Athlet (und umgekehrt). Somit erhält man einen Einblick in die Verteilung der mechanischen Muskelqualitäten.

Entscheidend ist eine ausgeglichene Balance zwischen F_0 und v_0 . Je mehr das Fv -Profil sich vom optimalen unterscheidet, und dabei ein Fv_{IMB} entsteht, desto tiefer ist die Leistung (bis 30 %, Abbildung 7) im Vergleich zum Profil, das mit der gleichen Powerkapazität erreicht werden könnte (Abbildung 6). Das optimale Fv -Profil (S_{Fvopt}) ist individuell, da es abhängt von den individuellen Parametern. Ein Fv_{IMB} Wert über 100 % bedeutet, dass das Fv -Profil zu stark kraftorientiert ist und deshalb ein Geschwindigkeitsdefizit aufweist und umgekehrt.

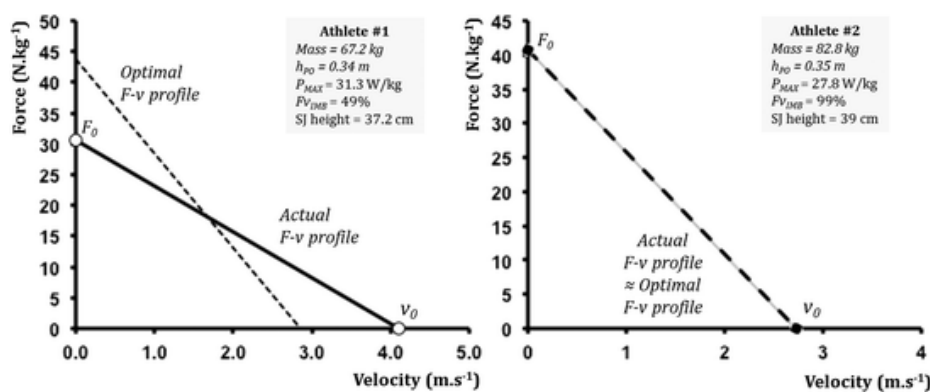


Abbildung 6. Die Graphik zeigt bei zwei Athleten einen Vergleich vom aktuellen Kraft-Geschwindigkeits- (Fv) Profil zum optimalen Fv -Profil. Trotz dem höheren maximalen Power Output (P_{max}) ist die Sprungleistung von Athlet #1 schwächer, weil seine Größe der relativen Differenz (Fv_{IMB}) zwischen der Steigung der linearen Fv -Beziehung und der optimalen Steigung grösser ist als die von Athlet #2 (49 % gegenüber 99 %). Für Athlet #1 bedeutet die durchgezogene Linie das aktuelle Profil, die gestrichelte Linie das optimale Profil. Das Profil des Athleten #2 ist fast optimal (Morin & Samozino, 2018, S. 111).

Es stellt sich die Frage, ob die Grössenordnung der Fv_{IMB} die ballistische Leistung negativ beeinflusst, unabhängig vom Effekt der Powerfähigkeiten. Regressionsanalysen einer Untersuchung zeigten, dass sich eine signifikante Variabilität für die Sprungleistung ergibt, wenn die drei Prädiktoren P_{max} , Fv_{IMB} sowie die h_{PO} zusammen betrachtet werden. Der negative Effekt der Fv_{IMB} auf die Sprungleistung brachte hervor, dass eine Fv_{IMB} verbunden mit einer niedrigeren Leistung ist, auch wenn P_{max} die wichtigste Determinante in der ballistischen Leistung bleibt. Die negative Auswirkung des Fv_{IMB} auf die Leistung wurde für jeden Athleten durch die Differenz zwischen seiner tatsächlichen Sprunghöhe, die er im unbelasteten Zustand erreicht

hat, und der maximalen Höhe, die er erreicht hätte, wenn er den gleichen P_{\max} mit einem optimalen Fv-Profil vorgelegt hätte, quantifiziert. Es hat sich ergeben, je höher die Fv_{IMB} , desto grösser ist die Einbusse der Leistung (0-30 %, Abbildung 7). Ein Athlet, der eine Fv_{IMB} hat, erreicht nicht seinen P_{\max} und kann daher nicht alles aus seiner Powerfähigkeit rausholen (Samozino, 2018).

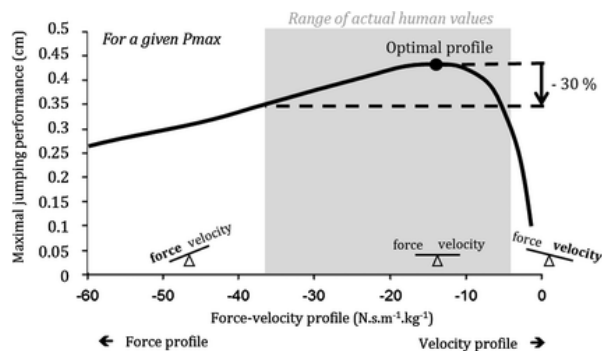


Abbildung 7. Änderungen der maximalen Sprungleistung, die von einem Athleten erreicht werden kann, wenn die Steigung des Kraft-Geschwindigkeits (Fv)-Profil ändert. Der schwarze Punkt stellt die höchste Leistung dar, die bei einem optimalen Fv-Profil erreicht werden kann. Ein ungünstiges Profil kann zu einem Leistungsverlust bis zu 30 % führen, während die maximale Leistung ähnlich ist (Morin & Samozino, 2018, S. 106).

Die Sprungleistung ist bestimmt durch den P_{\max} und die Grössenordnung der relativen Differenz zwischen der S_{Fv} der linearen Fv-Beziehung und der optimalen S_{Fv} . Zur Verbesserung des ballistischen Abstosses muss der Fokus auf der Erhöhung vom P_{\max} liegen oder auf der Senkung vom Fv_{IMB} . Athleten mit Ungleichgewicht der mechanischen Kapazitäten sollten so trainieren, dass sich die mangelnden mechanischen Fähigkeiten von der S_{Fv} zu der $S_{Fv\text{opt}}$ verschieben. Das regelmässige Monitoring erlaubt die Analyse von Veränderungen im P_{\max} und im Fv_{IMB} und kann bei der Zielverfolgung helfen (Samozino et al., 2014).

1.5 Entwicklung Diagnostik und Testung

Die mechanische Kapazität der unteren Extremität wurde zuerst mittels Velofahren untersucht. Diese Bewegung ist abhängig von sehr spezifischer Muskelkoordination (Dorel, Guilhem, Couturier & Hug, 2012; Samozino, Horvais & Hintzy, 2007; Van Soest & Casius, 2000) und unterscheidet sich deshalb stark von der Kapazität der unteren Extremität während ballistischen Abstössen. Die erste azyklische Bewegung wurde durch Squats oder squat jumps (SJ), einer Bewegung in vertikale Richtung, untersucht. Die vertikale Bewegung wurde im 19. Jahrhundert durch Chronophotographen, Dynamographen, Vorläufer der Optoelektronik und Kraftmessplatten gemessen (Marey, 1885). Nun ist die Kraftmessplatte das meistgebrauchte Gerät, um

eine auf den Boden wirkende Kraft zu messen. Eine günstigere und einfachere Methode war ein optischer Sensor zur Erkennung der Massenverschiebung (Bosco et al., 1995). Basierend auf dieser Methode entwickelten sich Systeme, die den linearen Weg aufzeichneten oder die Beschleunigung massen. (Cormie, Deane & McBride, 2007; Cormie, McBride & McCaulley, 2007; Cronin, Hing & McNair, 2004; Giroux, Rabita, Chollet & Guilhem, 2015; Harris, Cronin & Hopkins, 2007; McMaster, Gill, Cronin & McGuigan, 2014). Die Kraftmessplatte gilt als Gold-Standard für das Fv-Profil für vertikale Sprünge. Die Laborbedingungen sind mit ihr jedoch limitiert, weshalb Samozino eine einfachere Methode (optische Einschätzung der Sprunghöhe) bietet (Cuk et al., 2014). Der Standardtest für das Fv-Profil von Sprüngen wird mit mehr als zwei loads durchgeführt (Giroux, Rabita, Chollet & Guilhem, 2016; Jimenez-Reyes, Samozino, Brughelli & Morin, 2016; Perez-Castilla, Garcia-Ramos, Padial, Morales-Artacho, & Feriche, 2018). Jaric (2016) nimmt an, dass die Fv-Beziehung von Mehrgelenkaufgaben hochlinear ist und glaubt die Fv-Beziehung genau bestimmen zu können mit nur zwei loads. Das grösste Problem bei vertikalen Sprüngen ist die standardisierte Startposition. Oft ist Standard 90° (Argus, Mitchell & Chapman, 2014; Domire & Challis, 2007; Mitchell, Argus, Taylor, Sheppard & Chapman, 2017; Petronijevic et al., 2018). Die frei gewählte Startposition liegt meist zwischen 90-100°, was ein höheres Kraftoutput bedeutet aber eine stabile Geschwindigkeit sowie Sprunghöhe (Argus et al., 2014; La Torre et al., 2010; Mitchell et al., 2017). Die Grössenordnung der Parameter der Fv-Beziehung ist höher für die frei gewählte Startposition (Gheller et al., 2015). Es gibt eine hohe Korrelation zwischen der Kraftmessplatte und dem einfacheren Messverfahren von Samozino, wobei letzterer etwas zuverlässiger ist (Giroux et al., 2015).

Die Maximalkraft der unteren Extremität wird oft durch das 1 RM ermittelt. Dabei werden Übungen wie Squats, Legpress oder isometrische Kontraktionen ausgeführt. Wenn man die Geschwindigkeitskapazität der unteren Extremität bewerten will, misst man oft einen vertikalen Sprung, einen Sprint oder man führt einen Agility-Test aus (Samozino, 2018). Der bekannteste Test um den P_{\max} zu bestimmen ist der Margaria Treppentest (Margaria, Aghemo & Rovelli, 1966). Am meisten gebraucht wird jedoch ein vertikaler Sprung auf Grund seiner Einfachheit, während dem Sargent (1924) die Messung der Sprunghöhe entwickelte. Die Sprunghöhe kann ebenfalls mit dem Newtongesetz berechnet werden (Asmussen & Bonde-Petersen, 1974). Die Flugzeit konnte mittels einer Timer-Matte oder einer Fotozelle ermittelt werden (Bosco, 1992). Vertikale Sprünge die dafür ausgeführt werden sind SJ, counter movement jumps (CMJ), drop jumps und rebound jumps. Die Sprunghöhe korreliert gut mit P_{\max} aber kann durch das

Körpergewicht und die Ausholbewegung verfälscht werden. So ist die Sprunghöhe alleine nicht ein genauer Parameter für P_{\max} (Samozino, 2018).

Bezüglich unserer Studie wurden die Eigenschaften für die untere Extremität bisher in vielen Untersuchungen anhand von Sprüngen mit unterschiedlichen Zusatzlasten bewertet. Für die CMJ Bewegung wurde dies bislang nur an einer Smith Maschine (und nicht bei Fussballspielern) gemacht. Bei Nachwuchsathleten existieren noch wenige Studien mit Messungen in der Leistungsdiagnostik. Dies soll sich zukünftig durch das Interesse von Trainern und Leistungsdiagnostikern ändern. Für jede sportliche Leistung braucht es ein bestimmtes Niveau der Power, welche vom Anforderungsprofil der Sportart abhängt (Fischer et al., 2013). Meistens kennt man nur die Sprunghöhe, nicht aber die relative maximale Leistung. Die Sprunghöhe wird entweder über Kraft-Zeit-Verläufe mit Kraftmessplatten oder über die Flugzeit bei optischen Verfahren berechnet. Bei Jungen steigt die Kraft nach der Pubertät auf Grund der hormonellen Veränderung stärker an als bei Mädchen und führt zu einem Muskelzuwachs. Zudem tragen mit zunehmendem Alter Änderungen im Trainingsumfang und in der Trainingsmethodik zum Kraftanstieg bei. Zusätzlich steigt die Leistung der Power der Nachwuchssportler auf den Anforderungswert der betroffenen Sportart.

1.6 Praktische Forschung vergleichbar zur vorliegenden Studie

Explosive Aktionen sowie Sprung- und Sprintbeschleunigung sind wichtige Faktoren für erfolgreiche Spielsituationen im Fussball. Deshalb zeichnet sich die Leistung im Sport, in dieser Studie ausschliesslich Fussball betrachtet, durch Eigenschaften in Kraft und Geschwindigkeit aus. Grundlegend hat die Power als Leistungsvoraussetzung zunehmende Bedeutung. Aus diesem Grund ist es wichtig Leistungsparameter wie die Maximalgeschwindigkeit (v_0 in m/s), die Maximalkraft (F_0 in N), die Maximalleistung (P_{\max} in W/kg), den Beschleunigungsweg (s_{pos} in cm) sowie die Sprunghöhe (s_{max} in cm) bereits bei Nachwuchsathleten zu messen und zu analysieren. Das Ziel ist Zusammenhänge der Parameter zu sehen und Schlussfolgerungen bezüglich der Trainingsgestaltung zu machen. Da die genannten Fähigkeiten abhängig vom neuromuskulären und osteoartikulären System sind, gilt es ebenfalls die Leistungsfähigkeit dieser Systeme bei den Nachwuchsfussballern zu untersuchen. Bisher wurden nur wenige Studien zur Messung der Power im jüngeren Altersbereich durchgeführt (Bencke et al., 2002; Cortis et al., 2011; Fort, Romero, Bagur & Guerra, 2012; Vescovi, Rupf, Brown & Marques, 2011). Die aufgelisteten Studien befassten sich zudem nicht mit Fussball oder nur mit weiblichen Athletinnen.

Eine ähnliche Studie wie die vorliegende wurde von Manson et al. (2021) veröffentlicht. Sie untersuchten die Beziehung zwischen dem Fv-Profil, der Sprungleistung, der Beschleunigung und der maximalen Sprintgeschwindigkeit im Elite Frauenfussball. Die Untersuchung bestand aus einem 40 m Sprint und maximalen unloaded CMJ auf einer Sprungmatte. Für das Fv-Profil wurden SJ mit fünf Laststufen zwischen einer Langhantelstation durchgeführt, wobei die Samozino Methode angewendet wurde (Samozino et al., 2014). Die Beschleunigung und die maximale Sprintgeschwindigkeit hatten eine hohe Korrelation. CMJ, SJ und P_{\max} zeigten einen moderaten bis grossen Zusammenhang mit der Beschleunigung und der maximalen Sprintgeschwindigkeit. V_0 , F_0 und 1 RM zeigten demgegenüber eine kleine Beziehung zu den Sprintleistungen. Manson et al. (2021) rieten, bei der Interpretation des vertikalen Profils nicht von einer starken Beziehung zur Sprintleistung auszugehen. Der starke Zusammenhang der SJ und der CMJ mit der Beschleunigung und der maximalen Sprintgeschwindigkeit empfahl jedoch für die Trainingsgestaltung eine Optimierung der Sprunghöhe und der Maximalkraft vorzusehen. Trotz der kleinen Verbindung der F_0 und dem 1 RM mit der Sprintleistung sollte als Grundlage für die Verbesserung des Fv-Profiles und der Maximalleistung ein hohes Grundkraftniveau zum Trainingsziel gehören. Zudem ist die Kraft ein wichtiger Parameter für die Leistungsübertragung auf das horizontale Profil und somit auf die Sprintleistung.

Baena-Raya, Soriano-Maldonado, Conceicao, Jimenez-Reyes und Rodriguez-Perez (2021) untersuchten den Zusammenhang der mechanischen Variablen aus dem vertikalen und horizontalen Fv-Profil und der Leistung beim Richtungswechsel im Fussball, Basketball und Tennis bei Männern. Das vertikale Profil entstand durch maximale CMJ ohne und mit Last durch die Smith Maschine und die einfache Methode (Jimenez-Reyes et al., 2017; Samozino et al., 2008). Mit einem 30 m Sprint und der validierten Samozino Methode (Samozino et al., 2016) ermittelten sie das horizontale Fv-Profil. Die Leistung des Richtungswechsels wurde mittels modifiziertem 505 Test bewertet (Taylor et al., 2019). Die Parameter vom horizontalen Fv-Profil zeigten eine stärkere Verbindung mit der Leistung des Richtungswechsels als das vertikale Profil. Bei der Sportart Fussball zeigte vor allem der horizontale Parameter P_{\max} einen starken Zusammenhang mit der Leistung im Richtungswechsel. Die Sprintzeiten und der Richtungswechsel im Fussball zeigten ebenfalls eine starke Verbindung. Der Nutzen einer Bewertung des horizontalen Profils besteht in der Verbesserung der Beschleunigungskapazität. Beim Richtungswechsel werden ähnliche mechanische Anforderungen wie bei der Sprung- und Sprintleistung erfordert (Morin & Samozino, 2016). Das Hauptergebnis von Baena-Raya et al. (2021) war die signifikante Verbindung niedrigerer Zeiten im Richtungswechsel mit höheren Leistungen der Parameter in beiden Fv-Profilen.

Die vorliegende Studie deckt eine Lücke der bisherigen Untersuchungen, indem sie die Kraft-, die Geschwindigkeits- und die Powerleistung von jungen, männlichen Nachwuchs-Elite Fussballspielern untersucht. Neuartig an der Untersuchung ist die Ausführung von CMJ auf Kraftmessplatten unter Anwendung von Sandsäcken als Zusatzgewicht. Der Vorteil dieser Methode gegenüber Tests mit geführter Hantel ist die Praxisnähe. Es besteht eine hohe Korrelation mit Untersuchungen mit geführter Hantel, wie der Smith Maschine (Hilmeresson, Edvardsson & Tornberg, 2014). Dabei ist der Vorteil, dass das Gewicht konstant gehalten wird und die Ausholbewegung einfacher kontrolliert werden kann. Die einfachere Samozino Methode zeigt eine hohe Korrelation mit der Kraftmessplatte, hat aber wesentlich günstigere Laborbedingungen (Janicijevic et al., 2020).

1.7 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Studie ist es, die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit von Nachwuchs-Elite Fussballspielern anhand des Fv-Profiles von CMJ zu erklären und eine generelle Kraft- oder Geschwindigkeitsorientierung zu erkennen. Die angewendete neuartige Methode mit Sandsäcken wird auf ihre Validität geprüft. Ebenfalls wollen Zusammenhänge und Abhängigkeiten der in Abschnitt 1.6 genannten Variablen erkannt werden. Hierfür wurden folgende konkrete Fragestellungen formuliert:

- a) Wie hängen die neuromuskulären Leistungsparameter zusammen?
Gibt es einen linearen Zusammenhang der Bodenreaktionskraft (F) und der Geschwindigkeit (v) im Fv-Profil, wenn eine neuartige Methode von unloaded und loaded CMJ (mehrere Sprünge der Laststufen 100-160 %) mit Sandsäcken angewendet wird?
- b) Wie gut erklärt der maximale Power Output (P_{\max}) und das Kraft-Geschwindigkeits- Ungleichgewicht ($F_{V_{IMB30}}$) die 10 m Sprintgeschwindigkeit?
Gibt es eine signifikante Erklärung der 10 m Sprintgeschwindigkeit, wenn sie mittels multipler linearer Regression mit den Parametern P_{\max} und $F_{V_{IMB30}}$ in Verbindung gestellt wird?
- b) Wie gut erklärt der maximale Power Output (P_{\max}), das Kraft-Geschwindigkeits- Ungleichgewicht ($F_{V_{IMB90}}$) und der durchschnittliche Beschleunigungsweg ($s_{\text{pos_mittelwert}}$) die Sprunghöhe bei Laststufe 100 %?
Gibt es eine signifikante Erklärung der Sprunghöhe bei Laststufe 100 %, wenn sie mittels multipler linearer Regression mit den Parametern P_{\max} , $F_{V_{IMB90}}$ und $s_{\text{pos_mittelwert}}$ in Verbindung gestellt wird?

2 Methode

2.1 Stichprobe

An der Untersuchung nahmen insgesamt 35 männliche Nachwuchs-Elite Fussballspieler (Feldspieler) aus zwei verschiedenen Vereinen der U18 teil. Alle Spieler waren Mitglieder des schweizerischen Fussball Verbands und waren in der Nachwuchsförderung klassifiziert. Sie bestritten die Meisterschaft der Liga Spitzenfussball Junioren. Die Studienteilnehmer absolvierten die Testbatterie an drei unterschiedlichen Messzeitpunkten im Abstand von jeweils zwei Monaten. In dieser Arbeit wurden mehrheitlich die Daten des dritten Messzeitpunktes analysiert. Die Daten von sechs Spielern wurden von der Analyse ausgeschlossen. Grund dafür war bei zwei Athleten eine Teilnahme an nur einem Messzeitpunkt. Die Daten zeigten, dass eine Familiarisierungstest nötig ist, um valide Messwerte zu erhalten. Bei den anderen vier Spielern war der Ausschlussgrund die zu keinem Messzeitpunkt mögliche sinnvolle Angleichung der Fv-Datenpunkte mittels linearer Regression. Drei Spieler waren am dritten Datenerhebungszeitpunkt nicht anwesend, weshalb die Daten des vorhergehenden Messzeitpunktes in den Datensatz dieser Arbeit aufgenommen wurden. Bei drei Spielern war eine Angleichung der Fv-Datenpunkte mittels linearer Regression am zweiten Messzeitpunkt deutlich besser möglich als am dritten. Bei diesen Spielern wurden die Daten des zweiten Messzeitpunktes in den Datensatz aufgenommen. Ein Spieler verletzte sich vor dem zweiten Messzeitpunkt und kam aus einer längeren Verletzungspause zum dritten Messzeitpunkt. Aus diesem Grund wurden die Daten der ersten Testbatterie in die Analyse eingeschlossen. Dadurch ergab sich schlussendlich ein Datensatz mit 29 Athleten (Mittelwert \pm Standardabweichung: Alter 17.2 ± 0.6 Jahre, Grösse 175.5 ± 5.8 cm, Gewicht 69.9 ± 6.9 kg), welcher für die Datenanalyse verwendet wurde. 22 Fälle stammten von Messzeitpunkt drei, sechs Fälle von Messzeitpunkt zwei und einer von Messzeitpunkt eins. In Tabelle 3 wurde eine multiple lineare Regression zur Erklärung der Sprunghöhe bei Laststufe 100 % erstellt. Da dieser Wert auf Grund der linearen Regression bei zwei Athleten nicht in die Analyse integriert wurde, reduzierten sich die Beobachtungen in diesem Fall auf $n = 27$. Die Fussballer wurden über den Untersuchungsablauf informiert und sie haben eine Einverständniserklärung für die vertrauliche und anonyme Behandlung ihrer Daten unterschrieben (Anhang 1).

2.2 Studiendesign

Anhand quantitativer Forschungsmethode wurde eine Querschnittstudie zur Bewertung vom Fv-Profil von Nachwuchs-Elite Fussballspielern U18, entstanden durch eine neuartige Methode mit Sandsäcken, durchgeführt. Vor der Untersuchung erfolgt keine spezifische Vorbereitung auf die Testinhalte Sprint und Sprünge. Die Mannschaften trainieren anhand ihres gewohnten Trainingsprogramms. Die Messungen werden in der Saison 2020/2021 vorgenommen, die Spieler befinden sich am Anfang ihrer Herbstsaison. Die Studiendurchführung wurde von der kantonalen Ethikkommission in Bern bewilligt.

2.3 Untersuchungsmethode und -instrumente

Der Untersuchungstag begann mit dem Check-in der Probanden (Abbildung 8). Es wurde über den Ablauf und das Schutzkonzept bezüglich Covid-19 informiert. Die Probanden haben einen Eintrittsfragebogen ausgefüllt (Anhang 2). Anschliessend wurden Name, Alter, Grösse und Gewicht aufgenommen. Die Nachwuchsfussballer erschienen in ihrem üblichen Outfit für indoor Trainings (Schuhe und Kleidung) und die Untersuchung wurde auf der für die Spieler bekannten Anlage durchgeführt.

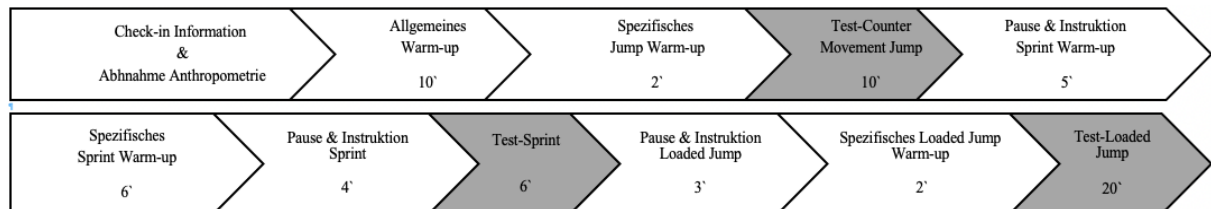


Abbildung 8. Darstellung vom Ablauf der Untersuchung.

2.3.1 Unloaded und loaded Counter Movement Jumps.

Standardisiertes Warm-up unloaded CMJ. Ein standardisiertes Warm-up bestand aus, 5 Minuten Mobilisation, Movement Preps und 5 Minuten dynamisches Aufwärmen mit Übungen wie Jogging, Skipping, Fussgelenksprünge, Hoppserhüpfen, kleine Laufsprünge, Side Step und Rumpfaktivierung. 2 Minuten vor Testbeginn der unloaded CMJ wurde ein spezifisches Jump Warm-up durchgeführt mittels 4 CMJ, 2 einbeinigen Sprüngen links und rechts, 4 Sprünge in Serie mit Knien zur Brust und 6 Ankle Jumps. Nach dem Warm-up wurde der Test für die unloaded CMJ durchgeführt.

Unloaded CMJ-Test. Im Protokoll für die unloaded CMJ führten die Spieler selbständig eine Vielzahl von Sprüngen aus, mit dem Ziel so hoch wie möglich zu springen. Die 2-3 besten Versuche flossen in die Auswertung als Referenzwert ein. In einem weiteren Schritt versuchten

die Spieler den Beschleunigungsweg zu verkürzen (weniger tief auszuholen) und dennoch gleich hoch zu springen. Erreichten die Athleten eine vergleichbare Höhe wie bei den ersten Sprüngen, Wurden diese in die Auswertung aufgenommen. Reduzierte sich die Sprunghöhe bei kürzerem Beschleunigungsweg bedeutsam, wurden die ersten Sprünge für die Auswertung verwendet. Diese Vorgehensweise führte zu einer Maximierung der Sprunghöhe und der Power (Maier et al., 2016).

Standardisiertes Warm-up loaded CMJ. Nach dem Sprint-Test gab es für die Athleten 3 weitere Erholungsminuten wobei sie gleichzeitig eine Instruktion über die loaded CMJ erhielten. Mit einem Sandsack von circa 30 % vom Körpergewicht wurden 5 Squats und 2 CMJ ausgeführt.

Loaded CMJ-Test. Der Ablauf für den Test der loaded CMJ startete mit 3 Sprüngen mit einem Zusatzgewicht von 20 % des Körpergewichts. Entsprachen 2 Sprünge ungefähr dem Beschleunigungsweg der unloaded CMJ (± 0.5 cm) ging es zum nächsten Schritt, ansonsten führte der Proband nach 1.5 Minuten erneut 1-3 Sprünge aus. Nach 90-180 Sekunden Pause absolvierten die Probanden 2x 1-2 Sprünge mit einem Zusatzgewicht von 40 % des Körpergewichts. Zwischen den Serien lagen 60-120 Sekunden Pause. Nach 120-240 Sekunden Ruhezeit wurden 3-5 Sprünge mit einem Zusatzgewicht von 60 % des Körpergewichts ausgeführt. Zwischen den Sprüngen lagen 30-90 Sekunden Pause. Die Sprünge wurden, wenn nötig wiederholt, so dass pro Laststufe mindestens 2 gute Sprünge existierten (gut heisst die maximale Power in der konzentrischen Phase (P_{pos}) der beiden Sprünge waren ähnlich (± 1 W/kg) und der s_{pos} der Sprünge war ähnlich wie der vom unloaded CMJ (± 0.5 cm)). Der ganze Ablauf sollte nicht mehr als 16 Sprünge beinhalten (3-6 pro Laststufe). Der s_{pos} wurde explizit gecoach. Alle Sprünge wurden in die Software aufgenommen.

Untersuchungsinstrumente CMJ. Bei den unloaded CMJ wurde die konzentrische Bodenreaktionskraft relativ zum Körpergewicht (F_{pos_rel}) vom Vertikalsprung mit Hilfe von zwei Kraftmessplatten (MLD Test Evo 2, SP-Sport; Innsbruck, Österreich) gemessen. Das heisst, es handelt sich um die aufwärtsgerichtete Abstossbewegung. Vom Kraft-Zeit-Verlauf konnte die Grösse der Ausholbewegung, der s_{pos} , die Sprunghöhe, s_{max} , die konzentrische Power relativ zum Körpergewicht (P_{pos_rel}) und die konzentrische Geschwindigkeit während der Aufwärtsbewegung, v_{pos} , abgeleitet werden. Für die loaded CMJ wurden individuell füllbare Sandsäcke (Ultimate Sandbag) mit Handgriffen verwendet.

2.3.2 Sprint.

Standardisiertes Warm-up Sprint. Nach dem CMJ-Test ruhten sich die Probanden 5 Minuten aus und erhielten eine Instruktion über die Einheit «Sprint». Vor dem Sprint erfolgte ein Sprint Warm-up mit 2-5 Minuten individuellem dynamischen Einlaufen, 2x 10 m Skipping, 1x 30 m Steigerungslauf und 2x 10 m Sprint (1 Minute Pause zwischen den Sprints, Startposition üben). Nach einer 4-minütigen Pause ging es los mit dem Sprint-Test.

Sprint-Test. Es war ein markierter linearer 40 m Sprint zu absolvieren, wobei der Start ohne Schwungholen mit dem Oberkörper erfolgte und der Fuss dabei direkt an der Startlinie platziert war. Die Probanden hatten 2 Versuche für den linearen 40 m Sprint. Zwischen den Versuchen lagen 5 Minuten Pause.

Untersuchungsinstrumente Sprint. Für den 40 m linearen Sprint wurde die Sprintdistanz präzise abgemessen und die Start- und Ziellinie mit Klebeband und grossen Hütchen markiert. Der Sprintkorridor wurde mit kleinen Hütchen gekennzeichnet. Mittels Zeitschrankensystem (SMARTSPEED PT der Marke fusion sport, Brisbane, Australien) wurde die Zeitmessung gestartet sowie die Zwischenzeiten (alle 10 m) und die Schlusszeit gemessen. Dazu waren auf einem Stativ in Höhe von 1.1 m 5 Zeitschranken und 5 Reflektoren, die einander gegenüberstanden links und rechts vom Sprintkorridor aufgestellt (Startlinie 0.5 m nach Start, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m).

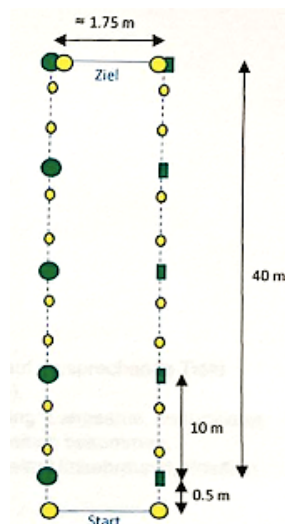


Abbildung 9. Linearer 40 m Sprint mit 10 m Abschnittszeiten. Gelb abgebildet sind die Hütchen zur Markierung vom Start und vom Sprintkorridor. Grün dargestellt ist das Zeitschrankensystem mit den 5 Zeitschranken (links) sowie 5 Reflektoren (rechts).

2.4 Auswertung und statistische Analyse

Die gemessenen Daten der Anthropometrie, die Sprintzeiten sowie die Parameter der CMJ wurden für jeden Athleten mittels Microsoft Excel (Microsoft Excel 2011, Microsoft Corporation, Redmond, USA) analysiert und ausgewertet. Für jeden Athleten wurde pro Laststufe (vier Laststufen von 100-160 % des Körpergewichts) ein Sprung ausgewählt. Dabei achtete man auf einen ähnlich grossen Beschleunigungsweg und eine möglichst hohe Power sowie Sprunghöhe. Die gewählten 4 Sprünge veranschaulichte man auf einem Diagrammtyp Punkt (XY). Sie wurden in einem Fv-Profil mittels linearer Regression auf ihren Zusammenhang geprüft. Ein Polynom 2. Grades wurde errechnet, um die Pv-Punkte zu erhalten und somit den polynomialen Zusammenhang darzustellen (Abbildung 10).

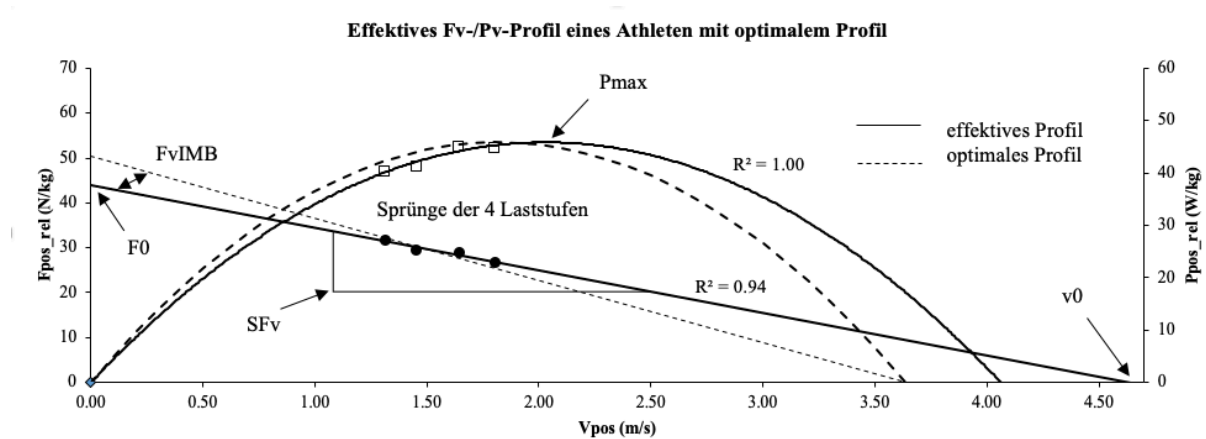


Abbildung 10. Effektives und optimales Kraft-Geschwindigkeits (Fv)- und Power-Geschwindigkeits (Pv)-Profil eines Beispielathleten. Abkürzungen: Fv-Profil = Kraft-Geschwindigkeits-Profil. Pv-Profil = Power-Geschwindigkeits-Profil. F_{pos_rel} (N/kg) = Kraft während der konzentrischen Phase relativ zum Körpergewicht. V_{pos} (m/s) = Geschwindigkeit während der konzentrischen Phase. P_{pos_rel} (W/kg) = Power während der konzentrischen Phase relativ zum Körpergewicht. F_0 = Maximalkraft. F_{vIMB} = Kraft-Geschwindigkeits-Ungleichgewicht. SF_v = Steigung der Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung. P_{max} = maximaler Power Output. R^2 = Bestimmtheitsmass. v_0 = Maximalgeschwindigkeit.

Errechnete Variablen waren F_0 und v_0 , welche mittels der Excelfunktionen x_{-} , beziehungsweise y_{-} -Achsenabschnitt ermittelt wurden. Die SF_v erhielt man durch die Funktion Steigung der Fv-Datenpunkte in Excel. Eine weitere Variable war P_{max} , welche aus der Liste der Polynomwerte als höchster Punkt zu lesen war. Das Bestimmtheitsmass $R^2 S_{Fv}$ konnte einerseits aus dem oben erwähnten X/Y-Punktdiagramm entnommen oder mittels Excelfunktion Bestimmtheitsmass der Fv-Datenpunkte errechnet werden. Neben das effektive Profil des Athleten wurde ein optimales Profil gestellt, welches bei einem perfekten Fv-Verhältnis ($R^2 S_{Fv} = 1$) entstehen würde (Abbildung 10). Dazu erforderte es die Errechnung der $S_{Fvopt30}$ beziehungsweise 90 anhand der Formeln aus Morin und Samozino, 2018.

$$S_{Fvopt} = -\frac{(g \cdot \sin\alpha)^2}{3P_{max}} - \frac{\left(-\left(g \cdot \sin\alpha\right)^4\right) \cdot h_{PO}^4 - 12g \cdot \sin\alpha \cdot h_{PO}^3 \cdot P_{max}^2}{3h_{PO}^2 \cdot P_{max} \cdot Z(P_{max}, h_{PO})} + \frac{Z(P_{max}, h_{PO})}{3h_{PO}^2 \cdot P_{max}}$$

with

$$Z(P_{max}, h_{PO}) = \left(-\left(g \cdot \sin\alpha\right)^6\right) \cdot h_{PO}^6 - 18(g \cdot \sin\alpha)^3 \cdot h_{PO}^5 \cdot P_{max}^2 - 54h_{PO}^4 \cdot P_{max}^4 + 6\sqrt{3} \cdot \sqrt{2(g \cdot \sin\alpha)^3 \cdot h_{PO}^9 \cdot P_{max}^6 + 27h_{PO}^8 \cdot P_{max}^8} \Big)^{1/3}$$

Abbildung 11. Formel zur Berechnung der optimalen Steigung der Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung (S_{Fvopt}) (Samozino & Morin, 2018).

Zusätzlich waren die Datenpunkte F_{0opt30} und v_{0opt30} beziehungsweise 90 nötig, welche man durch Formeln aus Samozino et al. (2012) und Samozino und Morin (2018) erhielt.

$$\bar{F}_0 = \sqrt{-4\bar{P}_{max}S_{Fv}}$$

Abbildung 12. Formel zur Berechnung der Maximalgeschwindigkeit (F_0) (Samozino et al. 2012).

$$P_{max} = \frac{F_0 \cdot v_0}{4}$$

Abbildung 13. Formel zur Berechnung vom maximalen Power Output (P_{max}), die umgewandelt werden kann zu Maximalgeschwindigkeit (v_0) (Samozino & Morin, 2018).

Mit diesen Daten konnte die optimale lineare Fv-Regression dargestellt werden. Eine Berechnung des Polynoms 2. Grades erlaubte es zusätzlich die optimale polynomiale Pv-Regression zu präsentieren (Abbildung 10).

Die nun analysierten einzelnen Datenbanken der 29 Spieler wurden als ganze Stichprobe behandelt und zu einer Excel Datei als Rohdatenbank konsolidiert. Sowohl bei den Sprintmessungen als auch bei den Sprüngen mit unterschiedlichen Lasten (100-160 %) wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen der unterschiedlichen Parameter berechnet. Der Shapiro-Wilk-Test prüfte die Daten auf ihre Normalverteilung. Wichtige Parameter (F_0 , v_0 , S_{Fv} , P_{max} und R^2S_{Fv}) für das Fv- und Pv-Profil der Mittelwerte und das dazugehörige Optimalprofil wurden wie bereits oben beschrieben errechnet. Die Bewertung des Zusammenhangs der linearen

und polynomialen Regression basierte auf der Einteilung trivial (0.00-0.09), schwach (0.10-0.29), moderat (0.30-0.49), stark (0.50-0.69), sehr stark (0.70-0.89) und nahezu perfekt (0.90-0.99) (Hopkins, Marshall, Batterham & Hanin, 2009). Ein Diagrammtyp Punkt (XY) wurde ebenfalls zur Darstellung des durchschnittlichen und optimalen Fv- und Pv-Profiles angewendet (Abbildung 10). Zur Bewertung der Leistung der Athleten wurde das Mittelwert-Profil mit dem optimalen Profil verglichen. Die Differenz des effektiven linearen Fv-Profiles zum optimalen Fv-Profil ergibt den Wert für das Ungleichgewicht für die Fv-Beziehung, nämlich das Fv_{IMB} (Abbildung 10). Für die Berechnung des Fv_{IMB} wurde die Formel aus Morin und Samozino (2018) verwendet.

$$Fv_{IMB} = 100 \cdot \left| 1 - \frac{S_{Fv}}{S_{Fvopt}} \right|$$

Abbildung 14. Formel zur Berechnung des Ungleichgewichts der Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung (Samozino & Morin, 2018).

Mittels multipler linearer Regression in Microsoft Excel wurden die abhängigen Variablen Sprintleistung sowie Sprunghöhe durch zwei beziehungsweise drei Koeffizienten erklärt und die Stärke des Einflusses der Koeffizienten auf die Zielvariable analysiert. Für die Regression der Sprintleistung wurden die Koeffizienten P_{max} und Fv_{IMB30} verwendet. Bei der Regression der Sprunghöhe integrierte man die Koeffizienten P_{max} , Fv_{IMB90} und der Mittelwert des Beschleunigungswegs ($s_{pos_mittelwert}$). Die Zusammenhänge galten ab $p < 0.05$ als signifikant.

3 Resultate

3.1 Linearer Zusammenhang der Bodenreaktionskraft und der Geschwindigkeit

In Tabelle 1 wurden Leistungsvariablen, Vergleichsvariablen und Bestimmtheitsmasse, welche in der vorliegenden Studie verwendet wurden, dargestellt. Gemäss Hopkins et al. (2009) ist das durchschnittliche Bestimmtheitsmass für die Fv-slope ($R^2 = 0.95$) sowie für die Pv-Beziehung ($R^2 = 1.00$) nahezu perfekt. Aus dieser Tabelle entnimmt man ein Fv-Ungleichgewicht bei der Ausführung von CMJ, und somit der vertikalen Ebene, von 49.36 Fv_{IMB90}. Dies bedeutet ein Defizit von 50.64 % gegenüber dem Optimum. Umgerechnet auf die horizontale Ebene ergibt sich ein Fv_{IMB30} von 40.74 und somit ein Verlust von 59.26 % gegenüber der optimalen Leistung.

Tabelle 1

Deskriptive Statistik mit Leistungsvariablen, Vergleichsvariablen und Bestimmtheitsmassen von Nachwuchs-Elite Fussballspielern (n = 29)

Deskriptive Statistik - Elite Nachwuchsfussballspieler							
n = 29	v ₀ (m/s)	F ₀ (N/kg)	P _{max} (W/kg)	Fv _{IMB30}	Fv _{IMB90}	R ² S _{Fv}	R ² Pv
Mittelwert	4.83	41.22	41.67	40.74	49.36	0.95	1.00
Standartabweichung	0.97	4.10	4.61	16.19	13.41	0.05	0.00
Minimum	3.51	32.85	33.10	9.75	26.06	0.80	1.00
Maximum	7.03	47.57	55.65	71.43	75.16	1.00	1.00

Anmerkung. v₀ = Maximalgeschwindigkeit. F₀ = Maximalkraft. P_{max} = maximaler Power Output. Fv_{IMB30/90} = Kraft-Geschwindigkeits-Ungleichgewicht bei 30° auf horizontaler Ebene und bei 90° in vertikaler Ebene. R² S_{Fv} = Bestimmtheitsmass der Kraft-Geschwindigkeits-slope. R² Pv = Bestimmtheitsmass der Power-Geschwindigkeitsbeziehung.

In Abbildung 15 wurden die Fv- sowie die Pv-Profile aller 29 Athleten abgebildet. Zudem wurde das Fv- und das Pv-Profil der Mittelwerte dargestellt (dick schwarz). Um die effektiven Leistungen einschätzen zu können, wurden die genannten Profile dem 90° Optimalprofil (dick grau) gegenübergestellt.

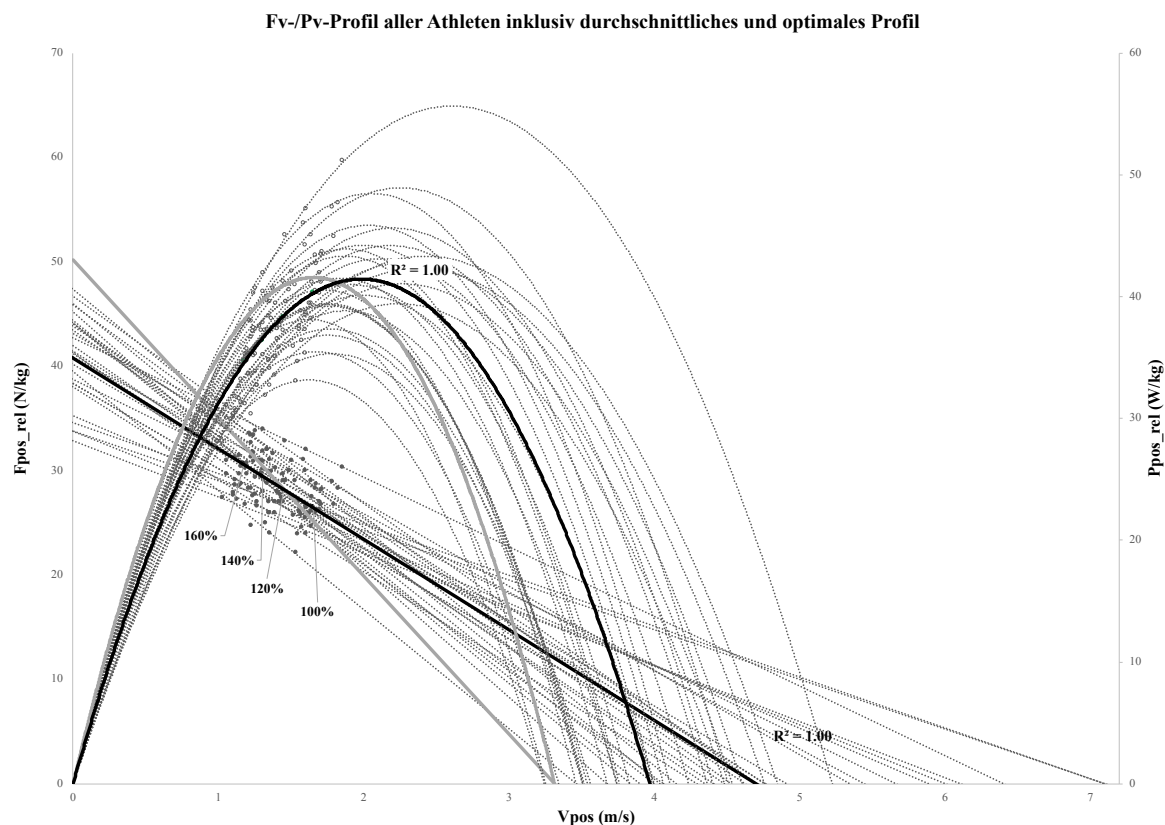


Abbildung 15. Ergänzende Werte aus der Grafik: $F_{0opt90} = 51.80 \text{ N/kg}$, $v_{0opt90} = 3.21 \text{ m/s}$. Legende: Symbol ausgefüllte, schwarze Punkte mit gepunkteten Linien = Kraft-Geschwindigkeits-Werte der vier Laststufen mit ihren linearen Trendlinien für die 29 Athleten. Symbol leere, schwarze Punkte mit gepunkteten Linien = Power-Geschwindigkeits-Werte der vier Laststufen mit ihren polynomialen Trendlinien für die 29 Athleten. Symbol dicke, durchgezogene, schwarze Linien = Kraft-Geschwindigkeits- und Power-Geschwindigkeits-Profil der Mittelwerte der vier Laststufen. Symbol dicke, durchgezogene, graue Linien = Optimales Kraft-Geschwindigkeits- und Power-Geschwindigkeits-Profil. Abkürzungen: Fv-Profil = Kraft-Geschwindigkeits-Profil. Pv-Profil = Power-Geschwindigkeits-Profil. $F_{pos_rel} \text{ (N/kg)}$ = Kraft während der konzentrischen Phase relativ zum Körpergewicht. $V_{pos} \text{ (m/s)}$ = Geschwindigkeit während der konzentrischen Phase. $P_{pos_rel} \text{ (W/kg)}$ = Power während der konzentrischen Phase relativ zum Körpergewicht.

3.2 Multiple lineare Regression zur Sprintleistung

Eine multiple lineare Regression zur Erklärung der 10 m Sprintzeit durch den P_{\max} und das F_{VIMB30} wurde durchgeführt (Anhang 3). Auf Grund von mehr als einer unabhängigen Variablen wurde das adjustierte Bestimmtheitsmass beachtet, welches anhand der Einteilung von Hopkins et al. (2009) mit einem R^2 von 0.20 eine schwache Eignung zur Erklärung der Varianz des 10 m Sprints beschreibt. Die Prüfung des Regressionsmodells durch den F -Test zeigte aber trotzdem die Signifikanz des Modells als Ganzes ($F(2,26) = 4.55$, $p = 0.02$). Die Analyse wurde mit der Prüfung der Signifikanz der Regressionskoeffizienten (Betas) fortgesetzt. Die t -Tests für die unabhängigen Variablen $P_{\max} \text{ (W/kg)}$ ($t = -2.70$, $p = 0.01$) und F_{VIMB30} ($t = 2.44$, $p = 0.02$) zeigten einen signifikanten Einfluss auf die 10 m Sprintzeit.

Es ergibt sich folgende Regressionsgleichung:

$$10 \text{ m Sprintzeit} = 2.01 - 0.01 P_{\max} (\text{W/kg}) + 0.002 F_{\text{VIMB}30}$$

Dies bedeutet, dass, wenn sich der P_{\max} um eine Einheit (W/kg) erhöht, dann verkürzt sich die Sprintzeit um 0.01 Einheiten (Sekunden), unter der Voraussetzung, dass die unabhängige Variable $F_{\text{VIMB}30}$ konstant bleibt. Umgekehrt, wenn sich das $F_{\text{VIMB}30}$ um eine Einheit erhöht, verlängert sich die Sprintzeit um 0.002 Einheiten (Sekunden), wenn die unabhängige Variable P_{\max} (W/kg) konstant bleibt.

In Tabelle 2 war mit dem Standardfehler ersichtlich, wie genau die Vorhersage der Sprintleistung aus den beiden unabhängigen Variablen erkannt wird. In der vorliegenden Studie wich der Stichprobenmittelwert durchschnittlich 0.06 Sekunden vom wahren Mittelwert der Grundgesamtheit ab.

Tabelle 2

Regressions- Statistik der multiplen linearen Regression der 10 m Sprintzeit als abhängige Variable und des maximalen Power Outputs (P_{\max}) sowie des Fv-Ungleichgewichts (F_{VIMB}) auf horizontaler Ebene (30°) als unabhängige Variablen

<i>Regressions-Statistik 10 m Sprintzeit</i>	
Multipler Korrelationskoeffizient	0.51
Bestimmtheitsmaß	0.26
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0.20
Standardfehler	0.06
Beobachtungen	29.00

Anmerkung. Mit dem Standardfehler von 0.06 Sekunden wurde die Genauigkeit der Vorhersage der Sprintleistung aus den beiden unabhängigen Variablen erkannt.

3.3 Multiple lineare Regression zur Sprunghöhe

Im Angang 4 wurde eine multiple lineare Regression zur Erklärung der Sprunghöhe bei Laststufe 100 % dargestellt. Die unabhängigen Variablen P_{\max} (W/kg), $F_{\text{VIMB}90}$ sowie $s_{\text{pos_mittelwert}}$ (cm) zeigten, anhand Hopkins et al. (2009), eine nahezu perfekte Eignung der Erklärung der Varianz der Sprunghöhe mit einem adjustierten Bestimmtheitsmass von $R^2 = 0.95$. Die Prüfung des Regressionsmodells durch den F -Test zeigte zudem die Signifikanz des Modelles als Ganzes ($F(3,23) = 166.41$, $p = 0.00$). Die Analyse wurde mit der Prüfung der Signifikanz der Regressionskoeffizienten (Betas) fortgesetzt. Die t -Tests für die unabhängigen Variablen P_{\max} (W/kg) ($t = 19.33$, $p = 0.00$), $F_{\text{VIMB}90}$ ($t = -4.80$, $p = 0.00$) und $s_{\text{pos_mittelwert}}$ (cm) ($t = 12.22$, $p = 0.00$) zeigten einen signifikanten Einfluss auf die Sprunghöhe der Laststufe 100 %.

Es ergibt sich folgende Regressionsgleichung:

$$\text{Sprunghöhe 100 \%} = - 21.35 + 0.98 P_{\max} (\text{W/kg}) - 0.09 F_{\text{VIMB}90} + 0.98 s_{\text{pos_mittelwert}} (\text{cm})$$

Dies bedeutet, dass, wenn sich der P_{\max} um eine Einheit (W/kg) erhöht, dann steigert sich die Sprunghöhe 100 % um 0.98 Einheiten (cm), unter der Voraussetzung, dass die anderen unabhängigen Variablen konstant bleiben. Steigert sich das $F_{\text{VIMB}90}$ um eine Einheit, vermindert sich die Sprunghöhe 100 % um 0.09 Einheiten (cm), wenn die unabhängigen Variablen P_{\max} (W/kg) und $s_{\text{pos_mittelwert}}$ (cm) konstant bleiben. Bleiben die unabhängigen Variablen P_{\max} (W/kg) und $F_{\text{VIMB}90}$ konstant und steigt sich der $s_{\text{pos_mittelwert}}$ um eine Einheit (cm), steigt die Sprunghöhe 100 % um 0.98 (cm).

In Tabelle 3 war mit dem Standardfehler ersichtlich, wie genau die Vorhersage der Sprunghöhe aus den drei unabhängigen Variablen erkannt wurde. In der vorliegenden Studie wich der Stichprobenmittelwert durchschnittlich 1.10 cm vom wahren Mittelwert der Grundgesamtheit ab.

Tabelle 3

Regressions-Statistik der multiplen linearen Regression der Sprunghöhe bei Laststufe 100 % als abhängige Variable und dem maximalen Power Output (P_{\max}), dem Fv-Ungleichgewicht (F_{VIMB}) auf vertikaler Ebene (90°) sowie dem Beschleunigungsweg (s_{pos}) als unabhängige Variablen

<i>Regressions-Statistik Sprunghöhe bei Laststufe 100 %</i>	
Multipler Korrelationskoeffizient	0.98
Bestimmtheitsmaß	0.96
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0.95
Standardfehler	1.10
Beobachtungen	27.00

Anmerkung. Mit dem Standardfehler von 1.10 cm wurde die Genauigkeit der Vorhersage der Sprunghöhe aus den drei unabhängigen Variablen erkannt.

4 Diskussion

Dies war die erste Studie, die CMJ auf Kraftmessplatten mit Zusatzlasten in Form von Sandsäcken ausführte. Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war, mittels einer neuartigen Methode von loaded CMJ die neuromuskuläre und osteoartikuläre Leistungsfähigkeit von Nachwuchs-Elite Fussballspieler zu untersuchen. Anhand der Fv-Profile und der multiplen linearen Regressionen wurden die Unterschiede der Sprint- und Sprungleistung erklärt. In den folgenden Kapiteln werden die Resultate und die resultierenden Erkenntnisse, strukturiert anhand der Fragestellungen, diskutiert. Anschliessend werden Stärken und Schwächen kritisch beleuchtet und einen Ausblick auf mögliche weiterführende Fragestellungen dargestellt. Abschliessend wird in einem Abschnitt die Bedeutung der Arbeit für die Praxis erläutert.

4.1 Linearer Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeit bei einer neuartigen Methode von loaded Counter Movement Jumps

Folgende Erklärungen kamen auf Grund des sehr guten linearen Zusammenhangs von F und v bei Anwendung der neuartigen Methode zustande, womit die erste Fragestellung (Abschnitt 1.7) mit ja beantwortet werden kann. Die Aussagekraft der interpretierten Resultate konnte anhand des hohen Korrelationskoeffizienten ($R^2_{S_{Fv}} = 0.94$) von F und v als stark bewertet werden. In Abbildung 15 zeigte sich eine generell geschwindigkeitsorientierte Elite Nachwuchsfussballmannschaft mit einem Kraftdefizit. Dies war daran zu erkennen, dass alle Athleten sowie ihr Mittelwert, im Vergleich zum optimalen Profil, eine grössere v_0 erreichten (v_0 Mittelwert 4.83 m/s > v_0 Optimum 3.21 m/s). Zudem war die F_0 von allen Athleten sowie ihr Mittelwert unter der des optimalen Profils (F_0 Mittelwert 41.22 N/kg < F_0 Optimum 51.80 N/kg). Das gleiche Ergebnis war in Tabelle 1 aus den Werten des vertikalen und horizontalen Fv_{IMB} (30 und 90) zu lesen. Die Mittelwerte von Fv_{IMB90} ($49.36 = 50.64\%$) sowie von Fv_{IMB30} ($40.74 = 59.26\%$) lagen unter 100 %. Dies bedeutet eine Leistung mit Geschwindigkeitsorientierung und somit einem Kraftdefizit (Morin & Samozino, 2018). Manson et al. (2021) zeigten diesen linearen Zusammenhang ebenfalls auf, wobei der Vergleich mit dem optimalen Verhältnis durchschnittlich $8 \pm 34\%$ Fv_{IMB} zugunsten einer Kraftorientierung ergaben. Der lineare Zusammenhang war ebenfalls auf Abbildung 15 zu erkennen, da die Geschwindigkeit der Sprungaufführung mit zunehmender Laststufe (100-160 %) kontinuierlich abnahm, der Krafteinsatz jedoch mit jeder höheren Laststufe kontinuierlich anstieg. Bereits Jaric (2016) nahm ein lineares Verhältnis der Fv-Beziehung bei Mehrgelenkaufgaben an. Die neuartige Methode der CMJ mit Sandsäcken auf der Kraftmessplatte zeigte das gleiche Ergebnis wie bei Messungen auf der Leg

Press mit einem Dynamometer (Bobbert, 2012; Bosco et al., 1995; Yamauchi & Ishii, 2007), Messungen beim Radfahren (Dorel et al., 2010), Untersuchungen auf dem Sprintlaufband mit einem Dynamometer (Morin et al., 2010), Sprintmessungen mit Kraftmessplattensystem (Rabita et al. 2015), Untersuchungen von Squats mit einer geführten Langhantel auf einer Kraftmessplatte (Rahmani et al., 2001), nämlich ein lineares Verhältnis der Fv-Beziehung. Diese Vergleiche zeigten, dass sich bestehende Aussagen mit den Resultaten der vorliegenden Studie deckten und verstärken somit die Annahme der Validität der neuartigen Methode.

4.2 Erklärung der Sprintleistung

Die multiple lineare Regression der 10 m Sprintzeit (Anhang 3) mit den unabhängigen Variablen P_{\max} (W/kg) und F_{VIMB30} zeigte mit einem adjustierten Bestimmtheitsmass von $R^2 = 0.20$ eine schwache Eignung zur Varianz des 10 m Sprints, obwohl das Regressionsmodell als Ganzes mit einem $p = 0.02$ signifikant war. Manson et al. (2021) zeigten eine moderate bis grosse negative Korrelation der P_{\max} mit der Beschleunigung, wobei der Einfluss der F_{VIMB} trivial positiv war. Sie analysierten zusätzlich die Abhängigkeit der maximalen Sprintgeschwindigkeit (40 m Abschnittszeit) von der Beschleunigung (10 m Abschnittszeit). Die Beschleunigung und die maximale Sprintgeschwindigkeit wiesen eine hohe Korrelation auf, was bedeutet, dass wenn ein schneller Start gelingt, auch eine höhere Maximalgeschwindigkeit erreicht werden kann. In der genannten Studie wurden jedoch für das Fv-Profil die Laststufen bei SJ und nicht bei CMJ angewendet. Hierzu kurz eine Erklärung zur Sprintfähigkeit aus Manson et al. (2021), welche die Beschleunigung und die Maximalgeschwindigkeit erläuterten. Für beide Komponenten sind die Power der unteren Extremität sowie die horizontale Kraft relevant. Die Beschleunigung ist allerdings eher konzentrisch dominant mit limitiertem Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ), wie zum Beispiel beim SJ. Die Maximalgeschwindigkeit hingegen basiert auf dem DVZ, was eher der Bewegung vom CMJ entspricht. Durch die Regressionsgleichung des 10 m Sprints liess sich aus der vorliegenden Studie interpretieren, dass, je höher der P_{\max} (W/kg) ist, umso schneller wird die 10 m Sprintdistanz zurückgelegt. Mit einer Signifikanz von $p = 0.01$ entsprach dies einem positiven Einfluss auf die Sprintleistung. Demgegenüber bedeutete eine Erhöhung des F_{VIMB30} mit einer Signifikanz von $p = 0.02$ eine Verschlechterung der Sprintleistung und somit ein negativer Einfluss. Eine signifikante Erklärung für die 10 m Sprintgeschwindigkeit konnte gefunden werden und somit wird auch die zweite Fragestellung (Abschnitt 1.7) mit ja beantwortet. Beide Erkenntnisse decken sich mit den Resultaten aus Manson et al. (2021). Diese Aussagen über den P_{\max} (W/kg) und das F_{VIMB30} sowie die Erkenntnis aus Abschnitt 4.1, dass die Elite Nachwuchsfussballmannschaft geschwindigkeitsorientiert ist

und ein Kraftdefizit aufweist, lässt vermuten, dass eine Steigerung der Kraft das F_{VIMB30} senkt, sowie P_{max} (W/kg) erhöht. Dies würde eine Leistungssteigerung in der 10 m Sprintdistanz bedeuten. Interessanterweise zeigten die Athletinnen aus Manson et al. (2021) ein ausgeglicheneres Fv-Profil ($F_{VIMB} = 108 \pm 34 \%$) und entgegen der vorliegenden Studie eine kraftorientierte weibliche Fussballmannschaft. Trotzdem empfehlen Manson et al. (2021) das Krafttraining als wichtiger Bestandteil des Trainings. Dadurch verbessert sich das Fv-Profil und die Maximalleistung, sowie lässt sich die Leistung besser auf das horizontale Profil übertragen. F und v zeigten spezifischere Leistungsmerkmale im Vergleich zu P_{max} alleine, indem sie die Orientierung der neuromuskulären Eigenschaften der Athleten zeigten. Anhand des Fv-Profils und dessen Steigung S_{Fv} (je steiler, desto kraftorientierter) konnte das Defizit und somit die zu verbessernde Muskelkapazität ermittelt werden. Um diese Behauptung zu untermauern, zeigten Samozino und Morin (2018), dass zwei Athleten trotz demselben P_{max} unterschiedliche Leistungen (Sprintgeschwindigkeit oder Sprunghöhe) vollbringen konnten, da ihre neuromuskulären Eigenschaften unterschiedlich verteilt waren. Je näher das effektive Fv-Profil an seinem Optimum liegt, desto ausgeglichener ist das neuromuskuläre System und desto besser ist die Leistung der abhängigen Variablen.

4.3 Erklärung der Sprunghöhe

Die multiple lineare Regression der Sprunghöhe bei Laststufe 100 % (Anhang 4) mit den unabhängigen Variablen P_{max} (W/kg), F_{VIMB90} und $s_{pos_mittelwert}$ (cm) zeigte mit einem adjustierten Bestimmtheitsmass von $R^2 = 0.95$ eine nahezu perfekte Eignung zur Varianz der Sprunghöhe. Dieses Ergebnis bestätigt die Resultate aus Samozino et al. (2012). Sie untersuchten die Sprungleistung durch den Abstoß auf einer Leg Press Maschine und bewerteten damit den Einfluss von P_{max} und vom Fv-Profil auf die ballistische Leistung. Auch das Regressionsmodell als Ganzes war mit einem $p = 0.00$ signifikant. Durch die Regressionsgleichung liess sich interpretieren, dass, je grösser der P_{max} (W/kg) ist, umso höher ist die Sprunghöhe bei einem CMJ bei der Laststufe 100 %. Mit einer Signifikanz von $p = 0.00$ entsprach dies einem positiven Einfluss auf die Sprunghöhe. Diese Erkenntnis ging mit der Aussage von Davies und Young (1984) einher, dass ein vertikaler Sprung eine hohe Korrelation mit P_{max} zeigte. Samozino et al. (2012) repräsentierten die Sprunghöhe in ihrer Studie mit der Absprunggeschwindigkeit (Geschwindigkeit vom Körperschwerpunkt am Ende des Absprungs). P_{max} beeinflusste die Absprunggeschwindigkeit positiv wobei auch bei gegebenem P_{max} eine Veränderung dieser beobachtet werden konnte. In diesem Fall entstand die Veränderung durch die Ausprägung der Kraft und der Geschwindigkeit, also durch die S_{Fv} . Je näher die S_{Fv} am Optimum lag, desto

stärker wurde die Absprunggeschwindigkeit durch P_{\max} beeinflusst, was die Existenz eines optimalen Fv-Profiles bestätigt und die folgende Aussage untermauert (Samozino et al., 2012). Eine Erhöhung des F_{VIMB90} bedeutete mit einer Signifikanz von $p = 0.00$ eine Einbusse der Sprunghöhe und somit ein negativer Einfluss. Identische Resultate der multiplen Regressionsanalyse ergaben sich bei Jimenez-Reyes et al. (2014) und Samozino et al. (2014). Erstere untersuchten die Sprungleistung mit SJ und CMJ mit und ohne Zusatzgewicht in Form der Smith Maschine, letztere verwendeten eine Langhantel bei SJ. Unter den muskulären Eigenschaften, welche die Sprungleistung bestimmen, ist P_{\max} die bedeutsamste aber nicht die einzige. Eine ausgeglichene Fv-Beziehung und somit ein optimales Fv-Profil kann 30 % Leistungsunterschied ausmachen (Samozino et al., 2012). Durch einen grösseren $s_{\text{pos_mittelwert}}$ ergab sich ein positiver Effekt und somit eine Verbesserung der Sprunghöhe mit einer Signifikanz von $p = 0.00$. Eine signifikante Erklärung der Sprunghöhe bei Laststufe 100 % konnte gefunden werden und somit wird auch die dritte Fragestellung (Abschnitt 1.7) mit ja beantwortet. Aus den genannten Resultaten erfolgte eine sehr ähnliche Aussage wie bei der Analyse der multiplen linearen Regression der 10 m Sprintzeit. Eine Steigerung der Kraft würde das F_{VIMB90} senken, sowie P_{\max} (W/kg) erhöhen. Zusammen mit einem grösseren $s_{\text{pos_mittelwert}}$ ergäbe dies eine Leistungssteigerung bezüglich der Sprunghöhe. Sehr wahrscheinlich gibt es aber eine Grenze der Grösse der Ausholbewegung, ab dieser sich die Sprunghöhe verschlechtert. Die spontane Startposition liegt zwischen 90-100°, bei der ein höheres Kraftoutput und eine stabile Geschwindigkeit sowie Sprunghöhe generiert wird (Argus et al., 2014; La Torre et al., 2010; Mitchell et al., 2017). Der Fokus liegt auf der Steigerung der Kraft, da die Erkenntnis aus Abschnitt 4.1 eine geschwindigkeitsorientierte Elite Nachwuchsfussballmannschaft mit einem Kraftdefizit zeigte. Auch für die Sprunghöhe gilt die spezifischere Aussage von F und v gegenüber P_{\max} , was sich mit Samozino (2018) deckt. Samozino (2018) gab P_{\max} nur für 40-80 % der Sprungleistung die Verantwortung. Er machte auf das Potenzial der Muskelqualitäten aufmerksam.

4.4 Stärken, Schwächen und Ausblick

Diese Masterarbeit wies auf einige wichtige Aspekte der Trainingsgestaltung bei Nachwuchs-Elite Fussballspielern hin. Stärken dieser Untersuchung waren die Inhalte Sprung und Sprint, welche als Schlüsselfaktoren und somit als wichtigste Anforderungen beim Fussball gelten (Samozino, 2018). Das Positive an Tests mit Sprüngen ist ihre Einfachheit und eine relativ schnelle Durchführung mit geringem Verletzungsrisiko (Morin & Samozino, 2016). Zusätzlich wurde die multiple lineare Regression mit der 10 m Sprintdistanz gemacht, welche im Fussball als häufigste und aktionsreichste Distanz gilt (Stolen et al., 2005). In der vorliegenden

Untersuchung wurden die Zusatzlasten bei den CMJ durch Sandsäcke aufgesetzt, was durch die Praxisnähe einen Vorteil gegenüber Tests mit geführter Hantel zeigt. Geführte Test mit der Smith Maschine sind jedoch einfacher in der Durchführung und das Gewicht kann besser konstant gehalten werden. Eine weitere Anmerkung bezüglich des Messverfahrens ist die konstante Ausholbewegung. Eine bessere Reliabilität könnte durch vorgängiges Messen der Beinlänge und des prozentualen Beschleunigungsweges erlangt werden. Eine weitere Möglichkeit einen einheitlichen Beschleunigungsweg einzuhalten, wäre der Einsatz eines Goniometers oder die Begrenzung der Ausholbewegung durch eine Markierung. Die Ermittlung der in der vorliegenden Studie verwendeten Parameter erfolgte mit der Goldstandart-Variante für Fv-Profile. Der Einsatz der Kraftmessplatte war deshalb eine klare Stärke. Durch die Probandenzahl von $n = 29$ ergab sich eine umfangreiche Datenquelle. Die Nachwuchssportler der Leistungsstufe Elite waren sehr motiviert für die doch ziemlich aufwändige Datenerhebung und haben die Aufgaben sehr diszipliniert durchgeführt, was die Validität positiv beeinflusste. Positiv für die vorliegende Studie war auch die relativ homogene Probandengruppe, da personelle Unterschiede Differenzen der Parameter P, F und v nach sich ziehen können. Trotz dieser bekräftigenden Anhaltspunkte der vorliegenden Untersuchung, sollten die Resultate mit Vorsicht betrachtet werden. Die Beurteilung der Validität der neuartigen Messmethode sowie die daraus entstandenen Ergebnisse sind schlussendlich immer auch von den analysierten Kennzahlen und den definierten Schwellenwerten abhängig (Lorenzetti, Lamparter & Lüthy, 2017). Die auf Korrelationen basierende Datenanalyse könnte allenfalls durch weitere Methoden ergänzt oder sogar durch noch passendere Analysen präzisiert werden. Ein möglicher Ausblick wäre die Analyse vom Zusammenhang der vertikalen und der horizontalen Leistung und der optimale Transfer in die Praxis. Denn laut newtonschem Gesetz braucht es technisches Geschick, um die körperlich erzeugte Energie zum Massenschwerpunkt zu übertragen, welcher sich je nach Bewegungsrichtung verschiebt (Samozino, 2018).

4.5 Bedeutung für die Praxis

Die vorliegende Untersuchung lieferte wichtige Erkenntnisse zur Umsetzung in der Praxis und somit zur Optimierung der Leistungskomponenten der ballistischen Fähigkeiten und der Aktionsgeschwindigkeit. Die Beobachtung der genannten Parameter ist gerade auf der Nachwuchsstufe von Bedeutung, da eine enorme körperliche Entwicklung stattfindet. Gerade bei männlichen Jugendlichen entwickelt sich die Kraft nach der Pubertät stark. Die Resultate zeigten eine geschwindigkeitsorientierte Nachwuchs-Elite Fussballmannschaft mit einem Kraftdefizit. Damit sich die Athleten an ihre optimale Leistungskurve annähern können, muss das

Maximalkrafttraining höher gewichtet werden. Für eine optimale Leistung braucht es ein optimales Fv-Verhältnis bei möglichst hohem P_{\max} . F und v sind kombiniert wichtig, da es kaum eine Zielbewegung gibt, welche nur die eine oder nur die andere Eigenschaft isoliert erfordert. Im vorliegenden Fall sollten die Trainingsverantwortlichen den Fokus auf Krafttraining mit Zusatzlasten von $> 75-80\%$ RM legen, da dies auf die maximale Kraftkapazität zielt (Argus et al., 2011; Cormie et al., 2010a, 2010b; Cronin et al., 2001; Markovic et al., 2011; McBride et al., 2002).

Grundsätzlich beschrieb die Studie dieselbe Situation, welche auch Morin und Samozino (2018) beschrieben. Entscheidend für die Zielvariable war nicht P_{\max} sondern seine Zusammensetzung aus F_0 und v_0 . Trotz gleichem P_{\max} konnten verschiedene Athleten unterschiedliche Leistungen vorlegen. Für die Praxis erkannte man daraus die Wichtigkeit der Ermittlung dieser Parameter zur gezielten Trainingsgestaltung. Die teure Goldstandard Methode, die Kraftmessplatte, lieferte in dieser Studie signifikante Resultate, wird jedoch für den Alltagsgebrauch nicht jedem zur Verfügung stehen. Alternative Messgeräte wie optische Sensoren, wovon in dieser Studie keine Aussage über die Messgenauigkeit gemacht werden kann, wären eventuell alltags-tauglicher für den Einsatz im Training und könnten helfen, die optimale Trainingsgestaltung zu finden, um die gewünschte Leistung zu optimieren.

Abbildung 16 verdeutlicht die Zusammensetzung der ballistischen Leistung und der Aktions-schnelligkeit, was die Bedeutung der angesprochenen Parameter für die Praxis veranschaulicht. Die vertikale Maximalgeschwindigkeit (VCT- V_0) sowie die vertikale Maximalkraft (VTC- F_0) ergeben den vertikalen maximalen Power Output (VTC- P_{\max}) sowie die S_{Fv} . Die Differenz zwischen S_{Fv} und S_{Fvopt} zeigt die F_{vIMB} . Diese Parameter, F_{vIMB} , VTC- P_{\max} und die Push-off Distanz ergeben dann die ballistische Absprungleistung. Diese Leistung hat einen direkten Einfluss auf die horizontale Maximalkraft (HZZ- F_0) jedoch ist es entscheidend, wie gut die vertikale Leistung in die horizontale übermittelt werden kann. Denn dies wirkt auf die Fähigkeit, das Kraftverhältnis während steigender Geschwindigkeit aufrecht zu erhalten (D_{RF}). Somit ergibt sich abschliessend aus HZZ- F_0 , D_{RF} sowie der horizontalen Maximalgeschwindigkeit die Sprintbeschleunigungsleistung (Aktionsschnelligkeit).

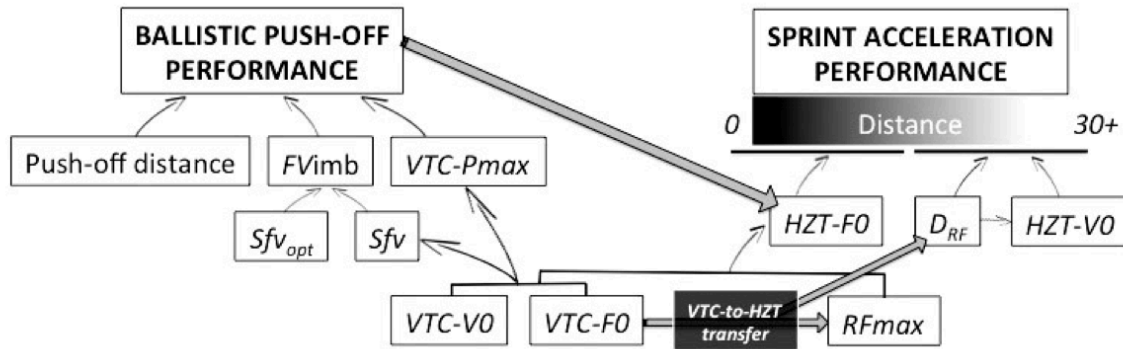


Abbildung 16. Beeinflussende Faktoren des vertikalen Profils sowie Zusammenhang mit dem horizontalen Profil. Fvimb = Kraft-Geschwindigkeits-Ungleichgewicht. VTC-Pmax = vertikaler maximaler Power Output. Sfv_{opt} = optimale Steigung der linearen Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung. Sfv = Steigung der linearen Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung. VTC-V0 = vertikale Maximalgeschwindigkeit. VTC-F0 = vertikale Maximalkraft. HZT-F0 = horizontale Maximalkraft. DRF = Rate der Abnahme des Kraftverhältnisses während steigender Geschwindigkeit bei der Sprintbeschleunigung. HZT-V0 = horizontale Maximalgeschwindigkeit. RFmax = maximales Kraftverhältnis der Vorwärtsbewegung beim Sprintstart.

5 Schlussfolgerung

Auf Grund des hohen Korrelationskoeffizienten ($R^2 S_{Fv} = 0.94$) von F und v wurde ein sehr guter linearer Zusammenhang dieser beiden Parameter, bei der Durchführung der neuartigen Methode von CMJ mit Sandsäcken, ermittelt. Aus der Regressionsgleichung des 10 m Sprints folgerten wir, dass ein höherer P_{\max} (W/kg) die 10 m Sprintzeit reduziert, eine Erhöhung des F_{VIMB30} die Sprintleistung jedoch verschlechtert. Durch die Regressionsgleichung der Sprunghöhe bei Laststufe 100 % folgerten wir, dass ein höherer P_{\max} (W/kg) ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Sprunghöhe hatte. Auch ein grösserer $s_{\text{pos_mittelwert}}$ verbesserte die Sprunghöhe. Demgegenüber interpretierten wir aus einer Erhöhung des F_{VIMB90} eine Einbusse der Sprunghöhe. Grundsätzlich zeigten F und v spezifischere Leistungsmerkmale im Vergleich zu P_{\max} alleine, da sie die Orientierung der neuromuskulären Eigenschaften der Athleten darstellten. Durch Fv-Profile konnte das Defizit und die zu verbessernde Muskelkapazität ermittelt werden. Die Parameter F_0 , v_0 , Fv-slope und F_{VIMB30} sowie 90 konnten die Sprintleistung sowie die Sprunghöhe besser erklären als P_{\max} alleine. Für eine Verbesserung der ballistischen Leistung ist jedoch die Veränderung des Fv-Profiles in Richtung Optimum sowie die Erhöhung von P_{\max} relevant.

Aus der vorliegenden Studie ging die Erkenntnis einer geschwindigkeitsorientierten Nachwuchs-Elite Fussballmannschaft mit Kraftdefizit hervor. Für sie ist bedeutsam, dass, je näher ihr effektives Fv-Profil am Optimum liegt, desto ausgeglichener ist das neuromuskuläre System und desto besser ist die Leistung der abhängigen Variablen. Dies lässt vermuten, dass eine Steigerung der Kraft das F_{VIMB30} oder 90 senkt, sowie den P_{\max} (W/kg) erhöht, was wiederum eine Leistungssteigerung in der 10 m Sprintdistanz sowie in der Sprunghöhe bedeuten würde.

Literatur

- Andrzejewski, M., Chmura, J., Pluta, B., Strzelczyk, R., & Kasprzak, A. (2013). Analysis of sprinting activities of professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 27(8), 2134-2140. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318279423e>
- Argus, C. K., Gill, N. D., Keogh, J. W., Blazeovich, A. J., & Hopkins, W. G. (2011). Kinetic and training comparisons between assisted, resisted, and free countermovement jumps. *J Strength Cond Res*, 25(8), 2219-2227. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181f6b0f4>
- Argus, C. K., Mitchell, L. J., & Chapman, D. W. (2014). THE EFFECT OF INITIAL KNEE ANGLE ON THE RELIABILITY OF VARIABLES DERIVED FROM A SQUAT JUMP. *Medicina Sportiva*, 18(4).
- Asmussen, E., & Bonde-Petersen, F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol Scand*, 91(3), 385-392. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1974.tb05693.x>
- Baena-Raya, A., Soriano-Maldonado, A., Conceicao, F., Jimenez-Reyes, P., & Rodriguez-Perez, M. A. (2021). Association of the vertical and horizontal force-velocity profile and acceleration with change of direction ability in various sports. *Eur J Sport Sci*, 1-9. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1856934>
- Bencke, J., Damsgaard, R., Saekmose, A., Jorgensen, P., Jorgensen, K., & Klausen, K. (2002). Anaerobic power and muscle strength characteristics of 11 years old elite and non-elite boys and girls from gymnastics, team handball, tennis and swimming. *Scand J Med Sci Sports*, 12(3), 171-178. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.01128.x>
- Bobbert, M. F. (2012). Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic? *J Appl Physiol* (1985), 112(12), 1975-1983. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00787.2011>
- Bosco, C. (1992). La valutazione della forza con il test di Bosco [Strength assessment with the Bosco's Test]. *Societa Sampa Sportiva, Roma*, 56-57.
- Bosco, C., Belli, A., Astrua, M., Tihanyi, J., Pozzo, R., Kellis, S., Tsarpela, O., Foti, C., Manno, R., & Tranquilli, C. (1995). A dynamometer for evaluation of dynamic muscle work. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 70(5), 379-386. <https://doi.org/10.1007/BF00618487>

- Brito, J., Vasconcellos, F., Oliveira, J., Krstrup, P., & Rebelo, A. (2014). Short-term performance effects of three different low-volume strength-training programmes in college male soccer players. *J Hum Kinet*, 40, 121-128. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0014>
- Claudino, J. G., Cronin, J., Mezencio, B., McMaster, D. T., McGuigan, M., Tricoli, V., Amadio, A. C., & Serrao, J. C. (2017). The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *J Sci Med Sport*, 20(4), 397-402. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>
- Cronin, J. B., Hing, R. D., & McNair, P. J. (2004). Reliability and validity of a linear position transducer for measuring jump performance. *J Strength Cond Res*, 18(3), 590-593. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<590:RAVOAL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<590:RAVOAL>2.0.CO;2)
- Cronin, J., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2001). Velocity specificity, combination training and sport specific tasks. *J Sci Med Sport*, 4(2), 168-178. [https://doi.org/10.1016/s1440-2440\(01\)80027-x](https://doi.org/10.1016/s1440-2440(01)80027-x)
- Cronin, J. B., & Hansen, K. T. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *J Strength Cond Res*, 19(2), 349-357. <https://doi.org/10.1519/14323.1>
- Cronin, J., & Sleivert, G. (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Med*, 35(3), 213-234. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535030-00003>
- Cormie, P., Deane, R., & McBride, J. M. (2007). Methodological concerns for determining power output in the jump squat. *J Strength Cond Res*, 21(2), 424-430. <https://doi.org/10.1519/R-19605.1>
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2007). Validation of power measurement techniques in dynamic lower body resistance exercises. *J Appl Biomech*, 23(2), 103-118. <https://doi.org/10.1123/jab.23.2.103>
- Cormie, P., McCaulley, G. O., & McBride, J. M. (2007). Power versus strength-power jump squat training: influence on the load-power relationship. *Med Sci Sports Exerc*, 39(6), 996-1003. <https://doi.org/10.1097/mss.0b013e3180408e0c>
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010a). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc*, 42(8), 1582-1598. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d2013a>
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010b). Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Med Sci Sports Exerc*, 42(8), 1566-1581. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181cf818d>

- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011a). Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Med*, 41(1), 17-38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011b). Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*, 41(2), 125-146. <https://doi.org/10.2165/11538500-000000000-00000>
- Cortis, C., Tessitore, A., Lupo, C., Pesce, C., Fossile, E., Figura, F., & Capranica, L. (2011). Inter-limb coordination, strength, jump, and sprint performances following a youth men's basketball game. *J Strength Cond Res*, 25(1), 135-142. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bde2ec>
- Cuk, I., Markovic, M., Nedeljkovic, A., Ugarkovic, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2014). Force-velocity relationship of leg extensors obtained from loaded and unloaded vertical jumps. *Eur J Appl Physiol*, 114(8), 1703-1714. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2901-2>
- Davies, C. T., & Young, K. (1984). Effects of external loading on short term power output in children and young male adults. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 52(3), 351-354. <https://doi.org/10.1007/BF01015226>
- de Hoyo, M., Pozzo, M., Sanudo, B., Carrasco, L., Gonzalo-Skok, O., Dominguez-Cobo, S., & Moran-Camacho, E. (2015). Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in junior elite soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(1), 46-52. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0547>
- Di Salvo, V., Baron, R., Gonzalez-Haro, C., Gormasz, C., Pigozzi, F., & Bachl, N. (2010). Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *J Sports Sci*, 28(14), 1489-1494. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.521166>
- Domire, Z. J., & Challis, J. H. (2007). The influence of squat depth on maximal vertical jump performance. *J Sports Sci*, 25(2), 193-200. <https://doi.org/10.1080/02640410600630647>
- Dorel, S., Couturier, A., Lacour, J. R., Vandewalle, H., Hautier, C., & Hug, F. (2010). Force-velocity relationship in cycling revisited: benefit of two-dimensional pedal forces analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 42(6), 1174-1183. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c91f35>

- Dorel, S., Guilhem, G., Couturier, A., & Hug, F. (2012). Adjustment of muscle coordination during an all-out sprint cycling task. *Med Sci Sports Exerc*, 44(11), 2154-2164. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182625423>
- Dupont, G., Akakpo, K., & Berthoin, S. (2004). The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *J Strength Cond Res*, 18(3), 584-589. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<584:TEOIHI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<584:TEOIHI>2.0.CO;2)
- Eckert, H. M. (1968). Angular velocity and range of motion in the vertical and standing broad jumps. *Res Q*, 39(4), 937-942. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5250111>
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci*, 30(7), 625-631. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.665940>
- Fischer, K., Lüthy, F., & Tschopp, M. (2013). Explosivkraftniveau der unteren Extremitäten bei Schweizer Nachwuchsathleten. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 61(4), 15-22.
- Fort, A., Romero, D., Bagur, C., & Guerra, M. (2012). Effects of whole-body vibration training on explosive strength and postural control in young female athletes. *J Strength Cond Res*, 26(4), 926-936. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822e02a5>
- Genuario, S. E., & Dolgener, F. A. (1980). The relationship of isokinetic torque at two speeds to the vertical jump. *Res Q Exerc Sport*, 51(4), 593-598. <https://doi.org/10.1080/02701367.1980.10609319>
- Gheller, R. G., Dal Pupo, J., Ache-Dias, J., Detanico, D., Padulo, J., & dos Santos, S. G. (2015). Effect of different knee starting angles on intersegmental coordination and performance in vertical jumps. *Hum Mov Sci*, 42, 71-80. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.04.010>
- Giroux, C., Rabita, G., Chollet, D., & Guilhem, G. (2015). What is the best method for assessing lower limb force-velocity relationship? *Int J Sports Med*, 36(2), 143-149. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1385886>
- Giroux, C., Rabita, G., Chollet, D., & Guilhem, G. (2016). Optimal Balance Between Force and Velocity Differs Among World-Class Athletes. *J Appl Biomech*, 32(1), 59-68. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0070>
- Harris, N. K., Cronin, J. B., & Hopkins, W. G. (2007). Power outputs of a machine squat-jump across a spectrum of loads. *J Strength Cond Res*, 21(4), 1260-1264. <https://doi.org/10.1519/R-21316.1>

- Hilmersson, M., Edvardsson, I., & Tornberg, A. (2014). Coherence between power production during counter movement jump in a Smith Machine and free standing with external loading. *Journal of Novel Physiotherapies*, 4(195), 1-4.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine+ Science in Sports+ Exercise*, 41(1), 3.
- Janicijevic, D., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Perez-Castilla, A., Petrovic, M., Samozino, P., & Garcia-Ramos, A. (2020). Assessment of the force-velocity relationship during vertical jumps: influence of the starting position, analysis procedures and number of loads. *Eur J Sport Sci*, 20(5), 614-623. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1645886>
- Jaric, S. (2015). Force-velocity Relationship of Muscles Performing Multi-joint Maximum Performance Tasks. *Int J Sports Med*, 36(9), 699-704. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1547283>
- Jaric, S. (2016). Two-Load Method for Distinguishing Between Muscle Force, Velocity, and Power-Producing Capacities. *Sports Med*, 46(11), 1585-1589. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0531-z>
- Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2016). Effectiveness of an Individualized Training Based on Force-Velocity Profiling during Jumping. *Front Physiol*, 7, 677. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00677>
- Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Cuadrado-Penafiel, V., Conceicao, F., Gonzalez-Badillo, J. J., & Morin, J. B. (2014). Effect of countermovement on power-force-velocity profile. *Eur J Appl Physiol*, 114(11), 2281-2288. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2947-1>
- Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Garcia-Ramos, A., Cuadrado-Penafiel, V., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2018). Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ*, 6, e5937. <https://doi.org/10.7717/peerj.5937>
- Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Pareja-Blanco, F., Conceicao, F., Cuadrado-Penafiel, V., Gonzalez-Badillo, J. J., & Morin, J. B. (2017). Validity of a Simple Method for Measuring Force-Velocity-Power Profile in Countermovement Jump. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(1), 36-43. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0484>
- Kaneko, M. (1983). Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scand. J. Sports Sci.*, 5, 50-55.

- Kawamori, N., Rossi, S. J., Justice, B. D., Haff, E. E., Pistilli, E. E., O'Bryant, H. S., Stone, M. H., & Haff, G. G. (2006). Peak force and rate of force development during isometric and dynamic mid-thigh clean pulls performed at various intensities. *J Strength Cond Res*, 20(3), 483-491. <https://doi.org/10.1519/18025.1>
- La Torre, A., Castagna, C., Gervasoni, E., Ce, E., Rampichini, S., Ferrarin, M., & Merati, G. (2010). Acute effects of static stretching on squat jump performance at different knee starting angles. *J Strength Cond Res*, 24(3), 687-694. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c7b443>
- Lorenzetti, S., Lamparter, T., & Luthy, F. (2017). Validity and reliability of simple measurement device to assess the velocity of the barbell during squats. *BMC Res Notes*, 10(1), 707. <https://doi.org/10.1186/s13104-017-3012-z>
- Maier, T., Gross, M., Trösch, S., Steiner, T., Müller, B., Bourban, P., Schärer, C., Hübner, K., Wehrlin, J., & Tschopp, M. (2016). Manual Leistungsdiagnostik.
- Manson, S. A., Low, C., Legg, H., Patterson, S. D., & Meylan, C. (2021). Vertical Force-velocity Profiling and Relationship to Sprinting in Elite Female Soccer Players. *Int J Sports Med*. <https://doi.org/10.1055/a-1345-8917>
- Marey, M. (1885). Locomotion humaine, mécanisme du saut. *C. R Acad Sci (Paris)*, 101, 489-494.
- Markovic, G., Vuk, S., & Jaric, S. (2011). Effects of jump training with negative versus positive loading on jumping mechanics. *Int J Sports Med*, 32(5), 365-372. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1271678>
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2002). The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res*, 16(1), 75-82. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11834109>
- McMaster, D. T., Gill, N., Cronin, J., & McGuigan, M. (2014). A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Med*, 44(5), 603-623. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0145-2>
- Mendiguchia, J., Edouard, P., Samozino, P., Brughelli, M., Cross, M., Ross, A., Gill, N., & Morin, J. B. (2016). Field monitoring of sprinting power-force-velocity profile before, during and after hamstring injury: two case reports. *J Sports Sci*, 34(6), 535-541. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1122207>

- Mendiguchia, J., Samozino, P., Martinez-Ruiz, E., Brughelli, M., Schmikli, S., Morin, J. B., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Progression of mechanical properties during on-field sprint running after returning to sports from a hamstring muscle injury in soccer players. *Int J Sports Med*, 35(8), 690-695. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1363192>
- Mitchell, L. J., Argus, C. K., Taylor, K. L., Sheppard, J. M., & Chapman, D. W. (2017). The Effect of Initial Knee Angle on Concentric-Only Squat Jump Performance. *Res Q Exerc Sport*, 88(2), 184-192. <https://doi.org/10.1080/02701367.2017.1293777>
- Morin, J. B., & Samozino, P. (2016). Interpreting Power-Force-Velocity Profiles for Individualized and Specific Training. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(2), 267-272. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0638>
- Morin, J.-B., & Samozino, P. (2018). *Biomechanics of training and testing: innovative concepts and simple field methods*. Springer.
- Morin, J. B., Samozino, P., Bonnefoy, R., Edouard, P., & Belli, A. (2010). Direct measurement of power during one single sprint on treadmill. *J Biomech*, 43(10), 1970-1975. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.03.012>
- Perez-Castilla, A., Garcia-Ramos, A., Padial, P., Morales-Artacho, A. J., & Feriche, B. (2018). Effect of different velocity loss thresholds during a power-oriented resistance training program on the mechanical capacities of lower-body muscles. *J Sports Sci*, 36(12), 1331-1339. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1376900>
- Petronijevic, M. S., Garcia Ramos, A., Mirkov, D. M., Jaric, S., Valdevit, Z., & Knezevic, O. M. (2018). Self-Preferred Initial Position Could Be a Viable Alternative to the Standard Squat Jump Testing Procedure. *J Strength Cond Res*, 32(11), 3267-3275. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002385>
- Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Saez-de-Villarreal, E., Couturier, A., Samozino, P., & Morin, J. B. (2015). Sprint mechanics in world-class athletes: a new insight into the limits of human locomotion. *Scand J Med Sci Sports*, 25(5), 583-594. <https://doi.org/10.1111/sms.12389>
- Rahmani, A., Viale, F., Dalleau, G., & Lacour, J. R. (2001). Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *Eur J Appl Physiol*, 84(3), 227-232. <https://doi.org/10.1007/PL00007956>

- Ramirez-Campillo, R., Vergara-Pedrerros, M., Henriquez-Olguin, C., Martinez-Salazar, C., Alvarez, C., Nakamura, F. Y., De La Fuente, C. I., Caniuqueo, A., Alonso-Martinez, A. M., & Izquierdo, M. (2016). Effects of plyometric training on maximal-intensity exercise and endurance in male and female soccer players. *J Sports Sci*, 34(8), 687-693. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1068439>
- Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci*, 18(9), 669-683. <https://doi.org/10.1080/02640410050120050>
- Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., & Franks, A. (2000). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *J Sports Sci*, 18(9), 695-702. <https://doi.org/10.1080/02640410050120078>
- Samozino, P. (2018). A simple method for measuring lower limb force, velocity and power capabilities during jumping. In *Biomechanics of training and testing* (pp. 65-96). Springer.
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J. B. (2014). Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *Int J Sports Med*, 35(6), 505-510. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1354382>
- Samozino, P., Horvais, N., & Hintzy, F. (2007). Why does power output decrease at high pedaling rates during sprint cycling? *Med Sci Sports Exerc*, 39(4), 680-687. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3180315246>
- Samozino, P., Morin, J. B., Hintzy, F., & Belli, A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *J Biomech*, 41(14), 2940-2945. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.07.028>
- Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E., & Morin, J. B. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports*, 26(6), 648-658. <https://doi.org/10.1111/sms.12490>
- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J. B. (2012). Optimal force-velocity profile in ballistic movements--altius: citius or fortius? *Med Sci Sports Exerc*, 44(2), 313-322. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31822d757a>
- Sargent, L. (1924). Some observations on the Sargent test of neuromuscular efficiency. *American Physical Education Review*, 29(2), 47-56.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Med*, 35(6), 501-536. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>

- Taylor, J. M., Cunningham, L., Hood, P., Thorne, B., Irvin, G., & Weston, M. (2019). The reliability of a modified 505 test and change-of-direction deficit time in elite youth football players. *Science and Medicine in Football*, 3(2), 157-162.
- Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., Panel, J., & Monod, H. (1987). Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. Correlation with the height of a vertical jump. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 56(6), 650-656. <https://doi.org/10.1007/BF00424805>
- Vandewalle, H., Peres, G., & Monod, H. (1987). Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med*, 4(4), 268-289. <https://doi.org/10.2165/00007256-198704040-00004>
- van Soest, A. J., & Casius, L. J. (2000). Which factors determine the optimal pedaling rate in sprint cycling? *Med Sci Sports Exerc*, 32(11), 1927-1934. <https://doi.org/10.1097/00005768-200011000-00017>
- Vescovi, J. D., Rupf, R., Brown, T. D., & Marques, M. C. (2011). Physical performance characteristics of high-level female soccer players 12-21 years of age. *Scand J Med Sci Sports*, 21(5), 670-678. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01081.x>
- Weineck, J. (2010). *Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder-und Jugendtrainings*. Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Yamauchi, J., & Ishii, N. (2007). Relations between force-velocity characteristics of the knee-hip extension movement and vertical jump performance. *J Strength Cond Res*, 21(3), 703-709. <https://doi.org/10.1519/R-20516.1>
- Young, W., Benton, D., & John Pryor, M. (2001). Resistance training for short sprints and maximum-speed sprints. *Strength & Conditioning Journal*, 23(2), 7.
- Young, W., Wilson, G., & Byrne, C. (1999). Relationship between strength qualities and performance in standing and run-up vertical jumps. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 39(4), 285.

Anhang

Anhang 1: Einverständniserklärung



Entwicklung der neuromuskulären Leistungsfähigkeit in Spielsportarten

Dieses Projekt ist organisiert durch: Bundesamt für Sport BASPO
Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHSM
Hauptstrasse 247
CH-2532 Magglingen

Lieber Athlet,

Wir möchten Dich anfragen, ob Du an einem Forschungsprojekt teilnehmen willst. Im Folgenden wird Dir das geplante Forschungsprojekt dargestellt.

1. Ziel des Projekts

Wir wollen mit diesem Projekt untersuchen, wie sich die „neuromuskuläre Leistungsfähigkeit“ (Gleichgewicht, Sprungkraft, Maximalkraft und Sprintschnelligkeit) bei Nachwuchssportlerinnen aus den Sportarten Eishockey und Fussball während einer Saison entwickelt und welche Faktoren diese Entwicklung beeinflussen können.

2. Auswahl

Es können alle Athleten aus den Sportarten Eishockey und Fussball teilnehmen, welche in der jeweils zweithöchsten Alterskategorie des Nachwuchssports spielen.

3. Allgemeine Informationen zum Projekt

In den vergangenen Jahren konnte beobachtet werden, dass die „neuromuskuläre Leistungsfähigkeit“ (z. B. gemessen über die Sprungkraft oder die Sprintschnelligkeit) in den Spielsportarten Eishockey und Fussball stark an Bedeutung gewonnen hat. Eine gut ausgeprägte neuromuskuläre Leistungsfähigkeit wird in diesen Sportarten als wichtiger Faktor für den Spiel- bzw. Karriereerfolg gesehen. Der Schweizer Eishockey- und Fussballverband haben die hohe Wichtigkeit dieser Fähigkeit ebenfalls erkannt und möchten mit diesem Forschungsprojekt neue Erkenntnisse darüber gewinnen, wie sich diese Fähigkeit während einer Saison entwickelt und welche Faktoren diese Entwicklung beeinflussen können. Dazu soll die Entwicklung der neuromuskulären Leistungsfähigkeit bei mehreren Nachwuchsmannschaften aus den Sportarten Eishockey und Fussball während einer Saison beobachtet werden. Während dieses Zeitraumes werden jeweils im Abstand von 2 Monaten Leistungstests durchgeführt. Bei den Tests handelt es sich um Gleichgewichts-, Kraft-, Sprung- und Schnelligkeitstests. Um Veränderungen in den Testresultaten erklären zu können wird während dieser Saison auch die Trainingsbelastung und das Wohlbefinden der Spieler sowie die auftretenden Verletzungen erfasst.

Am diesem nationalen Projekt werden jeweils zwei Mannschaften aus den Sportarten Eishockey und Fussball teilnehmen. Dadurch nehmen insgesamt ca. 80 Athleten an der Studie teil.

Dieses Projekt wird so durchgeführt wie es die Gesetze in der Schweiz vorschreiben. Die zuständige Ethikkommission hat dieses Projekt geprüft und bewilligt.

4. Ablauf

Im Rahmen der Studie wirst Du während dem Zeitraum einer Saison mehrmals neuromuskuläre Leistungstests absolvieren müssen (Gleichgewichts-, Kraft-, Sprung- und Schnelligkeitstests). Diese Tests werden auf dem Trainingsgelände Deines Vereines durchgeführt. Das absolvieren aller Tests dauert ca. 1.5 Stunden. Zusätzlich dazu wirst Du während des Projektes wöchentlich Angaben bezüglich der Trainingsbelastung, deinem Wohlbefinden und möglichen Verletzungen machen müssen. Während den Trainingseinheiten wirst Du einen Herzfrequenzgurt sowie ein Messgerät zur Erfassung der Laufdistanz (GPS Gerät) tragen müssen. Es werden keine invasiven Untersuchungen durchgeführt.

5. Nutzen

Wenn Du bei diesem Projekt mitmachst, wirst Du eine detaillierte Auswertung der durchgeführten Leistungstests erhalten. Diese Resultate ermöglichen es Dir, Deine physische Leistungsfähigkeit mit anderen Athleten zu vergleichen und können Dir helfen sinnvolle Trainingsschwerpunkte für eine nächste Trainingsphase zu definieren. Zusätzlich dazu trägst Du mit deiner Studienteilnahme dazu bei neues Wissen zu generieren, welches eine positive Entwicklung der Sportarten Eishockey und Fussball in der Schweiz begünstigen wird.

6. Rechte

Du nimmst freiwillig teil. Wenn Du nicht mitmachen oder später Deine Teilnahme zurückziehen willst, musst Du dies nicht begründen. Eine Nicht-Teilnahme oder ein Rückzug der Teilnahme hat keinen Einfluss auf deine Behandlung im Verein oder durch den nationalen Verband. Du darfst jederzeit Fragen zur Teilnahme und zum Projekt stellen. Wende Dich dazu bitte an die Person, die am Ende dieser Information genannt ist.

7. Pflichten

Als Teilnehmer ist es notwendig, dass Du dich an die notwendigen Vorgaben und Anforderungen durch die Projektleitung hältst. Am Testtag ist es wichtig, dass Du dich optimal auf Leistungstests vorbereitest. Am besten bereitest Du dich so vor wie Du dich auf ein Meisterschaftsspiel vorbereiten würdest.

8. Risiken

Durch das Projekt bist Du nur geringfügigen Risiken ausgesetzt. Beispielsweise besteht während des Sprinttests das übliche Verletzungsrisiko einer solchen Belastung. Insgesamt ist die durch die Leistungstests hervorgerufene Belastung und das damit einhergehende Verletzungsrisiko, nicht höher einzustufen als die- bzw. dasjenige eines normalen Mannschaftstrainings. Bei den eingesetzten Messgeräten zur Erfassung der Herzfrequenz und der Laufdistanz während der Trainingseinheiten handelt es sich um kommerziell erwerblich Standardsysteme von welchen keine bekannten Risiken ausgehen.

9. Ergebnisse

Die Projektleitung wird Dich während des Projekts über alle neuen Erkenntnisse informieren, die den Nutzen oder Deine Sicherheit und somit Deine Einwilligung zur Teilnahme beeinflussen können.

10. Vertraulichkeit von Daten und Proben

Für dieses Projekt werden Deine persönlichen und medizinischen Daten erfasst. Nur sehr wenige Fachpersonen werden Deine unverschlüsselten Daten sehen, und zwar ausschliesslich, um Aufgaben im Rahmen des Projekts zu erfüllen. Bei der Datenerhebung zu Studienzwecken werden die Daten verschlüsselt. Verschlüsselung bedeutet, dass alle Bezugsdaten, die Dich identifizieren könnten (Name, Geburtsdatum), gelöscht und durch einen Schlüssel ersetzt werden (von swissethics akzeptierte Verschlüsselung unter diesem Link <https://swissethics.ch/templates.html>). Die Schlüssel-Liste bleibt immer in der Institution. Zugriff auf diese Verschlüsselung hat nur der Studienleiter der EHSM Dr. med. Markus Tschopp. Diejenigen Personen, die den Schlüssel nicht kennen, können daher keine Rückschlüsse auf Deine Person ziehen. Bei einer Publikation sind die zusammengefassten Daten daher auch nicht auf Dich als Einzelperson rückverfolgbar. Dein Name taucht niemals im Internet oder einer Publikation auf. Manchmal gibt es die Vorgabe bei einer Zeitschrift zur Publikation, dass Einzel-Daten (sogenannte Roh-Daten) übermittelt werden müssen. Wenn Einzel-Daten übermittelt werden müssen, dann sind die Daten immer verschlüsselt und somit ebenfalls nicht zu Dir als Person rückverfolgbar. Alle Personen, die im Rahmen des Projekts Einsicht in Deine Daten haben, unterliegen der Schweigepflicht. Die Vorgaben des Datenschutzes werden eingehalten und Du als teilnehmende Person hast jederzeit das Recht auf Einsicht in Deine Daten. Wenn Daten vor Ort gelagert werden, handelt es sich um eine Datenbank für Forschungszwecke.

Möglicherweise wird dieses Projekt durch die zuständige Ethikkommission oder durch die Institution, die das Projekt veranlasst hat, überprüft. Der Projektleiter muss eventuell Deine persönlichen und medizinischen Daten für solche Kontrollen offenlegen.

11. Rücktritt

Du kannst jederzeit aufhören und von dem Projekt zurücktreten, wenn Du das wünschst. Die bis dahin erhobenen Daten werden noch verschlüsselt ausgewertet, weil das ganze Projekt sonst seinen Wert verliert. Nach der Auswertung werden Deine Daten vollständig anonymisiert, d.h. Ihre Schlüsselzuordnung wird vernichtet, so dass danach niemand mehr erfahren kann, dass die Daten ursprünglich von Dir stammten.

12. Entschädigung

Wenn Sie an diesem Projekt teilnehmen, bekommen Sie dafür keine Entschädigung. Auslagen wie Reisespesen, die nur durch die Teilnahme bedingt sind, werden wir Ihnen vergüten. Es entstehen Ihnen oder Ihrer Krankenkasse keine Kosten durch die Teilnahme.

13. Haftung

Falls Du durch das Projekt einen Schaden erleidest, haftet die Institution oder Firma, die das Projekt veranlasst hat und für die Durchführung verantwortlich ist. Die Voraussetzungen und das Vorgehen sind gesetzlich geregelt. Wenn Sie einen Schaden erlitten haben, so wenden Sie sich bitte an den Projektleiter.

14. Finanzierung

Das Projekt wird von Swiss Olympic und den nationalen Verbänden der Sportarten Eishockey, Fussball, Handball und Unihockey bezahlt.

15. Kontaktperson(en)

Bei allen Unklarheiten, Befürchtungen oder Notfällen, die während des Projekts oder danach auftreten, können Sie sich jederzeit an eine dieser Kontaktpersonen wenden.


Dr. med. Markus Tschopp

Leiter Sportphysiologie Spielsport
Bundesamt für Sport BASPO
Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHSM
Hauptstrasse 247
CH-2532 Magglingen
Tel. +41 58 467 61 22/ +41 79 360 83 82
markus.tschopp@baspo.admin.ch

Pascal Andrey

Mitarbeiter Sportphysiologie Spielsport
Bundesamt für Sport BASPO
Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHSM
Hauptstrasse 247
CH-2532 Magglingen
Tel. +41 58 467 66 75 / +41 79 243 14 79
pascal.andrey@baspo.admin.ch

Bestätigung des Prüfarztes/der Prüfperson: Hiermit bestätige ich, dass ich dieser Teilnehmerin/ diesem Teilnehmer Wesen, Bedeutung und Tragweite des Projekts erläutert habe. Ich versichere, alle im Zusammenhang mit diesem Projekt stehenden Verpflichtungen gemäss dem geltenden Recht zu erfüllen. Sollte ich zu irgendeinem Zeitpunkt während der Durchführung des Projekts von Aspekten erfahren, welche die Bereitschaft der Teilnehmerin/ des Teilnehmers zur Teilnahme an dem Projekt beeinflussen könnten, werde ich sie/ ihn umgehend darüber informieren.

Ort, Datum: Zürich 27./28.07.2020	<p>Name und Vorname der informierenden Prüfährtin/ des informierenden Prüfarztes/ der informierenden Prüfperson in Druckbuchstaben</p> <p>Pascal Andrey</p> <p>Unterschrift der Prüfährtin/des Prüfarztes/der Prüfperson</p> 
-----------------------------------	--

Anhang 2: Eintrittsfragebogen

Eintritts - Fragebogen Athleten*innen, Trainer*innen von nationalen Verbänden / SpiSpoRS / WK SpiSpo

EHS
Eidgenössische
Hochschule
für Sport
Maglingen

Gesundheits-Checkliste zum Coronavirus

	Ja	Nein
1. Zustand der vergangenen 14 Tage?		
a. Haben Sie in den vergangenen 14 Tagen Krankheitssymptome wie Husten, Fieber, andere Symptome der oberen Atemwege oder Geruchs- oder Geschmacksverlust gehabt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Hat jemand mit dem sie zusammenleben oder engen Kontakt haben eines der oben aufgeführten Symptome?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Litten Sie seit Beginn der Covid-19-Pandemie an einer solchen Erkrankung oder bestand der begründete Verdacht ohne Testnachweis?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Aktueller Gesundheitszustand		
Haben Sie jetzt oder hatten Sie in den letzten 48 Stunden eines der folgenden Symptome:		
a. Halsschmerzen, Kratzen im Hals?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Husten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Müdigkeit?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Atembeschwerden z.B. Kurzatmigkeit? (Raucher, Alter, Asthma, Herzinsuffizienz etc. ausgenommen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Muskelschmerzen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Gelenkschmerzen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. Schüttelfrost?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Verstopfte Nase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. Fieber?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j. Magen-/Darmsymptome, z.B. Durchfall?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
k. Andere Symptome (Geschmacksverlust oder Reduktion des Geruchssinns?)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

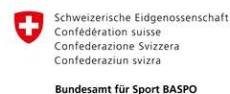
Falls mindestens eine Frage mit „Ja“ beantwortet wird, so kann der Trainings-/Testaufenthalt in den Sportzentren des BASPO vorerst nicht angetreten werden. Sie sollten dann telefonisch mit dem SOMC Maglingen (058 467 63 26), ihrem Hausarzt oder dem Verbandsarzt Kontakt aufnehmen und die weiteren Massnahmen vor Anreise abklären lassen!

Name / Vorname: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Datum: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Unterschrift: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Dres. Med. S. Albrecht und Ch. Protte 03/2020



Anhang 3: Multiple lineare Regression zur Sprintleistung

Tabelle 4

Multiple lineare Regression der 10 m Sprintzeit als abhängige Variable und dem maximalen Power Output sowie dem Fv-Ungleichgewicht auf horizontaler Ebene als unabhängige Variablen

<i>Regressions-Statistik</i>	
Multipler Korrelationskoeffizient	0.51
Bestimmtheitsmaß	0.26
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0.20
Standardfehler	0.06
Beobachtungen	29.00

ANOVA					
	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>F krit</i>
Regression	2.00	0.03	0.02	4.55	0.02
Residue	26.00	0.09	0.00		
Gesamt	28.00	0.12			

	<i>Koeffizienten</i>	<i>Standardfehler</i>	<i>t-Statistik</i>	<i>P-Wert</i>	<i>Untere 95%</i>	<i>Obere 95%</i>
Schnittpunkt	2.01	0.10	19.17	0.00	1.80	2.23
T3 Pmax (W/kg)	-0.01	0.00	-2.70	0.01	-0.01	0.00
T3 FvIMB30	0.00	0.00	2.44	0.02	0.00	0.00

Anmerkung. Pmax (W/kg) = maximaler Power Output. FvIMB30 = Fv-Ungleichgewicht auf horizontaler Ebene mit 30°.

Anhang 4: Multiple lineare Regression zur Sprunghöhe

Tabelle 5

Multiple lineare Regression der Sprunghöhe bei Laststufe 100 % als abhängige Variable und dem maximalen Power Output, dem Fv-Ungleichgewicht auf vertikaler Ebene sowie dem Beschleunigungsweg als unabhängige Variablen

<i>Regressions-Statistik</i>	
Multipler Korrelationskoeffizient	0.98
Bestimmtheitsmaß	0.96
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0.95
Standardfehler	1.10
Beobachtungen	27.00

ANOVA

	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Mittlere Quadrat- summe (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>F krit</i>
Regression	3.00	603.30	201.10	166.41	0.00
Residue	23.00	27.79	1.21		
Gesamt	26.00	631.09			

	<i>Koeffizienten</i>	<i>Standardfehler</i>	<i>t-Statistik</i>	<i>P-Wert</i>	<i>Untere 95%</i>	<i>Obere 95%</i>
Schnittpunkt	-21.35	3.23	-6.60	0.00	-28.04	-14.66
T3 Pmax (W/kg)	0.98	0.05	19.32	0.00	0.87	1.08
T3 FvIMB90	-0.09	0.02	-4.80	0.00	-0.13	-0.05
s_pos_mittelwert	0.98	0.08	12.22	0.00	0.82	1.15

Anmerkung. Pmax (W/kg) = maximaler Power Output. FvIMB90 = Fv-Ungleichgewicht auf vertikaler Ebene mit 90°. s_pos_mittelwert = durchschnittlicher Beschleunigungsweg über die vier Laststufen (100-160 %).