

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Analyse von Sprint-, Sprung- sowie NHE-Werten der Akademiespieler eines
österreichischen Fußball-Bundesligavereins

verfasst von | submitted by

Fabian Anton Kocaget BSc

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2024

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Jürgen Scharhag

Zusammenfassung

Hintergrund: Die physische Leistungsfähigkeit von Athlet*innen im professionellen Fußballsport unterliegt einer stetigen Steigerung. Diese Entwicklungen haben beträchtliche Auswirkungen auf die Ausbildungskonzepte der Fußballakademien. Leistungsdiagnostiken stellen in diesem Kontext ein wesentliches Instrument zur Förderung sowie Selektion von Talenten dar.

Zielsetzung: Die vorliegende Studie untersucht in Kooperation mit einem Verein der Österreichischen Fußball-Bundesliga erhobene Leistungsdaten männlicher Akademiespieler. Das Ziel dieser Untersuchung besteht in der Erfassung physischer Leistungsniveaus sowie der Evaluierung von Zusammenhängen zwischen den getesteten Parametern.

Methoden: Über einen Zeitraum von 18 Monaten wurden 78 männliche Akademiespieler der U15-, U16- und U18-Teams (15.6 ± 1.2 Jahre) untersucht. Dabei wurden die Leistungen der Spieler in den Kategorien Sprint (5m-30m), Countermovement Jump (CMJ) sowie Nordic Hamstring Exercise (NHE) erhoben. Anhand dieser Daten wurden mögliche Unterschiede zwischen den einzelnen Altersklassen herausgearbeitet. Des Weiteren erfolgten Korrelationsanalysen zwischen 30m-Sprint-, CMJ- und NHE-Werten. Ein Index zeigt die Verteilung der Leistungsfähigkeit dieser drei Parameter innerhalb des jeweiligen Akademierteams.

Ergebnisse: Die Sprintwerte der U18-Spieler unterscheiden sich signifikant von den Werten der U16-Spieler über die 10-Meter-Distanz ($p = 0.049$) sowie von denen der U15-Spieler ($p < 0.05$) über alle getesteten Distanzen. Zwischen U15 und U16 bestehen signifikante Unterschiede bei der 20m- ($p = 0.034$) sowie 30m-Sprintzeit ($p = 0.029$). Hinsichtlich der CMJ- (U15/U16 $p = 0.008$) und NHE-Werte (U15 $p < 0.001$; U16 $p = 0.001$) unterscheiden sich die U18-Spieler signifikant von den beiden jüngeren Teams. Signifikante Korrelationen wurden in allen Altersklassen zwischen den Parametern 30m-Sprint und CMJ (U15: $r = -0.645$; $r = 0.007$, U16: $r = -0.635$; $p = 0.006$, U18: $r = -0.478$; $p = 0.010$) nachgewiesen. Signifikante Zusammenhänge zwischen 30m-Sprint und NHE sowie CMJ und NHE bestehen in der Altersklasse U15.

Schlussfolgerung: Die Analyse der Daten zeigt, dass sich die Schnellkraftleistung von männlichen Fußballakademiespielern mit ansteigendem Alter tendenziell verbessert. Die von França et al. (2022) angedeutete Annahme, dass die CMJ-Leistung als Indikator für die Sprintleistung dient, konnte bestätigt werden. Um die Gültigkeit der alternativen Korrelationen zu verifizieren, sind weitere Untersuchungen dieser Parameter erforderlich.

Abstract

Background: The physical performance of athletes in professional football is undergoing a continuous process of improvement. These developments have a significant impact on the training concepts of football academies. In this context, performance diagnostics represent an invaluable tool for the promotion and selection of talents.

Objective: This study analyses the performance data of male academy players, collected in collaboration with a club in the Austrian Football League. The objective is to ascertain the physical performance levels and to examine the correlations between the tested parameters.

Methods: Over a period of 18 months, the physical performance of 78 male academy players from the under 15 (U15), under 16 (U16) and under 18 (U18) teams (with an average age of 15.6 ± 1.2 years) was analyzed. The players' performance in the following categories was recorded: sprint (5m-30m), counter-movement jump (CMJ) and Nordic hamstring exercise (NHE). The documented results were used to ascertain whether there were any significant differences between the individual age groups. Moreover, correlation analyses were conducted to examine the relationship between the 30-meter sprint, counter-movement jump (CMJ), and Nordic hamstring exercise (NHE) values. The index demonstrates the distribution of performance in relation to the aforementioned three parameters within the individual academy teams.

Results: The sprint values of the under 18 players differ significantly from the values of the under 16 players over the 10-metre distance ($p = 0.049$) and from those of the under 15 players ($p < 0.05$) over all distances tested. There are significant differences between under 15 and under 16 in the 20m ($p = 0.034$) and 30m sprint time ($p = 0.029$). Regarding the CMJ (U15/U16 $p = 0.008$) and NHE values (U15 $p < 0.001$; U16 $p = 0.001$), under 18 players differed significantly from the two younger teams. Significant correlations were found in all age groups between the parameters 30m sprint and CMJ (under 15: $r = -0.645$; $r = 0.007$, under 16: $r = -0.635$; $p = 0.006$, under 18: $r = -0.478$; $p = 0.010$). Significant correlations between 30-m sprint and NHE ($r = -0.561$; $p = 0.024$), as well as CMJ and NHE ($r = 0.528$; $p = 0.035$), were observed in the under 15 age group.

Conclusion: The analysis of the data indicates that the speed performance of male academy football players tends to improve with increasing age. This result corroborates the assumption proposed by França et al. (2022) that CMJ performance serves as an indicator of sprint performance. However, further investigation of these parameters is necessary to verify the validity of the alternative correlations.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

Vorwort

1 Einleitung	1
1.1 Leistungsphysiologische Grundlagen	2
1.2 Stand der Forschung	5
1.3 Forschungsziele	6
2 Methoden.....	7
2.1 Studienteilnehmer	8
2.2 Studiendesign	10
2.3 Testprotokolle und Messinstrumente	10
2.3.1 30-Meter-Sprint.....	10
2.3.2 Countermovement Jump (CMJ)	12
2.3.3 Nordic Hamstring Exercise (NHE)	13
2.4 Statistik	14
3 Ergebnisse	15
3.1 30-Meter-Sprint.....	15
3.2 Countermovement Jump (CMJ).....	19
3.3 Nordic Hamstring Exercise (NHE)	23
3.4 Leistungsindex	27
3.5 Korrelationen und Regressionen	30
4 Diskussion	39
4.1 Limitationen.....	46
4.2 Schlussfolgerung.....	48
Literaturverzeichnis.....	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: VALD SmartSpeed Dash Timing Gate System (VALD Performance, 2024f)	11
Abbildung 2: VALD ForceDecks Model FDLite (VALD Performance, 2024a)	12
Abbildung 3: VALD NordBord Hamstring Testing System (VALD Performance, 2024d)	13
Abbildung 4: Verteilung der 30-Meter-Sprintzeiten der U15	17
Abbildung 5: Verteilung der 30-Meter-Sprintzeiten der U16	18
Abbildung 6: Verteilung der 30-Meter-Sprintzeiten der U18	19
Abbildung 7: Verteilung der Countermovement Jump-Werte der U15.....	21
Abbildung 8: Verteilung der Countermovement Jump-Werte der U16.....	22
Abbildung 9: Verteilung der Countermovement Jump-Werte der U18.....	23
Abbildung 10: Verteilung der Nordic Hamstring Exercise-Werte der U15	25
Abbildung 11: Verteilung der Nordic Hamstring Exercise-Werte der U16.....	26
Abbildung 12: Verteilung der Nordic Hamstring Exercise-Werte der U18	27
Abbildung 13: Verteilung der Index-Werte der U15.....	28
Abbildung 14: Verteilung der Index-Werte der U16.....	29
Abbildung 15: Verteilung der Index-Werte der U18.....	30
Abbildung 16: Regression zwischen Sprintzeit (s) und Sprunghöhe (cm) der U15	31
Abbildung 17: Regression zwischen NHE-Wert (N) und Sprintzeit (s) der U15.....	32
Abbildung 18: Regression zwischen Sprunghöhe (cm) und NHE-Wert (N) der U15.....	33
Abbildung 19: Regression zwischen Sprintzeit (s) und Sprunghöhe (cm) der U16	34
Abbildung 20: Regression zwischen NHE-Wert (N) und Sprintzeit (s) der U16.....	35
Abbildung 21: Regression zwischen Sprunghöhe (s) und NHE-Wert (N) der U16.....	36
Abbildung 22: Regression zwischen Sprintzeit (s) und Sprunghöhe (cm) der U18	37
Abbildung 23: Regression zwischen NHE-Wert (N) und Sprintzeit (s) der U18.....	38
Abbildung 24: Regression zwischen Sprunghöhe (cm) und NHE-Wert (N) der U18.....	39

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer</i>	<i>9</i>
<i>Tabelle 2: Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer des Sprinttests.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabelle 3: Sprintzeiten der Studienteilnehmer.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabelle 4: Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer des CMJ-Tests.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 5: Countermovement Jump-Werte der Studienteilnehmer</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 6: Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer des NHE-Tests</i>	<i>24</i>
<i>Tabelle 7: Nordic Hamstring Exercise-Werte der Studienteilnehmer</i>	<i>24</i>
<i>Tabelle 8: Korrelationen der gemessenen Parameter in der U15.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 9: Korrelationen der gemessenen Parameter in der U16.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 10: Korrelationen der gemessenen Parameter in der U18.....</i>	<i>36</i>

Abkürzungsverzeichnis

1RM Squat Test	One-Repetition Maximum Squat Test
5m-Sprint	5-Meter-Sprint
10m-Sprint	10-Meter-Sprint
20m-Sprint	20-Meter-Sprint
30m-Sprint	30-Meter-Sprint
BMI	Body-Mass-Index
CMJ	Countermovement Jump
NHE	Nordic Hamstring Exercise

Vorwort

Ich bedanke mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag und Herrn David Nader, BSc. MSc für die umfassende Betreuung dieser Masterarbeit.

Außerdem möchte ich speziell dem sportwissenschaftlichen Leiter des Kooperationsvereins danken, ohne den die Durchführung dieser Studie nicht möglich gewesen wäre.

Des Weiteren bedanke ich mich bei den Trainerteams sowie allen Spielern, die sich für die umfangreichen Testungen zur Verfügung stellten.

Besonderer Dank geht an meinen guten Freund und Statistikexperten Moritz, der mir stets mit seinem Fachwissen zur Seite stand und für jede meiner Fragen eine Antwort bereit hatte.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Mutter und meiner Schwester Giulia bedanken. Ihre grenzenlose Unterstützung gab mir viel Kraft und tut es auch weiterhin.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Freundin Jana bedanken. Sie entlastete mich, wo sie nur konnte und bestärkt mich bei allem, was ich tue, auf ihre einzigartige Art und Weise.

Vielen Dank!

1 Einleitung

Die Talentförderung im Fußballsport hat sich in den letzten Jahrzehnten stark gewandelt. Galten Anfang der 2000er-Jahre Spieler*innen mit hohen Ausprägungen der konditionellen Fähigkeiten *Ausdauer*, *Kraft* und *Schnelligkeit* noch als Ausnahmeathlet*innen, so wird dies bei Sportler*innen in den weltweiten Topakademien heute vorausgesetzt. In den letzten Jahrzehnten rückte die Förderung der physischen Parameter immer weiter in den Fokus (Bisanz & Gerisch, 2013; Le Gall et al., 2010). Wie in vielen anderen Bereichen wird auch im Spitzensport eine stetige Optimierung angestrebt. Topvereine suchen gezielt nach Spieler*innen, die möglichst genau dem jeweiligen Anforderungsprofil sowie der Spielphilosophie entsprechen (Güllich, 2014; Sarmiento et al., 2018). An diesem Modell knüpft auch das Athletiktraining im Fußball an. Neben Leistungsanstiegen kann durch gezielte Krafttrainingsinterventionen unter anderem eine Reduktion der Verletzungswahrscheinlichkeit speziell im muskulären Bereich erreicht werden (Al Attar et al., 2017; Nuñez et al., 2022). Ansätze gibt es dabei zur Genüge, der Fokus der gesetzten Interventionen bleibt aber zumeist derselbe: Förderung der Schnelligkeit, Wendigkeit, Robustheit sowie Verringerung der Verletzungsanfälligkeit der Athlet*innen. Gerade diese Determinanten speziell zu fördern, liegt nicht nur im Sinne der Entwicklung der Athlet*innen, sondern auch im sportlichen Interesse. Studien konnten zeigen, dass vertikale Sprunghöhe sowie zurückgelegte Sprintdistanzen in starker Beziehung mit der gesamten Teamleistung stehen und damit maßgeblich zum Spielerfolg beitragen können (Arnason et al., 2004; Oliver et al., 2009). Diese Fähigkeiten dienen als Leistungsindikatoren sowohl bei der Diagnostik bereits bestehender Teamspieler*innen als auch bei potenziellen Neuverpflichtungen von Athlet*innen. Mit dem Einsatz von Kraftmessplatten, die mittlerweile in den sportwissenschaftlichen Abteilungen professioneller Vereine gängig sind, werden mehr Daten als nur die Sprunghöhe generiert. Neben Korrelationen der vertikalen Sprunghöhe mit der Maximalkraft der unteren Extremitäten können zudem mögliche Kraftunterschiede zwischen dem linken und rechten Bein dokumentiert werden. Dies lässt u.a. Rückschlüsse auf muskuläre Dysbalancen, Fehlstellungen oder den Grad der Ermüdung zu (Heishman et al., 2020). Nachdem die am häufigsten zurückgelegten Sprintdistanzen während eines Fußballspieles zwischen 5-30 Metern liegen, werden die Athlet*innen auch gezielt darauf getestet. Dabei können mit Hilfe mehrerer Lichtschranken sowohl die Antrittsschnelligkeit auf den ersten fünf bis zehn Metern als auch die Endgeschwindigkeit nach 30 Metern erfasst werden (Clark et al., 2008; Williams et al., 2011). Eine weitere Hürde auf dem Weg zum Profisport stellen Verletzungen und die damit verbundenen Ausfälle dar. Während sich das Risiko von Traumata durch Fremdeinwirkung kaum

kalkulieren lässt, zeigen Studien, dass durch entsprechende Trainingsprotokolle die Anfälligkeit für Muskelverletzungen durchaus verringert werden kann. Bei dem Bereich, der am öftesten von Verletzungen betroffen ist, handelt es sich um die ischiocrurale Muskulatur. Diese befindet sich auf der Oberschenkelrückseite. Über ein Drittel der muskulären Verletzungen bei männlichen Fußballerspielern lassen sich dahingehend zuordnen (Schmitt, 2013). Demnach konzentrieren sich viele Trainingsprogramme auf die Steigerung der Resilienz der betroffenen Strukturen. Zumindest im Erwachsenensport konnten damit bereits beachtliche Resultate erzielt werden (Al Attar et al., 2017; Arnason et al., 2004; Opar et al., 2013). Als wichtiger Baustein dient dabei häufig die Anwendung der *Nordic Hamstring Exercise* (NHE), mit der dieser Teil der Muskulatur vor allem durch die exzentrische Bewegung gestärkt werden soll. Durch eine umfassende Diagnostik und dementsprechende Analyse der angeführten Parameter lassen sich neben Verbesserungen in der Früherkennung von Talenten sowie gezielten Interventionen hinsichtlich der Trainingsoptimierung auch verletzungsbedingte Rückschläge für die jungen Sportler*innen reduzieren. Da solch umfassende Untersuchungen unter Abgleichen mit bestehender Fachliteratur im dicht gestaffelten Trainingsalltag nur bedingt stattfinden können, werden solche Studien nur selten von den Vereinen durchgeführt. Dies veranschaulicht die Wichtigkeit solcher Forschungsarbeiten, da sie eine Chance darstellen, um die Jugendarbeit im österreichischen Fußball bewerten und mit international gesammelten Daten vergleichen zu können.

1.1 Leistungsphysiologische Grundlagen

Nachdem im Fußball eine Vielzahl an konditionellen sowie koordinativen Fähigkeiten vereint werden, gestaltet sich auch die Diagnostik diesbezüglich als äußerst facettenreich. Bei professionellen Vereinen liegt der Fokus vor allem auf Ausdauer-, Kraft- sowie Schnelligkeits- und Agilitätstests (Clark et al., 2008). Neben den daraus resultierenden Daten bilden die positionsspezifischen Anforderungen an die Spieler*innen ein weiteres wichtiges Bewertungskriterium bei der Interpretation der individuellen Leistungsfähigkeit. Analysen der letzten Jahre bis Jahrzehnte zeigen, dass Lauf- und Sprintleistungen in den Profiligen stets zunehmen (Barnes et al., 2014). Daten über die Entwicklungen im Jugend- bzw. Akademiebereich gibt es allerdings noch kaum. Deshalb wird vor allem im Profibereich daran gearbeitet, die Trainingssteuerung, die sich bei den Herren- sowie Frauenteams bereits als gewinnbringend erwiesen hat, auch bei den Jugendteams zu etablieren. In der vorliegenden Studie wurde der Fokus der Analyse auf Daten spezifischer Sprint- sowie Sprungtests gelegt, die im professionellen Fußballsport schon

seit Jahren regelmäßig erhoben werden (Faude et al., 2010). Zusätzlich wurde ein Kraftparameter ausgewählt, der potentiell in Zusammenhang mit einer Verbesserung dieser Schnelligkeitsdeterminanten stehen könnte (Freeman et al., 2019; Suarez-Arrones et al., 2019). In den folgenden drei Absätzen werden diese Diagnostikmethoden näher erläutert.

30-Meter-Sprint

Bei einem Sprinttest wird versucht, die vorgegebene Laufdistanz so schnell wie möglich zu absolvieren. Die Besonderheit der fußballspezifischen Testungen liegt darin, die Leistung der Spieler*innen in den tatsächlich spielrelevanten Situationen bestimmen zu können. Diese maximalen Antritte liegen zu über 90 Prozent zwischen 5-30 Metern (Bangsbo, 1994; Clark et al., 2008). Folglich werden bei solchen Messungen im professionellen Bereich unter Einsatz mehrerer Lichtschranken Teilbereiche abgesteckt, wodurch die Geschwindigkeiten in den einzelnen Sektionen bestimmt werden können. Überdies wird bei solchen Messungen darauf geachtet, möglichst realitätsnahe Bedingungen für die Sportler*innen zu schaffen. Zu diesen Bedingungen zählen Untergrund, geeignetes Schuhwerk sowie ähnliche Abläufe in den Tagen vor der Diagnostik, um den Ermüdungsgrad der Athlet*innen bestmöglich einzuschätzen. Üblicherweise finden Sprinttestungen bei trockenen Wetterbedingungen und an windstillen Orten bzw. Tagen statt.

Countermovement Jump (CMJ)

Der Countermovement Jump Test ist ein Vertikalsprungtest, bei dem die maximale Sprunghöhe der Testpersonen erhoben wird. Der CMJ-Test wird von Trainer*innen sowie Sportwissenschaftler*innen genutzt, um indirekt die Explosivkraft der unteren Extremitäten bestimmen zu können (Dias et al., 2011; Markovic et al., 2004). Studien konnten zeigen, dass die Leistungen bei CMJ sowohl mit denen der *1RM Squat Tests* als auch mit den Sprintleistungen bis 30 Meter korrelieren (Markström & Olsson, 2013; Nuzzo et al., 2011). Im Vergleich zum Squat Jump, welcher aus einer isometrischen Kniebeugeposition bei einem Kniewinkel von etwa 90 Grad erfolgt, wird der Countermovement Jump dynamisch durchgeführt. Dabei wird direkt nach der aus dem Stand eingeleiteten Kniebeugung ein maximal forcierter Vertikalsprung durchgeführt. Somit wird die durch den Dehnungsverkürzungszyklus erzeugte Reaktivkraft genutzt, um einen noch druckvolleren Abstoß zu generieren (Bobbert et al., 1986). Beim Vergleich von CMJ-Werten muss darauf geachtet werden, ob die Athlet*innen mit oder ohne Armschwung getestet wurden. Wird der Einsatz der oberen Extremitäten als zusätzliche Schwungmasse erlaubt, steigen die Sprungleistungen um bis zu mehr als 10% an. Dies veranschaulichen Cheng et al.

(2008) in einer Simulationsstudie. Obwohl die erzielten Höhen mittels unterschiedlicher Techniken erfasst werden können, haben sich Testungen unter Einsatz von Kraftmessplatten in der Leistungsdiagnostik als derzeitiger Goldstandard zur Testgenauigkeit herauskristallisiert (Dias et al., 2011).

Nordic Hamstring Exercise (NHE)

Die Nordic Hamstring Exercise (NHE) gilt als eine der meist praktizierten Übungen, wenn es um die Prophylaxe von Verletzungen der ischiocruralen Muskulatur von Athlet*innen geht (Ertelt et al., 2020). Nachdem durch Eingliederung von NHE in bestehende Trainingsprotokolle signifikante Verringerungen von Zerrungen in diesem Bereich dokumentiert werden konnten, wurde sie bereits 2003 in das Präventionsprogramm der Fédération Internationale de Football Association (FIFA) aufgenommen (Al Attar et al., 2017; Arnason et al., 2004; Askling et al., 2003). Einen weiteren Grund für die Effektivität dieser Übung stellt die unkomplizierte und kostengünstige Umsetzung für die Anwender*innen dar. Die einzige Voraussetzung für die erfolgreiche Ausführung ist eine möglichst stabile Fixierung der Unterschenkel bzw. Sprunggelenke. Zwar wurden schon eigene Vorrichtungen für den optimalen Bewegungsablauf entwickelt, jedoch können auch mit einfachen Mitteln wie einer Sprossenwand oder eine*r Trainingspartner*in fehlerfreie Durchführungen gewährleistet werden (Ertelt et al., 2020). Bei der NHE wird die exzentrische Beanspruchung der Muskulatur forciert. Dies wird durch eine Kippbewegung nach vorne erreicht, bei der der Kniewinkel stetig vergrößert wird, während das Hüftgelenk in der Extension gehalten wird. Dabei kniet die ausführende Person auf einem Untergrund, welcher das Kniegelenk je nach Schmerzempfindlichkeit möglichst gut entlastet. Dabei können verschiedenste Matten, Weichböden oder auch Natur- sowie Kunstrasen genutzt werden. Sind die Sprunggelenke fixiert, leitet die Testperson die Kippbewegung nach vorne bzw. Richtung Boden ein. Dabei ist zu beachten, dass der Kopf möglichst neutral in Verlängerung der Wirbelsäule gehalten wird und die Streckung im Hüftgelenk bestehen bleibt. Um dem Versuch, die Kniebeugemuskulatur zu entlasten entgegenzuwirken, ist darauf zu achten, die Proband*innen nicht zu stark ins Hohlkreuz fallen zu lassen. Kann die ansteigende Gewichtskraft nicht mehr bewältigt werden können, fangen sich die Sportler*innen mit den Händen am Boden ab und begeben sich wieder in die Ausgangsposition (Ertelt et al., 2020). Neben diverser Erkenntnisse, die sich auch dieser Diagnostik ziehen lassen, liegt hier vor allem die Ermittlung der exzentrischen Maximalkraft der ischiocruralen Muskulatur im Vordergrund (Al Attar et al., 2017; Bahr et al., 2015; Bautista et al., 2021).

1.2 Stand der Forschung

Aufgrund der weltweiten Popularität des Fußballsports und des damit ansteigenden Niveaus nehmen auch die Ansprüche an die Nachwuchssportler*innen zu. Dies wird vor allem bei einer näheren Betrachtung des wachsenden Stellenwerts der leistungsphysiologischen Parameter deutlich. Barnes et al. (2014) zeigen in ihrer Forschung, dass Hochintensivitätsläufe und zurückgelegte Sprintdistanzen in der englischen Premier League im Zeitraum von 2006 bis 2013 um 30% bzw. 35% zunahmen. Zusätzlich führen noch dichter gestaffelte Spielpläne zu einem weiteren Anstieg der physischen Belastung. Denn auch hier stieg die Zahl der Bewerbungsspiele von durchschnittlich 50 (2008/2009) auf etwa 60 Spiele (2018/2019) pro Saison an (Barnes et al., 2014). Neben der aeroben Kapazität, welche nahezu positionsunabhängig als Grundvoraussetzung gilt, entstehen spielentscheidende Aktionen meist in Folge von explosiven Antritten. Darunter fallen vor allem Balleroberungen in Pressingsituationen, Dribblings, Konter sowie Torabschlüsse. Sprint- und Antrittsschnelligkeit sowie die Leistung bei Vertikalsprüngen hängen also stark mit der Wahrscheinlichkeit auf Torerfolge und somit auch der gesamten Matchperformanz zusammen (Bangsbo, 1994; Clark et al., 2008; Sáez de Villarreal et al., 2015). Aus diesen hochintensiven Belastungen resultieren allerdings auch die meisten Verletzungen, wobei Läsionen oder Rupturen an der Muskulatur der Oberschenkelrückseite einen Hauptteil davon ausmachen (Arnason et al., 2004; Woods et al., 2004). Um die Athlet*innen dahingehend resilienter zu machen, raten Studien zu Trainingsprogrammen, die neben progressiver Leistungssteigerung auch verletzungspräventive Effekte zu Folge haben sollen (Al Attar et al., 2017; Cuthbert et al., 2020; Schmitt, 2013). Dabei setzten viele Trainer*innen auf die *Nordic Hamstring Exercise* und die damit verbundene Steigerung der exzentrischen Kraft der ischiocruralen Muskulatur (Freeman et al., 2019; Suarez-Arrones et al., 2019). Doch obwohl die verletzungsprophylaktische Wirkung von NHE-Protokollen bereits in mehreren Forschungsarbeiten belegt wurde, berichten Krommes et al. (2017), dass speziell im Herrenfußball noch Skepsis gegenüber diesen Programmen herrscht. Dies zeigen Befragungen professioneller Vereine, aus denen hervorging, dass diese Art des Präventionstrainings selten oder gar nicht zur Anwendung kommt, da Verletzungen oder Verschlechterungen der Spielperformanz befürchtet werden (Bahr et al., 2015; McCall et al., 2014). Diese Ergebnisse stimmen mit epidemiologischen Daten überein, die zeigen, dass die Häufigkeit von Verletzungen der hinteren Oberschenkelmuskulatur bei europäischen Topklubs in den Jahren 2003 bis 2013 unverändert hoch blieb beziehungsweise leicht zunahm (Ekstrand et al., 2013). Arbeiten der letzten Jahre legen allerdings nahe, dass neben der rein präventiven Wirkung durch den Einsatz von NHE-

Protokollen auch Verbesserungen von Sprint- sowie Sprungleistungen erreicht werden können (Freeman et al., 2019; Krommes et al., 2017; Suarez-Arrones et al., 2019). Nun werden zwar muskuläre Anpassungen durch diese Form des Trainings sichtbar, ob die Ergebnisse bei einer reinen Messung der NHE-Werte mit jenen der Sprint- bzw. Sprungdiagnostik übereinstimmen, ist jedoch noch nicht klar (Cuthbert et al., 2020). NHE-Kraftmessungen stellen allerdings auch im sportmedizinischen Rahmen einen interessanten Parameter dar. Da während der Rehabilitation der Sportler*innen der primäre Fokus auf der Wiedererlangung der vollen Leistungsfähigkeit liegt, intensiviert sich in dieser Phase die Arbeit im physiotherapeutischen Setting. Hier werden die betroffenen Strukturen stetig ansteigenden Belastungen ausgesetzt, um einen erfolgreichen Wiedereinstieg ins Mannschaftstraining zu ermöglichen (Ertelt et al., 2020; Gambetta & Benton, 2006). Speziell gegen Ende dieses Prozesses wird mittels diagnostischer Methoden überprüft, ob die Spieler*innen bereit für diesen wichtigen Schritt sind. Nach wie vor gilt die Testung am isokinetischen Dynamometer als Goldstandard zur Evaluation der Kniebeugerkraft und wird in Laboren beziehungsweise sportmedizinischen Zentren regelmäßig durchgeführt (Högberg et al., 2022; Opar et al., 2013; Sconce et al., 2021). Da diese Messinstrumente jedoch sehr kostenintensiv in der Anschaffung und Wartung sind, stellen sie für viele, vor allem kleinere Vereine, nicht die optimale Lösung dar. Überdies erfordern sie eine hohe Expertise bei der individuellen Einstellung für die jeweiligen Athlet*innen und lassen sich aufgrund des hohen Gewichts nur schwierig transportieren (Opar et al., 2013). Aufgrund dieser Problematiken wurde in den letzten Jahren an neuen Techniken geforscht, mit denen ähnliche Resultate kostengünstiger und mit einfacherer Handhabung erzielt werden sollen. Einige dieser Messgeräte orientieren sich an dem Setup der *Nordic Hamstring Exercise*, um möglichst genau die dabei entstehenden Kräfte ermitteln zu können (Ogborn et al., 2021; Opar et al., 2013; Sconce et al., 2021). Da in der vorliegenden Studie mit einem dieser Messinstrumente (VALD NordBord) getestet wurde, lassen die gesammelten Ergebnisse wichtige Rückschlüsse auf Zusammenhänge in dieser Thematik zu.

1.3 Forschungsziele

Ziel dieser Forschungsarbeit ist, in Zusammenarbeit mit einem Verein der Österreichischen Fußball-Bundesliga Leistungsdaten der Altersklassen U15-U18 auszuwerten, zu analysieren und mit bereits bestehenden Werten aus der Literatur zu vergleichen. In Absprache mit der sportwissenschaftlichen Leitung des Vereins ist eine Analyse folgender Tests vorgesehen: *30-Meter-Sprint*, *Countermovement Jump* sowie

Nordic Hamstring Exercise (NHE). Die Ergebnisse werden dem Klub nach wissenschaftlicher Auswertung präsentiert und sollen den Trainerteams dabei helfen, weitere Optimierungen in der physischen Vorbereitung der Athleten*innen vornehmen zu können. Des Weiteren sollen gegebenenfalls Vergleiche mit Akademiespieler*innen aus anderen Ländern dazu beitragen, das athletische Level der getesteten Mannschaften auf internationaler Ebene beurteilen zu können. Ebenfalls dazu beitragen soll die Erstellung eines Leistungsindex, bezogen auf die erhobenen Parameter. Zusätzlich sollen die jeweiligen, anhand der Testprotokolle erhobenen Parameter auf Korrelationen untereinander geprüft werden.

2 Methoden

Datenschutz

Im Rahmen dieser Studie erfolgt eine Erhebung persönlicher Leistungsdaten sowie gesundheitsbezogener Informationen aktiver Athleten. Aus diesem Grund ist jeder teilnehmende Sportler verpflichtet, eine datenschutzrechtliche Einverständniserklärung zu unterzeichnen. Dies wurde im Vorfeld von dem Kooperationsverein sichergestellt. In der Datenschutzerklärung der zugrundeliegenden Forschungsarbeit wird klargestellt, dass die erhobenen Messdaten ausschließlich zu Forschungszwecken verwendet werden. Die Studie zielt darauf ab, die physische Entwicklung der Spieler zu verfolgen, die Effektivität von Trainingsprogrammen zu analysieren und gegebenenfalls Trainingsanpassungen vorzunehmen. Um die Privatsphäre der Spieler zu schützen, werden alle Daten vor der Analyse strikt anonymisiert. Die Anonymisierung stellt sicher, dass bei der Veröffentlichung der Forschungsergebnisse keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich sind. Der Zugriff auf die Daten ist ausschließlich autorisierten Mitgliedern des Forschungsteams sowie den betreuenden Trainer*innen bzw. Betreuer*innen gestattet. Die Datenverarbeitung erfolgt auf Basis der ausdrücklichen Zustimmung der Spieler oder deren gesetzliche/r Vertreter und umfasst umfassende Rechte wie das Recht auf Auskunft, Berichtigung und Löschung der Daten sowie das Recht, die Zustimmung jederzeit zu widerrufen.

2.1 Studienteilnehmer

Im Zuge dieser Studie wurden über eineinhalb Jahre Leistungsdaten in Form diverser diagnostischer Testmethoden erhoben. Bei den getesteten Personen handelt es sich ausschließlich um männliche Athleten der Altersklassen unter 15 Jahren bis unter 18 Jahren (U15, U16 und U18) eines Vereins der *Österreichischen Fußball-Bundesliga*. Insgesamt handelt es sich dabei um 78 Spieler, deren Daten im Zeitraum von Juli 2022 bis Dezember 2023 während der Saisonvorbereitungsphasen sowie des regulären Spielbetriebs gesammelt wurden. Zu den zusätzlichen Trainingseinheiten, welche je nach Saisonabschnitt variieren, absolvierten die Athleten Kraft- sowie Ausdauerdiagnostiken, wobei in dieser Arbeit auf jeweils eine spezifische Sprint-, Sprung- beziehungsweise Kraftmessung eingegangen wird. Aufgrund der unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen in den jeweiligen Altersklassen, fanden die Testinterventionen nicht immer in denselben Umfängen und Häufigkeiten statt. Dadurch wurden, nach Absprache mit dem Verein, ausschließlich die Ergebnisse der Akademiestufen (U15 – U18) in dieser Arbeit behandelt. Bei den Testterminen wurden aufgrund ungültiger Versuche oder stark abweichender Werte meist unterschiedlich viele Durchläufe vorgenommen. Dadurch ergab sich, dass einige Spieler bei einer der Disziplinen mehr Wiederholungen absolvierten als andere. Um mögliche Verzerrungen dadurch zu vermeiden, wurde jeweils nur der beste Durchgang jedes Athleten in die endgültige Analyse miteinbezogen. Anzumerken ist, dass alle getesteten Spieler schon Erfahrungen in der Durchführung der ausgewählten Tests hatten. Da die NHE-Messungen jedoch im Vergleich zu den Sprint- und Sprungdiagnostiken erst seit Kurzem und vor allem ab der Akademiestufe durchgeführt wurden, ist davon auszugehen, dass die Spieler der U15 zwar mit dem Übungsablauf vertraut sind aber verglichen mit den älteren Jahrgängen deutlich weniger Versuche im Trainingsrahmen absolvierten. Nachdem diese Übung zu den Testzeitpunkten jedoch in keiner der Teams einen festen Bestandteil des Krafttrainings ausmachte und hauptsächlich im *Return-to-Play-Programm* genutzt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass dies keinen nennenswerten Einfluss auf die Ergebnisse hat. Von den Datenerhebungen ausgeschlossen wurden Spieler, die in dieser Zeit verletzungsbedingt pausieren mussten. Da Verletzungsfreiheit bei all diesen Testungen aufgrund der hohen auftretenden Belastungen jedoch ohnehin als Grundvoraussetzung gilt, wurde dies nicht explizit angeordnet. Die anthropometrischen Determinanten der einzelnen Spieler wurden in dem gesamten Studienzeitraum nur einmal erfasst, wobei die Messzeitpunkte zwischen den Altersklassen variieren. Die detaillierten Daten aller Teams werden in *Tabelle 1* nochmals zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer

	U15 (n = 21)	U16 (n = 24)	U18 (n = 33)
Alter (Jahre)	14.1 ± 0.3 [14.2; 0.4]	15.5 ± 0.2 [15.5; 0.4] ^a	16.6 ± 0.8 [16.5; 1.3] ^{a,b}
Größe (cm)	169 ± 8.7 [170; 11.5]	179 ± 7.0 [180; 10.0] ^a	179 ± 7.4 [180; 11.5] ^a
Gewicht (kg)	56.4 ± 10.1 [55.7; 14.9]	68.2 ± 5.5 [67.0; 9.0] ^a	69.2 ± 7.3 [70.8; 10.4] ^a
BMI (kg·m ⁻²)	19.6 ± 2.0 [19.9; 3.2]	21.1 ± 1.5 [20.7; 2.5] ^a	21.7 ± 1.8 [21.7; 2.9] ^a

^aSignifikanter Unterschied zu U15, p < 0.05.

^bSignifikanter Unterschied zu U16, p < 0.05.

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. BMI, Body-Mass-Index; (n = 21 Spieler der U15; n = 24 Spieler der U16; n = 33 Spieler der U18)

Insgesamt umfasst das U15-Team 21 Athleten, die zwischen 13.3 und 14.5 Jahren alt sind. Ihre gemessenen Körpergrößen bewegten sich von 151 bis 183 cm. Sie wogen zwischen 36.1 und 73.4 kg und hatten einen BMI von 15.7 bis 22.5 kg·m⁻². In der Altersklasse U16 wurden 24 Sportler in die Studie eingeschlossen, die zwischen 15.1 und 15.8 Jahren alt waren. In dieser Altersgruppe waren die Athleten zwischen 163 und 191 cm groß und wogen zwischen 61.6 und 84.4 kg. Dabei lag der niedrigste BMI bei 18.8 und der höchste bei 23.9 kg·m⁻². Die U18 stellte mit 33 Spielern die zahlenmäßig größte der drei Gruppen dar. Zum Messzeitpunkt war der Jüngste von ihnen 15.1 Jahre alt während der Älteste 18.5 Jahre alt war. Die Körpergrößen variierten hierbei zwischen 163 und 190 cm. Bei einem Körpergewicht von 53.3 bis 84.4 kg lag der BMI in dieser Altersklasse zwischen minimal 18.5 bis maximal 25 kg·m⁻². Bezogen auf das Alter unterscheiden sich sowohl U15 von U16, U15 von U18 sowie U16 von U18 signifikant (p < 0.001). Hinsichtlich der Größe unterscheiden sich die Teams U16 sowie U18 signifikant von dem der U15 (p < 0.001), während der Unterschied zwischen U16 und U18 nicht als signifikant einzustufen ist (p = 0.27). Dies zeigt sich auch beim Gewicht der Spieler, wobei ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen U16 sowie U18, verglichen mit der U15-Mannschaft, ersichtlich wurde (p < 0.001). Zwischen U16 und U18 kann wiederum nicht signifikant unterschieden werden (p = 0,74). Die BMI-Daten zeigten signifikante Unterschied zwischen U15 und U16 (p = 0.019) sowie U15 und U18 (p < 0.001), während zwischen U16 und U18 nicht signifikant differiert werden konnte (p = 0,14).

2.2 Studiendesign

Die Studie wurde zunächst als Längsschnittstudie angesetzt, um Daten der Akademiespieler der U15-, U16- sowie U18-Mannschaften über einen Zeitraum von etwa 1,5 Jahren zu dokumentieren und somit auch einen zeitlichen Verlauf der Veränderungen dieser Werte erstellen zu können. Nach sorgfältiger Datenverarbeitung stellte sich allerdings heraus, dass aufgrund von Terminverschiebungen, verletzungs- beziehungsweise krankheitsbedingter Ausfälle sowie Einberufungen für Nationalteams kaum Perioden auftraten, in denen die Mannschaften über einen längeren Zeitraum vollständig und in regelmäßigen Abständen getestet wurden. Daher wurden die gesammelten Ergebnisse unter Absprache mit der sportwissenschaftlichen Leitung des Vereins im Querschnitt betrachtet. Die Datenaufnahme begann mit Saisonende 2021/22 im Juli 2022 und endete mit Dezember 2023 in der Winterpause der Saison 2023/24. Die über diese Zeitspanne erfassten Leistungsdaten sollen Aufschluss über altersspezifische Unterschiede zwischen den Akademierteams geben sowie Vergleiche zwischen den Resultaten der Mannschaften untereinander ermöglichen. Des Weiteren soll mit der Erstellung eines entsprechenden Indexes eine präzisere Interpretation der physischen Fitness, bezogen auf die drei getesteten Sprint-, Sprung- sowie Kraftparameter der einzelnen Athleten, erreicht werden.

2.3 Testprotokolle und Messinstrumente

In diesem Kapitel werden die jeweiligen Testabläufe ausführlich beschrieben und Besonderheiten näher erläutert. Zusätzlich werden die dabei verwendeten Messinstrumente in den dazugehörigen Unterpunkten vorgestellt. Für die Erfassung der Daten im Rahmen dieser Studie wurden ausschließlich die Messsysteme von VALD Performance sowie deren jeweiligen Testprotokolle verwendet (VALD Performance, 2024e).

2.3.1 30-Meter-Sprint

Alle Sprinttests folgten dem Protokoll *SmartSpeed Drill-One-Way Timing* (VALD Performance), wobei abhängig von der Zielsetzung an ausgewählten Messpunkten Lichtschranken platziert werden (VALD Performance, 2024g). Verwendet wurde hierbei das System *SmartSpeed Dash* (VALD), auf das im folgenden Absatz näher eingegangen wird. Der erste Checkpoint wurde bei der 5-Meter-Marke gesetzt, danach bei 10, 20 beziehungsweise 30 Metern. Die Ziellinie wurde bei beiden Distanzen um weitere 10

Meter zurückversetzt, um zum einen ein frühzeitiges Abbremsen zu verhindern und zum anderen einen natürlichen Zieldurchlauf ohne Körperverbreiterung gewährleisten zu können. Vor den Messungen wurde ein unspezifisches Aufwärmprogramm durchgeführt, um die passiven Strukturen des Bewegungsapparates sowie die Muskulatur auf die bevorstehende Belastung vorzubereiten. Der Testablauf war für jeden Spieler standardisiert. Der Start erfolgte aus der Schrittstellung, wobei darauf geachtet wurde, dass jeweils ein halber Meter Abstand zur Startlinie eingehalten wurde. Meist wurden zwei bis drei gültige Durchgänge pro Spieler absolviert. Für die Analyse der Studie wurde der schnellste Versuch jedes Athleten berücksichtigt. Um eine möglichst hohe Reliabilität gewährleisten zu können, wurde ausschließlich am akademieeignen Kunstrasen und bei trockenen Bedingungen mit handelsüblichen Rasenschuhen getestet. Bei dem genutzten Zeiterfassungssystem handelt es sich um mobile Laser-Zeitmessgeräte, welche zur Messung geradliniger Geschwindigkeits- oder Agilitätstests dienen. Bei den in dieser Studie überprüften Distanzen wurden dabei, inklusive Startline, vier beziehungsweise fünf dieser Lichtschranken in den bereits erwähnten Abständen aufgestellt. Jede dieser Einheiten besteht aus vier Grundkomponenten. Dabei handelt es sich um jeweils zwei Stative, die gegenüber aufgestellt werden, wobei eines mit einer Zeitmesseinheit und eines mit einem Reflektor versehen wird (*Abbildung 1*). In Kombination mit der entsprechenden *SmartSpeed* Applikation werden die Daten schließlich auf ein Endgerät übertragen und stehen den Trainerteams für weitere Analysen zur Verfügung (VALD Performance, 2024f).



Abbildung 1: VALD SmartSpeed Dash Timing Gate System (VALD Performance, 2024f)

2.3.2 Countermovement Jump (CMJ)

Bei den Vertikalsprungmessungen wurde nach dem *ForceDecks Test: Countermovement Jump Protocol* getestet (VALD Performance, 2024b). Die Testpersonen wurden aufgefordert, mit den Händen in den Hüften und in neutraler Position auf die Kraftmessplatte zu steigen. In dieser Startstellung sollten sie dann ruhig verharren, bis das exakte Gewicht erfasst wurde. Im Anschluss wurden die Probanden angewiesen, vor und nach jedem Sprungversuch 2-3 Sekunden in der Startposition zu verbleiben, um ein möglichst genaues Messergebnis zu erzielen. Bei der Ausführung des Sprungs wurde darauf geachtet, dass der Blick stets geradeaus gerichtet und der Rumpf aufrechtgehalten wurde. Anschließend beugen sich die Testpersonen leicht in die Knie und versuchen, sich mit maximalem Krafteinsatz nach oben abzustößen. Nach dem gestreckten Sprung sollte eine abfedernde Landung erfolgen. Während der kontinuierlichen Bewegung bleiben die Hände in der Hüfte und werden nicht als zusätzliches Schwungelement verwendet. Um eine direkte Kraftübertragung zu generieren und das Verletzungsrisiko zu minimieren, führten die Athleten alle Sprünge barfuß beziehungsweise in Socken durch. Vorab erfolgte ein unspezifisches Aufwärmen, das von den Testpersonen größtenteils selbstständig durchgeführt wurde. Absolviert wurden jeweils drei Versuche. Bei den verwendeten Kraftmessplatten (*Abbildung 2*) handelt es sich um das *ForceDecks Model FDLite* von VALD Performance (VALD Performance, 2024a). Das System besteht aus zwei einzelnen Kraftmessplatten sowie dazugehörigen Schaumstoffhüllen, die vor dem Einsatz angebracht werden. Verbunden werden die beiden Platten durch ein Interplate-Kabel. Dadurch können beide Einheiten via USB über einen Computer gesteuert und die Ergebnisse der jeweiligen Testungen übertragen werden. Verfügt das genutzte Endgerät über eine entsprechend kompatible Bluetooth Verbindung, so lassen sich die Daten auch kabellos transferieren. Das System hat ein Gesamtgewicht von 19,3 Kilogramm und verfügt über eine maximale Lastkapazität von 4.000 Kilogramm. Die Abtastrate beträgt bis zu 1.000 Hertz.



Abbildung 2: VALD ForceDecks Model FDLite (VALD Performance, 2024a)

2.3.3 Nordic Hamstring Exercise (NHE)

Um die exzentrische Kraft der Knieflexoren zu untersuchen, wurde die Nordic Hamstring Exercise (NHE) unter Anwendung des *NordBord Tests* durchgeführt (VALD Performance, 2024c). Als Messinstrument kam das von VALD Performance entwickelte *NordBoard Hamstring Testing System* zum Einsatz. Zu Beginn des Tests knien sich die Probanden auf die vorgesehene Kunststoffauflagefläche, wobei im Anschluss daran die beiden Knöchelschlingen individuell für jeden Einzelnen eingestellt werden. In dieser Ausgangsposition befinden sich die Testpersonen kniend, mit gestrecktem Oberkörper und nach vorne gerichtetem Blick. Im Anschluss werden die Getesteten angewiesen, eine kontrollierte Kippbewegung Richtung Boden einzuleiten. Dabei soll während der gesamten Ausführung darauf geachtet werden, die Position des Rumpfes möglichst stabil zu halten. Je näher der Oberkörper dem Boden kommt, desto schwieriger wird es, die Spannung aufrechtzuerhalten. Sobald der Punkt erreicht ist, an dem die Athleten sich nicht mehr allein durch die Beinkraft halten können oder die Stabilität des Oberkörpers verlieren, fangen sie sich mit den Händen ab und kehren in die Ausgangsposition zurück. Wie bei den beiden bereits beschriebenen Testungen wurde im Zuge dieser Kraftmessung ein unspezifisches Aufwärmen durchgeführt. Jeder Spieler führte zwei bis drei Wiederholungen durch. Bei dem Diagnostiktool *NordBord* handelt es sich um ein eigens für die Testung verschiedener Kraftparameter der ischiocruralen Muskulatur entwickeltes Testinstrument. Durch den Aufbau des Geräts, welches in *Abbildung 3* veranschaulicht wird, ist es möglich, sehr valide zu erfassen, welche Kräfte bei der Ausführung der NHE wirken. Die Technik dahinter folgt dem des Prototypen von (Opar et al., 2013), der aus einem gepolsterten Brett und zwei adjustierbaren Sprunggelenksklammern, welche auf handelsüblichen einachsigen Kraftmesszellen angebracht wurden. Die Knöchelstreben und die Kraftmesszellen waren auf einem Drehgelenk montiert, so dass die Kraftaufnehmer jederzeit senkrecht zum Unterschenkel positioniert werden konnten.



Abbildung 3: VALD NordBord Hamstring Testing System (VALD Performance, 2024d)

Durch weitere Optimierungen wurde daraus ein bereits durch mehrere Studien geprüftes Diagnostiktool (Högberg et al., 2022; Ogborn et al., 2021). Das NordBoard ist 120 cm lang, 65 cm breit und 45 cm hoch. Es hat ein Gesamtgewicht von 25 Kilogramm und hält einer Maximallast von 200 Kilogramm pro Sensor statt. Die Abtastrate beträgt 50-400 Hertz. Durch weichen und strapazierfähigen Schaumstoff sowie ergonomischere Knöchelauflagen gestaltet sich die Durchführung als deutlich komfortabler für die Anwender*innen als noch bei den Prototypen. Die Datenübertragung erfolgt optional via Bluetooth oder USB.

2.4 Statistik

Die erhobenen Daten wurden zunächst in Microsoft Excel sortiert und anschließend mit dem Statistikprogramm R analysiert. Mithilfe deskriptiver Statistik wurden die Maxima, Minima und durchschnittlichen Werte berechnet. Die Ergebnisse wurden als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. Darüber hinaus soll die Angabe von Perzentilen den Trainerteams Hinweise darauf geben, in welchen Disziplinen die Spieler ihre Stärken und Schwächen haben. Zur Überprüfung der Normalverteilung ($p > 0.05$) aller Parameter wurde ein Shapiro-Wilk-Test durchgeführt. Bei Verletzung der Normalverteilungsannahme der Residuen wurden robuste Standardfehler eingesetzt (Mansournia et al., 2021). Zur Feststellung signifikanter Unterschiede zwischen den Stichproben wurde der Kruskal-Wallis-Test angewandt. Um die spezifischen Gruppenunterschiede zu identifizieren, wurde anschließend eine Post-hoc-Analyse mit Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Im Rahmen der Datenanalyse wurde zunächst eine Verteilung der Datenmenge ermittelt. Anschließend wurden die Daten in Form von Histogrammen und Dichtekurven dargestellt und entsprechend inklusive Perzentilen markiert. Dies ermöglicht eine detaillierte Untersuchung der Verteilungseigenschaften. Des Weiteren wurden Korrelationen zwischen den Leistungsvariablen mittels Pearson-Koeffizienten errechnet und lineare Regressionsmodelle aufgestellt, welche eine quantitative Analyse der Beziehungen zwischen den Variablen erlauben. Für die Bewertung des Korrelationskoeffizienten wurden die Grenzwerte 0.1-0.3, 0.3-0.5, 0.5-0.7 bzw. 0.7-0.9 als niedrig, moderat, hoch bzw. sehr hoch angesehen (Hopkins et al., 2009). Die Zusammenführung von Daten aus den Testungen der drei beschriebenen Parameter ermöglicht die Erstellung eines Leistungsindex, der auf Quartilberechnungen basiert.

3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der durchgeführten Studie präsentiert. Dabei werden zunächst die gesammelten Daten zu den jeweiligen Tests, aller drei Teams (U15, U16, U18) dargestellt. Da bei den einzelnen Diagnostiken nicht immer dieselbe Anzahl von Spielern teilnahm, werden für jeden der drei analysierten Parameter die anthropometrischen Daten der durchführenden Probanden explizit in tabellarischer Form angegeben. Somit sollen mögliche Veränderungen in den Testgruppen sichtbar gemacht werden. Im Anschluss werden die Messwerte aller drei Altersklassen einzeln betrachtet. Hierbei sollen Verteilungen, Korrelationen sowie Regressionen graphisch visualisiert werden und somit exaktere Vergleiche zwischen den Stichproben zulassen.

3.1 30-Meter-Sprint

Da bei den einzelnen Testungen meist unterschiedliche Spieleranzahlen anwesend waren, wurden die anthropometrischen Daten der Teilnehmenden gesondert für die Sprinttests betrachtet und in *Tabelle 2* abgebildet.

Tabelle 2: Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer des Sprinttests

	U15 (n = 16)	U16 (n = 17)	U18 (n = 28)
Alter [Jahre]	14.1 ± 0.3 [14.3; 0.4]	15.5 ± 0.2 [15.5; 0.4] ^a	16.6 ± 0.8 [16.5; 1.14] ^{a,b}
Größe [cm]	169 ± 9.1 [172; 13.5]	180 ± 7.4 [179; 11.0] ^a	179 ± 7.4 [180; 11.0] ^a
Gewicht [kg]	56.7 ± 10.6 [58.8; 17.7]	68.0 ± 5.6 [67.0; 8.9] ^a	69.0 ± 7.4 [70.6; 10.9] ^a
BMI [kg·m ⁻²]	19.6 ± 2.0 [19.9; 3.5]	21.1 ± 1.6 [20.5; 2.9] ^a	21.6 ± 1.8 [21.7; 3.0] ^a

^aSignifikanter Unterschied zu U15, p < 0.05.

^bSignifikanter Unterschied zu U16, p < 0.05.

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. BMI, Body-Mass-Index; (n = 16 Spieler der U15; n = 17 Spieler der U16; n = 28 Spieler der U18)

Die 16 getesteten U15-Spieler waren zwischen 13.3 und 14.5 Jahren alt. Ihre Körpergröße reichte von 151 bis 183 cm, während ihr Gewicht zwischen 36.1 und 73.4 kg lag. Der BMI in dieser Altersklasse variierte von minimal 15.7 bis maximal 22.5 kg·m⁻². In der U16 umfasste die Sprintmessung insgesamt 17 Spieler im Alter von 15.1 bis 15.8 Jahren. Sie waren zwischen 163 und 192 cm groß und wogen zwischen 61.6 und 84.4 kg.

Die BMI-Werte bewegten sich dabei von 18.7 bis 23.9 kg·m⁻². In der Altersklasse U18 wurden 28 Spieler getestet, deren Alter zwischen 15.1 und 18.5 Jahren lag. Die Körpergröße dieser Athleten reichte von 163 bis 190 cm während, ihr Gewicht 53.3 bis 84.4 kg betrug. Die erfassten BMI-Werte der Athleten reichten von 18.5 bis 25.0 kg·m⁻². Während sich die U16 in den Parametern *Alter*, *Größe*, *Gewicht* ($p < 0.001$) sowie *BMI* ($p = 0,009$) signifikant von den Werten der U15 unterscheiden, gilt dies im Vergleich des U16-Teams mit dem der U18 nur für das Alter ($p < 0.001$). Zwischen den Altersklassen U15 und U18 war in allen vier Kategorien ein signifikanter Unterschied messbar ($p < 0.001$).

In *Tabelle 3* werden die Durchschnittswerte der einzelnen Sprintzeiten der jeweiligen Teams sichtbar.

Tabelle 3: Sprintzeiten der Studienteilnehmer

	U15 (n = 16)	U16 (n = 18)	U18 (n = 28)
5m (s)	1.02 ± 0.06 [1.04; 0.08]	0.99 ± 0.06 [0.99; 0,09]	0.94 ± 0.05 [0.92; 0.09] ^a
10m (s)	1.78 ± 0.08 [1.78; 0.11]	1.71 ± 0.08 [1.71; 0.09]	1.64 ± 0.06 [1.63; 0.10] ^{a,b}
20m (s)	3.12 ± 0.13 [3.10; 0.20]	2.96 ± 0.13 [2.99; 0.18] ^a	2.87 ± 0.08 [2.84; 0.10] ^a
30m (s)	4.38 ± 0.19 [4.37; 0.25]	4.12 ± 0.19 [4.15; 0.18] ^a	4.09 ± 0.21 [4.07; 0.17] ^a

^aSignifikanter Unterschied zu U15, $p < 0.05$.

^bSignifikanter Unterschied zu U16, $p < 0.05$.

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. 5m, 5-Meter-Sprint; 10m, 10-Meter-Sprint; 20m, 20-Meter-Sprint; 30m, 30-Meter-Sprint; (n = 16 Spieler der U15; n = 18 Spieler der U16; n = 28 Spieler der U18)

Bei der Sprinttestung des U15-Teams nahmen insgesamt 16 Spieler teil. Dabei erreichten die Athleten Sprintzeiten zwischen 0.88-1.11 s auf 5 Meter, 1.57-1.93 s auf 10 Meter, 2.78-3.40 s auf 20 Meter sowie 3.91-4.72 s über die Gesamtdistanz 30 Meter. Die Minima und Maxima der 17 U16-Spielern aufgenommenen Sprintwerte lagen bei 0.85-1.09 s (5m), 1.50-1.82 s (10m), 2.66-3.13 s (20m) und 3.71-4,39 s (30m). Bei dem 28 Athleten umfassenden U18-Team bewegten sich die Leistungen zwischen 0.82-1.03 s (5m), 1.53-1.76 s (10m), 2.74-3.12 s (20m) sowie 3.87-4.42 s (30m). Bezüglich der 5m-Sprintzeiten unterscheidet sich die U18 signifikant von der U15 ($p = 0.001$). Die Zeitunterschiede zwischen U15 und U16 ($p = 0.642$) sowie U16 und U18 ($p = 0.069$) über diese Distanz sind nicht signifikant. Über die 10m-Sprintdistanz zeigen sich zwischen U15 und U16

keine signifikanten Unterschiede ($p = 0.086$), während die Leistungsunterschiede sowohl zwischen U15 und U18 ($p < 0.001$) als auch U16 und U18 ($p = 0.049$) statistisch signifikant sind. Die Ergebnisse nach 20 Metern belegen signifikante Unterschiede zwischen U15 und U16 ($p = 0.034$) sowie U15 und U18 ($p < 0.001$). U16 und U18 unterscheiden sich in diesem Punkt nicht signifikant ($p = 0.061$). Über die Gesamtdistanz (30m) weichen die Sprintzeiten der U15 sowohl von denen der U16 ($p = 0.029$) als auch der U18 ($p < 0.001$) signifikant voneinander ab. Zwischen U16 und U18 ($p = 0.068$) besteht hierbei kein statistischer Unterschied.

Verteilung der 30m-Sprintzeiten

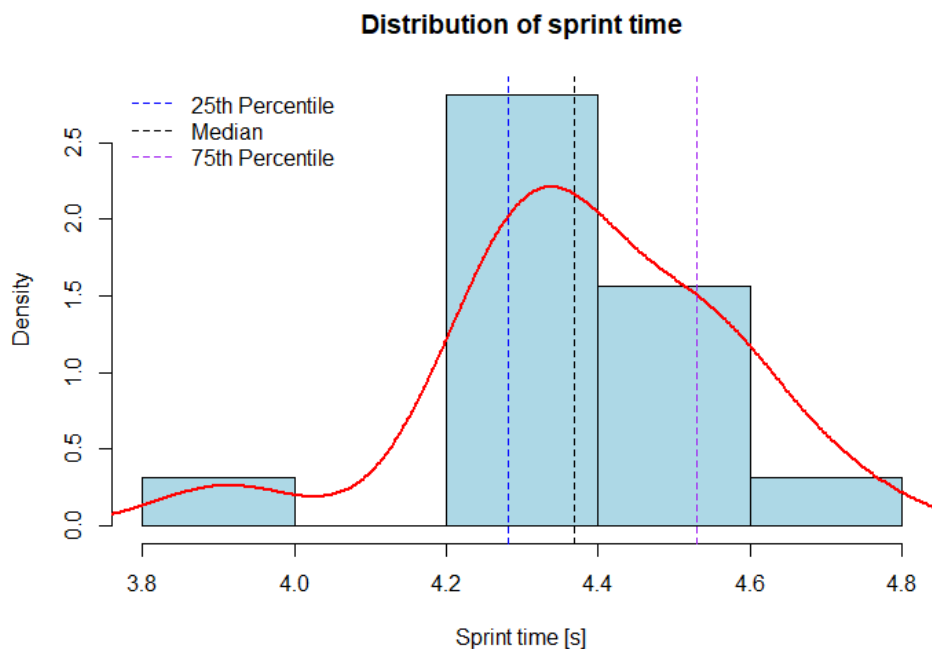


Abbildung 4: Verteilung der 30-Meter-Sprintzeiten der U15

Abbildung 4 veranschaulicht die Verteilung der 30-Meter-Sprintwerte in der Altersklasse U15. Auf der x-Achse werden die entsprechenden Sprintzeiten abgebildet, während die Werte auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte wiedergeben. Die blau strichlierte Linie markiert das 25. Perzentil (4.28 s), die schwarz strichlierte Linie den Median (4.37 s) und die violett strichlierte das 75. Perzentil (4.53 s). Die als rote Linie abgebildete Dichtekurve dient zusätzlich zur Visualisierung sowie Interpretation der Datenverteilung.

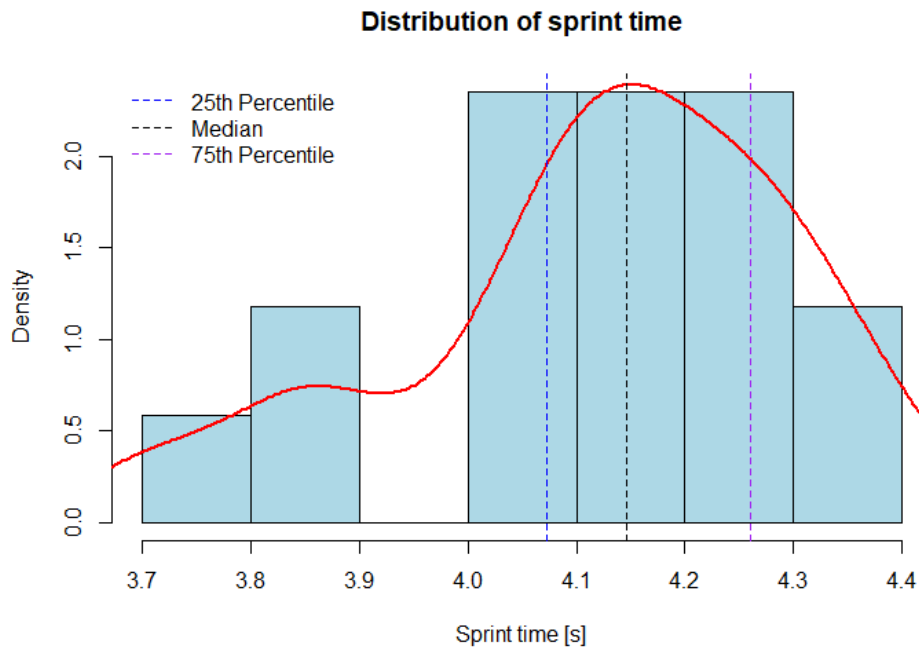


Abbildung 5: Verteilung der 30-Meter-Sprintzeiten der U16

Abbildung 5 zeigt die Verteilung der 30-Meter-Sprintzeiten für die Altersklasse U16. Auf der x-Achse werden die entsprechenden Sprintzeiten abgebildet, während die Werte auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte wiedergeben. Die blau strichlierte Linie markiert das 25. Perzentil (4.07 s), die schwarz strichlierte Linie den Median (4.15 s) und die violett strichlierte das 75. Perzentil (4.19 s). Die als rote Linie abgebildete Dichtekurve dient zusätzlich zur Visualisierung sowie Interpretation der Datenverteilung.

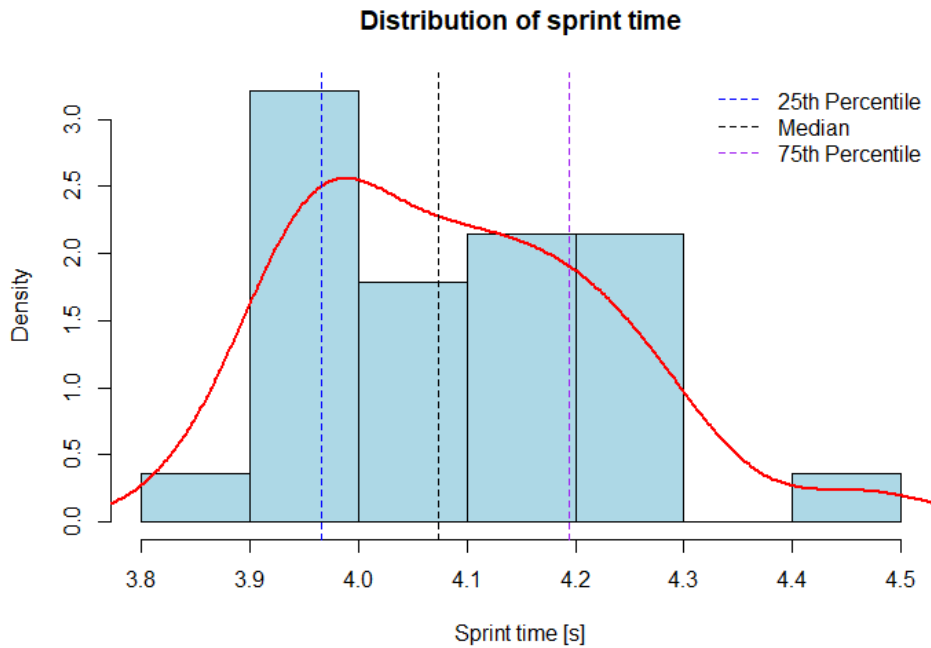


Abbildung 6: Verteilung der 30-Meter-Sprintzeiten der U18

Abbildung 6 veranschaulicht die Verteilung der 30-Meter-Sprintwerte in der Altersklasse U18. Auf der x-Achse werden die entsprechenden Sprintzeiten abgebildet, während die Werte auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte wiedergeben. Die blau strichlierte Linie markiert das 25. Perzentil (3.97 s), die schwarz strichlierte Linie den Median (4.07 s) und die violett strichlierte das 75. Perzentil (4.19 s). Die als rote Linie abgebildete Dichtekurve dient zusätzlich zur Visualisierung sowie Interpretation der Datenverteilung.

3.2 Countermovement Jump (CMJ)

Wie bereits bei den Sprinttestungen wurden auch für die Vertikalsprungmessungen die anthropometrischen Daten der teilnehmenden Spieler gesondert in *Tabelle 4* dargestellt. Somit soll sichergestellt werden, dass etwaige Veränderungen der Stichproben dokumentiert werden.

Tabelle 4: Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer des CMJ-Tests

	U15 (n = 21)	U16 (n = 24)	U18 (n = 31)
Alter [Jahre]	14.1 ± 0.3 [14.3; 0.4]	15.6 ± 0.3 [15.6; 0.4] ^a	16.6 ± 0.8 [16.5; 1.2] ^{a,b}
Größe [cm]	169 ± 8.7 [170; 11.5]	179 ± 6.9 [179; 10.0] ^a	178 ± 7.2 [179; 10.0] ^a
Gewicht [kg]	56.4 ± 10.1 [55.7; 14.9]	68.4 ± 5.3 [67.3; 7.9] ^a	68.8 ± 7.3 [70.4; 11.1] ^a
BMI [kg·m ⁻²]	19.6 ± 2.0 [19.9; 3.2]	21.3 ± 1.6 [21.0; 2.9] ^a	21.6 ± 1.8 [21.7; 3.1] ^a

^aSignifikanter Unterschied zu U15, p < 0.05.

^bSignifikanter Unterschied zu U16, p < 0.05.

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. BMI, Body-Mass-Index; (n = 21 Spieler der U15; n = 24 Spieler der U16; n = 31 Spieler der U18)

An der CMJ-Testung nahmen insgesamt 21 U15-Spieler im Alter zwischen 13.3 und 14.5 Jahren teil. Ihre Körpergröße betrug 163 bis 192 cm und ihr Gewicht bewegte sich zwischen 36.1 und 73.4 kg. Der BMI der Athleten reichte vom Minimalwert 15.7 bis zum Maximalwert von 23.9 kg·m⁻². Die U16-Mannschaft stellte 24 Spieler, welche zwischen 15.1 und 16.2 Jahren alt waren. Sie waren zwischen 163 und 192 cm groß und wogen zwischen 61.6 und 84.4 kg. Der niedrigste BMI-Wert dieser Testgruppe lag bei 18.8 kg·m⁻² gegenüber dem höchsten Wert, der bei 23.9 kg·m⁻² lag. In der Altersklasse U18 wurden 31 Spieler getestet, welche sich in einer Altersspanne von 15.1 bis 18.5 Jahren bewegen. Ihre Körpergröße reichte von 163 bis zu maximal 190 cm mit einem Körpergewicht von 53.3 bis 84.4 kg. Ihre BMI-Werte lagen zwischen 18.5 und 25 kg·m⁻². Während sich die U16 in den Parametern *Alter*, *Größe*, *Gewicht* (p < 0.001) sowie *BMI* (p = 0,006) signifikant von den Werten der U15 unterscheiden, gilt dies im Vergleich des U16-Teams mit dem der U18 nur für das Alter (p < 0.001). Zwischen den Altersklassen U15 und U18 war in allen vier Kategorien ein signifikanter Unterschied messbar (p < 0.001).

Tabelle 5: Countermovement Jump-Werte der Studienteilnehmer

	U15 (n = 21)	U16 (n = 24)	U18 (n = 31)
CMJ [cm]	36.7 ± 5.0 [36.7; 6.5]	38.9 ± 5.0 [37.1; 5.5]	41.8 ± 4.6 [40.7; 6.7] ^{a,b}

^aSignifikanter Unterschied zu U15, p < 0.05.

^bSignifikanter Unterschied zu U16, p < 0.05.

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. CMJ, Countermovement Jump; (n = 21 Spieler der U15; n = 24 Spieler der U16; n = 31 Spieler der U18)

Tabelle 5 zeigt die durchschnittlichen Sprunghöhen der drei getesteten Akademierteams. Die Sprungleistungen der U15-Spieler reichten von 28.7 cm als Minimum bis zu einem Maximalwert von 46.4 cm. Im U16-Team wiederum wurden Höhen zwischen 31.6 und 51 cm erzielt. In der höchsten Altersklasse U18 lagen die gemessenen Werte zwischen mindestens 33.4 und maximal 49.2 cm. Signifikante Unterschiede der Sprunghöhe bestehen zwischen U15 und U18 ($p = 0.008$) sowie U16 und U18 ($p = 0.008$). Im Vergleich der U15 und U16 sind keine statistischen Unterschiede erkennbar ($p = 1.000$).

Verteilung der CMJ-Werte

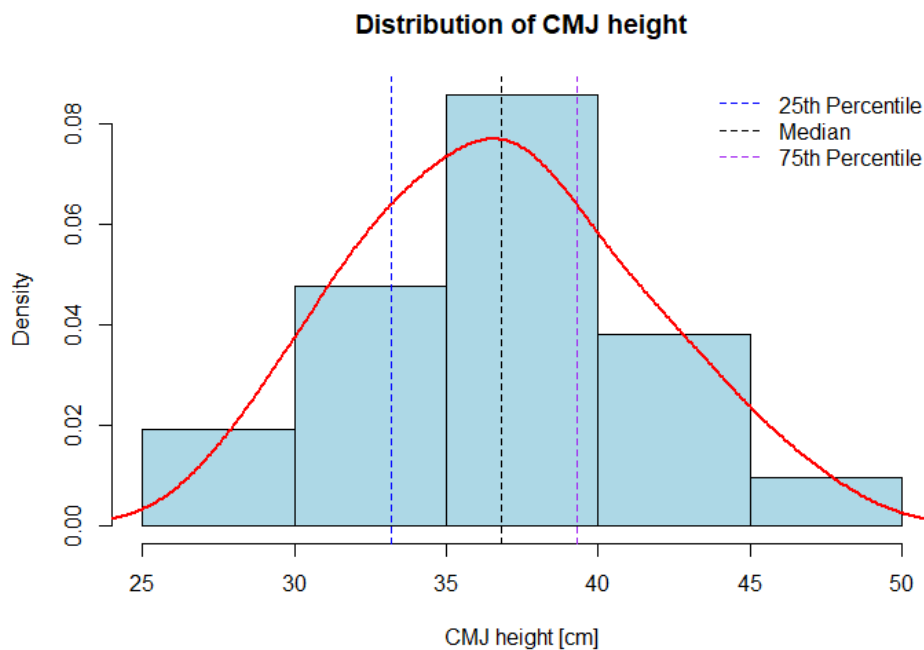


Abbildung 7: Verteilung der Countermovement Jump-Werte der U15

Abbildung 7 veranschaulicht die Verteilung der Countermovement Jump-Werte in der Altersklasse U15. Auf der x-Achse werden die entsprechenden Sprunghöhen abgebildet, während die Werte auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte wiedergeben. Die blau strichlierte Linie markiert das 25. Perzentil (33.2 cm), die schwarz strichlierte Linie den Median (36.8 cm) und die violett strichlierte das 75. Perzentil (39.3 cm). Die als rote Linie abgebildete Dichtekurve dient zusätzlich zur Visualisierung sowie Interpretation der Datenverteilung.

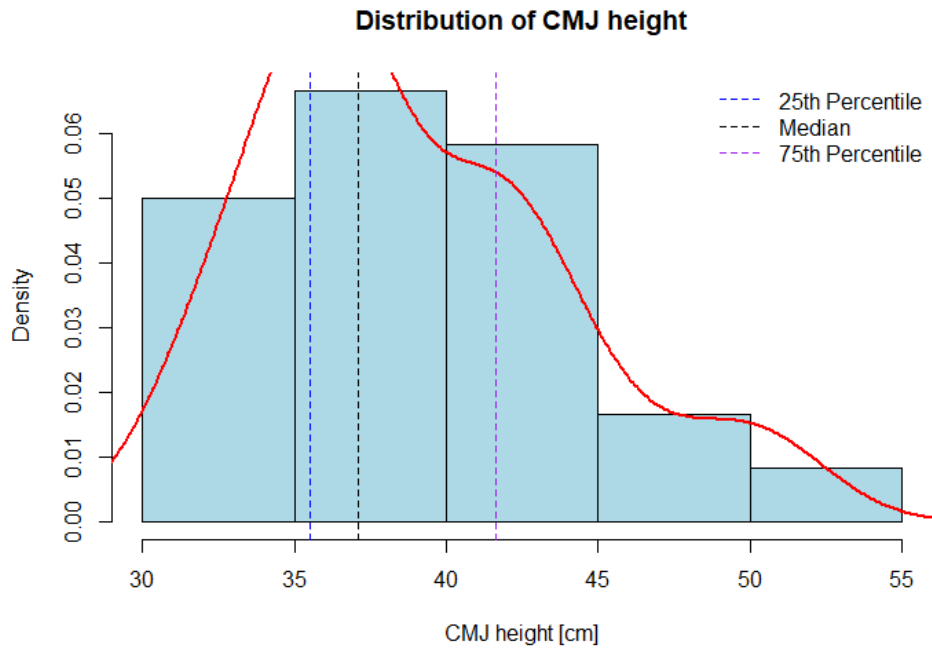


Abbildung 8: Verteilung der Countermovement Jump-Werte der U16

Abbildung 8 zeigt die Verteilung der Countermovement Jump-Werte in der Altersklasse U16. Auf der x-Achse werden die entsprechenden Sprunghöhen abgebildet, während die Werte auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte wiedergeben. Die blau strichlierte Linie markiert das 25. Perzentil (35.5 cm), die schwarz strichlierte Linie den Median (37.1 cm) und die violett strichlierte das 75. Perzentil (41.6 cm). Die als rote Linie abgebildete Dichtekurve dient zusätzlich zur Visualisierung sowie Interpretation der Datenverteilung.

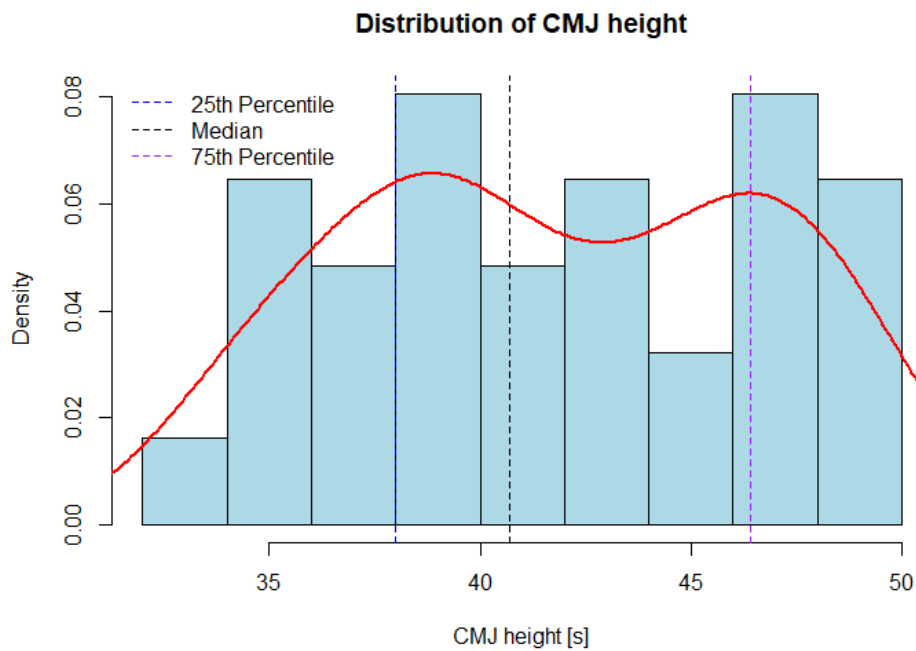


Abbildung 9: Verteilung der Countermovement Jump-Werte der U18

Abbildung 9 veranschaulicht die Verteilung der Countermovement Jump-Werte in der Altersklasse U18. Auf der x-Achse werden die entsprechenden Sprunghöhen abgebildet, während die Werte auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte wiedergeben. Die blau strichlierte Linie markiert das 25. Perzentil (38 cm), die schwarz strichlierte Linie den Median (40.7 cm) und die violett strichlierte das 75. Perzentil (46.4 cm). Die als rote Linie abgebildete Dichtekurve dient zusätzlich zur Visualisierung sowie Interpretation der Datenverteilung.

3.3 Nordic Hamstring Exercise (NHE)

Wie schon bei den zuvor erläuterten Testformen wurde bei dieser Kraftdiagnostik eine erneute Betrachtung der teilnehmenden Athleten vorgenommen. Die anthropometrischen Daten werden in *Tabelle 6* abgebildet.

Tabelle 6: Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer des NHE-Tests

	U15 (n = 21)	U16 (n = 21)	U18 (n = 33)
Alter [Jahre]	14.1 ± 0.3 [14.3; 0.4]	15.6 ± 0.2 [15.7; 0.4] ^a	16.6 ± 0.8 [16.5; 1.2] ^{a,b}
Größe [cm]	169 ± 8.7 [170; 11.5]	181 ± 6.9 [182; 8.5] ^a	179 ± 7.3 [179; 11.1] ^a
Gewicht [kg]	56.4 ± 10.1 [55.7; 14.9]	68.5 ± 5.9 [66.9; 9.6] ^a	69.3 ± 7.7 [70.6; 11.6] ^a
BMI [kg·m ⁻²]	19.6 ± 2.0 [19.9; 3.2]	20.9 ± 1.5 [20.7; 2.0] ^a	21.7 ± 1.8 [21.7; 3.1] ^a

^aSignifikanter Unterschied zu U15, p < 0.05.

^bSignifikanter Unterschied zu U16, p < 0.05.

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. BMI, Body-Mass-Index; (n = 21 Spieler der U15; n = 21 Spieler der U16; n = 33 Spieler der U18)

Die 21 getesteten Spieler der U15 waren zwischen 13.3 und 14.5 Jahren alt. Sie waren zwischen 151 und 183 cm groß, mit einem Körpergewicht von 36.1 bis 73.4 kg. Der BMI in dieser Altersklasse bewegte sich zwischen 15.7 und 22.5 kg·m⁻². Die 21 Teilnehmenden der U16 waren zwischen 15.1 und 15.8 Jahren alt. Ihre Körpergröße variierte zwischen 163 und 192 cm, während sie über ein Gewicht zwischen 61.9 und 84.4 kg verfügten. Ihr BMI bewegte sich zwischen 18.8 und 23.9 kg·m⁻². In der U18 wurden 33 Spieler im Alter zwischen 15.1 und 18.5 Jahren getestet. Sie waren zwischen 163 und 190 cm groß und wogen zwischen 53.3 und 84.4 kg. Die BMI-Werte dieser Altersklasse lagen zwischen 18.5 und 25 kg·m⁻². Während sich die U16 in den Parametern *Alter*, *Größe*, *Gewicht* (p < 0.001) sowie *BMI* (p = 0,011) signifikant von den Werten der U15 unterscheiden, gilt dies im Vergleich des U16-Teams mit dem der U18 nur für das Alter (p < 0.001). Zwischen den Altersklassen U15 und U18 war in allen vier Kategorien ein signifikanter Unterschied messbar (p < 0.001).

Tabelle 7: Nordic Hamstring Exercise-Werte der Studienteilnehmer

	U15 (N = 21)	U16 (N = 21)	U18 (N = 33)
NHE [N]	330 ± 57 [354; 76]	354 ± 44 [352; 53]	404 ± 52 [415; 81] ^{a,b}

^aSignifikanter Unterschied zu U15, p < 0.05.

^bSignifikanter Unterschied zu U16, p < 0.05.

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung [Median; Interquartilsabstand] dargestellt. NHE, Nordic Hamstring Exercise; (n = 21 Spieler der U15; n = 21 Spieler der U16; n = 33 Spieler der U18)

Tabelle 7 zeigt die durchschnittlichen NHE-Werte der drei getesteten Akademierteams. Die erzielten Kraftwerte der U15-Spieler reichten von 179 N als Minimum bis zu einem Maximalwert von 452 N. Im U16-Team wiederum wurden Leistungen zwischen 262 und 423 N erzielt. In der höchsten Altersklasse U18 lagen die gemessenen Werte zwischen mindestens 309 und maximal 465 N. Signifikante Unterschiede der NHE-Leistung bestehen zwischen U15 und U18 ($p = 0.001$) sowie U16 und U18 ($p < 0.001$). Im Vergleich der U15 und U16 sind keine statistischen Unterschiede erkennbar ($p = 1.000$).

Verteilung der NHE-Werte

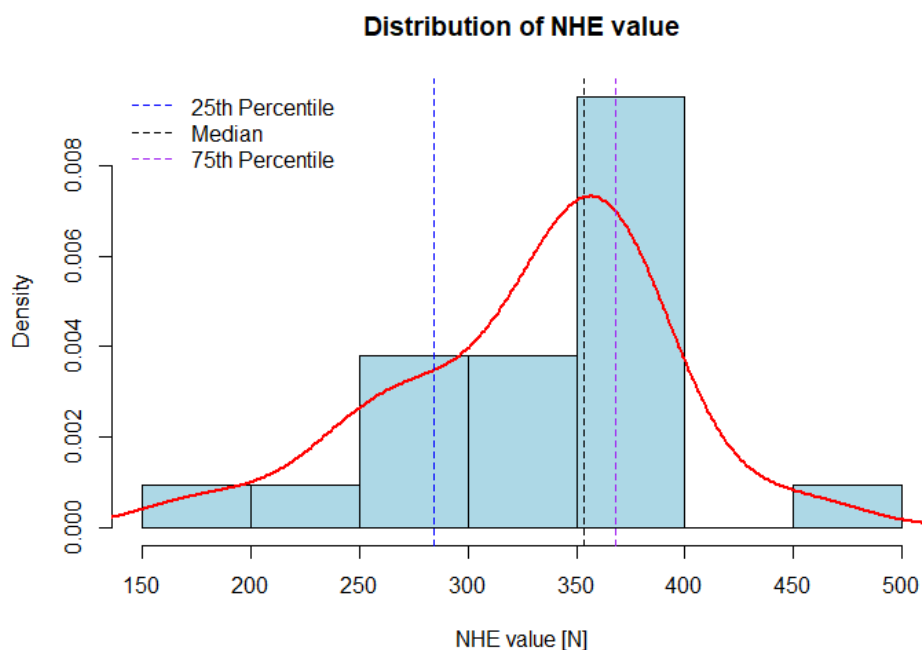


Abbildung 10: Verteilung der Nordic Hamstring Exercise-Werte der U15

Abbildung 10 veranschaulicht die Verteilung der Nordic Hamstring Exercise-Werte in der Altersklasse U15. Auf der x-Achse werden die entsprechenden Kraftwerte abgebildet, während die Werte auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte wiedergeben. Die blau strichlierte Linie markiert das 25. Perzentil (284 N), die schwarz strichlierte Linie den Median (354 N) und die violett strichlierte das 75. Perzentil (368 N). Die als rote Linie abgebildete Dichtekurve dient zusätzlich zur Visualisierung sowie Interpretation der Datenverteilung.

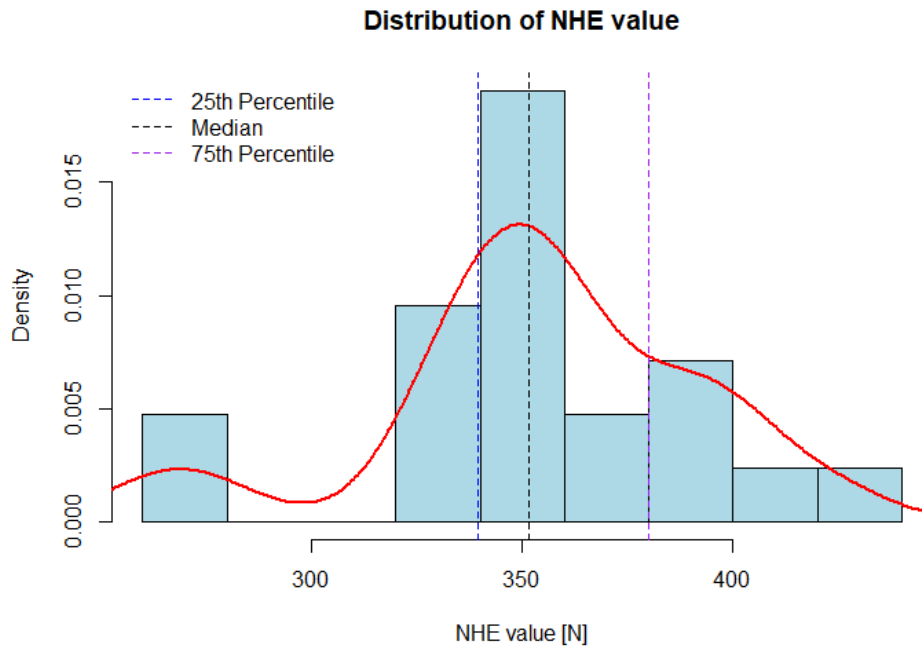


Abbildung 11: Verteilung der Nordic Hamstring Exercise-Werte der U16

Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Nordic Hamstring Exercise-Werte in der Altersklasse U16. Auf der x-Achse werden die entsprechenden Kraftwerte abgebildet, während die Werte auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte wiedergeben. Die blau strichlierte Linie markiert das 25. Perzentil (340 N), die schwarz strichlierte Linie den Median (352 N) und die violett strichlierte das 75. Perzentil (380 N). Die als rote Linie abgebildete Dichtekurve dient zusätzlich zur Visualisierung sowie Interpretation der Datenverteilung.

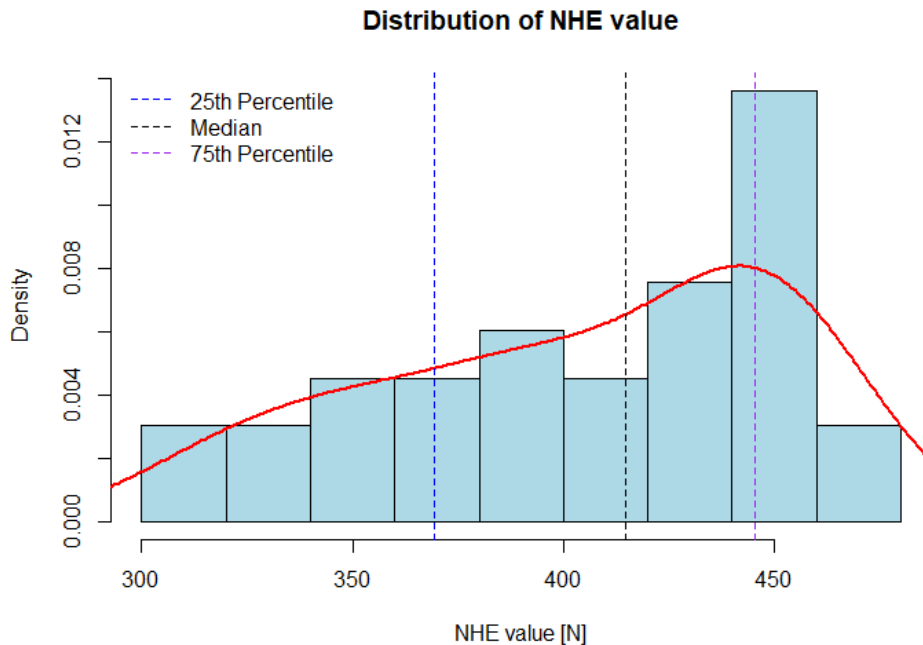


Abbildung 12: Verteilung der Nordic Hamstring Exercise-Werte der U18

Abbildung 12 zeigt die Verteilung der Nordic Hamstring Exercise-Werte in der Altersklasse U18. Auf der x-Achse werden die entsprechenden Kraftwerte abgebildet, während die Werte auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte wiedergeben. Die blau strichlierte Linie markiert das 25. Perzentil (369 N), die schwarz strichlierte Linie den Median (415 N) und die violett strichlierte das 75. Perzentil (445 N). Die als rote Linie abgebildete Dichtekurve dient zusätzlich zur Visualisierung sowie Interpretation der Datenverteilung.

3.4 Leistungsindex

Unter Absprache mit der sportwissenschaftlichen Leitung des Vereins wurde mit Hilfe der drei gemessenen Parameter (30m-Sprint, CMJ, NHE) ein Leistungsindex für die drei Akademierteams erstellt. Dabei werden die einzelnen Spieler je nach Leistung in der jeweiligen Kategorie mit einem, zwei, drei oder vier Punkten bewertet. Als Bewertungsgrundlage dienen die Quartile, in denen sich die Athleten, bezogen auf ihre erreichten Werte, befinden. Die langsamsten 25% der Sprinttestung erhalten einen Punkt. Die Spieler, die zwischen dem ersten Quartil und dem Median liegen, zwei Punkte bzw. drei Punkte, wenn sie zwischen Median und drittem Quartil liegen. Die schnellsten 25% erhalten 4 Punkte und somit das Maximum des jeweiligen Tests. Insgesamt liegen die Scores somit bei mindestens 3 (3×1 Punkt) und maximal 12 (3×4 Punkte).

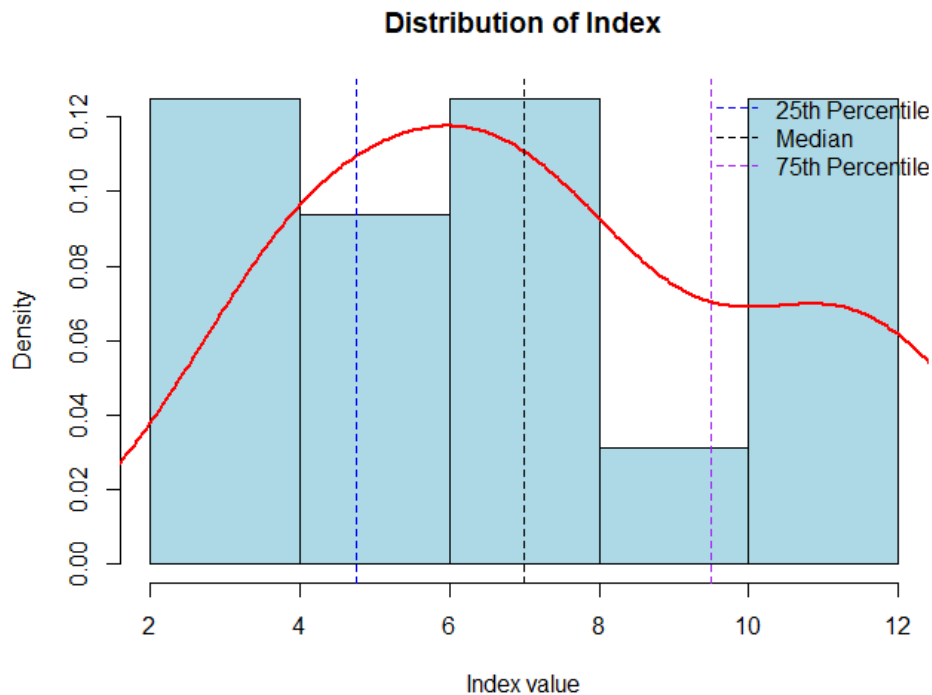


Abbildung 13: Verteilung der Index-Werte der U15

Abbildung 13 veranschaulicht die Verteilung der Indexwerte in der Altersklasse U15. Auf der x-Achse werden die erreichten Punktzahlen abgebildet, während die Werte auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte wiedergeben. Die blau strichlierte Linie markiert das 25. Perzentil (4.75 Punkte), die schwarz strichlierte Linie den Median (7 Punkte) und die violett strichlierte das 75. Perzentil (9.5 Punkte). Der niedrigste erreichte Wert liegt bei 3 Punkten, der höchste bei 12 Punkten. Die als rote Linie abgebildete Dichtekurve dient zusätzlich zur Visualisierung sowie Interpretation der Datenverteilung.

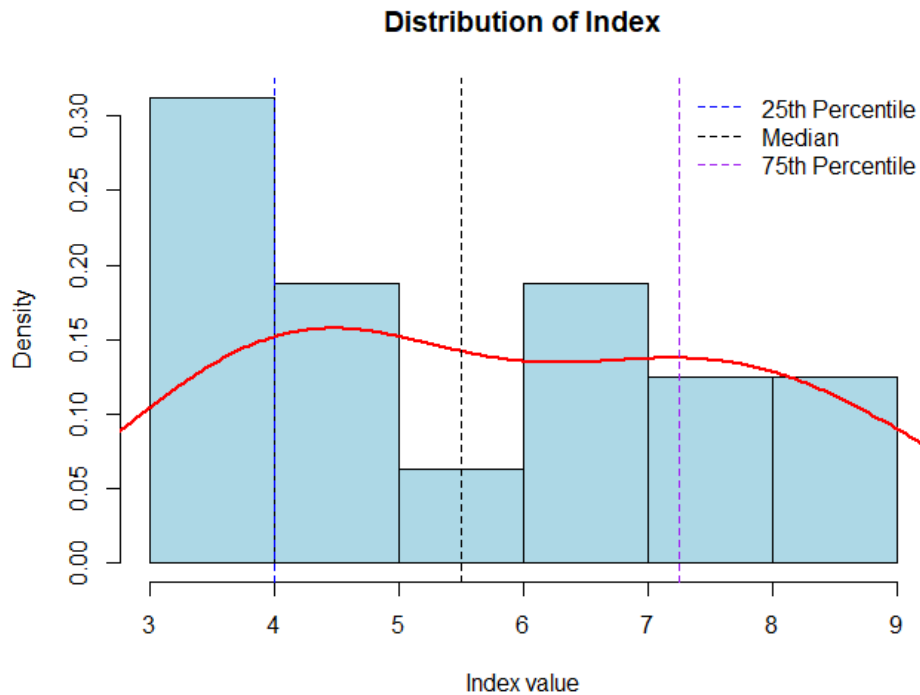


Abbildung 14: Verteilung der Index-Werte der U16

Abbildung 14 zeigt die Verteilung der Index-Werte in der Altersklasse U16. Auf der x-Achse werden die erreichten Punktzahlen abgebildet, während die Werte auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte wiedergeben. Die blau strichlierte Linie markiert das 25. Perzentil (4 Punkte), die schwarz strichlierte Linie den Median (5.5 Punkte) und die violett strichlierte das 75. Perzentil (7.25 Punkte). Der niedrigste erreichte Wert liegt bei 3 Punkten, der höchste bei 10 Punkten. Die als rote Linie abgebildete Dichtekurve dient zusätzlich zur Visualisierung sowie Interpretation der Datenverteilung.

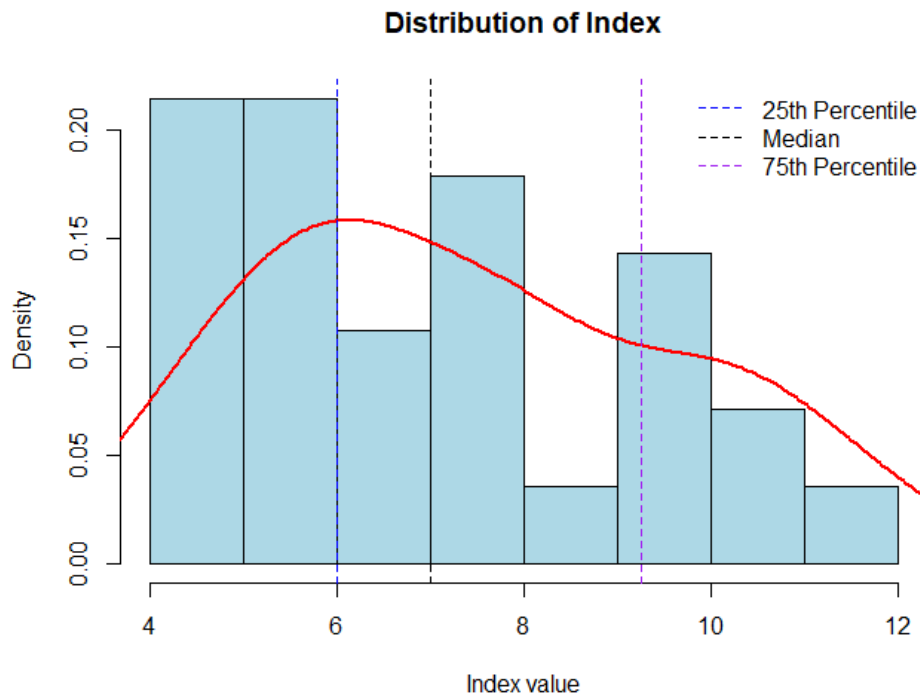


Abbildung 15: Verteilung der Index-Werte der U18

Abbildung 15 veranschaulicht die Verteilung der Indexwerte in der Altersklasse U18. Auf der x-Achse werden die erreichten Punktzahlen abgebildet, während die Werte auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte wiedergeben. Die blau strichlierte Linie markiert das 25. Perzentil (6 Punkte), die schwarz strichlierte Linie den Median (7 Punkte) und die violett strichlierte das 75. Perzentil (9.25 Punkte). Der niedrigste erreichte Wert liegt bei 3 Punkten, der höchste bei 12 Punkten. Die als rote Linie abgebildete Dichtekurve dient zusätzlich zur Visualisierung sowie Interpretation der Datenverteilung.

3.5 Korrelationen und Regressionen

In diesem Kapitel wird für jede Altersklasse eine Korrelationstabelle abgebildet, die mögliche Zusammenhänge zwischen den einzelnen Testparametern veranschaulichen soll. Darüber hinaus zeigen die dazugehörigen Regressionsgrafiken Richtung sowie Stärke der jeweiligen Zusammenhänge an. In die Korrelations- sowie die Regressionsanalyse werden ausschließlich Athleten eingeschlossen, die alle drei Testungen absolviert haben (U15 n = 16; U16 n = 16; U18 n = 28).

Tabelle 8: Korrelationen der gemessenen Parameter in der U15

	30m-Sprint [s]	CMJ [cm]	NHE [N]
30m-Sprint [s]	1.000 [n.a.]	- 0.645 [0.007]	- 0.561 [0.024]
CMJ [cm]	- 0.645 [0.007]	1.000 [n.a.]	0.528 [0.035]
NHE [N]	- 0.561 [0.024]	0.528 [0.035]	1.000 [n.a.]

Daten werden als Korrelationskoeffizienten [Signifikanzwert] dargestellt. 30m-Sprint, 30-Meter-Sprint; CMJ, Countermovement Jump; NHE, Nordic Hamstring Exercise

Tabelle 8 veranschaulicht die Zusammenhänge der Sprint-, CMJ-, sowie NHE- Werte in der Altersklasse U15. Dabei zeigt sich eine signifikant negative Korrelation zwischen der Sprintzeit und der Sprunghöhe beim CMJ ($n = 16$; $r = - 0.645$; $p = 0.007$). Eine signifikant negative Korrelation besteht ebenso zwischen der Sprintzeit und dem NHE-Wert ($n = 16$; $r = - 0.561$; $p = 0.024$). Die Parameter *Sprunghöhe* und *NHE-Wert* zeigen wiederum eine signifikant positive Korrelation ($n = 16$; $r = 0.528$; $p = 0.035$).

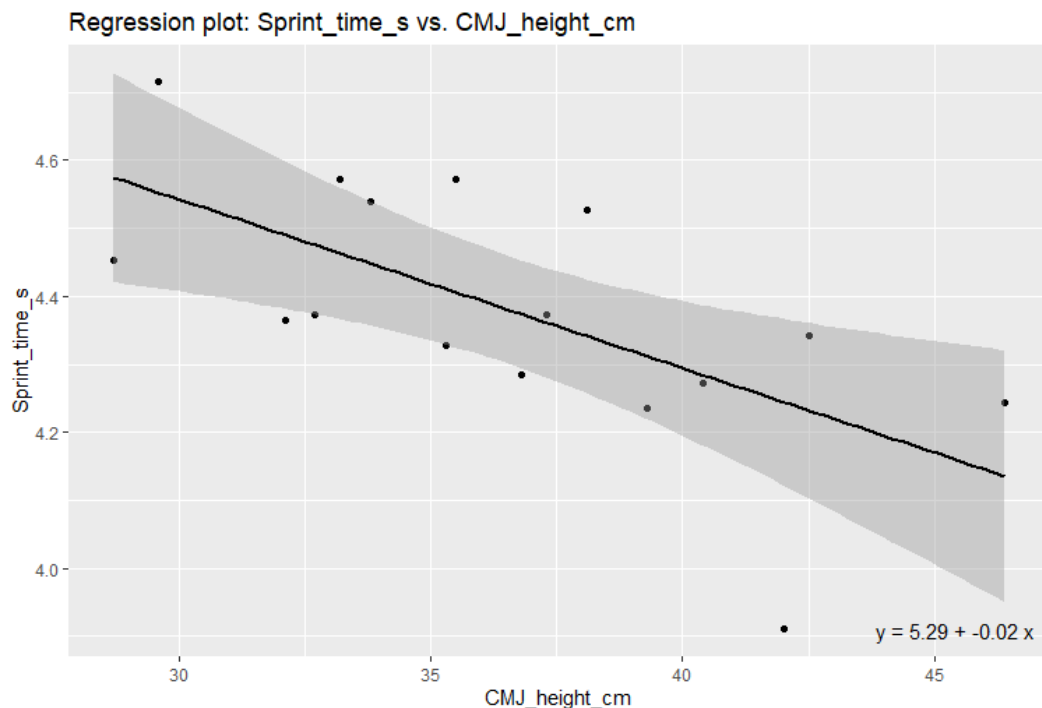


Abbildung 16: Regression zwischen Sprintzeit (s) und Sprunghöhe (cm) der U15

In der Regression (Abbildung 16) wird der negative Zusammenhang zwischen Sprintzeit und Sprunghöhe sichtbar. Die negative Steigung ($b = - 0.025$) deutet darauf hin, dass sich

mit jeder Zunahme der Sprunghöhe um einen Centimeter die Sprintzeit im Durchschnitt um 0.025 Sekunden verringert ($p = 0.007$) (Wolf & Best, 2010).

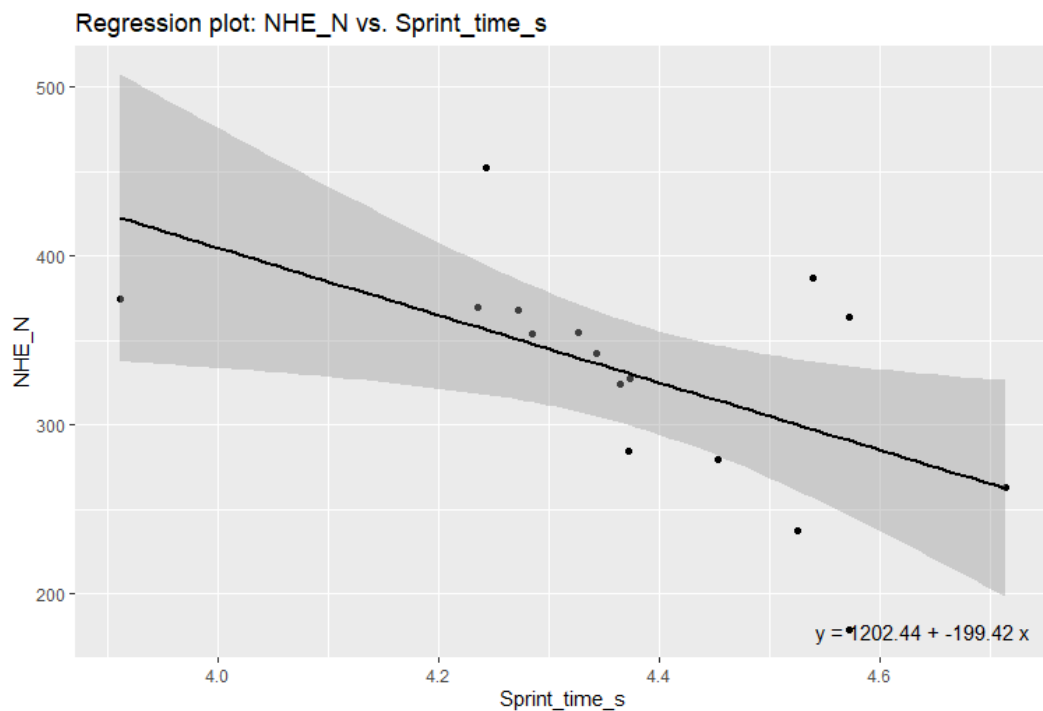


Abbildung 17: Regression zwischen NHE-Wert (N) und Sprintzeit (s) der U15

In der Regression (Abbildung 17) wird der negative Zusammenhang zwischen dem NHE-Wert und der Sprintzeit sichtbar. Die negative Steigung ($b = -199.42$) deutet darauf hin, dass sich mit jeder Zunahme der Sprintzeit um eine Sekunde der NHE-Wert um etwa 199 Newton abnimmt ($p = 0.024$) (Wolf & Best, 2010).

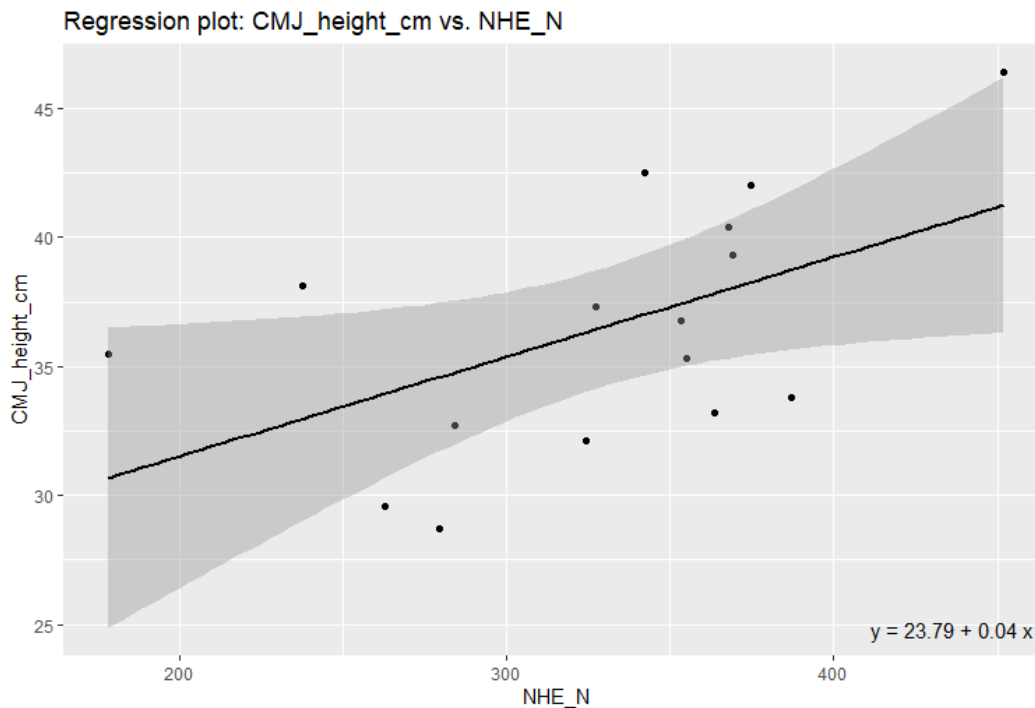


Abbildung 18: Regression zwischen Sprunghöhe (cm) und NHE-Wert (N) der U15

In der Regression (Abbildung 18) wird der positive Zusammenhang zwischen Sprunghöhe und dem NHE-Wert sichtbar. Die Steigung ($b = 0.039$) deutet darauf hin, dass sich mit jeder Zunahme des NHE-Werts um einen Newton die Sprunghöhe im Durchschnitt um 0.039 Centimeter erhöht ($p = 0.035$) (Wolf & Best, 2010).

Tabelle 9: Korrelationen der gemessenen Parameter in der U16

	30m-Sprint [s]	CMJ [cm]	NHE [N]
30m-Sprint [s]	1.000 [n.a.]	- 0.635 [0.006]	- 0.316 [0.223]
CMJ [cm]	- 0.635 [0.006]	1.000 [n.a.]	0.294 [0.269]
NHE [N]	- 0.316 [0.233]	0.294 [0.269]	1.000 [n.a.]

Daten werden als Korrelationskoeffizienten [Signifikanzwert] dargestellt. 30m-Sprint, 30-Meter-Sprint; CMJ, Countermovement Jump; NHE, Nordic Hamstring Exercise

Tabelle 9 veranschaulicht die Zusammenhänge der Sprint-, CMJ-, sowie NHE-Werte in der Altersklasse U16. Dabei zeigt sich eine signifikant negative Korrelation zwischen der Sprintzeit und der Sprunghöhe beim CMJ ($n = 16$; $r = - 0.635$; $p = 0.006$). Zwischen den Parametern Sprintzeit und NHE-Wert ($n = 16$; $r = - 0.316$; $p = 0.223$) sowie Sprunghöhe und NHE-Wert ($n = 16$; $r = 0.294$; $p = 0.269$) besteht hingegen weder ein negativ signifikanter noch ein positiv signifikanter Zusammenhang.

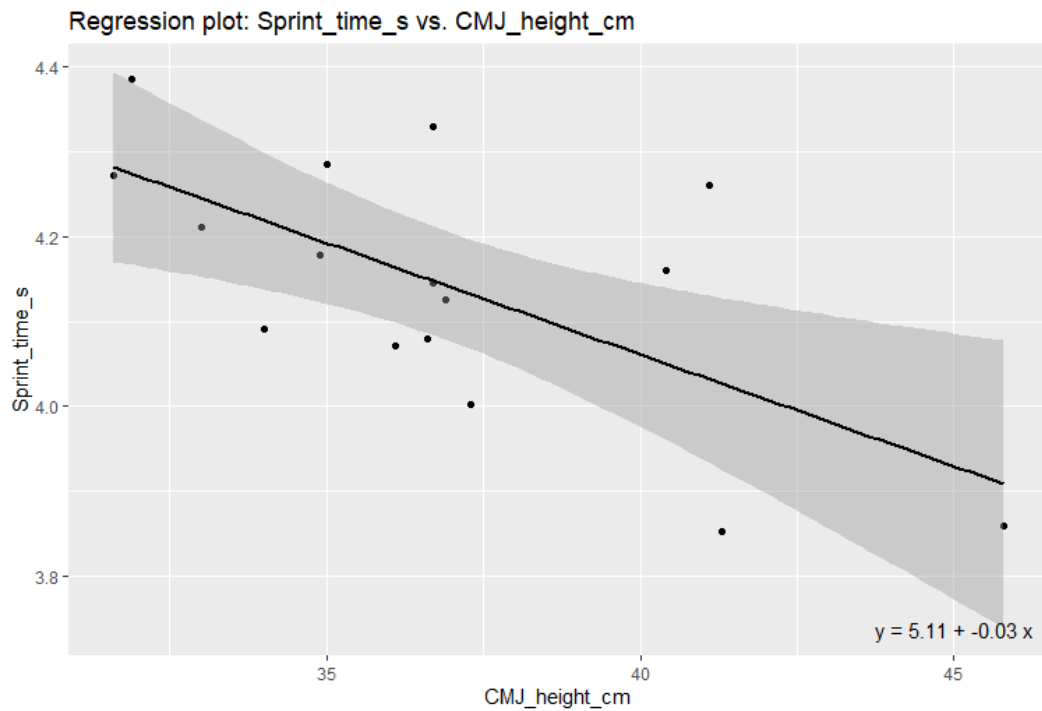


Abbildung 19: Regression zwischen Sprintzeit (s) und Sprunghöhe (cm) der U16

In der Regression (Abbildung 19) wird der negative Zusammenhang zwischen Sprintzeit und Sprunghöhe sichtbar. Die negative Steigung ($b = -0.026$) deutet darauf hin, dass sich mit jeder Zunahme der Sprunghöhe um einen Centimeter die Sprintzeit im Durchschnitt um 0.026 Sekunden verringert ($p = 0.006$) (Wolf & Best, 2010).

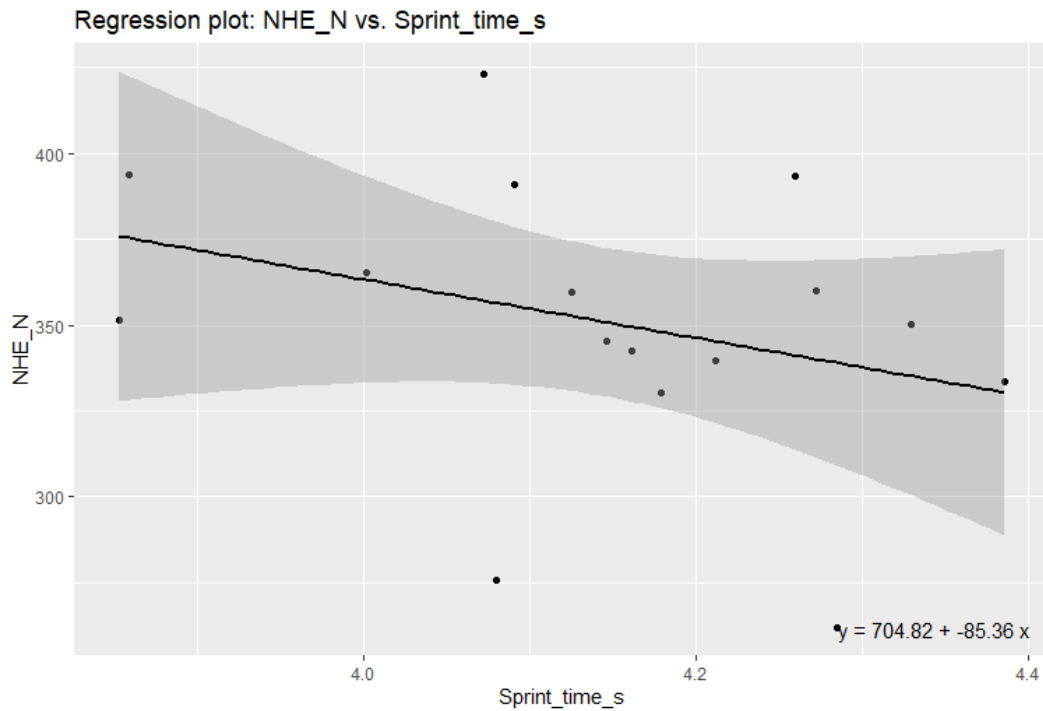


Abbildung 20: Regression zwischen NHE-Wert (N) und Sprintzeit (s) der U16

In der Regression (Abbildung 20) lässt sich zwar ein negativer Zusammenhang zwischen dem NHE-Wert und der Sprintzeit vermuten, jedoch lässt er sich nicht signifikant nachweisen ($n = 16$; $p = 0.233$). Die Regressionsgerade und das Konfidenzintervall dienen aufgrund der fehlenden Signifikanz lediglich als Illustration.

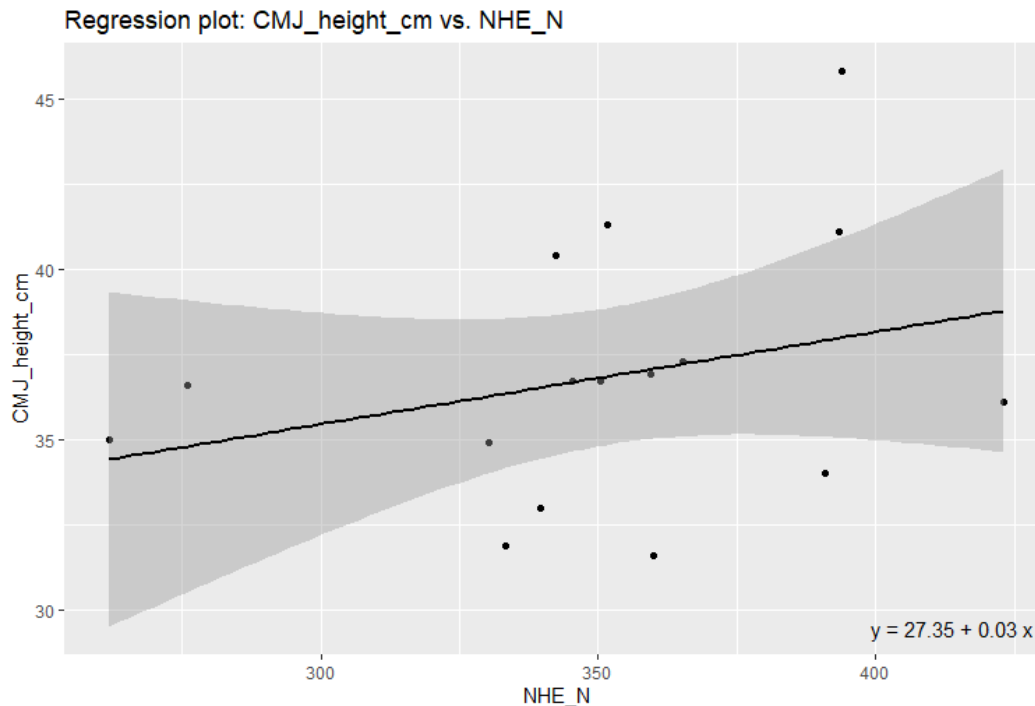


Abbildung 21: Regression zwischen Sprunghöhe (s) und NHE-Wert (N) der U16

In der Regression (Abbildung 21) lässt sich zwar ein positiver Zusammenhang zwischen der Sprunghöhe (cm) und dem NHE-Wert vermuten, jedoch lässt er sich nicht signifikant nachweisen ($n = 16$; $p = 0.269$). Die Regressionsgerade und das Konfidenzintervall dienen aufgrund der fehlenden Signifikanz lediglich als Illustration.

Tabelle 10: Korrelationen der gemessenen Parameter in der U18

	30m-Sprint [s]	CMJ [cm]	NHE [N]
30m-Sprint [s]	1.000 [n.a.]	- 0.478 [0.010]	- 0.156 [0.427]
CMJ [cm]	- 0.478 [0.010]	1.000 [n.a.]	0.300 [0.120]
NHE [N]	- 0.156 [0.427]	0.300 [0.120]	1.000 [n.a.]

Daten werden als Korrelationskoeffizienten [Signifikanzwert] dargestellt. 30m-Sprint, 30-Meter-Sprint; CMJ, Countermovement Jump; NHE, Nordic Hamstring Exercise

Tabelle 10 veranschaulicht die Zusammenhänge der Sprint-, CMJ-, sowie NHE-Werte in der Altersklasse U18. Dabei zeigt sich eine signifikant negative Korrelation zwischen der Sprintzeit und der Sprunghöhe beim CMJ ($n = 28$; $r = - 0.478$; $p = 0.010$). Zwischen den Parametern Sprintzeit und NHE-Wert ($n = 28$; $r = - 0.156$; $p = 0.427$) sowie Sprunghöhe und NHE-Wert ($n = 28$; $r = 0.300$; $p = 0.120$) besteht hingegen weder ein negativ signifikanter noch ein positiv signifikanter Zusammenhang.

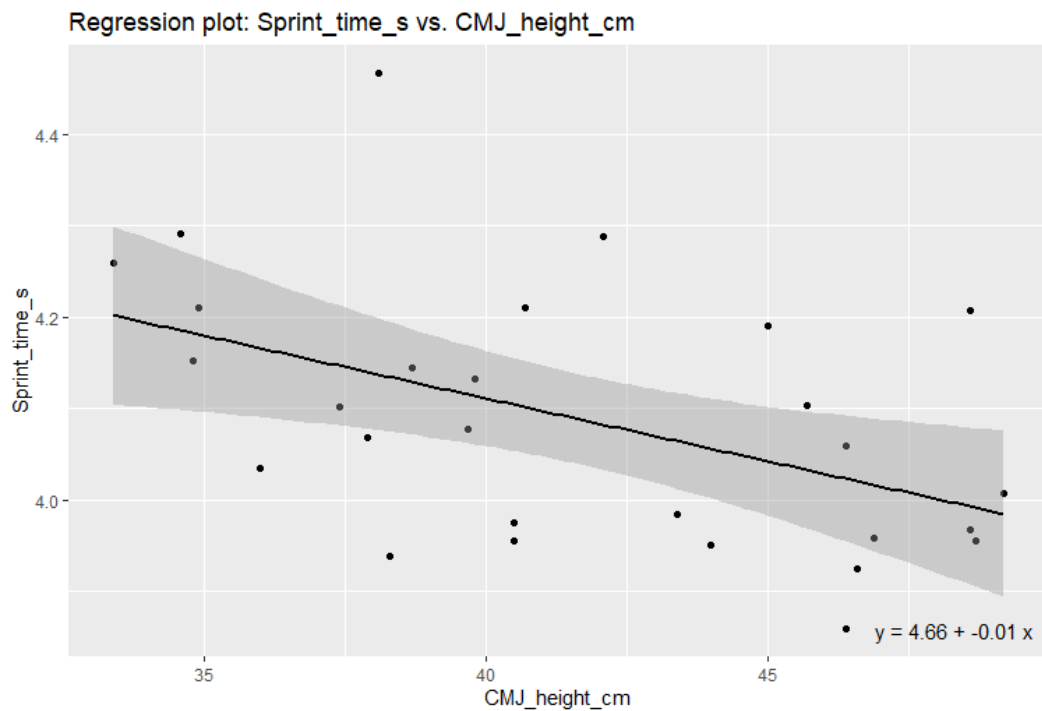


Abbildung 22: Regression zwischen Sprintzeit (s) und Sprunghöhe (cm) der U18

In der Regression (Abbildung 22) wird der negative Zusammenhang zwischen Sprintzeit und Sprunghöhe sichtbar. Die negative Steigung ($b = -0.014$) deutet darauf hin, dass sich mit jeder Zunahme der Sprunghöhe um einen Centimeter die Sprintzeit im Durchschnitt um 0.014 Sekunden verringert ($p = 0.010$) (Wolf & Best, 2010).

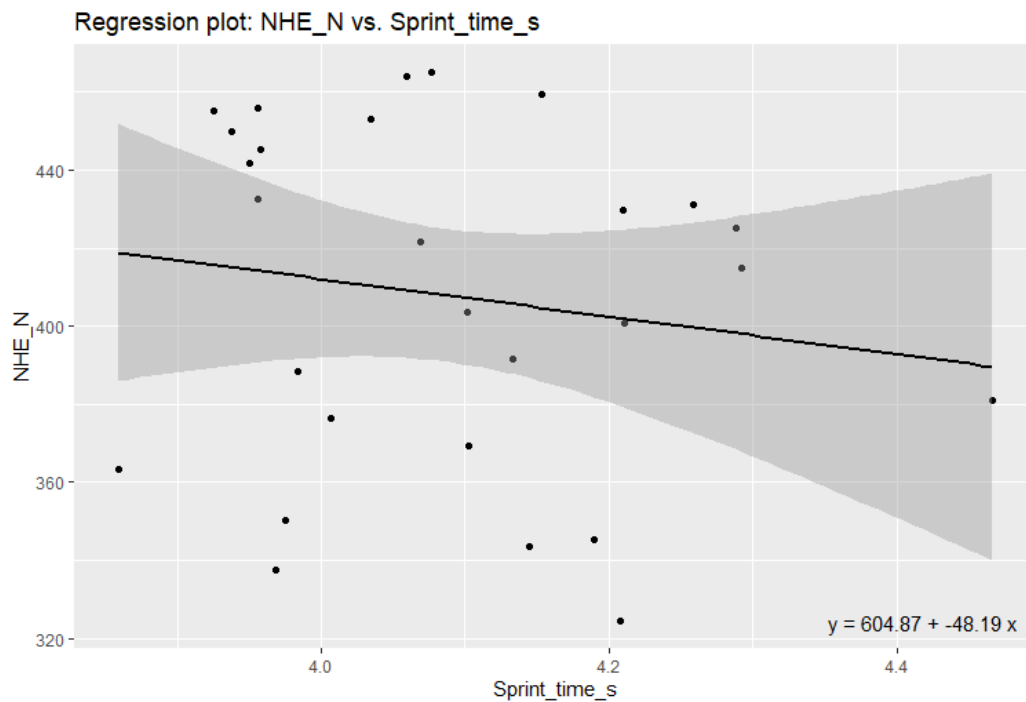


Abbildung 23: Regression zwischen NHE-Wert (N) und Sprintzeit (s) der U18

In der Regression (Abbildung 23) lässt sich zwar ein negativer Zusammenhang zwischen dem NHE-Wert und der Sprintzeit vermuten, jedoch lässt er sich nicht signifikant nachweisen ($n = 28$; $p = 0.427$). Die Regressionsgerade und das Konfidenzintervall dienen aufgrund der fehlenden Signifikanz lediglich als Illustration.

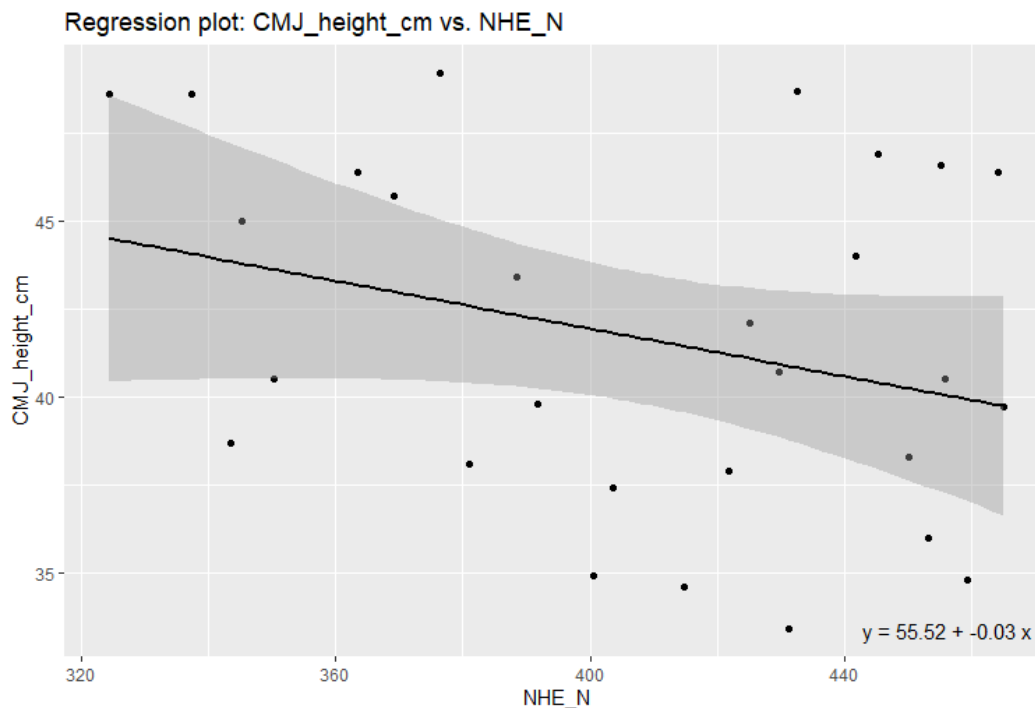


Abbildung 24: Regression zwischen Sprunghöhe (cm) und NHE-Wert (N) der U18

In der Regression (Abbildung 24) lässt sich zwar ein positiver Zusammenhang zwischen der Sprunghöhe und dem NHE-Wert vermuten, jedoch lässt er sich nicht signifikant nachweisen ($n = 28$; $p = 0.120$). Die Regressionsgerade und das Konfidenzintervall dienen aufgrund der fehlenden Signifikanz lediglich als Illustration.

4 Diskussion

Durch regelmäßige Leitungsdiagnostiken kann die physische Leistungsentwicklung von Fußballakademiespielern dokumentiert, angepasst und somit bestmöglich gesteuert werden. Diese Studie gibt Aufschluss über das physische und schnelligkeitsbezogene Leistungsniveau der Athleten der Altersklassen U15-U18 der Akademie eines österreichischen Fußball-Bundesligavereins. Zusätzlich werden die Zusammenhänge der drei gemessenen Parameter untereinander in den jeweiligen Teams dargestellt. Die ausgewählten Testverfahren zeigen einen Teilaspekt der körperlichen Leistungsfähigkeit, der als zusätzlicher Richtwert gesehen werden kann, allerdings nicht als absoluter Maßstab für die Einstufung der Spieler gelten sollte.

Anthropometrische Daten

Hinsichtlich der anthropometrischen Daten unterscheiden sich die Studienteilnehmer der U15 von jenen der U16 in den Kategorien *Alter* ($p < 0.001$), *Größe* ($p < 0.001$), *Gewicht* ($p < 0.001$) sowie *BMI* ($p < 0.019$) signifikant voneinander. Verglichen mit der U18 zeigen sich ebenfalls signifikante Unterschiede in allen Kategorien ($p < 0.001$). Die Teams der U16 und der U18 unterscheiden sich hingegen nur in der Kategorie *Alter* signifikant voneinander ($p < 0.001$). Dies spiegelt sich auch in den Kollektiven der einzelnen Diagnostiken (Sprint, CMJ, NHE) wider. Die signifikanten physischen Unterschiede zwischen den Altersklassen U15 und U18 stimmen größtenteils mit den Ergebnissen vorangegangener Untersuchungen überein (França et al., 2022; Lipecki, 2018). Die signifikanten Unterschiede zwischen U15 und U16 in allen Kategorien decken sich allerdings nicht gänzlich mit der Literatur. So wurden bei der Studie von França et al. (2022) zwar ebenso signifikante Unterschiede ($p < 0.001$) zwischen den aufeinanderfolgenden Altersklassen gemessen, jedoch wurde hierbei statt eines U16 ein U17-Team zur Datenerhebung herangezogen. Diese Athleten waren durchschnittlich 0.4 Jahre älter, wodurch die Parameter *Körpergröße* und *Gewicht* beeinflusst werden könnten. Während Williams et al. (2011) einen signifikanten Unterschied ($p < 0.05$) in der Kategorie *Gewicht* zwischen U15 und U16 feststellen konnten, wurden bei den Testungen von Lipecki (2019) keinerlei signifikante Unterschiede zwischen diesen Altersklassen sichtbar.

Sprintleistung

Die signifikanten Zeitunterschiede der Sprintleistungen zwischen den U15- und den U18-Spielern ($p < 0.05$) stimmen mit der Literatur überein (França et al., 2022; Lipecki, 2018; Markovic et al., 2004). Dieser Effekt dürfte in der vorliegenden Studie allerdings durch die signifikanten Unterschiede ($p < 0.001$) hinsichtlich der anthropometrischen Daten erklärbar sein (Abarghoueinejad et al., 2021). Kontroverserweise wirken sich die ebenso signifikanten Abweichungen ($p < 0.05$) zwischen U15 und U16 erst auf die Werte der 20m- ($p = 0.034$) sowie 30m-Sprints ($p = 0.029$) aus. França et al. (2022) beschreiben in ihrer Arbeit vergleichbare Beobachtungen. Die U16- und U18-Spieler unterscheiden sich hingegen nur in der 10m-Sprintmessung ($p = 0.049$). Die geringen Leistungsabweichungen in diesen beiden Teams lassen sich möglicherweise auch in diesem Fall auf die hohe Ähnlichkeit bezüglich der anthropometrischen Merkmale zurückführen (Barbieri et al., 2017). Im Abgleich mit Ergebnissen bereits bestehender Studien fällt auf, dass alle drei getesteten Altersklassen im Durchschnitt tendenziell schnellere Sprintzeiten als vergleichbare Teams erzielen konnten (Comfort et al., 2014;

França et al., 2022; Freeman et al., 2019; Gonaus & Müller, 2012; Jones et al., 2021; Keiner et al., 2022; Lipecki, 2018; Meira et al., 2023; Sáez de Villarreal et al., 2015; Williams et al., 2011). Da das Leistungsniveau der getesteten Spieler nicht immer klar definiert werden kann, zeigen sich vor allem die Messungen anderer Jugendakademien als aussagekräftig. So untersuchte Lipecki (2018) physische Leistungsparameter bei Spielern einer polnischen Fußballakademie, woran 58 Athleten der Altersklassen U15-U18 teilnahmen. Dabei lagen die durchschnittlichen 30-Meter-Sprintzeiten der U15 ($\bar{\Delta} = + 0.18$ s), U16 ($\bar{\Delta} = + 0.31$ s) sowie U18 ($\bar{\Delta} = + 0.18$ s) jeweils über den Werten dieser Studie. Ein ähnliches Bild zeigt sich beim Abgleich mit den Daten einer kasachischen *Premier League* Akademie (n = 91), bei der die Teams der U15 ($\bar{\Delta} = + 0.03$ s), U16 ($\bar{\Delta} = + 0.21$ s) sowie U18 ($\bar{\Delta} = + 0.05$ s) ebenfalls länger für die Bewältigung der 30m-Sprintdistanz brauchten (Meira et al., 2023). Auch bei den 20-Meter-Distanzen scheinen die Leistungen kongruent. So tendierten die Spieler (n = 73) zweier englischer *Premier League* Akademien durchschnittlich ebenfalls zu langsameren Zeiten in den Altersklassen U15 ($\bar{\Delta} = + 0.13$ s), U16 ($\bar{\Delta} = + 0.12$ s) und U18 ($\bar{\Delta} = + 0.11$) (Jones et al., 2021). Bei einer 2012 endenden Langzeitstudie von Gonaus und Müller, deren Ziel es war, das physische Leistungsniveau österreichischer Akademiespieler mittels diverser diagnostischer Methoden herauszufinden, wurden über einen Zeitraum von neun Jahren 821 Jugendnationalspieler getestet. Vergleicht man die 20m-Sprintwerte dieser Studie mit jenen dieser Arbeit, wird sichtbar, dass auch hier sowohl U15- ($\bar{\Delta} = + 0.04$ s), U16- ($\bar{\Delta} = + 0.06$ s) als auch U18-Nationalspieler ($\bar{\Delta} = + 0.12$ s) tendenziell langsamere Sprintzeiten über 20 Meter vorwiesen als die Teilnehmer dieser Stichprobe. Blickt man jedoch auf die Studie von Sáez de Villarreal et al. (2015), die in Kooperation mit der Nachwuchsakademie des *La Liga* Vereins *Real Betis Sevilla* (n = 26) durchgeführt wurde, zeigen sich Unterschiede zwischen den Leistungen auf den getesteten Distanzen. Sowohl die spanische U15- ($\bar{\Delta} = - 0.21$ s) als auch die U16-Mannschaft ($\bar{\Delta} = - 0.19$ s) erzielten in den 5-Meter-Sprintmessungen deutlich schnellere Zeiten als die Mannschaften dieser Studie. Bei der 10-Meter-Testung waren U15 ($\bar{\Delta} = + 0.19$ s) und U16 ($\bar{\Delta} = + 0.20$ s) wiederum langsamer als die beiden Altersklassen dieser Arbeit. Ein möglicher Grund für den vergleichsweise hohen Zeitunterschied beim 5m-Sprint könnte an der spezifischeren Startposition der spanischen Teams liegen. Während in dieser Studie der technisch weniger anspruchsvolle Hochstart gewählt wurde, starteten die spanischen Teams aus dem Tiefstart, der für Kurzdistanzen in der Leichtathletik üblich ist. Mit entsprechender Technik könnte somit ein kraftvollerer Antritt erfolgen, der sich vor allem auf den ersten Metern auswirken würde (Haberkorn & Plaß, 1992).

CMJ-Leistung

In der vorliegenden Studie unterscheiden sich die Sprunghöhen der U18-Spieler signifikant von den Werten der U15- ($p = 0.008$) sowie U16-Spieler ($p = 0.008$). Dies entspricht den Ergebnissen von França et al. (2022). Die Vertikalsprungleistungen des, im Rahmen dieser Studie getesteten Teams, stimmen größtenteils mit den Daten vergleichbarer Fußballakademien überein. So weichen sowohl bei Meira et al. (2023) als auch bei der Longitudinalstudie von Gonaus und Müller (2012), an der mehr als 800 Jugendnationalspieler der Altersklassen U15-U18 teilnahmen, die Sprungwerte nur minimal von denen der vorliegenden Arbeit ab. Dies trifft ebenso auf die Ergebnisse von Keiner et al. (2022) zu, die Daten von knapp 485 Akademiespielern deutscher Bundesligavereine analysierten. Ein klarer Leistungsunterschied ist hingegen in der Studie von Comfort et al. (2014) erkennbar. Dabei erzielten die 34 getesteten, englischen U18 Spieler im Durchschnitt eine vertikale Sprunghöhe von 46.4 cm. Damit sprangen sie im Vergleich 4.6 cm höher als die Studienteilnehmer dieser U18. Zieht man wiederum die Ergebnisse der *Real Betis Sevilla* Akademie heran, wird ein gegenteiliges Leistungsgefälle sichtbar (Sáez de Villarreal et al., 2015). Hier liegen die Durchschnittswerte der spanischen U15- und U16-Teams bei 30.9 bzw. 31.8 cm, womit sie 5.8 bzw. 7 cm unter den Sprunghöhen der Studienteilnehmer dieser Altersklassen bleiben.

NHE-Leistung

Ein Literaturabgleich bezüglich der generierten Maximalkraftwerte bei den NHE-Testungen ist aufgrund der dünnen Studienlage mit analogen Stichproben nur bedingt möglich. Die signifikant höheren Werte der U18 im Gegensatz zu U15 ($p < 0.001$) decken sich mit den Beobachtungen von Markovic et al. (2004) sowie Jones et al. (2021). Ein signifikanter Unterschied zwischen U18 und U16 ($p = 0.001$), wie er in dieser Arbeit vorliegt, kann nicht von anderen Autor*innen bestätigt werden. 2020 erstellten Jones et al. eine Testbatterie, mit der sie unter anderem die maximalen NHE-Leistungen von englischen *Premier League* Akademiespielern ermittelten. Dabei erreichten die Teams der U15 ($\bar{X} = -57$ N), U16 ($\bar{X} = -37$ N) sowie U18 ($\bar{X} = -35$ N) durchschnittlich niedrigere Werte als die Studienteilnehmer im entsprechenden Alter. Freeman et al. führten 2019 ein ähnliches Testprotokoll mit 28 Schüler*innen einer englischen Leistungssportschule durch. Das Durchschnittsalter der Proband*innen (16.6 Jahre) stimmt mit dem der U18-Spieler (16.6 Jahre) dieser Studie zwar überein, jedoch nahmen bei Freeman et al. neben 23 männlichen Probanden auch 5 weibliche Probandinnen teil. Obwohl die Prüfung auf

geschlechterbedingte Unterschiede keine signifikanten Abweichungen ($p < 0.05$) hinsichtlich der Testparameter ergab, bleibt fraglich, ob die Stichprobe angesichts des deutlich niedrigeren Durchschnittswerts ($\bar{X} = -75$ N) als vergleichbar anzusehen ist.

Leistungsindex

Die im Zuge dieser Studie erstellten Leistungsindexe der jeweiligen Teams, folgen keinen Ausführungen vorangegangener Forschungsarbeiten in diesem Gebiet. Sie wurden unter Absprache mit der sportwissenschaftlichen Leitung des Vereins erstellt und sollen das physische Leistungsniveau der getesteten Mannschaften hinsichtlich der erhobenen Parameter widerspiegeln. Dies kann für die Trainerteams in weiterer Folge eine Möglichkeit darstellen, die Entwicklungen der Mannschaftsleistung besser einschätzen zu können und geeignete Trainingsschwerpunkte zu setzen. Der Vergleich der Leistungsverteilungen der teilnehmenden U15 (*Abbildung 13*), U16 (*Abbildung 14*) sowie U18 (*Abbildung 15*) zeigt Unterschiede in den erreichten Punktzahlen. Zur Orientierung wurden ausgewählte Perzentile (25. Perzentil, Median, 75. Perzentil) für die Gesamtscores der ermittelten Messwerte der U15 (4.75, 7, 9.5), U16 (4, 5.5, 7.25) sowie U18 (6, 7, 9.25) herangezogen. Dabei wird erkennbar, dass die Gesamtpunktezahlen der U15 und U18 sowohl hinsichtlich des Medians als auch des 75. Perzentils zwischen 1.5-2.25 Punkten über denen der U16 liegen. Woraus sich schließen lässt, dass die besten 25% der Spieler der U15 und U18 mannschaftsintern besser performten als die Spieler der U16. Dies zeigt sich auch beim Vergleich der Punktmaxima, die sowohl in der U15 (12) als auch in der U18 (12) höher liegen als in der U16 (10). Festzuhalten ist, dass der Interquartilsabstand (4.75) innerhalb des U15-Teams am höchsten ist. Dies weist auf eine höhere Streuung in dieser Stichprobe verglichen mit den anderen Mannschaften hin (Rasch et al., 2021).

30-Meter-Sprint und Countermovement Jump

In der vorliegenden Arbeit korrelieren Sprintzeiten und CMJ in allen drei Altersklassen negativ. Vergleichbare Ergebnisse finden sich in der Literatur wider (Comfort et al., 2014; Fernández-Galván et al., 2021; França et al., 2022; Negra et al., 2017; Northeast et al., 2019). *Abbildung 16* veranschaulicht die signifikant negative Korrelation ($n = 16$; $r = -0.645$; $p = 0.007$) zwischen 30m-Sprint und CMJ in der Altersklasse U15. Dieser negative Zusammenhang lässt sich anhand der Steigung der Regressionsgerade ($b = -0.025$), bezogen auf die Parameter, interpretieren (Wolf & Best, 2010). So entspricht jede Zunahme der Sprunghöhe um einen Zentimeter einer Abnahme der Sprintzeit um 0.025

Sekunden. *Abbildung 19* zeigt den ebenfalls signifikant negativen Zusammenhang ($n = 16$; $r = -0.635$; $p = 0.006$) zwischen diesen Parametern in der Altersklasse U16. Der Regressionskoeffizient ($b = -0.026$) ist auch in diesem Fall negativ und deutet darauf hin, dass mit jedem Anstieg der Sprunghöhe um einen Zentimeter die Sprintzeit um 0.026 Sekunden verringert wird. Die Darstellung der signifikant negativen Korrelation ($n = 28$; $r = -0.478$; $p = 0.010$) zwischen 30m-Sprint und CMJ in der Altersstufe U18 findet sich in *Abbildung 22*. Aus der negativen Steigung der Regressionsgerade ($b = -0.014$) lässt sich ableiten, dass mit jeder Steigerung der Sprunghöhe um einen Zentimeter die Sprintzeit um 0.014 Sekunden abnimmt. Die vorliegenden Korrelationen decken sich nahezu gänzlich mit den Beobachtungen von França et al. (2022). Diese stellten zwischen den Testparametern 35m-Sprint und CMJ durchwegs negative Korrelationen für die Altersklassen U15 ($n = 51$; $r = -0.64$, $p < 0.01$), U17 ($n = 62$; $r = -0.58$, $p < 0.01$) und U19 ($n = 51$; $r = -0.29$, $p < 0.05$) fest. Northeast et al. (2019) dokumentierten bei der Testung 26 männlicher Premier League Spieler ebenfalls einen negativen Zusammenhang ($n = 26$; $r = -0.614$, $p < 0.01$) zwischen 20m-Sprint und CMJ. Dies lässt vermuten, dass diese Korrelation sowohl für den Akademiebereich als auch für den professionellen Herrenfußball zutreffend sein könnte. Weitere Ergebnisse aus der Leichtathletik bestärken diese Annahme (Berthoin et al., 2001; Bissas & Havenetidis, 2008; Kale et al., 2009; Markström & Olsson, 2013). Liegt eine positive Beziehung der beiden Parameter vor, könnten diagnostische Abläufe zeiteffizienter gestaltet werden. So wäre es möglich, CMJ-Testungen gegenüber Sprinttestungen zu forcieren. Dafür sprechen zum einen verkürzte Aufbauzeiten für die Messung selbst als auch eine durch die verringerte Belastungszeit reduzierte muskuläre Ermüdung (Gathercole et al., 2015). Eine solche Modifikation könnte vor allem in trainingsintensiven Perioden von Bedeutung sein.

30-Meter-Sprint und Nordic Hamstring Exercise

Die Korrelationen zwischen 30m-Sprint und NHE zeigen sich in dieser Studie kontrovers. Zieht man die Auswertung der U15 heran, fällt eine signifikant negative Korrelation ($n = 16$; $r = -0.561$; $p = 0.024$) zwischen den beiden Testparametern auf. Der Wert des Korrelationskoeffizienten (r) beschreibt demnach einen hohen negativen Zusammenhang (Hopkins et al., 2009). Entgegen dieser markanten Ergebnisse konnte weder in der Altersklasse U16 noch in der Altersklasse U18 eine signifikante Korrelation zwischen den besagten Werten beobachtet werden. Zwar ließen sich niedrige bis moderat negative Zusammenhangstendenzen erkennen, der notwendige Signifikanzwert ($p < 0.05$) wurde jedoch nicht erreicht. Zu ähnlichen Schlüssen kamen Suarez-Arrones et al. (2019), die 50 junge, professionelle Fußballspieler (18.8 ± 0.8 Jahre) unter Einfluss verschiedener

Trainingsinterventionen testeten. Zwar konnten sie in den Gruppen, in denen vermehrt NHE trainiert wurde, Verbesserungen feststellen, die betreffenden Korrelationen blieben jedoch unklar. Im Gegensatz dazu konnten Freeman et al. (2018) in einer vergleichbaren Studie mit 28 Sportler*innen (16.2 ± 1.3 Jahre) keine Verbesserung der Sprintwerte dokumentieren. Kommes et al. (2017) verweisen hingegen auf die förderliche Wirkung von NHE-Protokollen, die sich in verbesserten 5m- und 10m-Sprintzeiten der teilnehmenden dänischen Erstligaspieler (23.0 ± 3.9 Jahre) niederschlugen. Im Zuge einer Studie mit 133 Jugendspielern (U12-U18) konnten Markovic et al. (2004) einen signifikant negativen Zusammenhang ($r = 0.521$; $p < 0.05$) zwischen der 20m-Sprintzeit und der *relative Nordic Hamstring strength* ($N \cdot kg^{-1}$) erkennen. Bautista et al. (2021) fanden in ihrer Metaanalyse ebenfalls positiv signifikante Veränderungen der Sprintzeiten, die speziell bei den 10m-Sprintläufen zu beobachten waren. Dies gibt Grund zur Annahme, dass auch die NHE-Leistung als Prädiktor für die Sprintzeit bei Kurzstrecken bis zu 30 Meter herangezogen werden könnte.

Countermovement Jump und Nordic Hamstring Exercise

Die Korrelationen zwischen CMJ und NHE zeigen sich in der vorliegenden Studie ebenfalls als inkonsistent. So geht aus den Analysen der Altersklasse U15 eine signifikant positive Korrelation ($n = 16$; $r = 0.528$; $p = 0.035$) dieser beiden Parameter hervor. Dabei entspricht jede Zunahme des NHE-Werts um ein Newton einer durchschnittlichen Verbesserung der Sprunghöhe um 0.039 Zentimeter (*Abbildung 18*). In den übrigen Altersklassen konnten hingegen keine signifikanten Korrelationen gefunden werden. Die Beziehung zwischen CMJ und NHE wurde in den bisherigen Untersuchungen nicht im Detail betrachtet. Aus diesem Grund können lediglich Studien herangezogen werden, die die Auswirkungen von NHE-basierten Trainingsprotokollen auf die CMJ-Leistung analysiert haben. Krommes et al. (2017) führten mit einem Herrenteam der ersten dänischen Fußballliga ($n = 19$; 23 ± 4 Jahre) ein 10-wöchiges *Nordic Hamstring Protocol* (NHP) durch, wobei neun dieser Spieler eine Kontrollgruppe bildeten, die kein spezifisches Training absolvierten. Nach Beendigung der Trainingsintervention verzeichnete die NHE-Gruppe einen durchschnittlichen Anstieg der CMJ-Werte von 2.6%, während diese in der Kontrollgruppe um 2.2% abnahmen. 2022 wurde eine vergleichbare Studie mit weiblichen Spielerinnen zweier norwegischen Fußballteams angesetzt, wobei die Teilnehmerinnen zufällig zu einer *Low-Volume* Gruppe (10 Einheiten) oder einer *High-Volume* Gruppe (21 Einheiten) zugeordnet wurden (Amundsen et al., 2022). Dabei konnten bei beiden Gruppen weder negative noch positive Auswirkungen der Intervention auf die CMJ-Leistung dokumentiert werden. Der Mangel an Erkenntnissen in dieser

Thematik weist auf eine Forschungslücke diesbezüglich hin. Dabei fehlt es vor allem an Untersuchungen im Jugendbereich. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sowie die von Krommes et al. (2017) legen allerdings nahe, dass ein Zusammenhang zwischen CMJ und NHE nicht ausgeschlossen ist. Ließe sich eine ähnliche Beziehung der beiden Parameter wie jene in der getesteten U15 belegen, könnten diagnostischen Abläufe angepasst werden. So wäre es möglich, NHE-Testungen aufgrund ihres unkomplizierten Aufbaus häufiger in das geplante Krafttraining zu involvieren und somit die Anzahl der *Testtage* im Jahr zu reduzieren. Darüber hinaus könnten Spieler*innen sowie die Trainerteams von der verletzungspräventiven Wirkung des zusätzlichen Hamstringtrainings profitieren (Al Attar et al., 2017; Cuthbert et al., 2020; Schmitt, 2013).

4.1 Limitationen

Die vorliegende Studie unterliegt mehreren Limitationen. Dies betrifft unter anderem die Erhebungen der anthropometrischen Daten. Diese wurden im Zeitraum der Untersuchungen nur einmal für jeden Spieler dokumentiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass alle Athleten in einem möglichst engen Zeitfenster vermessen wurden. Allerdings muss davon ausgegangen werden, dass die körperbezogenen Werte einiger Teilnehmer über die Studiendauer Änderungen unterlagen. Limitationen bezüglich anthropometrischer Datenerfassungen wurden von mehreren Autor*innen vergleichbarer Studien angeführt (Comfort et al., 2014; Meira et al., 2023; Williams et al., 2011). Hinsichtlich der durchgeführten Testinterventionen kam es aufgrund von Abwesenheiten diverser Spieler (Krankheit, Nationalteameinberufungen, andere Gründe) wiederholt zu Terminverschiebungen innerhalb der Mannschaften. Dabei sind Leistungsabweichungen nachträglich getesteter Athleten nicht auszuschließen. Darüber hinaus erschweren die inkonsistenten Spieleranzahlen bei den jeweiligen Diagnostiken die Interpretation der gewonnenen Ergebnisse. Dieser liegt u. a. an der engen Kooperation der Akademie mit der zweiten Mannschaft des Vereins. Dabei wurden diverse Spieler teils kurzfristig in die Herrenmannschaft einberufen oder wechselten je nach Personallage zwischen den Teams. Solche Faktoren können jedoch bei Studien mit Leistungssportler*innen nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Einen limitierenden Punkt bei der Untersuchung von Athleten professioneller Fußballakademien, stellen die vergleichsweise geringen Stichprobengrößen dar. Dabei ist festzuhalten, dass die vorliegende Studie mit insgesamt 78 Teilnehmern, verglichen mit anderen Untersuchungen, über eine verhältnismäßig hohe Teilnehmeranzahl verfügt (Comfort et al., 2014; Freeman et al., 2019; Gravina et al., 2008; Hammami et al., 2013; Krommes et al., 2017). Zu erwähnen sind die unterschiedlichen

Leistungsniveaus der Athlet*innen der herangezogenen Literatur. Während Lipecki (2018) von „männlichen Fußballspielern der polnischen Sportakademie“ sprach, beschrieben França et al. (2022) ihre Testgruppe als „jugendliche Fußballspieler auf regionalem Level“. Jones et al. (2020) wiederum testeten „männliche Spieler einer *Premier League* Akademie“. Dabei ist davon auszugehen, dass leistungsspezifische Unterschiede zwischen den Athleten vorhanden sind. Des Weiteren wurden aufgrund mangelnder Referenzstudien mit Jugendlichen teilweise Untersuchungen mit erwachsenen Fußballspieler*innen herangezogen (Amundsen et al., 2022; Krommes et al., 2017). Obwohl dabei die Auswirkungen verschiedener Interventionen auf einzelne Parameter und keine direkten Leistungsvergleiche im Vordergrund stehen, muss davon ausgegangen werden, dass die dokumentierten Effekte in den jeweiligen Stichproben nicht gleichzusetzen sind.

Um Limitationen dieser Art zu verringern, sollten speziell im Akademiesbereich umfassende Leistungsdiagnostiken sowie anthropometrische Vermessungen stattfinden. Wichtig dabei wären geringe Testabstände, um die entsprechenden Werte über die einzelnen Spielzeiten hinweg dokumentieren zu können. Dies ist gerade im Jugendsport von großer Bedeutung, da bei den meisten Sportler*innen das Längenwachstum noch nicht abgeschlossen ist. Dadurch kann es innerhalb kurzer Zeiträume zu leistungsspezifischen sowie anthropometrischen Veränderungen kommen (Meira et al., 2023; Williams et al., 2011). Dabei könnte man beispielsweise alle zwei bis drei Monate eine umfassende Leistungsdiagnostik inklusive umfangreicher Körpervermessung durchführen, die monatlich durch verkürzte Leistungsaufnahmen ergänzt wird. Hierbei könnten, wie in dieser Studie angedeutet, etwa Vertikalsprungtestungen als Prädiktor für die Sprintleistung dienen (França et al., 2022; Northeast et al., 2019). Datenlücken durch Abwesenheiten von Spieler*innen könnten dadurch ebenfalls verringert werden.

4.2 Schlussfolgerung

Die vorliegende Studie zeigt, dass die Leistungsniveaus der getesteten Fußballakademieteams durchaus mit denen der internationalen Leistungszentren vergleichbar sind. Die Testungen bestätigen die Vermutung eines positiven Zusammenhangs zwischen Countermovement Jump- und 30m-Sprint-Leistung bei jugendlichen Fußballakademiespielern. Die Ergebnisse bezüglich der Korrelationen zwischen 30m-Sprint- und NHE-Leistung sowie CMJ- und NHE-Leistung stellen sich jedoch als kontrovers dar. Hierzu bedarf es weiterer Studien, um gefestigte Aussagen zu dieser Thematik treffen zu können. Diese Arbeit unterstreicht zudem die Bedeutung konsequenter sowie regelmäßig durchgeführter Leistungsdiagnostiken und präsentiert mit dem Konzept des Leistungsindex ein Tool, das zur besseren Vergleichbarkeit zukünftiger Akademiejahrgänge beitragen könnte.

Literaturverzeichnis

- Abarghoueinejad, M., Baxter-Jones, A. D. G., Gomes, T. N., Barreira, D., & Maia, J. (2021). Motor Performance in Male Youth Soccer Players: A Systematic Review of Longitudinal Studies. *Sports (Basel, Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/sports9040053>
- Al Attar, W. S. A., Soomro, N., Sinclair, P. J., Pappas, E., & Sanders, R. H. (2017). Effect of Injury Prevention Programs that Include the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injury Rates in Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(5), 907–916. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0638-2>
- Amundsen, R., Heimland, J. S., Thorarinsdottir, S., Møller, M., & Bahr, R. (2022). Effects of High and Low Training Volume with the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Strength, Jump Height, and Sprint Performance in Female Football Players: A Randomised Trial. *Translational Sports Medicine*, 2022, 7133928. <https://doi.org/10.1155/2022/7133928>
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 278–285. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113478.92945.CA>
- Askling, C., Karlsson, J., & Thorstensson, A. (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13(4), 244–250. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2003.00312.x>
- Bahr, R., Thorborg, K [Kristian], & Ekstrand, J. (2015). Evidence-based hamstring injury prevention is not adopted by the majority of Champions League or Norwegian Premier League football teams: The Nordic Hamstring survey. *British Journal of Sports Medicine*, 49(22), 1466–1471. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094826>
- Bangsbo, J. (1994). The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica. Supplementum*, 619, 1–155.
- Barbieri, D., Zaccagni, L., Babić, V., Rakovac, M., Mišigoj-Duraković, M., & Gualdi-Russo, E. (2017). Body composition and size in sprint athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(9), 1142–1146. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.06925-0>

- Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M., & Bradley, P. S. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine*, 35(13), 1095–1100. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375695>
- Bautista, I. J., Vicente-Mampel, J., Baraja-Vegas, L., Segarra, V., Martín, F., & van Hooren, B. (2021). The effects of the Nordic hamstring exercise on sprint performance and eccentric knee flexor strength: A systematic review and meta-analysis of intervention studies among team sport players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(9), 931–938. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.03.009>
- Berthoin, S [S.], Dupont, G [G.], Mary, P., & Gerbeaux, M. (2001). Predicting sprint kinematic parameters from anaerobic field tests in physical education students. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 75–80.
- Bisanz, G., & Gerisch, G. (2013). *Fußball: Kondition, Technik, Taktik und Coaching* (3., überarbeitete Auflage). Meyer & Meyer Verlag.
- Bissas, A. I., & Havenetidis, K. (2008). The use of various strength-power tests as predictors of sprint running performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(1), 49–54.
- Bobbert, M. F., Mackay, M., Schinkelshoek, D., Huijing, P. A., & van Ingen Schenau, G. J. (1986). Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 54(6), 566–573. <https://doi.org/10.1007/BF00943342>
- Cheng, K. B., Wang, C.-H., Chen, H.-C., Wu, C.-D., & Chiu, H.-T. (2008). The mechanisms that enable arm motion to enhance vertical jump performance-a simulation study. *Journal of Biomechanics*, 41(9), 1847–1854. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.04.004>
- Clark, N. A., Edwards, A. M., Morton, R. H., & Butterly, R. J. (2008). Season-to-Season Variations of Physiological Fitness Within a Squad of Professional Male Soccer Players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 7(1), 157–165.
- Comfort, P., Stewart, A., Bloom, L., & Clarkson, B. (2014). Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(1), 173–177. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318291b8c7>
- Cuthbert, M., Ripley, N., McMahon, J. J., Evans, M., Haff, G. G [G. Gregory], & Comfort, P. (2020). The Effect of Nordic Hamstring Exercise Intervention Volume on Eccentric

- Strength and Muscle Architecture Adaptations: A Systematic Review and Meta-analyses. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(1), 83–99. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01178-7>
- Dias, J. A., Dal Pupo, J., Reis, D. C., Borges, L., Santos, S. G., Moro, A. R. P., & Borges, N. G. (2011). Validity of two methods for estimation of vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 2034–2039. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e73f6e>
- Ekstrand, J., Hägglund, M., Kristenson, K., Magnusson, H., & Waldén, M. (2013). Fewer ligament injuries but no preventive effect on muscle injuries and severe injuries: An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), 732–737. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092394>
- Ertelt, T., Büsch, D., & Gronwald, T. (2020). Biomechanische Besonderheiten der Hamstrings und Strategien zur Verletzungsprävention. *Sportphysio*, 08(05), 249–257. <https://doi.org/10.1055/a-1247-9047>
- Faude, O., Schlumberger, A., Fritsche, T., Treff, G., & Meyer, T. (2010). Leistungsdiagnostische Testverfahren im Fußball – methodische Standards [Performance Diagnosis in Football – Methodological Standards]. *Deutsche Zeitschrift Für Sportmedizin*, 61, 129–133.
- Fernández-Galván, L. M., Boullosa, D., Jiménez-Reyes, P., Cuadrado-Peñafiel, V., & Casado, A. (2021). Examination of the Sprinting and Jumping Force-Velocity Profiles in Young Soccer Players at Different Maturational Stages. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph18094646>
- França, C., Gouveia, É., Caldeira, R., Marques, A., Martins, J., Lopes, H., Henriques, R., & Ihle, A. (2022). Speed and Agility Predictors among Adolescent Male Football Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph19052856>
- Freeman, B. W., Young, W. B., Talpey, S. W., Smyth, A. M., Pane, C. L., & Carlon, T. A. (2019). The effects of sprint training and the Nordic hamstring exercise on eccentric hamstring strength and sprint performance in adolescent athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(7), 1119–1125. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08703-0>
- Gambetta, V., & Benton, D. (2006). A systematic approach to hamstring prevention and rehabilitation. *Sports Coach*, 28(4), 1–6.

- Gathercole, R. J., Sporer, B. C., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. G. (2015). Comparison of the Capacity of Different Jump and Sprint Field Tests to Detect Neuromuscular Fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2522–2531. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000912>
- Gonaus, C., & Müller, E. (2012). Using physiological data to predict future career progression in 14- to 17-year-old Austrian soccer academy players. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1673–1682. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.713980>
- Gravina, L., Gil, S. M., Ruiz, F., Zubero, J., Gil, J., & Irazusta, J. (2008). Anthropometric and physiological differences between first team and reserve soccer players aged 10-14 years at the beginning and end of the season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1308–1314. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a5c8e>
- Güllich, A. (2014). Selection, de-selection and progression in German football talent promotion. *European Journal of Sport Science*, 14(6), 530–537. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.858371>
- Haberkorn, C., & Plaß, R. (1992). *Leichtathletik* (1. Aufl.). Diesterweg; Sauerländer.
- Hammami, M. A., Ben Abderrahmane, A., Nebigh, A., Le Moal, E., Ben Ounis, O., Tabka, Z., & Zouhal, H. (2013). Effects of a soccer season on anthropometric characteristics and physical fitness in elite young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 31(6), 589–596. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.746721>
- Heishman, A. D., Daub, B. D., Miller, R. M., Freitas, E. D. S., Frantz, B. A., & Bemben, M. G. (2020). Countermovement Jump Reliability Performed With and Without an Arm Swing in NCAA Division 1 Intercollegiate Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(2), 546–558. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002812>
- Högberg, J., Bergentoft, E., Piussi, R., Wernbom, M., Beischer, S., Simonson, R., Senorski, C., Thomeé, R., & Hamrin Senorski, E. (2022). Persistent knee flexor strength deficits identified through the NordBord eccentric test not seen with "gold standard" isokinetic concentric testing during the first year after anterior cruciate ligament reconstruction with a hamstring tendon autograft. *Physical Therapy in Sport : Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 55, 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.03.004>

- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Jones, S., Mullen, R., Clair, Z., Wrigley, R., Andersen, T. E., & Williams, M. (2021). Field based lower limb strength tests provide insight into sprint and change of direction ability in academy footballers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(12), 2178–2186. <https://doi.org/10.1111/sms.14039>
- Kale, M., Aşçi, A., Bayrak, C., & Açıkada, C. (2009). Relationships among jumping performances and sprint parameters during maximum speed phase in sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(8), 2272–2279. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b3e182>
- Keiner, M., Brauner, T., Kadlubowski, B., Sander, A., & Wirth, K. (2022). The Influence of Maximum Squatting Strength on Jump and Sprint Performance: A Cross-Sectional Analysis of 492 Youth Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph19105835>
- Krommes, K., Petersen, J., Nielsen, M. B., Aagaard, P., Hölmich, P., & Thorborg, K [K.] (2017). Sprint and jump performance in elite male soccer players following a 10-week Nordic Hamstring exercise Protocol: A randomised pilot study. *BMC Research Notes*, 10(1), 669. <https://doi.org/10.1186/s13104-017-2986-x>
- Le Gall, F., Carling, C [Christopher], Williams, M [Mark], & Reilly, T. (2010). Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players from an elite youth academy. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 90–95. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.07.004>
- Lipecki, K. (2018). Age-Related Differences in Fitness Performance and Technical Skills of Young Soccer Players. *Polish Journal of Sport and Tourism*, 25(4), 8–14. <https://doi.org/10.2478/pjst-2018-0021>
- Mansournia, M. A., Nazemipour, M., Naimi, A. I., Collins, G. S., & Campbell, M. J. (2021). Reflection on modern methods: Demystifying robust standard errors for epidemiologists. *International Journal of Epidemiology*, 50(1), 346–351. <https://doi.org/10.1093/ije/dyaa260>
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning*

Research, 18(3), 551–555. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2)

- Markström, J. L., & Olsson, C.-J. (2013). Countermovement jump peak force relative to body weight and jump height as predictors for sprint running performances: (in)homogeneity of track and field athletes? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(4), 944–953. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318260edad>
- McCall, A., Carling, C [Chris], Nedelec, M., Davison, M., Le Gall, F., Berthoin, S [Serge], & Dupont, G [Gregory] (2014). Risk factors, testing and preventative strategies for non-contact injuries in professional football: Current perceptions and practices of 44 teams from various premier leagues. *British Journal of Sports Medicine*, 48(18), 1352–1357. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093439>
- Meira, F. C., Franke, R. d. A., Da Costa, D. L., Nakamura, F. Y., & Baroni, B. M. (2023). Does sprint and jump performance of football players from a Premier League academy change throughout the season? *Sport Sciences for Health*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s11332-023-01112-5>
- Negra, Y., Chaabene, H., Hammami, M., Amara, S., Sammoud, S., Mkaouer, B., & Hachana, Y. (2017). Agility in Young Athletes: Is It a Different Ability From Speed and Power? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 727–735. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001543>
- Northeast, J., Russell, M., Shearer, D., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2019). Predictors of Linear and Multidirectional Acceleration in Elite Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(2), 514–522. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001897>
- Núñez, J., Suarez-Arrones, L., Hoyo, M. de, & Loturco, I. (2022). Strength Training in Professional Soccer: Effects on Short-sprint and Jump Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 43(6), 485–495. <https://doi.org/10.1055/a-1653-7350>
- Nuzzo, J. L., Anning, J. H., & Scharfenberg, J. M. (2011). The reliability of three devices used for measuring vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2580–2590. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181fee650>
- Ogborn, D. I., Bellemare, A., Bruinooge, B., Brown, H., McRae, S., & Leiter, J. (2021). Comparison of Common Methodologies for the Determination of Knee Flexor Muscle Strength. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(2), 350–359. <https://doi.org/10.26603/001c.21311>

- Oliver, J. L. [Jonathan L.], Armstrong, N., & Williams, C. A. (2009). Relationship between brief and prolonged repeated sprint ability. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 238–243. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.09.006>
- Opar, D. A., Piatkowski, T., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2013). A novel device using the Nordic hamstring exercise to assess eccentric knee flexor strength: A reliability and retrospective injury study. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 43(9), 636–640. <https://doi.org/10.2519/jospt.2013.4837>
- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W., & Naumann, E. (2021). *Quantitative Methoden* (5. Auflage). Springer. <https://permalink.obvsg.at/AC16438460>
- Sáez de Villarreal, E., Suarez-Arrones, L., Requena, B., Haff, G. G. [Gregory G.], & Ferrete, C. (2015). Effects of Plyometric and Sprint Training on Physical and Technical Skill Performance in Adolescent Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1894–1903. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000838>
- Sarmiento, H., Anguera, M. T., Pereira, A., & Araújo, D. (2018). Talent Identification and Development in Male Football: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(4), 907–931. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0851-7>
- Schmitt, H. (2013). Prävention und Therapie typischer Verletzungen und Überlastungsbeschwerden bei männlichen Fußballspielern. *Deutsche Zeitschrift Für Sportmedizin*, 2013(01), 18–27. <https://doi.org/10.5960/dzsm.2012.053>
- Sconce, E., Heller, B., Maden-Wilkinson, T., & Hamilton, N. (2021). Development of a Novel Nordic Hamstring Exercise Device to Measure and Modify the Knee Flexors' Torque-Length Relationship. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 629606. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.629606>
- Suarez-Arrones, L., Lara-Lopez, P., Rodriguez-Sanchez, P., Lazaro-Ramirez, J. L., Di Salvo, V., Guitart, M., Fuentes-Nieto, C., Rodas, G., & Mendez-Villanueva, A. (2019). Dissociation between changes in sprinting performance and Nordic hamstring strength in professional male football players. *PloS One*, 14(3), e0213375. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213375>
- VALD Performance. (2024a). *FD_Models_SpecificationSheet_En.pdf*. https://assets.ctfassets.net/98s79sqwuajy/7JKjrrUqF3SQuPUCmKoybm/2159f9e0534ca3df2656811cedff72a0/FD_Models_SpecificationSheet_En.pdf

- VALD Performance. (2024b). *ForceDecks Test: Countermovement Jump Protocol*. <https://support.vald.com/hc/en-au/articles/4999886017817-ForceDecks-Test-Countermovement-Jump-Protocol>
- VALD Performance. (2024c). *NordBord Test: Nordic*. <https://support.vald.com/hc/en-au/articles/8825271743769-NordBord-Test-Nordic>
- VALD Performance. (2024d). *NordBord_SpecificationSheet.docx*. <https://assets.ctfassets.net/98s79sqwuajy/2QwRhiYL9cpsdowkkr7vgG/1c3c24c5337c4dbe62500cc36cfc6d52/nordbord-specification-sheet.pdf>
- VALD Performance. (2024e). *Protocols*. <https://support.vald.com/hc/en-au/categories/4813559803289>
- VALD Performance. (2024f). *SmartSpeed Dash - System Hardware*. <https://support.vald.com/hc/en-au/articles/4996898160153-SmartSpeed-Dash-System-Hardware>
- VALD Performance. (2024g). *SmartSpeed Drill - One-Way Timing*. <https://support.vald.com/hc/en-au/articles/4997545365913-SmartSpeed-Drill-One-Way-Timing>
- Williams, C. A., Oliver, J. L [Jon L.], & Faulkner, J. (2011). Seasonal monitoring of sprint and jump performance in a soccer youth academy. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(2), 264–275. <https://doi.org/10.1123/ijsp.6.2.264>
- Wolf, C., & Best, H. (2010). *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse*. VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-92038-2>
- Woods, C., Hawkins, R. D., Maltby, S., Hulse, M., Thomas, A., & Hodson, A. (2004). The Football Association Medical Research Programme: An audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 38(1), 36–41. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002352>