



Universität Hamburg  
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

Einfluss eines Sprinttrainings mit Zugwiderstand auf die Geschwindigkeit und  
Schrittkinematik während der Beschleunigungsphase bei Hockeyspielern

BACHELORARBEIT

Zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science

Studiengang Medizintechnik

vorgelegt von

Alaa Eddine, Benzine



Hamburg

am 14. October 2022

**Gutachter:** Prof. Nicholas, Bishop (HAW Hamburg)

**Gutachter:** M.Sc. Henryk Thurow (Uni Hamburg)

Die Abschlussarbeit wurde betreut und erstellt im  
Labor für Biomechanik der Universität Hamburg

## Danksagung

Seit einiger Zeit bin ich im Labor für Biomechanik der Universität Hamburg tätig. Ich konnte vielfältige Einblicke in unterschiedliche Bereiche der Biomechanik gewinnen. Die Biomechanik ist ein Thema, welches mich beruflich sowie persönlich weitreichend interessiert. Der Wunsch dieses Fachgebiet mit meinem Studium zu verbinden, motivierte mich, meine Bachelorarbeit zu diesem Thema zu schreiben. Im Zuge der Vorbereitungen und Recherche habe ich Vieles dazugelernt.

Ohne die Unterstützung folgender Personen wäre das Verfassen dieser Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen.

Einen herzlichen Dank geht an meine beiden Betreuer, Herrn Prof. Nicholas Bishop von der HAW-Hamburg und Herrn M.Sc. Henryk Thurow von der Universität Hamburg, die mich in besonderer Weise bei dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben. Ihre zahlreichen Denkanstöße und ihr fachliches Wissen haben meine Arbeit sehr bereichert. Ich danke ebenfalls dem Labor für Biomechanik für das Ermöglichen dieser Arbeit.

Ich bedanke mich auch bei meiner Familie und meinen Freunden, die mich in dieser Zeit auf vielfältige Art unterstützt haben und mir Kraft und Mut gegeben haben, diese Arbeit zu schreiben.

## Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	2
Zusammenfassung: .....	5
Abbildungsverzeichnis: .....	6
Tabellenverzeichnis:.....	7
1 Einleitung .....	8
1.1 Zielstellung .....	8
1.2 Relevanz des Themas .....	9
1.3 Theoretischer Hintergrund.....	10
1.3.1 Phasenstruktur des Sprints.....	10
1.3.2 Phaseneinteilung eines Doppelschrittes .....	12
1.3.3 Zugwiderstandstraining .....	14
2 Methode.....	16
2.1 Experimenteller Ansatz .....	16
2.2 Untersuchungsgruppe .....	16
2.3 Studiendesign .....	16
2.3.1 Datenerhebung.....	16
2.3.2 Bestimmung des Zugwiderstands für das Training .....	20
2.3.3 Trainingsprotokoll.....	21
2.4 Kinematische Auswertung: .....	22
2.5 Statistische Auswertung:.....	24
3 Ergebnisse: .....	25
3.1 Vergleich der Kennwerte der Sprintzeiten beider Gruppen .....	25
3.2 Ergebnisse zur Veränderung der Sprintgeschwindigkeit und Schrittzkluskinematik im Vergleich Pre-Test vs. Post-Test beider Gruppen .....	26
3.3 Ergebnisse zur Veränderung der Sprintbewegung im Vergleich Pre-Test vs. Post-Test der Interventionsgruppe .....	27
3.4 Einzelfallanalyse zur Veränderung der Sprintgeschwindigkeit und der Schrittzkluskinematik von Pre-Test zu Post-Test .....	29
3.5 Vergleich der Stellung des Schwungbeines zu den Events des Schrittzklus .....	33
4 Diskussion: .....	38
4.1 Diskussion der Ergebnisse zu den Kennwerten der Sprintzeiten.....	38
4.2 Diskussion der Ergebnisse zu den Kennwerten der Sprintgeschwindigkeit und Sprintzykluskinematik .....	38

4.3 Diskussion zu den Ergebnissen der Sprintbewegung und der Gelenkinematik.....	41
5 Schlussfolgerung .....	43
6. Literaturverzeichnis .....	45
7 Eidesstattliche Erklärung.....	48

## Zusammenfassung:

**Einleitung:** Das Ziel dieser Studie war es, herauszufinden, ob ein Sprinttraining mit Zugwiderstand mit dem 1080-Sprint (1080 Motion, Lidingö, Schweden) (Abb. 1), wirksam ist in Bezug auf die Verbesserung der Sprintgeschwindigkeit und Schrittkinematik während der Beschleunigungsphase (0-20 m) bei Feldhockeyspieler.

**Methode:** Fünfzehn Feldhockeyspieler/in wurden nach dem Zufallsprinzip einer Interventionsgruppe (n = 6), oder einer aktiven Kontrollgruppe (n = 9) zugeteilt. Die Interventionsgruppe absolvierte 12 Trainingseinheiten über 6 Wochen mit einem Zugwiderstand von maximal 20% (in % ihrer maximalen Geschwindigkeit). Zur Bewertung der Sprintleistung wurden vor und nach dem Test die Sprintzeit und die Sprintgeschwindigkeit über das Entfernungsintervall von 0 bis 20 m gemessen, während zur Analyse der Schrittlänge, der Schrittfrequenz, der Bodenkontaktzeit, der Flugzeit und der Gelenkwinkel Hochgeschwindigkeits-Videokamera (250 Hz) und zwei Bewegungsanalysesoftware verwendet wurden.

**Ergebnisse:** Im Vergleich der Sprintzeit zeigen beide Gruppen nur einen Unterschied, wobei die Interventionsgruppe eine etwas kürzere Sprintzeit in den ersten 10 m erreichte. Weder bei der Sprintzeit über 10 bis 20 m noch bei der Gesamtsprintzeit über 20 m bestanden Gruppenunterschiede. In Bezug auf die Sprintgeschwindigkeit und Schrittzklus zeigen die Ergebnisse, dass das Zugwiderstandstraining größere Verbesserungen der Interventionsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe. Das Zugwiderstandstraining mit dem führte auch zu Veränderungen in der Sprintkinematik bzw. Gelenkwinkel während der Beschleunigungsphase des Sprints.

**Diskussion und Ausblick:** Wir kommen zu dem Schluss, dass das Zugwiderstandstraining eine bessere Trainingsmethode für die frühen Phasen der Beschleunigungsphase des Sprints ist, indem es eine bemerkenswerte Auswirkung auf die Schrittkinematik hat und somit die Sprintleistung verbessert. Das Zugwiderstandstraining führte zu einer stärkeren Streckung der Oberschenkel und einer stärkeren Neigung des Oberkörpers, was es den Athleten ermöglichte, sich in eine optimale Haltung zu bringen, um den Vortrieb zu maximieren und die Bremskräfte zu minimieren.

## Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Zugwiderstandstraining mit Hilfe von 1080-Sprint ( <a href="https://1080motion.com/wp-content/uploads/2017/07/resisted-sprint-cover-1030x790.png">https://1080motion.com/wp-content/uploads/2017/07/resisted-sprint-cover-1030x790.png</a> ) .....	9
Abbildung 2: Geschwindigkeitsverlauf des 100-m-Sprints am Beispiel des Weltrekordlaufs von Usain Bolt 2008 in Peking (modifiziertes Modell von Manzer et al. (2016), nach Schrader et al., 2008, S. 8).....	11
Abbildung 3: Geschwindigkeitsverlauf eines 400-m-Sprints in 44,3 s aus Killing et al. (2012), S. 24; modifiziertes Modell .....	12
Abbildung 4: Phasenstruktur eines Doppelschrittes (Schrittzyklus) nach der „Schwung-Zug-Technik“, Abbildung aus Mattes et al., (2016).....	13
Abbildung 5: Freikörperbild eines Athleten während eines Sprints.....	15
Abbildung 6: Der Messgeräteaufbau für die Datenerhebung .....	17
Abbildung 7 Definition Hüftwinkel, Kniewinkel, Fußwinkel, Oberkörperwinkel (Oberkörpervorlage), Oberschenkelwinkel zur Waagerechten und horizontaler Abstand des Zehpunktes zum Hüftpunkt (nach Mattes et al. 2016).....	17
Abbildung 8: Doppelte Lichtschranke von Microgate ( <a href="https://training.microgate.it/sites/default/files/photo/products/witty/Witty-Witty-gate2-Microgate.jpg">https://training.microgate.it/sites/default/files/photo/products/witty/Witty-Witty-gate2-Microgate.jpg</a> ) .....	19
Abbildung 9: Load-Velocity Profile eines Hockey-Spielers .....	21
Abbildung 10: Kinematische Auswertung eines Hockeyspielers während der Hochgeschwindigkeitsphase mit Hilfe von Vicon .....	23
Abbildung 11: Doppelschrittlängenermittlung einer Hockeyspielerin während der Hochgeschwindigkeitsphase mit Hilfe von Kinovea .....	23
Abbildung 12: Stellung des Schwungbeines während des Events (t1) .....	33
Abbildung 13: Stellung des Schwungbeines während des Events (t2) .....	34
Abbildung 14: Stellung des Schwungbeines während des Events (t3) .....	34
Abbildung 15: Stellung des Schwungbeines während des Events (t4) .....	35
Abbildung 16: Stellung des Schwungbeines während des Events (t5) .....	35
Abbildung 17: Stellung des Schwungbeines während des Events (t6) .....	36
Abbildung 18: Stellung des Schwungbeines während des Events (t7) .....	36
Abbildung 19: Stellung des Schwungbeines während des Events (t8) .....	37

## Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Markermodell mit anatomischen Referenzpunkten (Mattes, K., Thurow, H., 2021) .....	18
Tabelle 2: Skizze Ablauf Studiendesign .....	19
Tabelle 3: Pre-Post-Vergleich der Sprintzeiten der Kontrollgruppe und der Interventionsgruppe, $MW \pm SD$ , partielles Eta Quadrat ( $\eta^2$ ) .....	25
Tabelle 4: Kennwerte zur Charakterisierung der Sprintgeschwindigkeit und Schrittzklus im Prä-Post-Vergleich der Interventionsgruppe (n = 6) und der Kontrollgruppe (n = 9) .....	27
Tabelle 5: Kennwerte zur Charakterisierung der Sprintbewegung im Prä-Post-Vergleich (Pre- Test vs. Post-Test), n = 6 .....	27
Tabelle 6: Kennwerte zur Charakterisierung der Sprintgeschwindigkeit und Schrittzklus der Spielerin A .....	29
Tabelle 7: Kennwerte zur Charakterisierung der Sprintbewegung der Spielerin A.....	30
Tabelle 8: Kennwerte zur Charakterisierung der Sprintgeschwindigkeit und Schrittzklus des Spielers C.....	31
Tabelle 9: Kennwerte zur Charakterisierung der Sprintbewegung und des Spielers C.....	32

## 1 Einleitung

Feldhockey als olympischer Mannschaftssport für Frauen und Männer wird durch eine variable Belastungsintensität gekennzeichnet, wobei sich mäßig intensives Gehen und Laufen, wiederholte Sprints mit hoher Intensität (Beschleunigen, Abbremsen und Richtungsänderungen) und technisch-taktische Events mit offensivem und defensivem Schwerpunkt abwechseln (Morencos et al, 2019). Wie in anderen Sportarten haben in den letzten Jahren die athletischen Fähigkeiten - wie Beschleunigungsfähigkeit, Maximalgeschwindigkeit und schnelle Richtungswechsel - eine überragende Bedeutung gewonnen (Vanwanseele et al., 2016).

### 1.1 Zielstellung

Das Ziel dieser Studie war es, herauszufinden, ob ein Sprinttraining mit Zugwiderstand mit dem 1080-Sprint (1080 Motion, Lidingö, Schweden) (Abb. 1), wirksam ist in Bezug auf die Verbesserung der Sprintgeschwindigkeit und Schrittkinematik während der Beschleunigungsphase bei Bundeskader-Hockeyspieler. Dies führt zu folgenden drei Fragestellungen:

- a) Wie wirksam ist ein Zugwiderstandstraining mit dem 1080-Sprint auf die Sprintgeschwindigkeit bzw. Schrittzyklus bei Hockeyspielern während der Beschleunigungsphase?
- b) Wie wirksam ist ein Zugwiderstandstraining mit dem 1080-Sprint auf die Schrittkinematik bzw. Gelenkwinkel bei Hockeyspielern während der Beschleunigungsphase?
- c) Ist das Zugwiderstandstraining mit dem 1080-Sprint für die Beschleunigungsphase geeignet?



Abbildung 1: Zugwiderstandstraining mit Hilfe von 1080-Sprint  
(<https://1080motion.com/wp-content/uploads/2017/07/resisted-sprint-cover-1030x790.png>)

## 1.2 Relevanz des Themas

Die Fähigkeit, eine hohe maximale Geschwindigkeit zu erreichen, ist ein wichtiger Erfolgsfaktor in Feldhockey. Hochintensive Krafttrainingsübungen mit freien Gewichten und Maschinen können die Kraft der Hüft-, Quadrizeps- und Oberschenkelmuskulatur verbessern und so die Beschleunigung und maximale Geschwindigkeit eines Athleten erhöhen (Delecluse, 1997). Ein Sprint-Trainingsprogramm sollte auch kraftspezifische Übungen beinhalten, bei denen der Athlet die Sportbewegung mit einem zusätzlichen Widerstand als Trainingsübung nutzt (Delecluse, 1997). Für das Sprinttraining umfassen solche kraftspezifischen Übungen das Ziehen eines Gewichtsschlittens, das Ziehen eines Fallschirms, das Tragen eines Gewichtsgürtels oder einer Gewichtsweste. Um die größtmögliche Übungsspezifität zu erreichen, sollten die Bewegungsmuster des Athleten denen ähneln, die beim normalen Sprint beobachtet werden.

Eine hohe Maximalgeschwindigkeit wird häufig mit erfolgreicher Leistung im Feldsportarten in Verbindung gebracht. Feldhockeyspieler legen jedoch während eines Wettkampfs selten die notwendige Distanz zurück, um die Höchstgeschwindigkeit zu erreichen. Daher wird die Fähigkeit zu Beschleunigen bzw. eine möglichst hohe Geschwindigkeit in einer möglichst kurzen Distanz zu erreichen grundlegender für den Erfolg in Feldhockey als die maximale Geschwindigkeit selbst. Vor diesem Hintergrund versuchen wir in diesem Projekt mit Hilfe

eines Sprinttrainings mit Zugwiderstand die Geschwindigkeit von Feldhockeyspielern während der Hochgeschwindigkeitsphase zu verbessern.

### 1.3 Theoretischer Hintergrund

#### 1.3.1 Phasenstruktur des Sprints

Der leichtathletische Sprint wird definiert, als ein kurzer, schneller Sprint über verschiedenen Distanzen zwischen 60 m und 400 m, wobei nur 100 m, 200 m und 400 m als offizielle olympische Disziplinen festgelegt sind (Thompson, 2017). Ein guter Sprint hängt von drei grundlegenden Faktoren ab: der Fähigkeit eine maximale Vorwärtsbeschleunigung zu entwickeln, eine maximale Geschwindigkeit zu erreichen und diese Geschwindigkeit dann trotz einsetzender Ermüdung beizubehalten (Debaere et al., 2013). Dabei zeigen sich auf allen Distanzen gemeinsame Elemente, wie ein Anstieg der Geschwindigkeit nach einem Tiefstart, eine ähnliche Größe, Lage und Länge des Geschwindigkeitsmaximums und ein Geschwindigkeitsabfall kurz vor Ende des Sprints. Ein Athlet muss also über eine gute Beschleunigungsfähigkeit, Schnelligkeit und Schnelligkeitsausdauer verfügen, um erfolgreich sprinten zu können (Killing et al., 2012). Der 100-m-Sprint lässt sich in vier wesentliche Abschnitte unterteilen: Start aus dem Block mit maximaler Geschwindigkeit, Pick-up-Beschleunigung, maximale Sprintgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsabfall (Bergamini, 2011). Dabei kommt es auf dieser kurzen Strecke vor allem auf die Pick-up-Beschleunigung und die maximale Geschwindigkeit an (Mattes et al., 2016). Der Verlauf dieser Phasen wird in Abbildung 2 anhand des 100-m-Sprints von Usain Bolt (Leichtathletik-WM 2008) veranschaulicht (Mattes und Reichmann, 2019).

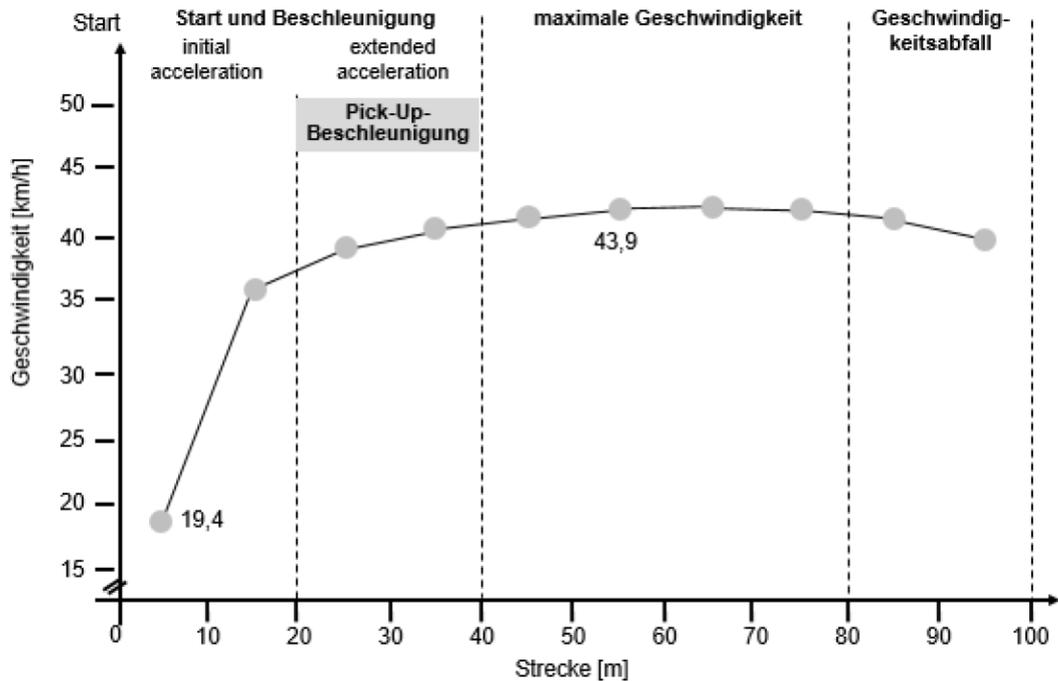


Abbildung 2: Geschwindigkeitsverlauf des 100-m-Sprints am Beispiel des Weltrekordlaufs von Usain Bolt 2008 in Peking (modifiziertes Modell von Manzer et al. (2016), nach Schrader et al., 2008, S. 8)

Thompson (2017) fasst den Start aus dem Block und die Pick-up-Beschleunigung als Beschleunigungsphase zusammen. Demnach dauert diese Phase über die ersten 40 - 60 m an und auf den folgenden 10 - 30 m muss die Geschwindigkeit gehalten werden, bevor es auf den letzten 10-20 m zu einem Geschwindigkeitsabfall kommt (Mattes und Reichmann, 2019).

Auch der 400-m-Sprint lässt sich in unterschiedliche Phasen einteilen. Hanon & Gajer (2009) legten dafür drei Perioden für Geschwindigkeitsunterschiede fest. Die Beschleunigungsphase dauert vom Start bis zum Ende der ersten Kurve. Bis zur 300-m-Marke kommt es dann zu einem progressiven Abfall der Geschwindigkeit, der auf den letzten 100 m in einen bedeutenden Geschwindigkeitsabfall übergeht. Die Läufer erreichen dabei ihre Höchstgeschwindigkeit zwischen 50 m und 100 m (Hanon & Gajer, 2009). Der Geschwindigkeitsverlauf wird in Abbildung 3 anhand eines 400-m-Sprints eines Leistungssportlers aus Killing et al. (2012) veranschaulicht (Mattes und Reichmann, 2019).

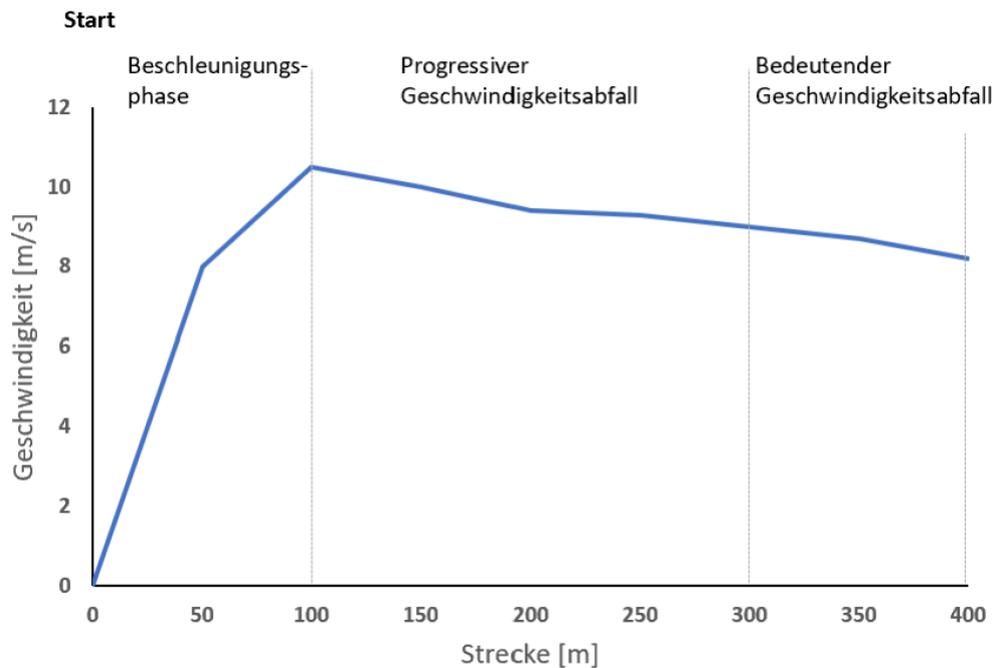


Abbildung 3: Geschwindigkeitsverlauf eines 400-m-Sprints in 44,3 s aus Killing et al. (2012), S. 24; modifiziertes Modell

Nach Killing et al. (2012) können den verschiedenen Abschnitten folgende Fähigkeiten zugewiesen werden: die ersten 100 m werden vor allem von der Beschleunigungs- und Schnelligkeitsfähigkeit dominiert. Auf dem zweiten Abschnitt bis zur 200-m-Marke kommt es auf die Schnelligkeits- und Schnelligkeitsausdauerfähigkeit an. Bis zur 300-m-Marke muss der Athlet dann neben einer guten Schnelligkeitsausdauer auch von einer speziellen Wettkampfausdauer zehren, welche auf den letzten 100 m bis zum Ziel besondere Bedeutung für eine optimale Leistung hat. Der Langsprinter muss also über einen viel höheren Anteil der Sprintausdauerkomponente verfügen. Des Weiteren ist die maximale Geschwindigkeit bei einem Sprint über 400 m aufgrund von anaeroben Limits niedriger (Thompson, 2017), denn der Athlet kann in der Phase der höchsten Geschwindigkeit (bis 150 m) nur 90% seines maximalen Geschwindigkeitspotenzials nutzen, um die gesamte Strecke mit einem bestmöglichen Ergebnis zu überwinden (Killing et al., 2012; Mattes und Reichmann, 2019).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit der Sprinttechnik während der initialen Beschleunigungsphase (0-20 m).

### 1.3.2 Phaseneinteilung eines Doppelschrittes

Neben der Phaseneinteilung eines gesamten Sprints werden auch die einzelnen Schritte in Phasen unterteilt. Um die technischen Parameter überprüfen zu können, liegt der vorliegenden Arbeit das Technikmodell der „Schwung-Zug-Technik“ von Mattes et al. (2016) zugrunde. In vorangestellten Arbeiten konnten damit kinematische Analysen des Sprintschrittes, Messungen der Sprintgeschwindigkeit, der Schrittfrequenz und –länge, sowie der Bodenkontakt- und Flugzeit durchgeführt werden. Das Modell beschreibt die

Phasenstruktur eines Doppelschrittes (Schrittzyklus), also den Zeitraum, in dem jedes Bein einen Schritt macht. Die Abbildung 4 stellt die Phasenstruktur und wichtige Zeitpunkte des Schritterlaufs dar.

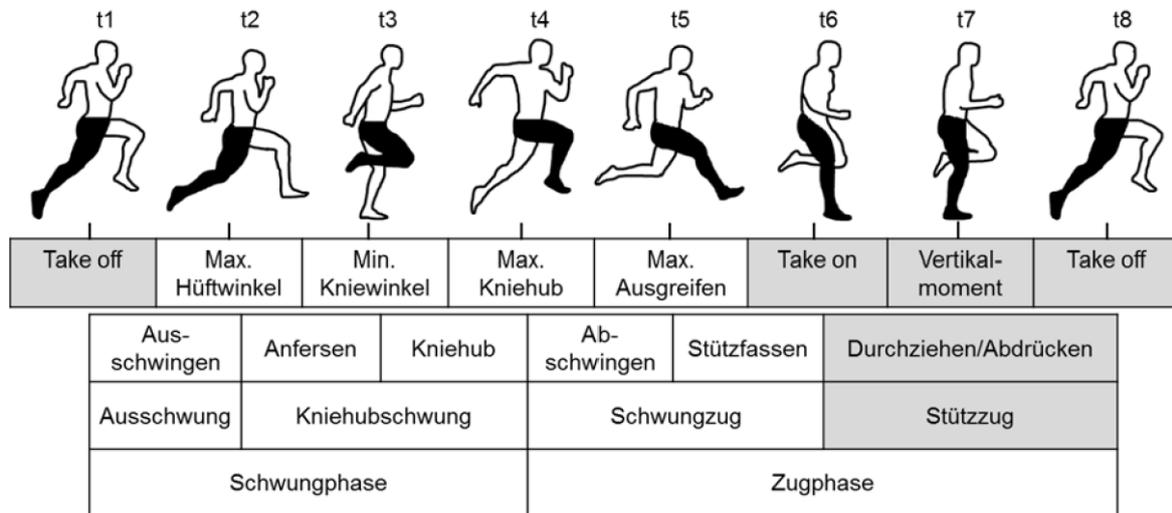


Abbildung 4: Phasenstruktur eines Doppelschrittes (Schrittzyklus) nach der „Schwung-Zug-Technik“, Abbildung aus Mattes et al., (2016)

Während des Doppelschrittes liegt der Fokus durchgängig auf demselben Bein, vom ersten Verlassen des Bodens (Take-off, t1) bis zum wiederholten Take-off. Nach dem Lösen vom Boden beginnt die Schwungphase, die sich in Ausschwingung und Kniehubschwung unterteilt. Die Zugphase wird durch das Event t4 (Moment des maximalen Kniehubs) eingeleitet und unterteilt sich in Schwungzug und Stützzug. Die Schwungphase beschreibt weiterhin die Aktivität des Beins hinter dem Körperschwerpunkt. Erst im Event t4 befindet sich das Bein wieder vor dem Körperschwerpunkt und initiiert damit die Zugphase (Abb. 4). Ein Doppelschritt wird in acht Events unterteilt, welche im Kapitel der Methoden genauer erläutert werden (Mattes und Reichmann, 2019).

Die vorliegende Arbeit legt den Fokus auf die Schwungbewegung des Beines. Nach dem Modell von Mattes et al. (2016) beginnt diese Phase mit dem Lösen des Fußes nach dem Stütz (t1) und dauert bis zum erneuten Lösen des Fußes (t1) an. Dabei unterscheiden die Autoren zwischen der Schwungphase mit Ausschwingung und Kniehubschwung (mit Anfersen und Kniehub) und dem Abschwingen und Stütz-fassen als Teil der Zugphase (Abb. 3) (Mattes und Reichmann, 2019).

Der Kniehubschwung (t2 - t4) umfasst das Anfersen (t2 - t3) und den Kniehub (t3 - t4). Durch das Anfersen nach dem Take-off soll das Massenträgheitsmoment des Schwungbeines vermindert werden, um eine hohe Winkelgeschwindigkeit in der Hüftflexion während des Kniehubs zu erleichtern. Während des Kniehubs kommt es durch die beschleunigte Drehbewegung des Beins zu einem Nachgeben im Kniegelenk des Stützbeins. Am Ende des Kniehubs wird das Schwungbein mit Hilfe einer Kontraktion der Hüftstrecker (M. gluteus

und Hamstrings) abgebremst und unterstützt damit das Lösen des Stützbeins auf der Gegenseite (Mattes und Reichmann, 2019).

Der Schwungzug folgt dem Kniehubschwung und beginnt mit dem Zeitpunkt des maximalen Kniehubs ( $t_4$ ). Er teilt sich in das Abschwingen des Schwungbeins ( $t_4 - t_5$ ) und das Stützfassen des Fußes ( $t_5 - t_6$ ). Er endet mit dem Take-on ( $t_6$ ). In dieser Phase soll die Schrittlänge reguliert und die Stützphase vorbereitet werden, um durch eine hohe Rückschwunggeschwindigkeit des Fußes eine optimale Landeposition dicht am Körperschwerpunkt zu erreichen. Es kommt zu einer schnellen Hüftextension bei gleichzeitiger Knieextension. Das Gegenbein befindet sich zeitgleich in der Luft (Mattes und Reichmann, 2019).

Der Stützzug bzw. Bodenkontakt ist die wichtigste Phase des Doppelschrittes. Sie beginnt mit dem Take-on ( $t_1$ ), und endet mit dem Take-off ( $t_6$ ). Wenn es um Leistung und Verletzungsprävention geht, steht der Bodenkontakt in der Regel im Mittelpunkt, da er die Phase ist, in der der Fuß und das Bein das Körpergewicht tragen und das Körper weiter vorantreibt.

### 1.3.3 Zugwiderstandstraining

Die letzten Forschungen haben widersprüchliche Ergebnisse hinsichtlich der Effektivität des Sprinttrainings mit Widerstand erbracht, wobei Harrison und Bourke (2009) über Verbesserungen mit dieser Trainingsmethode berichteten, während Clark et al. (2010) und Upton (2011) berichteten von keiner Veränderung der Sprintleistung bei der Anwendung von Sprinttraining mit Widerstand. Clark et al. (2010) untersuchten die Auswirkungen von einem Sprinttraining mit und ohne Gewichtschlitten auf die Zeit auf ungefähr 18 und 55 m. Das Schlittentraining hatte keinen Einfluss auf die Geschwindigkeitsleistung, während das traditionelle Sprinttraining einige Verbesserungen hervorrief. Harrison und Bourke (2009) verglichen ähnliche Trainingsmethoden und berichteten über eine verbesserte Beschleunigung über 5 und 30 m bei beiden Ansätzen; Allerdings war der Leistungszuwachs über 5 m beim Schlittentraining größer. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass traditionelles Sprinttraining und das Ziehen eines Schlittens mit Widerstand beide die Sprintzeiten über Distanzen von mehr als 5 m verbessern können, aber bei kürzeren Distanzen ( $\leq 5$  m) kann das Gewichtziehen einen überlegenen Trainingsstimulus liefern.

Zafeiridis et al. (2005) haben bei einem 8-wöchiges Sprinttraining mit einem 5 kg schweren Schlitten eine signifikante Verbesserung der Sprintgeschwindigkeit in der Beschleunigungsphase (0-20 m) gefunden, indem es die Sprintgeschwindigkeit in der 0-10-m-Sprintstrecke erhöht, und hat keinen Einfluss auf die Sprintgeschwindigkeit in der Hochgeschwindigkeitsphase (20-50 m). Im Gegensatz dazu verbessert das ungestützte freie horizontale Sprinttraining die Sprintgeschwindigkeit nur in der Maximalgeschwindigkeitsphase signifikant. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass ein Sprinttraining mit 5 kg Schlittenzug zur Verbesserung der Beschleunigungsleistung empfohlen wird, während ein maximal unbelastetes Sprinttraining die Leistung in der Phase der Maximalgeschwindigkeit verbessert.

Die Sprintgeschwindigkeit wird durch das Produkt aus Schrittlänge und Schrittfrequenz des Athleten bestimmt. Der Mechanismus, durch den schnellere Sprinter eine höhere Sprintgeschwindigkeit erreichen, besteht darin, eine größere Kraft auf den Boden auszuüben und somit eine längere Schrittlänge zu erzeugen (Weyand et al., 2000) (Abb. 5). Das Ziel der Sprint-Trainingsübungen mit Widerstand ist die Sprintgeschwindigkeit des Athleten zu erhöhen, indem die beim Sprint verwendeten Muskeln überlastet werden, wodurch der Athlet eine stärkere Aktivierung der Neuronen hervorruft und mehr schnellzuckende Muskelfasern rekrutiert. Beim unbelasteten Sprint übt der Athlet eine horizontale Kraft auf den Boden aus, um den Körper nach vorne zu beschleunigen und den Luftwiderstand zu überwinden, und eine vertikale Kraft, um den Körper nach oben zu treiben und eine Flugphase zu erzeugen. Es wird erwartet, dass Sprinttrainingsübungen mit Widerstand die Fähigkeit des Athleten erhöhen, horizontale und vertikale Sprintkräfte zu erzeugen, abhängig von der Richtung des aufgebrachtten Widerstands, der sich aus der Trainingsübung ergibt.

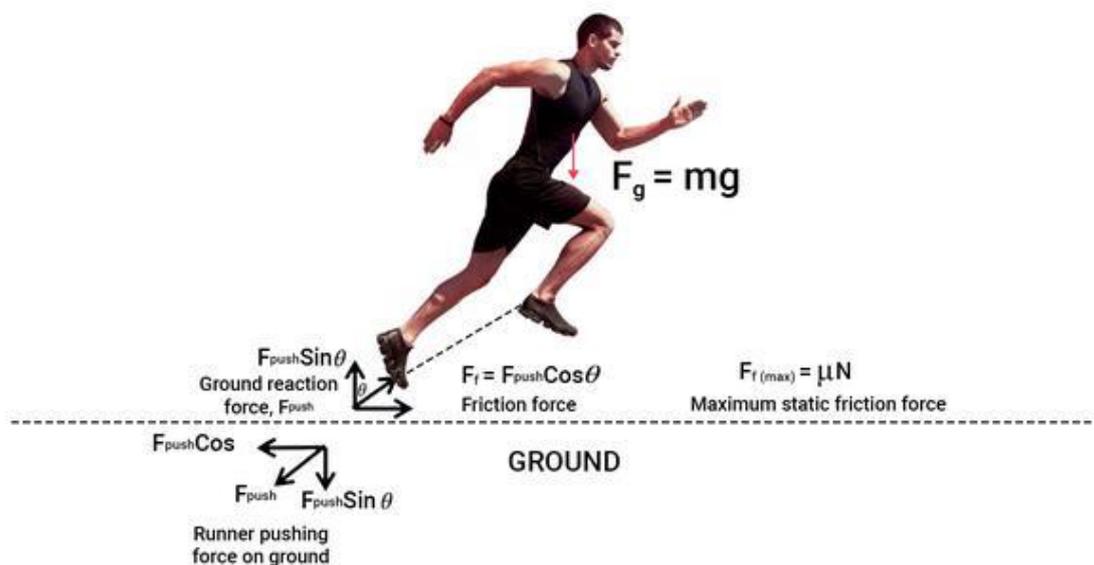


Abbildung 5: Freikörperbild eines Athleten während eines Sprints

## 2 Methode

### 2.1 Experimenteller Ansatz

Bei dieser Untersuchung mussten die Probanden vor und nach einer 6-wöchigen Trainingsintervention mit Zugwiderstand Geschwindigkeits- und Schrittkinematik-Tests durchführen. Die Probanden wurden nach dem Zufallsprinzip in eine Kontroll- und Interventionsgruppe ausgewählt. Die Kontrollgruppe nahm an keiner Form von Zugwiderstandstraining teil, und die Interventionsgruppe führte eine 6-wöchige Zugwiderstandtrainingsintervention durch. Im Übrigen absolvierten alle Probanden identische Trainingsaktivitäten.

### 2.2 Untersuchungsgruppe

24 Bundeskader-Feldhockeyspieler/in im Alter von  $24,8 \pm 2,56$  Jahren und einem Gewicht von  $73,7 \pm 13,2$  kg schlossen diese Studie ab. Alle Probanden waren professionelle Hockeyspieler, die von dem Hockeyverband rekrutiert wurden. Alle Probanden hatten Erfahrung mit dem Zugwiderstandstraining und Schnelligkeitstraining. Die Probanden nahmen zu diesem Zeitpunkt alle am Kraft- und Leistungstraining als Teil ihres normalen Trainings teil, und die Tests wurden während der Wettkampfphase der Spieler abgeschlossen. Die ethische Genehmigung für diese Studie wurde von der Forschungsethikkommission der Universität Hamburg erteilt, und von allen Probanden wurde eine schriftliche Zustimmung eingeholt. Vor der Teilnahme füllten die Probanden einen Pretest-Fragebogen zur körperlichen Aktivität aus und erhielten eine Informationsbroschüre für Freiwillige, in der die Studie beschrieben und potenzielle Vorteile und Risiken skizziert wurden. Nach Berücksichtigung dieser Informationen meldeten sich alle Probanden freiwillig und gaben ihre informierte Einwilligung ab. Insgesamt wurden 24 Probanden für die Studie rekrutiert, aber aufgrund von Krankheit oder Verletzung absolvierten nur 15 Probanden (9 Kontrollpersonen, 6 Interventionspersonen) alle Teile des Test- und Interventionsprogramms. Die Ergebnisse der Studie basieren auf den Daten dieser 15 Probanden.

### 2.3 Studiendesign

#### 2.3.1 Datenerhebung

In den Pre- und Post-Test führte die Interventionsgruppe drei maximale Sprints über 20 m durch. Um eine kinematische Analyse zu ermöglichen, werden die Athleten mit einer Hochgeschwindigkeits-Videokamera (Photonfocus AG, Schweiz, 250 Hz, Bildauflösung  $1760 \times 448$  Pixel) jeweils drei Sprints aus der Sagittalebene bei ca. 4-6 m mittels der TEMPLO-Software (Contemplas, Kempten, Deutschland) aufgezeichnet. Die Kamera direkt senkrecht zur Bewegungslinie der Versuchspersonen ausgerichtet, so dass sich ein Sichtfeld von 0 bis 10 m der Sprintstrecke ergab. Ein vollständiges Diagramm des Versuchsaufbaus ist in Abbildung 6 dargestellt.

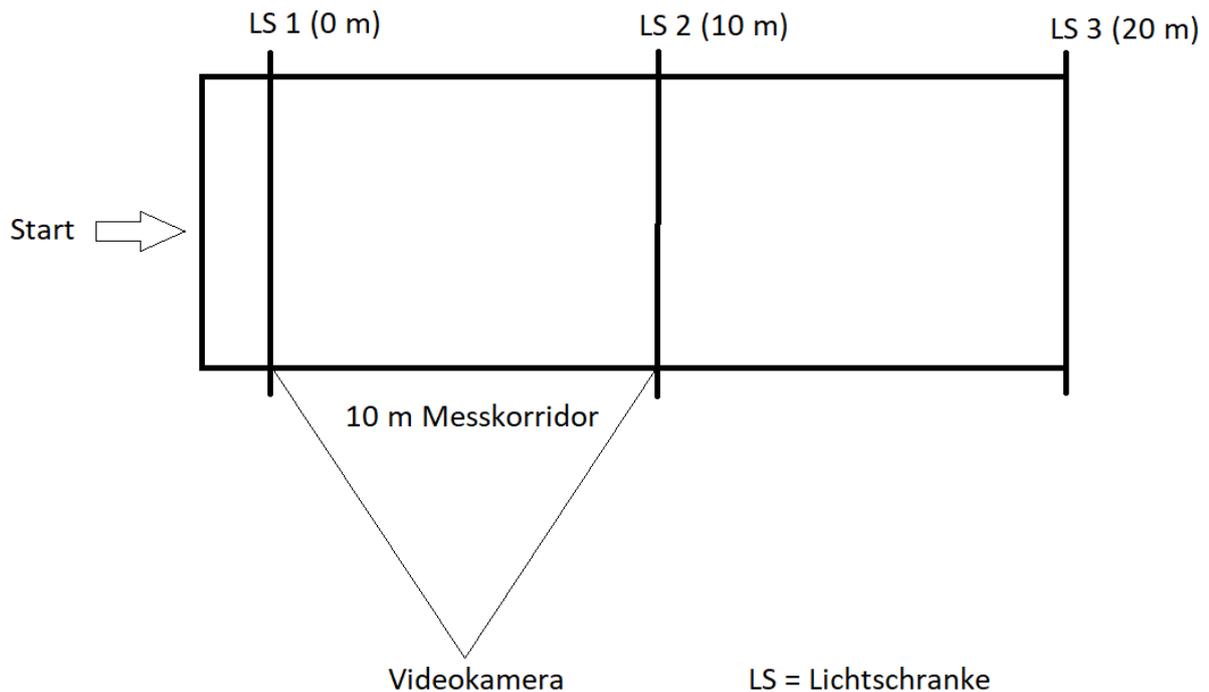


Abbildung 6: Der Messgeräteaufbau für die Datenerhebung

Später bei der Auswertung wird bei jedem Athleten die Videoaufnahme mit der besten Sprintzeit ausgewählt und der erste vollständige Schrittzyklus (2 Schritte) im Sichtfeld der Kamera wurde für die Datenanalyse verwendet. Um die Winkel im Sprung-, Knie- und Hüftgelenk, die Oberkörpervorlage sowie der Oberschenkel zur Waagerechten zu erheben (Abb. 7), werden die Marker wie folgt positioniert (Tab 1).

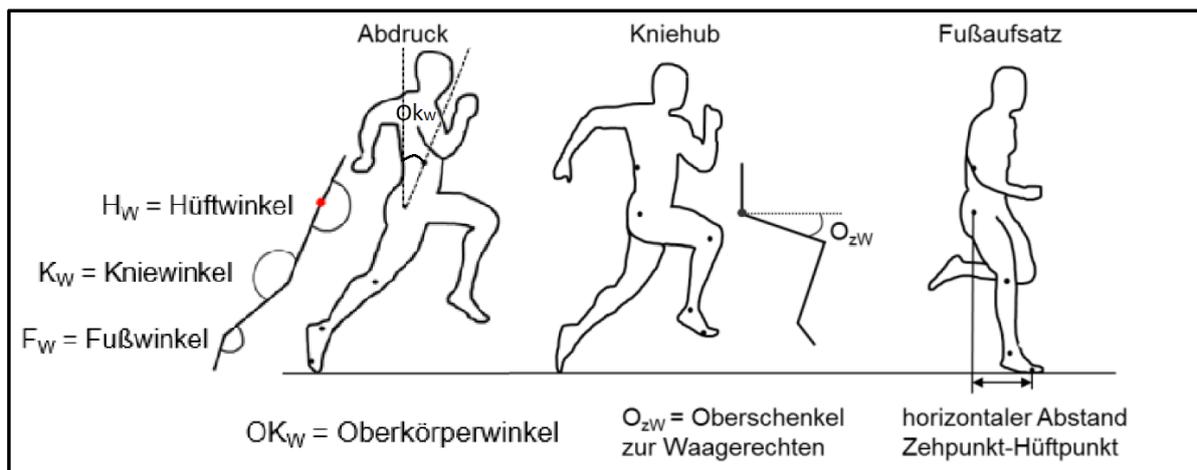


Abbildung 7 Definition Hüftwinkel, Kniewinkel, Fußwinkel, Oberkörperwinkel (Oberkörpervorlage), Oberschenkelwinkel zur Waagerechten und horizontaler Abstand des Zehnpunktes zum Hüftpunkt (nach Mattes et al. 2016)

Tabelle 1: Markermodell mit anatomischen Referenzpunkten (Mattes, K., Thurow, H., 2021)

Marker	Positionierung
Oberkörper	unterer Rippenbogen
Trochanter	Trochanter, fühlbarer Punkt des Hüftgelenks
Knie	Kniegelenkspalt mittig
Sprunggelenk	Mittig auf Sprunggelenk, Knöchel
Zeh	Zehengrundgelenk kleiner Zeh
Zeh innen	Zehengrundgelenk großer Zeh Gegenseite



Die Sprintzeiten (0-10 m, 10-20m, und 0-20 m) werden mit drei doppelten Lichtschranken (Microgate, Bolzano, Italien) registriert (Mattes, K., Thurow, H., 2021). Die Lichtschranken wurden doppelt bzw. übereinander montiert, damit nur bei gleichzeitiger Unterbrechung beider Lichtschranken ein Signal erzeugt wird. Dies stellt sicher, dass die Lichtschranken mit der Brust und nicht mit nach vorne schwingenden Armen unterbrochen werden (Abb. 8). Die Lichtschranken wurden auf eine Höhe von etwa 1 m angehoben und in einem Abstand von 1 m zueinander aufgestellt. Die erste Lichtschranke befand sich an der Startlinie, und die Probanden standen in einer selbst gewählten aufrechten 2-Punkt-Startposition mit dem vorderen Fuß 1 m hinter der Startlinie (um zu vermeiden, dass die erste Lichtschranke versehentlich ausgelöst wird, wenn sich der Körper in der Startposition nach vorne neigt). Die Probanden mussten den Sprint aus einer völlig bewegungslosen Haltung beginnen, konnten aber auch aus eigener Initiative starten. Die Intervallzeiten wurden aufgezeichnet, als jede Versuchsperson die Lichtschranken bei 10 m und 20 m überquerte, um Daten zur Sprintzeit zu erhalten (Abb.6).

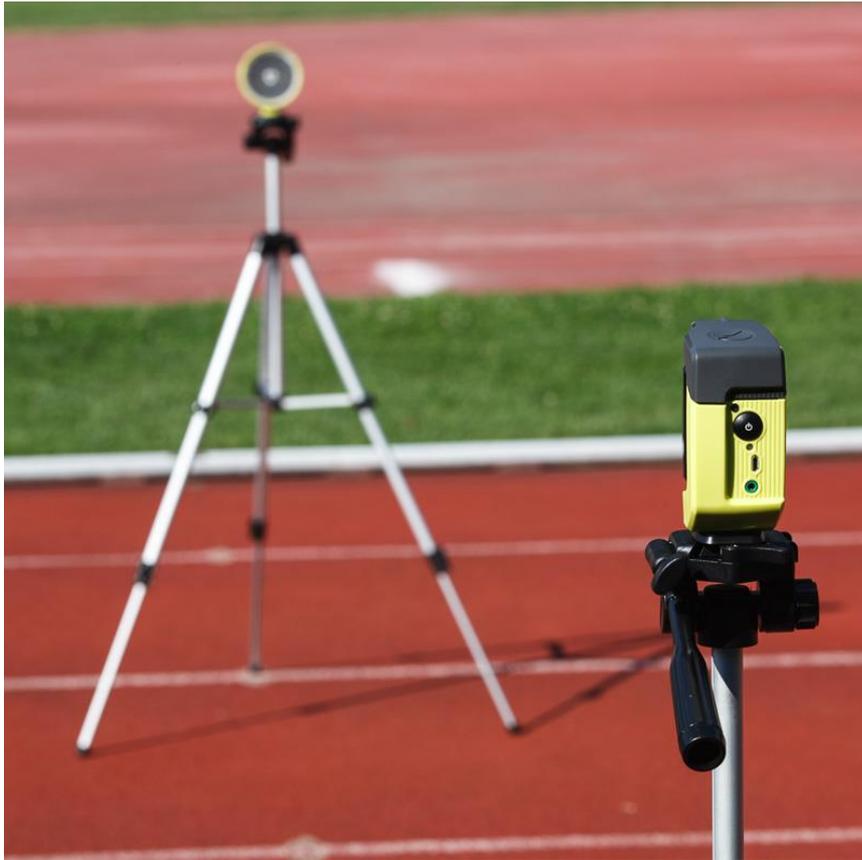


Abbildung 8: Doppelte Lichtschranke von Microgate  
 (<https://training.microgate.it/sites/default/files/photo/products/witty/Witty-Witty-gate2-Microgate.jpg>)

Tabelle 2: Skizze Ablauf Studiendesign

<b>Pre-Test:</b>	<b>Trainingsintervention, 2 Einheiten pro Woche:</b>		<b>Post-Test:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sprintzeiten (0-10 m, 10-20m, und 0-20 m)</li> <li>- Geschwindigkeit in der Beschleunigungsphase</li> <li>- Bodenkontaktzeit</li> <li>- Flugzeit</li> <li>- Doppelschrittlänge</li> <li>- Doppelschrittfrequenz</li> <li>- Gelenkwinkel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 12 maximale Sprints mit steigenden Zugwiderstände</li> <li>Widerstände werden in Prozent des Körpergewichts berechnet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 maximale Sprints mit niedrigem Zugwiderstand</li> <li>- 4 maximale Sprints mit mittlerem Zugwiderstand</li> <li>- 4 maximale Sprints mit hohem Zugwiderstand</li> <li>Widerstände wird in Prozent der max. Geschwindigkeit berechnet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sprintzeiten (0-10 m, 10-20m, und 0-20 m)</li> <li>- Geschwindigkeit in der Beschleunigungsphase</li> <li>- Bodenkontaktzeit</li> <li>- Flugzeit</li> <li>- Doppelschrittlänge</li> <li>- Doppelschrittfrequenz</li> <li>- Gelenkwinkel</li> </ul>
<b>1. Woche</b>	<b>2. Woche</b>	<b>3. - 6. Woche (4. Woche Pause)</b>	<b>7. Woche</b>

Die sechswöchige Sprint-Trainingsintervention fand mithilfe des Trainingsgerätes «1080-Sprint» (1080 Motion, Lidingö, Schweden) statt. Es handelt sich um einen tragbaren Krafttrainings- und Testgerät für Sprints und Richtungswechselbewegungen. Es verwendet eine intelligente variable Widerstandstechnologie, um einen sehr glatten und kontrollierbaren Widerstand (1 bis 30 kg) zu bieten. Es misst Leistung, Kraft, Geschwindigkeit und Beschleunigung mit hoher Genauigkeit. Die Interventionsgruppe absolviert dabei zwei Trainingseinheiten pro Woche. Das Training umfasst 12 Sprints mit steigenden Zugwiderstände über eine Distanz von 20 m.

### 2.3.2 Bestimmung des Zugwiderstands für das Training

Was die Zugwiderstand für das Training betrifft, so wurde in den bisherigen Literaturen noch nicht der ideale Widerstand zur Maximierung des Trainingseffekts beim Ziehen ermittelt, und in früheren Studien zum Schlittenziehen wurden verschiedene Widerstände verwendet. Um jedoch einen Überlastungseffekt zu erzielen und gleichzeitig die Biomechanik des Sprints nicht negativ zu beeinflussen, wurde vorgeschlagen, dass die Widerstände so eingestellt werden sollten, dass sie eine Verringerung der horizontalen Sprintgeschwindigkeit von annähernd, aber nicht mehr als 20 % hervorrufen (Alcaraz et al, 2009).

Da der Widerstand, den der 1080-Sprint bietet, und die daraus resultierende Verringerung der Sprintgeschwindigkeit vom Gewicht und den körperlichen Eigenschaften der Probanden abhängen kann, kann die Widerstandsbelastung, die erforderlich ist, um eine Verringerung der maximalen Geschwindigkeit um maximal 20 % zu bewirken, spezifisch für jeden Probanden sein. In Anbetracht dieser Überlegungen war ein Load-Velocity Profil (Abb. 9) für jeden einzelnen Probanden erforderlich, um die geeigneten Widerstandslasten für die Versuchsperson zu ermitteln. Nach der 1. Trainingswoche wird aus den gemessenen Geschwindigkeiten ein Load-Velocity Profil für jeden Probanden erstellt mit Hilfe dessen die Widerstände für den Rest der Trainingsintervention berechnet werden.

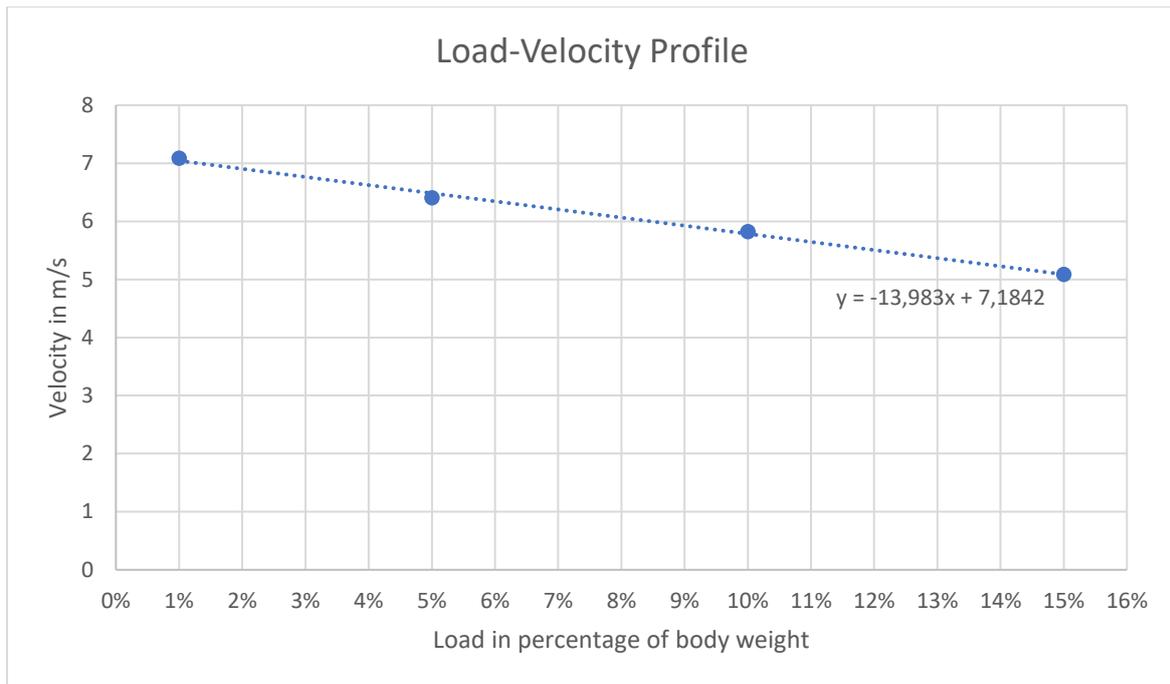


Abbildung 9: Load-Velocity Profile eines Hockey-Spielers

### 2.3.3 Trainingsprotokoll

Konkret absolvierten die Probanden ein standardisiertes Aufwärmprogramm, das einen moderaten Dauerlauf, Dehnübungen und spezifische Übungen zur neuromuskulären Koordination für Sprintläufer umfasste. Anschließend absolvierten die Teilnehmer das Trainingsprogramm. Die Trainingseinheiten sind wie folgt abgelaufen:

In der 1. Trainingswoche werden die Widerstände in Prozent des Körpergewichts eingegeben.

1. Trainingseinheit:
  - 4 unterschiedliche Widerstände mit jeweils 3 Sprints
  - Die Widerstände sind 1%, 5%, 10% und 15% des Körpergewichts
  - 2 Minuten zwischen den Sprints
  - 4 Minuten Pause zwischen jedem Widerstandswechsel
  
2. Trainingseinheit:
  - 3 unterschiedliche Widerstände mit jeweils 4 Sprints
  - Die Widerstände sind 7,5%, 10% und 12,5% des Körpergewichts
  - 2 Minuten zwischen den Sprints
  - 4 Minuten Pause zwischen jedem Widerstandswechsel

Das Trainingsprotokoll für den Rest der Trainingsintervention:

Dienstags:

- 3 unterschiedlichen Widerstände mit jeweils 4 Sprints
- Die Widerstände sind 15%, 17,5% und 20% der maximalen Geschwindigkeit
- 2 Minuten zwischen den Sprints
- 4 Minuten Pause zwischen jedem Widerstandswechsel

Donnerstags:

- 3 unterschiedlichen Widerstände mit jeweils 4 Sprints
- Die Widerstände sind 10%, 12,5% und 15% der maximalen Geschwindigkeit.
- 2 Minuten zwischen den Sprints
- 4 Minuten Pause zwischen jedem Widerstandswechsel

Aufgrund von Wochenend-Spielen der Hockeyspieler, wurde donnerstags mit niedrigeren Widerständen trainiert, um eine Muskelmüdigkeit zu vermeiden.

#### 2.4 Kinematische Auswertung:

Die kinematische Auswertung beinhaltet eine Punktverfolgung, Rohdatenerstellung und eine Bestimmung der Events von t1 bis t8 (Abb. 4). Dies erfolgt mit dem Programm Peak Motus 10.1 (Vicon) (Abb. 10). Die Events werden in Microsoft Excel eingegeben um Bodenkontaktzeit, Flugzeit und die Doppelschrittfrequenz zu berechnen. Mit Hilfe von Excel werden die Rohdaten zur Ermittlung der Winkel, der Winkelgeschwindigkeiten und der Stellungen des Schwungbeines benutzt (Abb. 12 bis 19). Die Doppelschrittfrequenz wurde definiert als die Anzahl der vollständigen Schritte pro Sekunde, berechnet als Kehrwert der für einen vollständigen Schrittzyklus benötigten Zeit ( $1/\text{Gesamtzeit des Schrittzyklus}$ ). Die Bodenkontaktzeit wurde vom Zeitpunkt des ersten Bodenkontaktes bis zum Zeitpunkt des Abhebens auf demselben Fuß gezählt und somit als Durchschnitt beider Schritte berechnet, aus denen der Schrittzyklus besteht. Die Flugzeit wurde vom Zeitpunkt des Take-offs auf einem Fuß bis zum Zeitpunkt Bodenkontaktes auf dem gegenüberliegenden Fuß gezählt und somit ebenfalls als Durchschnitt beider Schritte berechnet, aus denen der Schrittzyklus besteht.

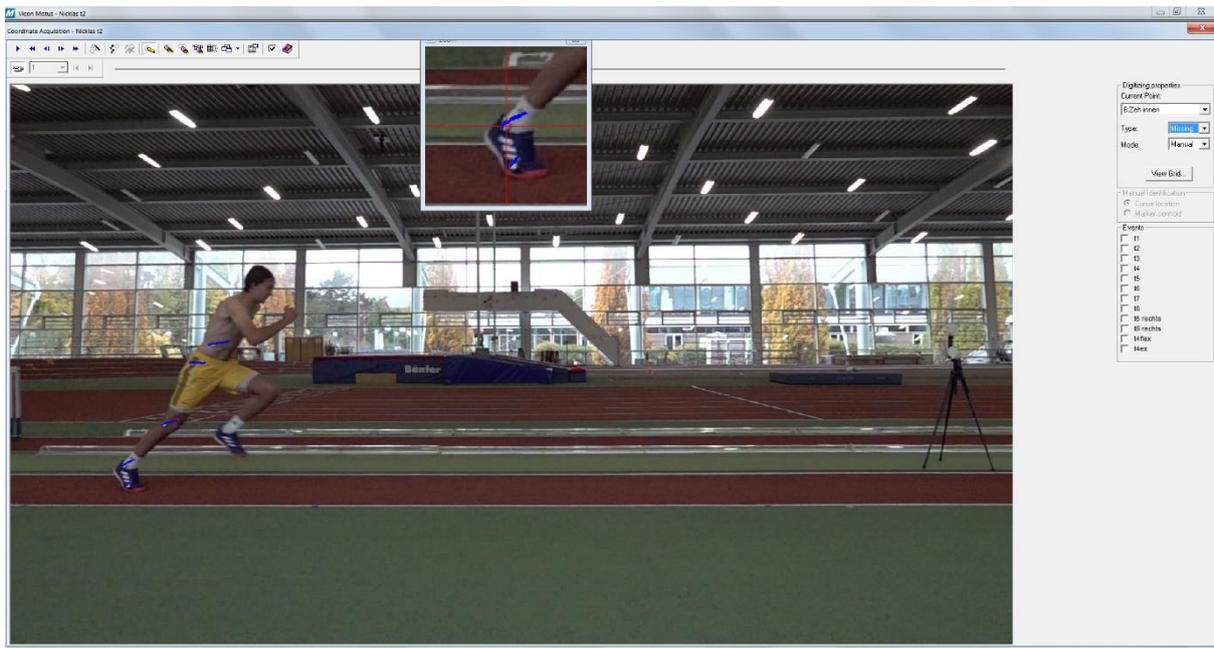


Abbildung 10: Kinematische Auswertung eines Hockeyspielers während der Hochgeschwindigkeitsphase mit Hilfe von Vicon

Die Doppelschrittlänge wird durch das Programm Kinovea (Charmant, J., & contributors) gemessen (Abb. 11). Der Schrittzzyklus wurde definiert als 2 vollständigen Schritte, beginnend mit dem Moment des Take-offs mit einem Fuß und endend mit dem nächsten Take-off desselben Fußes. Die Doppelschrittlänge wurde definiert als der horizontale Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Take-offs desselben Fußes.



Abbildung 11: Doppelschrittlängenermittlung einer Hockeyspielerin während der Hochgeschwindigkeitsphase mit Hilfe von Kinovea

## 2.5 Statistische Auswertung:

Alle Variablen werden mit Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung sowie 95%-Konfidenzintervall beschrieben. Die Prüfung auf Normalverteilung und Varianzhomogenität erfolgt mittels Kolmogorov-Smirnov-Tests bzw. Levene-Test. Der Einfluss der Intervention auf die athletischen Voraussetzungen bzw. der Sprintbedingung auf kinematische Schrittmerkmale wird mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung nach dem allgemeinen linearen Modell und den Zwischensubjektfaktoren (Gruppe, Geschlecht) bestimmt. Zur Einschätzung der Effektstärke wird das partielle Eta-Quadrat mit der Klassifizierung nach Cohen (1988) verwendet (kleiner Effekt:  $\eta^2 \leq 0,10$ ; mittlerer Effekt:  $\eta^2 \geq 0,20$ ; großer Effekt:  $\eta^2 \geq 0,32$ ). Bei Nichterfüllung der Testvoraussetzungen werden die Gruppen mittels Kruskal-Wallis-Test verglichen. Ein Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$  wird angenommen. Die mathematisch-statistische Auswertung erfolgt mit SPSS Version 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) (Mattes, K., Thurow, H. 2021).

### 3 Ergebnisse:

Im Folgenden Kapitel werden die Ergebnisse dieser Arbeit genauer betrachtet. Zunächst werden allgemeine Kennwerte der Sprintgeschwindigkeit und Schrittzklus ausgewertet und die trainierte Gruppe mit der Kontrollgruppe verglichen. Im Anschluss werden die Kennwerte des Sprintbewegung verglichen. Dazu zählen Winkel des Beines, Winkelgeschwindigkeit und Stellung des Schwungbeines detailliert betrachtet. Darauffolgend werden Winkelgeschwindigkeiten und ausgewählte Körperwinkel gegenübergestellt und zum Abschluss erfolgt ein Prä-Post-Vergleich der Schwungbeinbewegung zu den einzelnen Events.

#### 3.1 Vergleich der Kennwerte der Sprintzeiten beider Gruppen

Die Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Pre- und Post-Test vor und nach der Intervention der Kontroll- und Interventionsgruppe.

Im Ergebnis der Kontrollgruppe resultierte eine signifikante Reduktion der Gesamtsprintzeit über 20 m von ca. 0,04 s und eine signifikante Reduktion der Sprintzeit von 10 bis 20 m von ca. 0,05 s. Die Sprintzeit von 0 bis 10 zeigte sich unverändert.

Im Ergebnis der Interventionsgruppe stellte sich ein etwas verändertes Bild dar. Es kam zu einer signifikanten Verbesserung der Sprintzeit über 20 m von ca. 0,06 s, die durch eine signifikante Verkürzung der Sprintzeit über 10 bis 20 m und eine nicht signifikante Verkürzung der Sprintzeit über die ersten 10 m unterlegt war.

Die Effektstärken, der Verbesserungen über die 10 bis 20 m und die Gesamtstrecke (20 m) waren hoch.

*Tabelle 3: Pre-Post-Vergleich der Sprintzeiten der Kontrollgruppe und der Interventionsgruppe, MW ± SD, partielles Eta Quadrat ( $\eta^2$ )*

Kennwert/ Test	Kontrollgruppe				Interventionsgruppe			
	Pre-Test	Post-Test	p-Wert	$\eta^2$	Pre-Test	Post-Test	p-Wert	$\eta^2$
t10	1,85 ± 0,1	1,85 ± 0,12	0,079	0,303	1,84 ± 0,09	1,82 ± 0,09	0,016	0,36
t10_20	1,31 ± 0,08	1,26 ± 0,08	0,022	0,457	1,33 ± 0,08	1,29 ± 0,08	0,001	0,876
t0_20	3,16 ± 0,14	3,12 ± 0,12	0,002	0,756	3,18 ± 0,17	3,12 ± 0,17	0,008	0,717

Im Vergleich der Sprintzeit zeigen beide Gruppen einen Unterschied, wobei die Interventionsgruppe eine etwas kürzere Sprintzeit in den ersten 10 m erreichte. Weder bei der Sprintzeit über 10 bis 20 m noch bei der Gesamtsprintzeit über 20 m bestanden Gruppenunterschiede.

### 3.2 Ergebnisse zur Veränderung der Sprintgeschwindigkeit und Schrittzkluskinematik im Vergleich Pre-Test vs. Post-Test beider Gruppen

Die Messungen der Sprintgeschwindigkeit und der Schrittzkluskinematik sind in Tabelle 4 aufgeführt. Die Statistische Auswertung der Sprintgeschwindigkeit hat keine signifikanten Interaktionseffekte zwischen Gruppe und Zeit ergeben. Es gab kleinen signifikanten Verbesserungen zwischen den Gruppen bei der Sprintgeschwindigkeit. Um die praktischen Auswirkungen der Trainingsanpassungen für jede Gruppe zu bewerten, wurden Statistiken über die prozentuale Veränderung und die Effektgröße berechnet; die Interpretation der Effektgröße basierte auf der von Cohen (1988) vorgeschlagene Interpretation. Für die Variablen Sprintzeit und Durchschnittsgeschwindigkeit ergaben die Statistiken zur Effektgröße (Cohen's d) kleine Verbesserungen nach dem Training für Interventionsgruppe (Cohen's d = 0,07), aber nur triviale Verbesserungen für die die Kontrollgruppe (Cohen's d = 0,63).

Für die Schrittzkluskinematik gab es einige Unterschiede zwischen den Gruppen. Für die Kontrollgruppe hat die Effektgrößenstatistiken eine geringe Abnahme der Doppelschrittfrequenz (Cohen's d = 8,2) und eine geringe Zunahme der Doppelschrittlänge (Cohen's d = 0,21) sowie der Bodenkontaktzeit (Cohen's d = 0,42) ergeben. Für die Interventionsgruppe ergab die Effektgrößenstatistik eine geringe Zunahme der Doppelschrittlänge (Cohen's d = 0,09) und der Doppelschrittfrequenz (Cohen's d = 0,06) und eine moderate Abnahme der Bodenkontaktzeit (Cohen's d = 8,17). In Beiden Gruppen hat die Flugzeit keine Veränderung erfahren.

Tabelle 4: Kennwerte zur Charakterisierung der Sprintgeschwindigkeit und Schrittzklus im Prä-Post-Vergleich der Interventionsgruppe (n = 6) und der Kontrollgruppe (n = 9)

Kennwert/ Test	Kontrollgruppe			
	Pre-Test	Post-Test	p-Wert	Cohen's d
Sprintgeschwindigkeit [m/s]	5,51 ± 0,09	5,52 ± 0,09	0,05	0,63
Doppelschrittlänge [m]	2,9 ± 0,08	2,95 ± 0,08	0,29	0,21
Doppelschrittfrequenz [1/s]	2,18 ± 0,17	3,20 ± 0,17	0,31	0,42
Bodenkontaktzeit [ms]	131 ± 6	130 ± 7	0,41	8,2
Flugzeit [ms]	93 ± 6	93 ± 6	0,112	11,4
Kennwert/ Test	Interventionsgruppe			
	Pre-Test	Post-Test	p-Wert	Cohen's d
Sprintgeschwindigkeit [m/s]	5,4 ± 0,41	5,46 ± 0,38	0,06	0,07
Doppelschrittlänge [m]	3,02 ± 0,13	3,06 ± 0,13	0,31	0,09
Doppelschrittfrequenz [1/s]	2,08 ± 0,11	2,11 ± 0,11	0,27	0,06
Bodenkontaktzeit [ms]	147 ± 10	144 ± 13	0,36	8,17
Flugzeit [ms]	94 ± 9	94 ± 10	0,94	10,69

### 3.3 Ergebnisse zur Veränderung der Sprintbewegung im Vergleich Pre-Test vs. Post-Test der Interventionsgruppe

Der Vergleich der Sprintbewegung von Pre-Test vs. Post-Test zeigte einige Unterschiede. Im Post-Test wurden eine tendenziell höhere Hüftflexionsgeschwindigkeit während des Kniehubschwungs ( $p = 0,06$ ), eine signifikant größere Oberkörpervorlage in allen Phasen des Doppelschrittes und einen signifikant kleineren Kniewinkel bei in allen Phasen außer beim Bodenkontakt, wobei einen signifikant größeren Kniewinkel festgestellt wurde ( $p = 0,02$ ), gefunden (Tab. 5).

Tabelle 5: Kennwerte zur Charakterisierung der Sprintbewegung im Prä-Post-Vergleich (Pre-Test vs. Post-Test), n = 6

Kennwert [Maßeinheit]	Pre-Test	Post-Test	p-Wert	$\eta_p^2$
<b>Anfersen</b>				
Oberschenkelwinkel zur Waagerechten beim Anfersen [°]	72 ± 6	71 ± 7	0,70	9,32

Kniewinkel beim Anfersen [°]	59 ± 14	55 ± 9	0,04	8,09
Oberkörperwinkel beim Anfersen [°]	18 ± 4	20 ± 5	0,22	3,85
<b>Kniehub</b>				
Hüftwinkelflexionsgeschwindigkeit während des Kniehubs [°/s]	5,92 ± 0,39	6,17 ± 0,39	0,06	0,25
Kniewinkel bei maximalem Kniehub [°]	84 ± 12	82 ± 10	0,05	11,05
Oberschenkelwinkel zur Waagerechten bei maximalem Kniehub [°]	38 ± 6	36 ± 5	0,02	4,78
Oberkörperwinkel bei maximalem Kniehub [°]	11 ± 8	11 ± 5	0,93	8,01
<b>Schwungzug</b>				
Hüftwinkelsextensionsgeschwindigkeit während des Schwungzuges [°/s]	6,15 ± 0,53	6,25 ± 0,55	0,17	0,16
Kniewinkel beim maximalen Ausgreifen [°]	140 ± 5	139 ± 4	0,05	4,41
Oberkörperwinkel beim maximalen Ausgreifen [°]	7 ± 7	13 ± 8	0,13	6,99
Vertikale Fußaufsatzgeschwindigkeit [m/s]	-2,67 ± 0,65	-2,79 ± 0,46	0,42	0,34
Horizontale Abstand Zehpunkt-Hüftpunkt bei Fußaufsatz [m]	0,31 ± 0,01	0,32 ± 0,03	0,42	0,03
<b>Bodenkontakt</b>				
Kniewinkel bei Bodenkontakt	145 ± 2	146 ± 3	0,02	1,94
Oberkörperwinkel bei Bodenkontakt [°]	7 ± 5	11 ± 5	0,03	3,09
Kniewinkelbeugung während des Bodenkontaktes [°]	7 ± 4	8 ± 5	0,59	6,94
Kniewinkelstreckung während des Bodenkontaktes [°]	26 ± 4	26 ± 6	0,84	5,47
Kniewinkel beim Lösen [°]	166 ± 6	163 ± 6	0,1	3,5
Oberkörperwinkel beim Lösen [°]	31 ± 4	34 ± 2	0,08	2,01

### 3.4 Einzelfallanalyse zur Veränderung der Sprintgeschwindigkeit und der Schrittzukluskinematik von Pre-Test zu Post-Test

Nach der Mittelwertbetrachtung werden zwei Einzelfälle eine Spielerin und ein Spieler analysiert.

Die **Spielerin A** (Körperhöhe 170 cm und Körpermasse 58 kg) verbesserte ihre Sprintgeschwindigkeit um 0,16 m/s im Vergleich von Pre-Test zu Post-Test. Die Steigerung der Sprintgeschwindigkeit war durch eine kürzere Bodenkontaktzeit (-14 ms), eine erhöhte Doppelschrittfrequenz (0,08 Schritte/s) bei reduzierter Doppelschrittlänge (-0,09 m) unterlegt. Die Flugzeit zeigte sich kaum verändert (Tab. 6).

*Tabelle 6: Kennwerte zur Charakterisierung der Sprintgeschwindigkeit und Schrittzuklus der Spielerin A*

Kennwert [Maßeinheit]	Pre-Test	Post-Test
Sprintgeschwindigkeit [m/s]	4,9	5,06
Doppelschrittlänge [m]	3,01	2,92
Doppelschrittfrequenz [1/s]	1,94	2,02
Kontaktzeit [ms]	156	142
Flugzeit [ms]	102	106

Im Vergleich Pre-Test zu Post-Test wurden ein geringerer Oberschenkelwinkel zur Waagerechten beim Anfersen und beim maximalen Kniehub bei zugleich geringerem Kniewinkel festgestellt. Somit führte die Spielerin den Oberschenkel früher nach vorn und weiter nach oben. Sie veränderte die Schwungbewegung vom Anfersen zum Unterfersen und vergrößerte den Kniehub. Am Ende des Kniehubschwungs zeigte sie eine größere Oberkörpervorlage im Post-Test.

Im Schwungzug realisierte die Spielerin im Post-Test eine höhere vertikale Fußgeschwindigkeit vor dem Bodenkontakt und setzte den Fuß horizontal weiter entfernt vom Hüftpunkt auf. Zum Zeitpunkt des Bodenkontaktes war der Kniewinkel vergleichbar, aber der Oberkörper in weiterer Vorlage. Während des Bodenkontaktes streckte sie das Knie weniger, sodass ein geringer Kniewinkel beim Lösen des Fußes resultierte. Die weitere Oberkörpervorlage war auch noch beim Lösen festzustellen (Tab. 7).

Tabelle 7: Kennwerte zur Charakterisierung der Sprintbewegung der Spielerin A

Kennwert [Maßeinheit]	Pre-Test	Post-Test
<b>Anfersen</b>		
Oberschenkelwinkel zur Waagerechten beim Anfersen [°]	75	65
Kniewinkel beim Anfersen [°]	45	41
Oberkörperwinkel beim Anfersen [°]	13,8	15,5
<b>Kniehub</b>		
Hüftwinkelflexionsgeschwindigkeit während des Kniehubs [°/s]	5,59	5,68
Kniewinkel bei maximalem Kniehub [°]	78	71
Oberschenkelwinkel zur Waagerechten bei maximalem Kniehub [°]	38	30
Oberkörperwinkel bei maximalem Kniehub [°]	3,7	9,1
<b>Schwungzug</b>		
Hüftwinkelextensionsgeschwindigkeit während des Schwungzuges [°/s]	5,58	5,54
Kniewinkel beim maximalen Ausgreifen [°]	139	137
Oberkörperwinkel beim maximalen Ausgreifen [°]	-2,4	7,1
Vertikale Fußaufsatzgeschwindigkeit [m/s]	-2,75	-3,00
Horizontale Abstand Zehnpunkt-Hüftpunkt bei Fußaufsatz [m]	0,32	0,38
<b>Bodenkontakt</b>		
Kniewinkel bei Bodenkontakt	146	143
Oberkörperwinkel bei Bodenkontakt [°]	0,8	6,5
Kniewinkelbeugung während des Bodenkontaktes [°]	6	5
Kniewinkelstreckung während des Bodenkontaktes [°]	32	27
Kniewinkel beim Lösen [°]	172	162
Oberkörperwinkel beim Lösen [°]	25,3	34,5

Der **Spieler C** (Körperhöhe 186 cm und Körpermasse 78 kg) zeigte im Vergleich Pre-Test zu Post-Test - wie bereits erwähnt - eine um 0,09 m/s gesteigerte Sprintgeschwindigkeit mit um 0,06 m erhöhter Doppelschrittlänge und um 0,12 Schritte/s erhöhter Doppelschrittfrequenz. Die Flugzeit reduzierte sich um 12 ms bei gleicher Bodenkontaktzeit (Tab. 8).

*Tabelle 8: Kennwerte zur Charakterisierung der Sprintgeschwindigkeit und Schrittzklus des Spielers C*

Kennwert [Maßeinheit]	Pre-Test	Post-Test
Sprintgeschwindigkeit [m/s]	5,96	6,05
Doppelschrittlänge [m]	3,14	3,2
Doppelschrittfrequenz [1/s]	2,16	2,28
Kontaktzeit [ms]	136	136
Flugzeit [ms]	96	84

Der **Spieler C** zeigte im Vergleich von Pre-Test zu Post-Test nur wenige Änderungen. Auffällig waren das Anfersen und die erhöhte Hüftstreckgeschwindigkeit. Zum Zeitpunkt des minimalen Kniewinkels (Anfersen) realisierte er im Post-Test einen größeren Kniewinkel, der Oberschenkel blieb weiter zurück, aber die Oberkörpervorlage war größer. Im Schwungzug steigerte er die Hüftstreckgeschwindigkeit um 0,26°/s (Tab. 9).

Tabelle 9: Kennwerte zur Charakterisierung der Sprintbewegung und des Spielers C

Kennwert [Maßeinheit]	Pre-Test	Post-Test
<b>Anfersen</b>		
Oberschenkelwinkel zur Waagerechten beim Anfersen [°]	66	72
Kniewinkel beim Anfersen [°]	51	56
Oberkörperwinkel beim Anfersen [°]	16,7	21,5
<b>Kniehubschwung</b>		
Hüftwinkelflexionsgeschwindigkeit während des Kniehubs [°/s]	6,42	6,53
Kniewinkel bei maximalem Kniehub [°]	78	78
Oberschenkelwinkel zur Waagerechten bei maximalem Kniehub [°]	35	36
Oberkörperwinkel bei maximalem Kniehub [°]	7,0	9,2
<b>Schwungzug</b>		
Hüftwinkelsextensionsgeschwindigkeit während des Schwungzuges [°/s]	6,56	6,82
Kniewinkel beim maximalen Ausgreifen [°]	141	139
Oberkörperwinkel beim maximalen Ausgreifen [°]	5,0	7,7
Vertikale Fußaufsatzgeschwindigkeit [m/s]	-3,25	-3,1
Horizontale Abstand Zehpunkt-Hüftpunkt bei Fußaufsatz [m]	0,32	0,30
<b>Bodenkontakt</b>		
Kniewinkel bei Bodenkontakt	149	147
Oberkörperwinkel bei Bodenkontakt [°]	7,9	9,3
Kniewinkelbeugung während des Bodenkontaktes [°]	23	26
Kniewinkelstreckung während des Bodenkontaktes [°]	26	25
Kniewinkel beim Lösen [°]	161	161
Oberkörperwinkel beim Lösen [°]	36,4	35,4

### 3.5 Vergleich der Stellung des Schwungbeines zu den Events des Schrittzklus

In den folgenden Abbildungen (Abb. 12-19) ist das Schwungbein beider Gruppen vom Event t1 bis t8 (Abb. 4) gegenübergestellt. Die jeweiligen Körperschwerpunkte sind eingezeichnet und beschriftet.

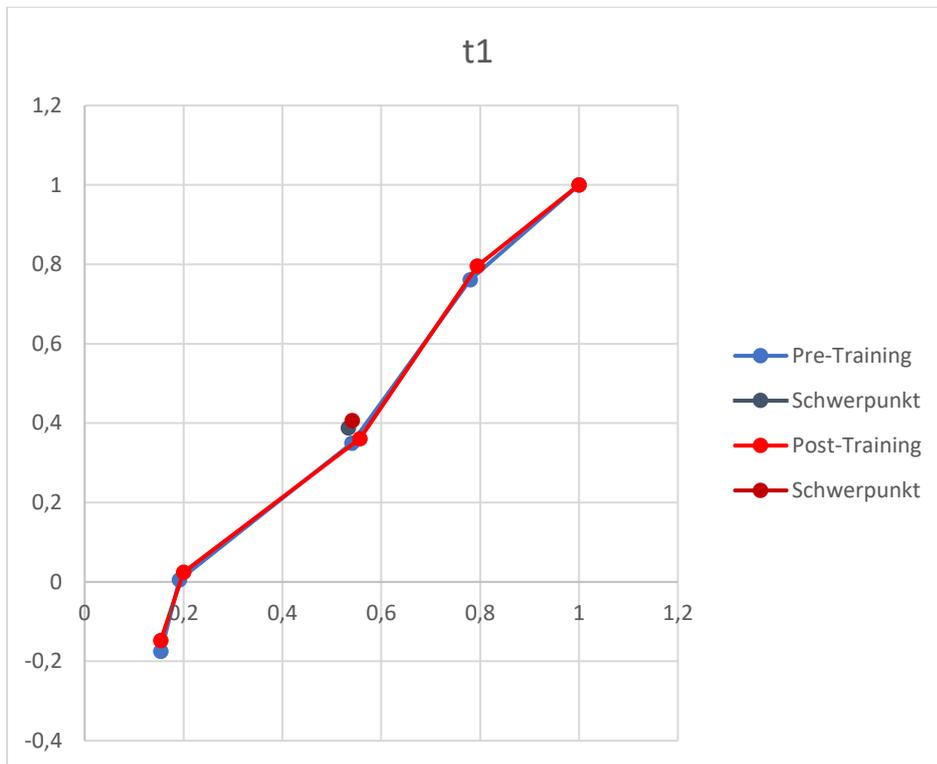


Abbildung 12: Stellung des Schwungbeines während des Events (t1)

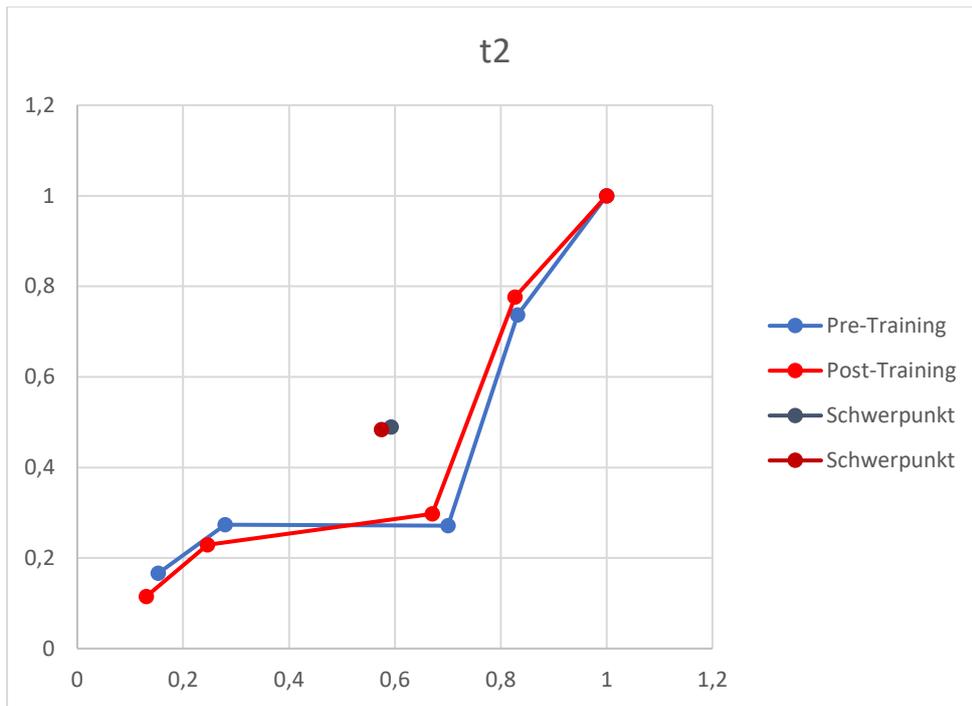


Abbildung 13: Stellung des Schwungbeines während des Events (t2)

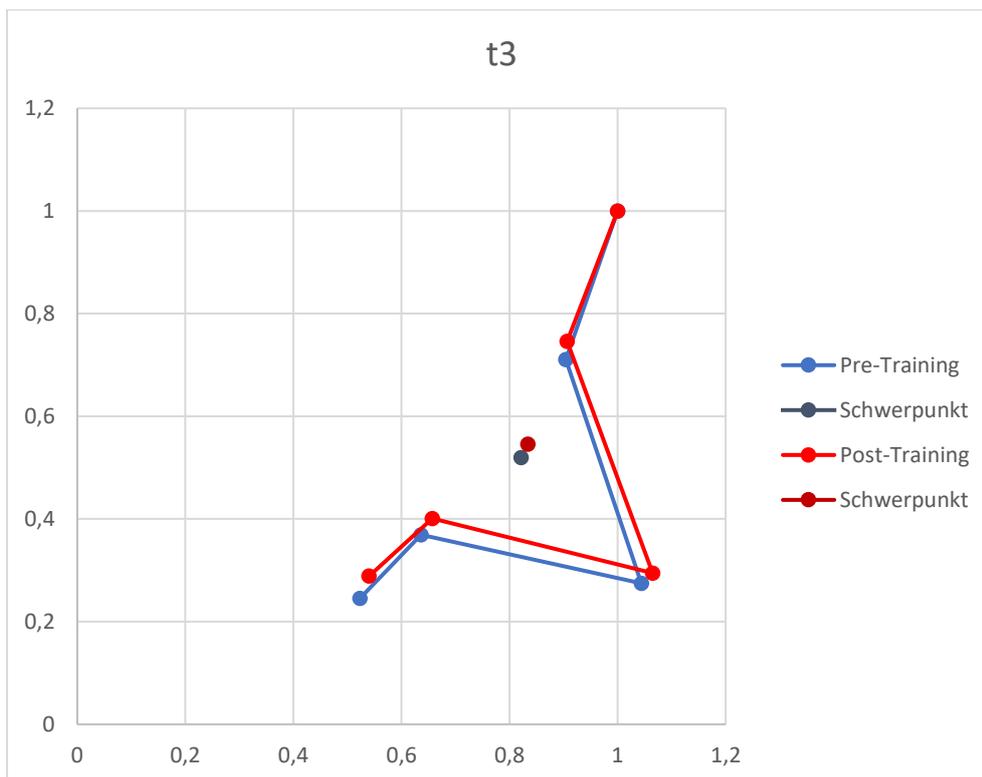


Abbildung 14: Stellung des Schwungbeines während des Events (t3)

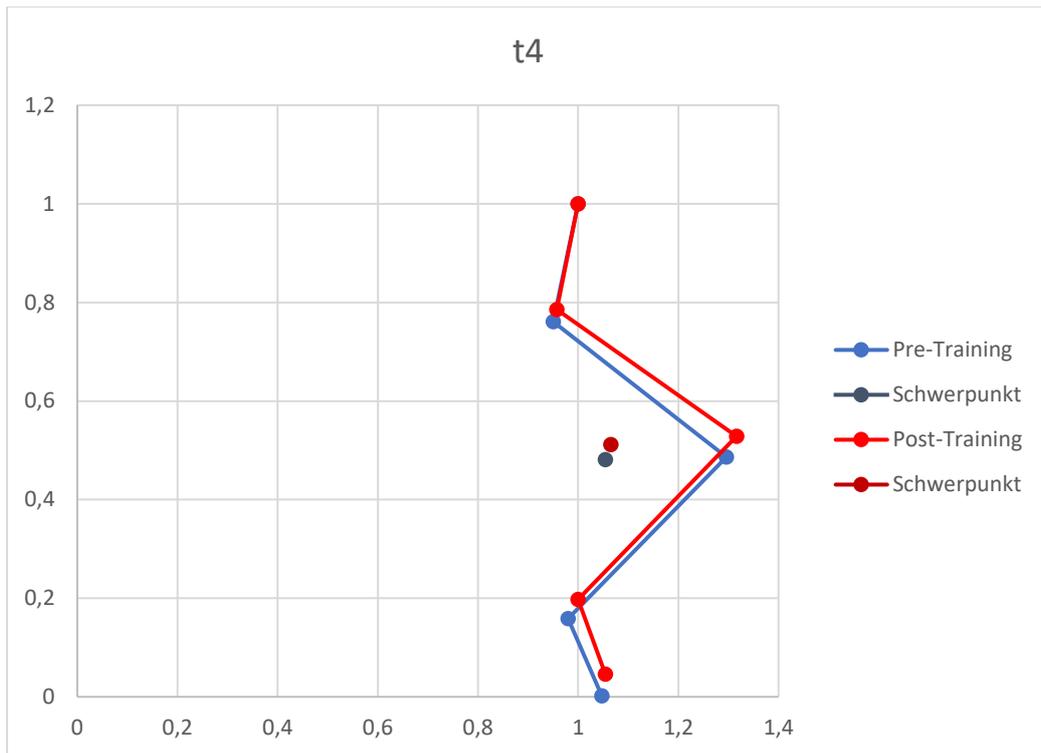


Abbildung 15: Stellung des Schwungbeines während des Events (t4)

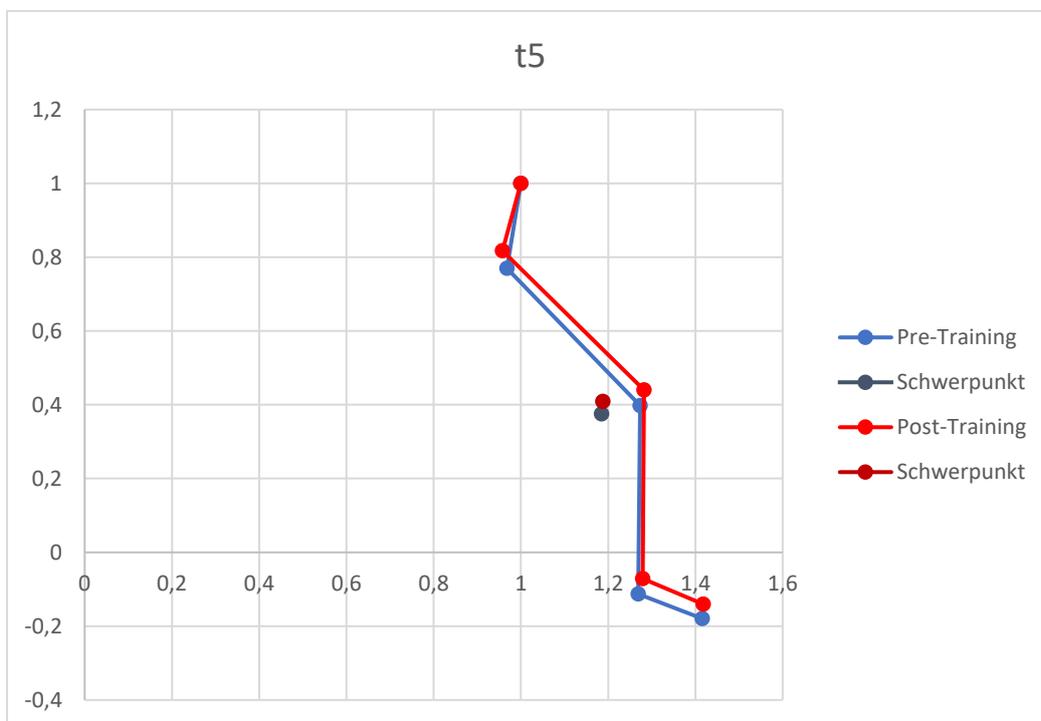


Abbildung 16: Stellung des Schwungbeines während des Events (t5)

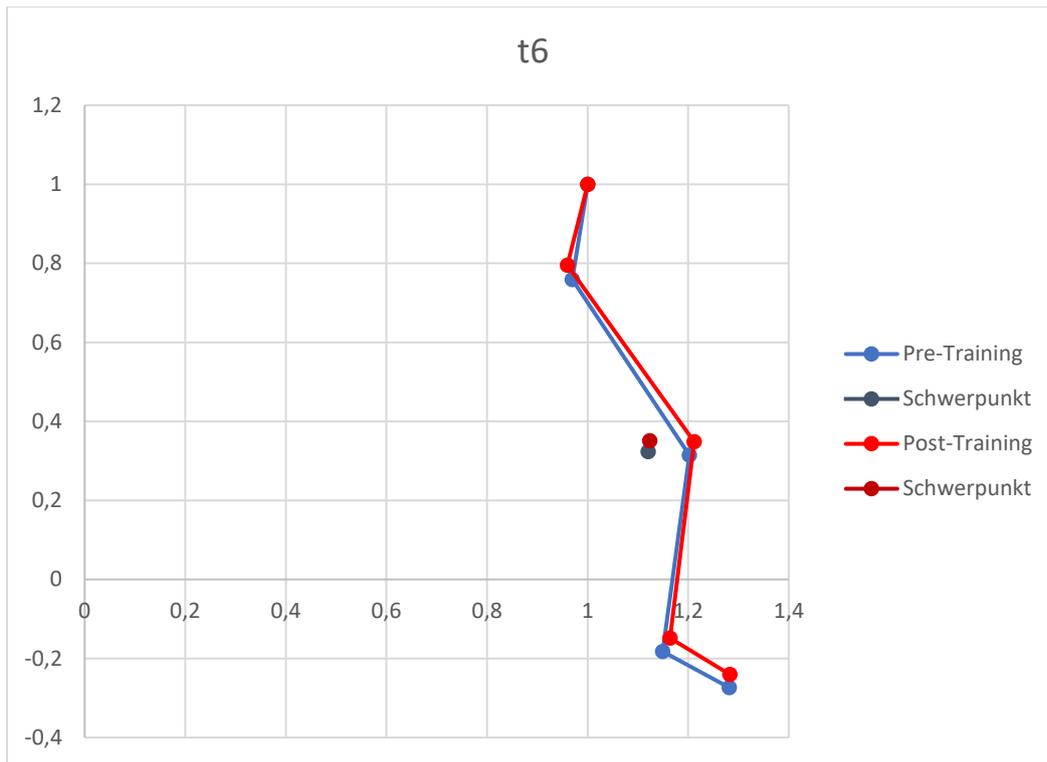


Abbildung 17: Stellung des Schwungbeines während des Events (t6)

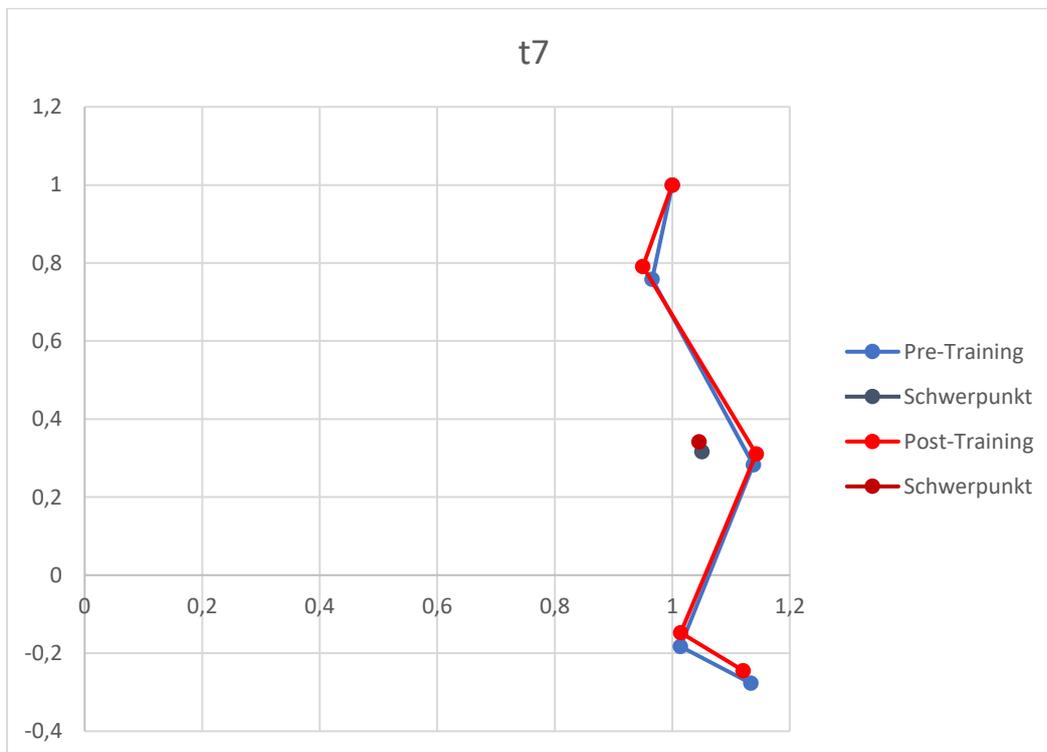


Abbildung 18: Stellung des Schwungbeines während des Events (t7)

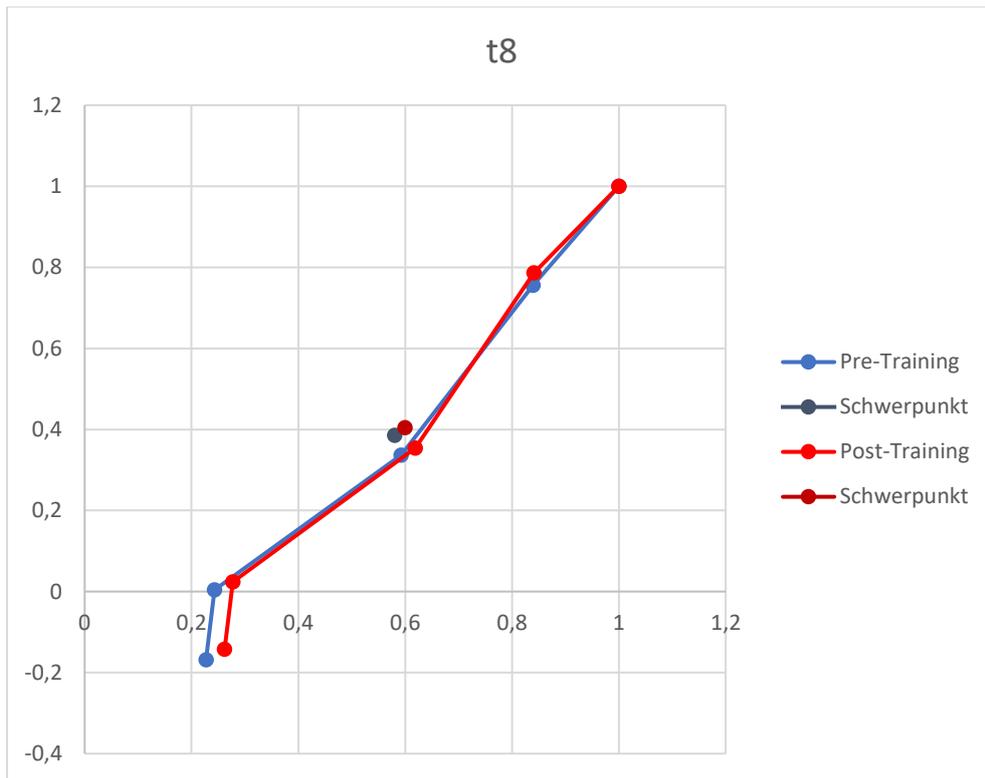


Abbildung 19: Stellung des Schwungbeines während des Events (t8)

Zwischen den Zeitpunkten t2 und t6 können signifikante Unterschiede zwischen den Prä- und Post-Test analysiert werden. Das Bein im Post-Test ist beim Event t2 gestreckter als im Pre-Test. Das Knie ist zwischen t3 und t6 höher angehoben. Zum Zeitpunkt t8 ist das Bein im Post-Test leicht voran. Die Oberkörpervorlage ist in den Events t6 bis t8 größer geworden.

## 4 Diskussion:

### 4.1 Diskussion der Ergebnisse zu den Kennwerten der Sprintzeiten

Die Ergebnisse der 20-m-Sprinttests aus einem statischen Start zeigten einen statistisch nicht signifikanten Interaktionseffekt Gruppe  $\times$  Zeit für die Zeit bis 10 m ( $p=0,116$ ). Die Effektgröße stuft dies als große Effektgröße ein ( $\eta_p^2=0,36$ ). Die Ergebnisse zeigen also, dass das Start- und Beschleunigungsvermögen, während der ersten 10 m durch das Zugwiderstandstraining verbessert wurde. Die Ergebnisse zeigen keine Verbesserung der Gesamtzeit und der 10-20-m-Zeit zwischen den Gruppen von den Prä- bis zu den Posttests, was darauf hindeutet, dass es insgesamt keinen Trainingseffekt für einen 20-m-Sprint gab; daher war die Trainingsintervention effektiver als das normale Hockey-Training bei der Verbesserung der Start- und Beschleunigungsfähigkeiten, aber nicht bei der Verbesserung der Gesamtzeit. Die Verbesserungen der 10-bis-20-m-Sprintzeit und Gesamtzeit in der Interventionsgruppe von Pre- bis zum Post-Test zeigten, dass sich die meisten Probanden verbesserten, während sich nur einige der Probanden der Kontrollgruppe nicht verbesserten. Die Verbesserung bei den Probanden der Kontrollgruppe könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Probanden beider Gruppen im Rahmen ihres normalen Trainings einmal pro Woche an Schnellkeitsübungen teilnahmen. Dies deutet darauf hin, dass verschiedene Trainingsformen zu Verbesserungen im Sprint führen können, obwohl die Ergebnisse dieser Studie darauf hindeuten, dass das Zugwiderstandstraining zusätzliche Vorteile gegenüber dem Training der Kontrollgruppe brachte.

### 4.2 Diskussion der Ergebnisse zu den Kennwerten der Sprintgeschwindigkeit und Sprintzykluskinematik

In diesem Abschnitt werden die Unterschiede zwischen dem Pre-Test und dem Post-Test in Hinblick auf die kinematischen Merkmale der Sprintgeschwindigkeit, sowie Doppelschrittlänge, Doppelschrittfrequenz, Bodenkontaktzeit und Flugzeit ausgewertet und diskutiert.

Die geringen Unterschiede zwischen den Gruppen bei der Sprintgeschwindigkeit nach dem Training deutet darauf hin, dass das Zugwiderstandstraining im Vergleich zum unbelasteten Sprinttraining minimal leistungssteigernden Effekt hatte. Darüber hinaus deuten die Berechnungen der Effektgröße darauf hin, dass die Kontrollgruppe kleine Verbesserungen in der Sprintgeschwindigkeit von Pre- bis zum dem Post-Test zeigte. Im Vergleich dazu hat die Interventionsgruppe größeren Verbesserungen. Trotz der geringen Verbesserungen unterstützen die Ergebnisse die Hypothese, dass Probanden, die mit Zugwiderstand trainieren, eine signifikant größere Verbesserung der Sprintgeschwindigkeit während der gesamten Beschleunigungsphase aufweisen als Probanden, die ein Trainingsprogramm ohne Zugwiderstand haben. Basierend auf die Zugwiderstände, die in dieser Studie verwendet haben, deuten die Ergebnisse sogar darauf hin, dass des Zugwiderstandstraining dem normale Hockey-Training bei der Verbesserung der Sprintleistung während der Beschleunigungsphase überlegen sein könnte. Die von der Interventionsgruppe

nachgewiesene durchschnittliche Zunahme der Sprintgeschwindigkeit ist für Probanden mit diesem Trainingsstatus sicherlich von praktischem Wert.

Nur wenige Studien haben die langfristigen Trainingseffekte mit Zugwiderstand mit dem 1080-Sprint untersucht. Zafeiridis et al. (2005) untersuchten die Auswirkungen eines 8-wöchigen Trainingsprotokolls mit einem Schlitten (Ziehen einer absoluten Last von 5 kg) im Vergleich zu unbelasteten Sprinttraining auf die 50-m-Sprintleistung bei 22 freizeithlich trainierten männlichen Studenten. Die belastete Gruppe verbesserte signifikant die Sprintgeschwindigkeit während den Beschleunigungsphasen (0-10 m und 0-20 m), aber nicht signifikant während den Phasen der maximalen Geschwindigkeit (20-40, 40-50 oder 20-50 m), während die unbelastete Gruppe sich in keinem der Beschleunigungsphasenintervalle signifikant verbesserte, aber signifikant in allen Phasen der maximalen Geschwindigkeit. Somit stimmen die Ergebnisse von Zafeiridis et al. (2005) im Allgemeinen mit der vorliegenden Studie überein, dass das belastete und unbelastete Sprinttraining bei der Verbesserung der Sprintleistung in bestimmten Intervallen des Sprints überlegen sein könnte.

Kafer und Adamson (1994) haben ähnliche Ergebnisse zu der vorliegenden Studie erbracht, obwohl es gewisse Unterschiede zwischen den beiden Studien gibt. Sie untersuchten die Längsschnittauswirkungen eines 6-wöchigen Trainingsprogramms mit einem Schlitten (belastet mit 15% der Körpermaße), Zugunterstützungstraining (Übergeschwindigkeit), eine Kombination aus Zugunterstützung- und Zugwiderstandstraining oder ein unbelastetes Training auf die 20-, 40- und 60-m-Sprintzeiten bei männlichen Rugbyspielern. Die Ergebnisse des Posttests zeigten, dass alle experimentellen Gruppen signifikante Verbesserungen der 60-m-Zeiten aufwiesen. Die Interventionsgruppe erzielte jedoch größere durchschnittliche Verbesserungen der Sprintzeit im 20- bis 60-m-Intervall als die Kontrollgruppe, und eine Analyse der Ergebnisse brachte die Autoren zu der Schlussfolgerung, dass ein Training mit Zugwiderstand oder einer Kombination Zugunterstützung und Zugwiderstand das unbelastete Training überlegen sein könnte, um Verbesserungen über alle 20-, 40- und 60-m-Distanzintervalle zu erzielen (Kafer und Adamson, 1994).

Die Untersuchung der Auswirkungen der Trainingsintervention auf die kinematischen Werte des Schrittzklus trägt dazu bei, die Mechanismen zu klären, die den Veränderungen der Sprintleistung nach dem Training zugrunde liegen. Die statistische Auswertung ergab, dass der Haupteffekt der Zeit für beide Gruppen für drei der kinematischen Maße signifikant war. Die Ergebnisse zeigten eine Zunahme der Doppelschrittlänge, eine Zunahme der Doppelschrittfrequenz und eine Abnahme der Bodenkontaktzeit für die beide Gruppen nach dem Training. Aus der Literatur geht hervor, dass die kurzfristige Maximierung der Sprintgeschwindigkeit, sei es während eines einzelnen Sprints, einer einzelnen Testsitzung oder einer ganzen Saison, dann erfolgt, wenn die größte Doppelschrittlänge erreicht wird (Weyand, 2000); es wurde auch nachgewiesen, dass eine negative Korrelation zwischen Bodenkontaktzeit und Doppelschrittlänge besteht (Hunter et al., 2004). Es ist also möglich, dass das experimentelle Trainingsprogramm jede einzelne Versuchsperson (unabhängig von der Versuchsgruppe) dazu veranlasst hat, eine optimale Kombination aus

Doppelschrittlänge und Doppelschrittlänge zu finden, und dass dies zu einer durchschnittlichen Abnahme der Bodenkontaktzeit und einer durchschnittlichen Zunahme der Doppelschrittlänge für die Interventionsgruppe nach dem Training geführt hat. Die verbesserte mittlere Sprintgeschwindigkeit der Interventionsgruppe nach dem Training deutet darauf hin, dass die Verringerung der Bodenkontaktzeit proportional größer war als die Steigerung der Doppelschrittlänge, was durch die Statistik der Veränderungen für beide Gruppen bestätigt wird.

Eine unabhängige Variable, die weiter untersucht werden muss, ist die Auswahl der Widerstand und die daraus resultierenden biomechanischen Auswirkungen des Zugwiderstandstraining. Obwohl frühere Forschungen die Auswahl der Widerstand als Schlüsselfaktor bei der Gestaltung eines Zugwiderstand-Trainingsprotokolls identifiziert haben (Alcaraz et al., 2009), sind die optimalen Belastungsmuster für das Längstraining noch nicht bestimmt worden, insbesondere für das Sprinttraining mit maximaler Geschwindigkeit. Belastungsmuster, die zu leicht sind und den Probanden nicht überlasten, können keinen ausreichenden Trainingsreiz auslösen und führen daher möglicherweise nicht zu einer verbesserten Muskelkraftproduktion oder Bodenkraftanwendung nach dem Training. Das Sprinten mit Zugwiderstand wurde jedoch mit akuten Veränderungen in der Sprintmechanik in Verbindung gebracht (Alcaraz et al. (2008), Zafeiridis et al. (2005)), und zu schwere Widerstände können zu einer schlechten Technik führen und die erwarteten Steigerungen der Doppelschrittlänge und Sprintgeschwindigkeit minimieren. Das Belastungsmuster, das von der Interventionsgruppe in der vorliegenden Studie verwendet wurde, so eingestellt war, dass es zu einer Verringerung der horizontalen Sprintgeschwindigkeit von nicht mehr als 20% führte (Alcaraz et al., 2009), wurde die Sprintleistung nach dem Training nur minimal verbessert, was darauf hindeutet, dass in zukünftigen Untersuchungen untersucht werden sollte, wie eine Modifizierung dieses Belastungsmusters die Veränderungen der Sprintleistung und der Sprintbewegung während der Beschleunigungsphase nach dem Training besser optimieren könnte.

Für die Kontrollgruppe hat sich keine entsprechenden Hypothesen ergeben, obwohl diese Gruppe nach dem Training die größte durchschnittliche Verbesserung der Sprintgeschwindigkeit zeigte. Die Effektgrößenstatistiken deuten darauf hin, dass die Kontrollgruppe nach dem Training eine geringfügige Verringerung der Bodenkontaktzeit und eine geringfügige Erhöhung der Doppelschrittfrequenz zeigte. Es ist möglich, dass das experimentelle Trainingsprogramm die Probanden in der Kontrollgruppe dazu führte, ihre Kombination aus Doppelschrittfrequenz und Doppelschrittlänge zu verändern, um die Geschwindigkeit zu maximieren, was zu diesen Veränderungen in der Kinematik führte. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterscheiden sich von denen von Zafeiridis et al. (2005), die feststellten, dass die Kontrollgruppe ihre Doppelschrittlänge während der Beschleunigungsphase nach dem Training signifikant erhöhte und dass dies die Ursache für ihre allgemeine Steigerung der Sprintleistung in dieser Phase war. Diese Autoren kommentierten, dass die kinematischen Mechanismen, die den Verbesserungen der Sprintleistung zugrunde lagen, überraschend waren, da erwartet wurde, dass die Kontrollgruppe in ihrem Experiment nach dem Training eher Verbesserungen in der Doppelschrittfrequenz als in der Doppelschrittlänge zeigen würde. In Bezug auf die

vorliegende Studie ist es in der Tat nicht völlig unerwartet, dass die Probanden der Kontrollgruppe die Bodenkontaktzeiten verringerten oder dass sie ihre Sprintleistung durch eine Erhöhung der Doppelschrittfrequenz verbesserten, die proportional größer war als ihre Steigerung der Doppelschrittlänge. Sprinten ist eine Fertigkeit, die auf einer korrekten Technik basiert, und es ist möglich, dass die Probanden der Kontrollgruppe ihre Leistung verbesserten und die Bodenkontaktzeiten verringerten, indem sie einfach korrekte Bewegungsmuster entwickelt haben (d. h. korrekter Kniehub, korrekter Fußaufsatz usw.).

#### 4.3 Diskussion zu den Ergebnissen der Sprintbewegung und der Gelenkinematik

In dieser Studie waren die Ergebnisse der Oberkörpervorlage nach dem Zugwiderstandstraining bei allen Events signifikant größer als vorher. Dieses Ergebnis stimmt mit früheren Untersuchungen von Lockie et al. (2003) überein, die ähnlichen Tendenzen einer zunehmenden Oberkörpervorlage bei zunehmender Widerstandbelastung des Schlittens feststellten. Wie von Lockie et al. (2003) und Cronin und Hansen (2006) vorgeschlagen, scheint eine solche Körperposition (d. h. eine starke Oberkörperneigung) spezifisch für Sprintbewegung während der Beschleunigungsphase zu sein. Daher könnte das Zugwiderstandstraining das Potenzial haben, den Körper in einer Weise zu überlasten, die für die Sprintbeschleunigung spezifisch ist, und könnte die Fähigkeit zur Sprintbeschleunigung verbessern. Die Studie von Zafeiridis et al. (2005) stützt diese Hypothese, indem sie zeigt, dass 8 Wochen Schlittenziehen die Sprintleistung in der Beschleunigungsphase (0-20 m), nicht aber in der Phase der Höchstgeschwindigkeit (20-50 m) verbessert.

Ein größerer Oberkörpervorlage beim Bodenkontakt während der Beschleunigung kann die mit der Reibung verbundenen Bremskräfte verringern. Hunter et al., 2005 haben angemerkt, dass es zur Minimierung der negativen Auswirkungen der horizontalen und vertikalen Bremskraft auf die Geschwindigkeit vorzuziehen ist, beim Sprint mit dem Fuß unterhalb und nicht vor dem Körperschwerpunkt des Athleten aufzusetzen (d. h. die Bodenkontaktzeit ist kürzer). Beim Sprinten ermöglicht eine Vergrößerung der Oberkörpervorlage ohne gleichzeitige Vergrößerung der Hüftwinkelflexionsgeschwindigkeit, dass der Fuß näher am Körperschwerpunkt des Athleten aufgesetzt wird, was möglicherweise das Bremsen verringert und die Zeit für die Erzeugung von Vortriebskräften verlängert. Läuft ein Sportler aufrechter, ohne dass die Hüftwinkelflexionsgeschwindigkeit beim Take-on abnimmt, erfolgt der Fußauftritt weiter vom Körperschwerpunkt entfernt, was zu einer Zunahme der Bremskräfte führt. Daher ist es möglich, dass die Bremskräfte beim Sprinten im Pre-Test größer waren als beim Post-Test. Weitere Studien, die Kraftdaten zusammen mit kinematischen Daten sammeln, sind erforderlich, um diese Überlegungen zu bestätigen.

Obwohl sich die Oberschenkel zur Waagerechten beim Anfersen zwischen den Pre- und Post-Test nicht signifikant verschieden, waren die Oberschenkel zur Waagerechten beim Kniehub im Pre-Test signifikant kleiner (d. h. die Oberschenkelexension größer war) als im Post-Test. Mehrere Autoren haben darauf hingewiesen, dass die Oberschenkelexension beim Sprinten die wichtigsten Antriebskräfte liefert (Jonhagen et al., 1994; Wiemann und

Tidow, 1995). Ob eine verstärkte Oberschenkelexension während des Bodenkontaktes wünschenswert ist, ist umstritten. Mann und Herman (1985) schlugen vor, dass eine verkürzte Oberschenkelexension wünschenswerter ist, da der für die Erhöhung der Oberschenkelexension erforderliche verstärkte Bodenkontakt und die anschließende Verlängerung der Bodenkontaktzeit negative Auswirkungen auf die Schrittfrequenz haben. Interessanterweise wurde in der vorliegenden Studie eine verringerte Bodenkontaktzeit festgestellt. Vonstein (1996) ist der Ansicht, dass eine maximale Oberschenkelexension während des Stützzugs die Antriebskräfte erhöht und damit die Schrittlänge vergrößert, was eine wünschenswerte Eigenschaft der Sprinttechnik ist.

Das Zugwiderstandstraining führte zu einem signifikant größeren Kniewinkel im Pos-Test (d.h. weniger Streckung, größere Streckung) beim Take-on im Vergleich zum Pre-Test. Beim Post-Test war also die Knieextension beim Take-on größer, während sich die Extension beim Take-off nicht veränderte. Dies deutet darauf hin, dass die Antriebskräfte in der Beschleunigungsphase über einen größeren Bereich wirken und möglicherweise einen größeren Teil des Bodenkontaktes ausmachen. Ito et al. (1983) vermuteten, dass während des Bodenkontaktes in der Beschleunigungsphase die wichtigsten Bremskräfte mit der exzentrischen Kontraktion der Kniestrecker und der Plantarflexoren des Knöchels verbunden sind. In der vorliegenden Studie führte das Zugwiderstandstraining zu einer begrenzten zusätzlichen Knieextension nach dem Take-on.

Obwohl dies nicht der Schwerpunkt dieser Studie war, ist es für künftige Forschungen von Interesse zu untersuchen, wie der Befestigungspunkt oder die Richtung der Widerstandskräfte vom Zugwiderstand die Veränderungen der Sprintkinematik beeinflussen könnten. Beim Ziehen am 1080-Sprint könnten die Länge des Seils sowie die Höhe der Seilbefestigung am Athleten (z. B. Hüftgurt vs. Schultergurt) den Zugwinkel (insbesondere in den 5 ersten Meter) verändern. Solche Faktoren dürften die akute Sprintkinematik und die Belastungsmuster beeinflussen und könnten potenziell Auswirkungen auf zukünftige Trainingsanpassungen haben.

## 5 Schlussfolgerung

Ein 6-wöchiges Zugwiderstandstraining mit dem 1080-Sprint verbessert die Sprintgeschwindigkeit und Schrittzzyklus in der Beschleunigungsphase (0-20 m), indem es die Sprintzeit in der 0-10 m und 10-20 m 0-20 Sprintstrecken erhöht. Im Gegensatz dazu verbessert das unbelastete Sprinttraining die Sprintzeit nur 10-20 m Sprintstrecke. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen also, dass ein Zugwiderstandstraining zur Verbesserung der Beschleunigungsleistung empfohlen wird, während ein maximal unbelastetes Sprinttraining die Leistung in der Hochgeschwindigkeitsphase verbessert. Diese Trainingseffekte sind für Hockeyspieler wichtig, da Untersuchungen gezeigt haben, dass Hockeyspieler während eines Spiels typischerweise Sprints von 10 bis zu 20 m absolvieren. Angriffsspieler beginnen Sprints am häufigsten aus dem Stand (41 %). Eine Steigerung dieser Anfangsbeschleunigung kann dem Spieler genügend Kraft verleihen, um Konter erfolgreich abzuschließen und in einer Spielsituation die gegnerische Abwehr zu Überwinden.

Das Zugwiderstandstraining mit dem 1080-Sprint führte zu Veränderungen in der Sprintkinematik während der Beschleunigungsphase des Sprints, wenn den gleichen relativen Widerstand (% der maximalen Geschwindigkeit) für alle Probanden benutzt wurde. Diese kinematischen Unterschiede spiegeln möglicherweise die unterschiedliche Art und Weise wider, in der der Zugwiderstand den Körper überlastet, und gibt daher Aufschluss über mögliche unterschiedliche Mechanismen, durch die das Zugwiderstandstraining die Sprintbeschleunigungsleistung verbessern kann. Das unbelastete Sprinttraining hat weniger Auswirkungen auf die Oberkörpervorlage, da der Athlet aufrechter bleibt, und folglich sind langfristige Veränderungen der Sprinttechniken weniger wahrscheinlich. Außerdem kann das unbelastete Sprinttraining zu einer größeren Belastung der exzentrischen Bremsphase zu Beginn des Bodenkontaktes führen. Da die Bremskräfte eine wichtigere Komponente des Bodenkontaktes während der Höchstgeschwindigkeitsphase des Sprints sind, scheint es, dass das unbelastete Sprinttraining möglicherweise eine geeignetere Form des Sprinttrainings für die späteren Phasen der Beschleunigungsphase und der Hochgeschwindigkeitsphase ist. Der Zugwiderstandstraining führte zu einer stärkeren Streckung der Oberschenkel und einer stärkeren Neigung des Oberkörpers, was es den Athleten ermöglichte, sich in eine optimale Haltung zu bringen, um den Vortrieb zu maximieren und die Bremskräfte zu minimieren. Da die Dauer des Durchziehens in der Phase des Bodenkontaktes während der Beschleunigung länger ist, könnte das ein Zugwiderstandstraining eine bessere Trainingsmethode für die frühen Phasen der Beschleunigungsphase des Sprints sein.

Wie bereits erwähnt, sind die Auswirkungen verschiedener Belastungsmuster auf Probanden, die ein Zugwiderstandstraining absolvieren, ein Bereich für künftige Forschungen. Die in der aktuellen Studie verwendeten Widerstände basierten auf früheren Empfehlungen, dass die Widerstände so eingestellt werden sollten, dass sie eine Verringerung der horizontalen Sprintgeschwindigkeit von annähernd, aber nicht mehr als 20% bewirken. Diese Belastungsstrategie wurde jedoch nicht empirisch als optimale Belastung zur Erzielung langfristiger Leistungsverbesserungen validiert, und es ist möglich,

dass Probanden, die ein Zugwiderstandstraining absolvieren, einen größeren Nutzen aus leichteren oder schwereren Belastungen ziehen.

## 6. Literaturverzeichnis

- Alcaraz, P. E., Palao, J. M., & Elvira, J. L. (2009). Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(2), 480-485.
- Alcaraz, P. E., Palao, J. M., Elvira, J. L., & Linthorne, N. P. (2008). Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 890-897.
- Bergamini, E. (2011). Biomechanics of sprint running: a methodological contribution. Doctoral thesis, Arts et Métiers ParisTech, Paris.
- Bret, C., Rahmani, A., Dufour, A. B., Messonnier, L., & Lacour, J. R. (2002). Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 42(3), 274.
- Clark, K. P., Stearne, D. J., Walts, C. T., & Miller, A. D. (2010). The longitudinal effects of resisted sprint training using weighted sleds vs. weighted vests. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(12), 3287-3295.
- Cronin, J., & Hansen, K. T. (2006). Resisted sprint training for the acceleration phase of sprinting. *Strength and conditioning Journal*, 28(4), 42.
- Debaere, S., Jonkers, I. & Delecluse, C. (2013). The contribution of step characteristics to sprint running performance in high-level male and female athletes. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 27 (1), 116-124.
- Delecluse, C. (1997). Influence of strength training on sprint running performance. *Sports medicine*, 24(3), 147-156.
- Delecluse, C., Ponnet, H. & Diels, R. (1998). Stride characteristics related to running velocity in maximal sprint running. In *ISBS-Conference Proceedings Archive (Vol. 1, No. 1, S 146-148)*.
- Hanon, C. & Gajer, B. (2009). Velocity and stride parameters of world-class 400-m athletes compared with less experienced runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23 (2), S. 524-531.
- Harrison, A. J., & Bourke, G. (2009). The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), 275-283.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2004). Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(2), 261-271.

- Ito, A. K. I. R. A., Komi, P. V., Sjödin, B. E. R. T. I. L., Bosco, C., & Karlsson, J. (1983). Mechanical efficiency of positive work in running at different speeds. *Medicine and science in sports and exercise*, 15(4), 299-308.
- Jonhagen, S., Nemeth, G., & Eriksson, E. (1994). Hamstring injuries in sprinters: the role of concentric and eccentric hamstring muscle strength and flexibility. *The American journal of sports medicine*, 22(2), 262-266.
- Kafer, R and Adamson, G. (1994). Methods for maximizing speed development. *Strength Cond Coach* 2: 9-11.
- Killing, W., Heß, W.-D., Bauer, V., Beck, V., Bernhart, J., Eisenkolb, E. et al. (2012). Jugendleichtathletik. Rahmentrainingsplan des Deutschen Leichtathletik-Verbandes für Sprintdisziplinen im Aufbautraining (1. Aufl., 1 Band). Münster: Philippka-Sportverlag.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., & Spinks, C. D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 760-767.
- Mann, R., & Herman, J. (1985). Kinematic analysis of Olympic sprint performance: men's 200 meters. *International journal of sport biomechanics*, 1(2).
- Manzer, S., Mattes, K. & Holländer, K. (2016). Kinematic Analysis of Sprinting Pickup Acceleration versus Maximum Sprinting Speed. *journal biology of exercise*, 12 (2), 55-67.
- Mattes, K., Manzer, S. & Buckwitz, R. (2016). Überprüfung eines Modells zur „Schwung-Zug-Technik“ mit maximaler Sprintgeschwindigkeit. *Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft*, 2016.
- Mattes, K., Thurow, H. (2021). Projektbeschreibung zum BISp-Service-Projekt.
- Mattes, K., Reischmann, M., (2019). Vergleichende kinematische Analyse von Schwungbeinvarianten maximaler Sprints von Junioren-Bundeskaderathleten.
- Morencos, E., Casamichana, D., Torres, L., Romero-Moraleda, B., Haro, X., & Rodas, G. (2019). Kinematic Demands of International Competition in Women's Field Hockey.
- Thompson, M. A. (2017). Physiological and Biomechanical Mechanisms of Distance Specific Human Running Performance. *Integrative and comparative biology*, 57 (2), 293-300.
- Upton, D. E. (2011). The effect of assisted and resisted sprint training on acceleration and velocity in Division IA female soccer athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(10), 2645-2652.

- Vanwanseele, B., & Aeles, J. (2016, November). Mechanical determinants of sprint performance in elite and sub-elite field hockey players. In ISBS-Conference Proceedings Archive.
- Vonstein, W. (1996). Some reflections on maximum speed sprinting technique. *New Studies in Athletics*, 11(2-3), 161-165.
- Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of applied physiology*, 89(5), 1991-1999.
- Wiemann, K., & Tidow, G. (1995). Relative activity of hip and knee extensors in sprinting-implications for training. *New studies in athletics*, 10, 29-29.
- Zafeiridis, A., Saraslanidis, P., Manou, V., & Ioakimidis, P. (2005). The effects of resisted sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45(3), 284.

## 7 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, den 14.10.2022



Alaa Eddine Benzine