



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Analyse der unterschiedlichen Belastungsparameter im
professionellen Jugendfußball hinsichtlich
Altersklassen & Spielpositionen“

verfasst von / submitted by
Mirnes Becirovic, Bakk.rer.nat.

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2023 / Vienna 2023

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. Dipl.-Ing. Dr. Arnold Baca

Kurzfassung

Ziel dieser Studie war es, die Spielintensitätsverteilung bei 51 hochtrainierten jungen Elite-Fußballspielern während Wettkampfspielen hinsichtlich der Altersklassen und Positionsprofile zu quantifizieren. Drei Meisterschaftsspiele der U15, sowie sechs Spiele der U16 und U18 Mannschaften wurden aufgenommen. Die Spieler wurden in Positionsgruppen kategorisiert: Innenverteidiger, Außenverteidiger, zentrales Mittelfeld und Stürmer.

Es wurden Parameter der externen Belastung (physischen) wie die zurückgelegte Distanz in sieben verschiedenen Geschwindigkeitszonen (SZ), hohe/niedrige Beschleunigungen, Verzögerungen und wiederholte hoch intensive Sprintfolgen (SSP & B3) sowie die Herzfrequenzzonen (HR) für die interne Belastung (physiologisch) erfasst. Die Belastungsparameter wurden relativ (individuelle Spielzeit), in Halbzeiten sowie für die gesamte Spielzeit während des Wettkampfspiels, analysiert. Die Gesamtdistanz der zehn anspruchsvollsten Spielminuten (MIP) im Wettkampfspiel wurde über einen gleitenden Durchschnitt sowie über vordefinierte Hochgeschwindigkeitsschwellen (>13 km/h, $>19,8$ km/h, $>25,2$ km/h) berechnet.

Der Altersgruppenvergleich zeigte, dass die U18 für das gesamte Spiel die niedrigsten „low intensity“ ($p = 0,011$, $\eta_p^2 = 0,1129$) und die höchsten „high intensity“ ($p = 0,003$, $\eta_p^2 = 0,101$) Distanzen produzieren. Größte Unterschiede in Hz1+Hz2+Gesamt zeigt die Speedzone 7, wobei die U18 die meisten und die U15 die wenigsten Meter absolvieren ($p < 0,001$). Im Positionsvergleich zeigt sich in allen Spielabschnitten (Hz1, Hz2, Gesamt), dass im Bereich „high intensity running“ die Stürmer und Außenverteidiger die größten Distanzen absolvieren ($p < 0,001$). Im Alters- und Positionsvergleich zeigen sich in den Herzfrequenzzonen (interne Belastungsparameter) keine Gruppenunterschiede.

In der ersten Halbzeit der Spiele hat die jüngste Mannschaft (U15) die größte Anzahl an „sprint/bout“ sowohl für SSP „successive sprints“ ($p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,512$) als auch für B3 „repeated-sprint-bouts“ ($p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,260$) absolviert. Im Positionsvergleich zeigen sich in allen Spielabschnitten signifikante Unterschiede in den SSP Parametern sowohl für „number_bouts“ als auch für „number_sprints“, wobei die Stürmer und Außenverteidiger, hierbei jeweils die höchsten Werte aufweisen. Für die B3 Parameter „number_sprint“ zeigt sich ebenso in allen Spielabschnitten signifikante Unterschiede, wobei für die zweite Halbzeit die stärksten Unterschiede gezeigt werden ($p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,387$). Die Außenverteidiger zeigen die größte und die Innenverteidiger die niedrigste Anzahl an gesamten Sprints.

Für den MIP Parameter mit $>25,2$ km/h wurden deutliche Gruppenunterschiede zwischen der U16 und U18 über die 4-10Minuten Zeitperioden nachgewiesen. Im MIP-Parameter mit $>25,2$ km/h zeigt in allen Zeitabschnitten (1-10m') die größten Gruppenunterschiede zwischen den Positionen Stürmer und Innenverteidiger sowie Stürmer und zentraler Mittelfeldspieler.

Die aktuelle Untersuchung zeigt die signifikanten Unterschiede der körperlichen Beanspruchung im Wettkampf. Die Ergebnisse sollen Trainern die Informationen liefern, um die Trainingsintensitäten, die während des Wettkampfs auftreten, genau vorschreiben zu können.

Abstract

The aim of this study was to quantify the match intensity distribution in 51 highly trained young elite soccer players during competitive matches, in terms of age groups and position profiles. Three championship games for the U15 and six games for the U16 and U18 teams were recorded. Players were categorized into four position groups: center backs, wing backs, central midfielders, and strikers. External load (physical) parameters such as distance covered in seven different speed zones (SZ), high/low accelerations, decelerations, and repeated high-intensity sprint sequences (SSP & B3), and heart rate (HR) zones for internal load (physiological) were recorded. The load parameters were analyzed relatively (individual game time), in half-times as well as for the total game time during the competitive game. The total distance of the ten most demanding minutes of play (MIP) in the competitive game was calculated using a moving average as well as predefined high speed thresholds (>13 km/h, $>19,8$ km/h; $>25,2$ km/h). Age group comparison showed that U18 produced the lowest "low intensity" ($p = 0.011$, $\eta_p^2 = 0.1129$) and the highest "high intensity" ($p = 0.003$, $\eta_p^2 = 0.101$) distances for the whole game. The largest differences in Hz1+Hz2+total are shown in speed zone 7, with the U18s completing the most meters and the U15s the least ($p < 0.001$). In the positional comparison, all sections of the game (Hz1, Hz2, Total) show that in the "high intensity running" section, the forwards and outside backs complete the greatest distances ($p < 0.001$). Age and position comparisons showed no group differences in the heart rate zones (internal load parameters). In the first half of the games, the youngest team (U15) completed the greatest number of "sprint/bout" for both SSP "successive sprints" ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.512$) and B3 "repeated-sprint-bouts" ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.260$). In the position comparison, significant differences in the SSP parameters for both "number_bouts" and "number_sprints" are evident in all game sections, with the strikers and fullbacks, in each case, showing the highest values. For the B3 parameter "number_sprint" significant differences are also shown in all sections of the game, with the strongest differences being shown for the second half ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.387$). The outside defenders show the highest and the inside defenders the lowest number of total sprints. In the MIP parameter with >25.2 km/h the largest group differences are shown between the positions of striker and central defender and striker and central midfielder in all time periods (1-10m'). The current study shows the significant differences in physical demands in competition. The results should provide coaches with the information they need to accurately prescribe the training intensities that occur during competition.

Danksagung

Mein Dank geht in erster Linie an meine Betreuer, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Arnold Baca / Jonas Bischofberger, B.Sc. M.Sc., die mich während der Masterarbeit positiv unterstützt haben. Meine anfallenden Fragen oder Probleme immer gewusst haben zu lösen. Des Weiteren gilt mein Dank an meinen Betreuer, der mir es ermöglicht hat, genau diese Forschungsarbeit zu verfassen, die sich mit meiner persönlichen Thematik des Fußballs, auseinandersetzt.

Meiner gesamten Familie und engsten Freunden gebührt ein Dankeschön, die mich immer unterstützt haben und immer an mich geglaubt haben.

Natürlich danke ich auch allen Akademiespielern, die sich während ihrer Meisterschaftsspiele für diese Studie bereitgestellt haben.

Weiters Danke ich Mag. Dr. Richard Hauer, Bakk und Mag. Dr. Paul Störchle, Bakk. mit dessen Hilfe und großzügigen Unterstützung ich diese Unmengen von Daten, im Zuge meines Forschungspraktikums, gezielt verwenden konnte.

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG	6
2 FORSCHUNGSSTAND UND LEISTUNGSFÄHIGKEIT IM FUßBALL	9
2.1 KONDITIONELLES ANFORDERUNGSPROFIL IM PROFIFUßBALL	10
2.2 KONDITIONELLES ANFORDERUNGSPROFIL VON ELITENACHWUCHSFUßBALLSPIELERN	13
3 METHODIK	17
3.1 MESSUNG DER PHYSIOLOGISCHEN UND PHYSISCHEN DATEN WÄHREND DER MEISTERSCHAFTSSPIELE AKA ST.PÖLTEN	17
3.2 PHYSISCHE PARAMETER	18
3.3 PHYSIOLOGISCHE PARAMETER	21
3.4 PROBANDEN	21
3.4.1 PROBANDEN-AUFTEILUNG	23
3.4.2 WETTKAMPFANFORDERUNG ÖFB	23
3.5 DATENERFASSUNG DER WETTKAMPFSPIELE	24
3.5.1 LOCAL POSITION MEASUREMENT TECHNOLOGIE (LPM)	24
3.5.2 FUßBALLANWENDUNG	25
3.5.3 MESSABLAUF	26
3.5.4 VERFAHREN	27
4. ERGEBNISSE	28
4.1 OVERVIEW	28
4.2. STATISTISCHE ANALYSE	29
4.3. UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN ALTERSKLASSEN	29
4.4. UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN POSITIONEN	32
4.5. SSP & BOUTS UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN ALTERSKLASSEN	36
4.6. SSP & BOUTS UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN POSITIONEN	37
4.7. MIP ANALYSE	42
4.7.1. MIP – UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN ALTERSKLASSEN	42
4.7.2. MIP – UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN POSITIONEN	44
4.8. ZUSAMMENHANG ZWISCHEN ALTERSKLASSEN UND POSITIONEN	50
5. DISKUSSION	52
5.1 DISKUSSION DER ALTERSBEZOGENEN ERGEBNISSE	52
5.2 DISKUSSION DER POSITIONSBEZOGENEN ERGEBNISSE	55
5.3 DISKUSSION DER ALTERSBEZOGENEN SSP/B3 ERGEBNISSE	59
5.4 DISKUSSION DER POSITIONSBEZOGENEN SSP/B3 ERGEBNISSE	62
5.5 DISKUSSION DER POSITIONSBEZOGENEN MIP ERGEBNISSE	66
5.5 DISKUSSION DER ALTERSBEZOGENER MIP ERGEBNISSE	71
5.6 DISKUSSION DER ALTERS- UND POSITIONSBEZOGENEN ERGEBNISSE	73
6 FAZIT, LIMITATION UND AUSBLICK	73
6.1 FAZIT	73
6.2 LIMITATION	76
6.3 AUSBLICK	77
7 LITERATURVERZEICHNIS	79
8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	85
9 TABELLENVERZEICHNIS	85
10 ANHANG	86

1 Einleitung

Das Interesse sowie die Aufmerksamkeit der Trendsportart Fußball steigt bei Millionen von jungen Fußballspielern auf der ganzen Welt stetig an. Hierzu schätzt die FIFA (Fédération Internationale de Football Association), dass um die 200 Millionen Menschen dieser Sportart aktiv nachgehen (Schulze-Marmeling 2006).

Im Erwachsenen Profibereich gibt es international immer mehr wissenschaftliche Arbeiten über die Quantifizierung der körperlichen Anforderungsprofile während Fußballwettkämpfen (Bangsbo et al., 2006; Molinos, 2013; Abbott et al., 2018). Die aufgezeichneten Matchaktivitäten der einzelnen Spieler sollen in der Praxis zur Bestimmung bzw. Planung der Trainingsintensitäten sowie als Hilfestellung für Fußballübungen dienen (Buchheit et al., 2014; Garcia et al., 2018, Riboli et al., 2020). Speziell im Elitenachwuchsfußball besteht das Ziel darin, genauere Untersuchungen hinsichtlich körperlicher Beanspruchung durchzuführen.

Der athletische Bereich scheint ein immer wesentlicherer Faktor bei internationalen Top Clubs zu sein. Die physischen (äußeren) und physiologischen (inneren) Parameter werden im täglichen Trainingsbetrieb als auch bei den Wettkampfspielen überwacht und aufs Neue für die Belastungssteuerung analysiert. Diese Herangehensweise hat sich mittlerweile auch bei Elitenachwuchsspielern manifestiert, um bereits in jüngeren Generationen das Maximum an Performance herausholen zu können. Dementsprechend wird in den professionellen Fußballakademien die frühe Entwicklung in technischen, taktischen und auch in körperlichen Fähigkeiten voran getrieben (Buchheit et al., 2010b).

Die gesteigerte Leistungsdichte im internationalen Spitzenfußball sowie die immer größer werdende körperliche Belastungsanforderung an die Spieler erfordern eine genaue Trainings- und Matchanalyse.

Durch die gemessenen Erkenntnisse hat sich das Anforderungsprofil an die Spielpositionen in den letzten Jahren rasant verändert. Dadurch hat die athletische Komponente im Bereich körperlicher Fitness für die Trainings- und Wettkampfsteuerung massiv an Bedeutung gewonnen.

Die genaue Trainings- und Wettkampfsteuerung gewährleistet eine permanente körperliche Fitness zu erlangen. Dabei ist es wichtig, die Anforderungsprofile im Fußballwettkampf genauestens zu kennen, um Einfluss auf die Spielleistung zu nehmen (Tschan et al., 2001; Buchheit et al., 2010; Affengruber, 2016; Uhlig, 2017).

Ziel dieser Arbeit ist es, durch wissenschaftliche Erkenntnisse die Trainingsplanung und -steuerung zu verbessern und dadurch eine Hilfestellung für die Trainer zu ermöglichen.

Die gesammelten Daten des Spieler-trackings beziehen sich auf die physiologischen (inneren) und physischen (äußeren) Belastungsparameter von männlichen Elite Akademie Jugendfußballspielern.

Der Fußball ist eine Sportart, die durch kurze Phasen mit hochintensiven Belastungen und längere Perioden mit niedrigen Intensitäten gekennzeichnet ist. Vor allem treten hochintensive Spielphasen bei kritischen Phasen auf, wie beim Torabschluss oder tornahen Situationen (Gabbett et al., 2013; Bujalance-Moreno et al., 2019; Hauer et al., 2021).

Harley et al. (2010) untersuchte die inneren und äußeren Belastungsparameter zwischen den jeweiligen Altersgruppen auf signifikante Unterschiede, aber es gibt wenige Studien, die sich auf Großfeldspiele im Fußball hinsichtlich der genannten Belastungsparameter von Spielern beziehen (Buchheit et al., 2010; Scott et al., 2014).

In dieser Arbeit wird zusätzlich die Spielposition als bedeutende Variable, die das Wettkampfspiel hinsichtlich der körperlichen Komponente stark beeinflussen kann, untersucht (Di Salvo et al., 2007; Abbott et al., 2018; Baptista et al., 2020; Garcia et al., 2020).

Alle gesammelten Daten wurden in Rohdaten als absolute Parameter ausgewertet, dementsprechend wurde in dieser Arbeit gezielt auf einzelne Halbzeiten als auch auf die gesamte Spielzeit eingegangen (Mohr et al., 2003; Baros et al., 2007, Di Salvo et al., 2007).

In dieser wissenschaftlichen Arbeit werden mit Hilfe der aktuellen Literatur die Unterschiede in den Belastungsparametern im Wettkampf bei männlichen Elite Nachwuchsspielern untersucht. Infolgedessen soll für jeden aufgezeichneten Belastungsparameter überprüft werden, ob es Unterschiede zwischen den drei Altersklassen und den vier ausgewählten Positionsprofilen gibt.

Es ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- 1) Inwiefern zeigen sich Unterschiede in den Belastungsparametern im Wettkampfspiel bei männlichen Elite Nachwuchsfußballspielern, während der einzelnen Halbzeiten oder der gesamten Spielzeit, hinsichtlich der Spielpositionen zwischen drei Altersklassen?
- 2) Unterscheiden sich physische „externe“ Belastungsparameter zwischen den Altersklassen & Spielpositionen?
- 3) Unterscheiden sich physiologische „interne“ Belastungsparameter zwischen den Altersklassen & Spielpositionen?

Die Anforderungsprofile für Elite Nachwuchsspieler*innen sowie physische und physiologische Belastungsparameter im Fußball werden Anfang des nächsten Kapitels, anhand der vorhandenen Literatur, näher beschrieben und dargestellt.

Kapitel 3 befasst sich mit der durchgeführten empirischen Arbeit, wobei die Methodik, die Datenerfassung sowie die Messung der physischen und physiologischen Belastungsparameter näher beschrieben wird.

Im Kapitel Methodik wird die local positioning measurement (LPM) sowie alternative Messsysteme detailliert erklärt und auf unterschiedliche Analysemerkmale eingegangen. Im Verlauf des Kapitels wird dann näher auf Probanden, Messablauf sowie Erhebung der Daten eingegangen. Des Weiteren wird beschrieben, wie die Aufbereitung und anschließende Bearbeitung der Daten stattfindet.

Das Kapitel Ergebnisse beantwortet die Forschungsfragen, wobei hier alle Belastungsparameter hinsichtlich der Altersklassen sowie der Positionsspezifika, detailliert beschrieben werden. Die Ergebnisse werden im Anschluss ausführlich diskutiert und interpretiert.

Basierend darauf wird in Kapitel 5 eine zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse stattfinden.

Bei dem abschließenden Resümee wird ein Fazit gezogen sowie ein Ausblick für zukünftige trainingspraktische Möglichkeiten erläutert.

2 Forschungsstand und Leistungsfähigkeit im Fußball

Im folgenden Kapitel werden die Anforderungen sowohl im Profifußball als auch die speziell eines Elitenachwuchsspielers beschrieben. Das Anforderungsprofil ist vielfältig und durch Lauf- und Fußballspezifische Parameter geprägt. Der Fußballspieler sollte im technischen, taktischen, psychologischen, sozialen, und physiologischen Bereich eine Vielzahl an Eigenschaften besitzen, um erfolgreich zu sein. Außerdem ist ein gutes Verständnis für Zweikampfführung, Rutschen, Kopfballspiel, Schüsse, und vieles mehr erforderlich (Buchheit et al., 2010; Mendez-Villanueva et al., 2012; Affengruber, 2016). Hinzu kommen die taktischen Vorgaben des Trainers, die integriert werden sollen. Der Fußball stellt eine immer größer werdende Spielanforderung an die Mannschaft bzw. die einzelnen Spieler dar, die sie auch positionsspezifisch bewältigen müssen. Somit sollte stets eine hohe Leistungsanforderung sowie Spielfähigkeit angestrebt werden. Die Komponenten Taktik, Technik, Athletik, und der mentale Faktor sind von großer Bedeutung in dem komplexen Spiel des Fußballsports.

Idealerweise sollte ein Spieler alle zuvor genannten Fähigkeiten vereinen können und dabei taktisch geschult und mental stark sein, über körperliche Präsenz sowie gute technische Fertigkeiten verfügen, und auch ein mannschaftsdienlicher Spieler sein.

In Abbildung 1 setzen sich die Komponenten auf die sportliche Leistungsfähigkeit eines Sportlers multifaktoriell zusammen. Wobei sind diese voneinander abhängige Faktoren und daher komplex zu trainieren (Weineck, 2004).

Nach Geese (2009) ist die Leistungsfähigkeit im Fußballspiel das Resultat miteinander in Wechselwirkung stehender Komponenten. Im Vordergrund stehen die technischen, konditionellen Fähigkeiten, ebenso wie psychische, konstitutionelle und soziale Fähigkeiten.

Die Einflussfaktoren der Leistungsfähigkeit sind harmonisch zu entwickeln, damit eine individuelle Höchstleistung ermöglicht werden kann. Als Persönlichkeitsmerkmale gelten eine hochgradige Leistungsmotivation, Leistungsbereitschaft, sowie eine hohe psychophysische Belastbarkeit und mentale Stärke, die die sportliche Leistungsfähigkeit beeinflussen. Dabei sind die Komponenten gegenseitig voneinander abhängige Faktoren, die Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Fußballers haben. Die konditionelle Komponente kann nur mit entsprechenden technischen, konditionellen und psychischen Voraussetzungen realisiert werden (Weineck, 2004).

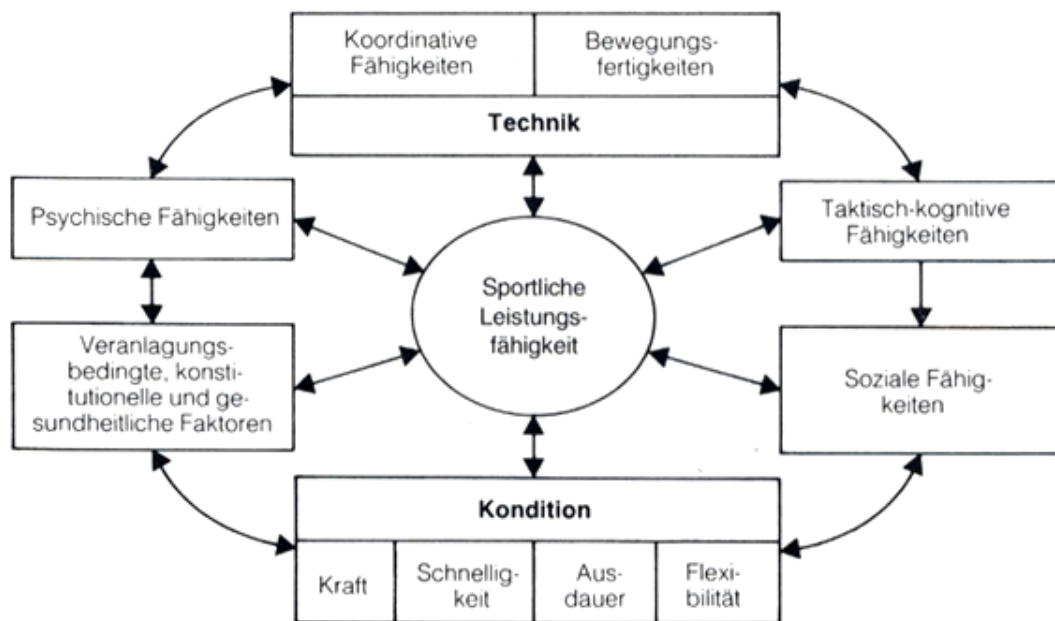


Abbildung 1: Komponenten der Leistungsfähigkeit des Fußballspielers (modifiziert nach Weineck, 2004, S. 17; Hohmann et al., 2003, S. 43)

2.1 Konditionelles Anforderungsprofil im Profifußball

Im nachfolgenden Kapitel wird versucht das Anforderungsprofil im Sportspiel Fußball näher zu zeigen. Eine Reihe von Studien der letzten Jahre befasste sich mit den Anforderungsprofilen von Spieler*innen im Fußballsport.

Bei physischen Belastungsparametern spricht man von Laufristanzen, Beschleunigungen, Abbremsungen, Sprintdistanzen und Sprintserien, hochintensive Meter, wobei die Herzfrequenzzonen, $VO_2\text{Max}$ oder Laktatkonzentration zu den physiologischen Parametern zählen (Tschan et al. 2001; Affengruber, 2016; Uhlig, 2017).

Im Allgemeinen ist Fußball als azyklische Bewegungsform mit wechselnden Intensitäten sowie unterschiedlichen Pausen gekennzeichnet. Hinzu kommt der nicht planbare Spielverlauf, der intermittierende bzw. intervallartige Belastungsmuster zur Folge hat. Vor allem im Spitzenfußball wechseln diese Phasen sehr häufig (Mohr et al., 2003; Bangsbo et al., 2006; Di Salvo et al, 2007; Dupont & McCall, 2016; Uhlig, 2017).

Stolen, Chamari, Castagna und Wisloff (2005) berichten von rund 1.000 bis 1.400 hauptsächlich kurzen Aktivitäten, die sich alle vier bis sechs Sekunden ändern bzw. die Aktionen zwei bis vier Sekunden andauern.

Ein Spieler absolviert 150 bis 250 kurze hochintensive Aktionen im Spiel, durchschnittlich gibt es alle 70 Sekunden eine hochintensive Bewegung (Mohr et al., 2003; Uhlig 2017).

Dupont & McCall (2016) beschreiben Sprints in einer Dauer von 2-4 Sekunden, die wiederum 20-55 mal im Wettkampfspiel vorkommen. Die durchschnittliche Länge beträgt von 17 bis 22 Meter, wobei die Mehrzahl weniger als 10 Meter beträgt.

Im modernen Fußball haben Richtungswechsel mit wiederholten Beschleunigungen (acceleration) und Verzögerungen (deceleration) eine hohe Bedeutung. Es werden während eines professionellen Fußballspiels 300 ($>0,5\text{m/s}^2$; Dauer $>0,5\text{s}$) Beschleunigungen und Verzögerungen pro Halbzeit durchgeführt. Etwa 18% der gesamten zurückgelegten Strecke wird beim Beschleunigen und Verzögern zurückgelegt (Russell et al., 2016; Malone et al., 2018; Hauer et al., 2021).

Freiwald et al. (2013) beschreibt diesen ständigen Wechsel von kurzen, hochintensiven Aktionen und Belastungen pro Spiel mit etwa 160 maximalen Beschleunigungen, mit einer Dauer meist von 5 Sekunden bei 90-100% Intensität, sowie einer durchschnittlichen Pause von 30 Sekunden.

Im Fußball sind kurze, hochintensive Aktionen mit höchster Intensität in den Hauptfokus gerückt, sowie längere Belastungen, die mit geringer Intensität durchgeführt werden. Winckel et al. (2014) bezeichnet diese essentiellen Bereiche als wiederholte Sprints, welche im höchsten Tempo durchgeführt werden.

Diese wichtige und entscheidende Komponente eines Spielers wird als wiederholte Sprintfähigkeit „repeated sprint ability“ (RSA) definiert. Hierbei ist die rasche Erholung sowie eine anschließend qualitativ ähnliche hochintensive Laufanstrengung von großer Bedeutung (Winckel et al., 2014; Gabbett et al., 2008; Gabbett et al., 2013).

Bei professionellen Fußballspielern zeigen sich durchschnittliche Distanzen von 10-12 Kilometer (Mohr et al., 2003; Di Salvo et al., 2007; Bradley et al., 2009; Stolen et al., 2005).

Uhlig (2017) beschreibt im Spitzenfußball Distanzen zwischen 9 und 14 km, die absolviert werden, die wiederum in unterschiedlichen Intensitätsbereichen durchgeführt werden.

Bisherige Studien beschreiben, dass Distanzen im Fußball in unterschiedlichsten Intensitäten durchgeführt werden, vom Stehen über das Gehen und Joggen bis hin zu maximalen Sprintdistanzen. Den größten Teil der Gesamtlaufristanz, etwa zwei Drittel, verbringen die Spieler im Stehen, Gehen oder langsamen Laufen (Tschan et al., 2001; Kindermann, 2005; Carling et al., 2008; Rampini et al., 2007b; vgl. Impellizzeri, 2013).

Krustrup et al. (2005) unterteilt im Erwachsenenfußball aufgrund der höheren physischen Belastungen die Geschwindigkeitsbereiche wie folgt: Stehen (0 km/h), Gehen (0,1-6 km/h), Joggen (6-8 km/h), langsames Laufen (8-12 km/h), moderates Laufen (12-15 km/h),

schnelles Laufen (15-18 km/h) und Sprinten (>25 km/h). In den weiteren Literaturangaben werden die Geschwindigkeiten in Zonen dargestellt: Zone 1 (0-7,1 km/h), Zone 2 (7,2-14,3 km/h), Zone 3 (14,4-19,7 km/h), Zone 4 (19,8-25,2 km/h) und Zone 5 ($\geq 25,2$ km/h) (Di Salvo et al., 2009, Dalen et al., 2016).

Die Geschwindigkeitszonen werden auch durch die folgenden Studien jeweils in ähnlicher Form bekräftigt. Mohr, Krstrup und Bangsbo (2003) beschreibt, dass Profispieler 19 Prozent der Zeit während eines Spiels im Stehen sowie 40 Prozent im Gehen verbringen. 30 Prozent der Profispieler bewegen sich im niedrigen Intensitätsbereich, wobei der Anteil der hoch intensiven Läufe rund neun Prozent darstellt.

Nach Bradley et al. (2009) sind die Intensitätsbereiche während der Gesamtspieldauer: 26,1 Prozent „jogging“, neun Prozent der Spieler bewegten sich im höheren intensiven Bereich, wobei dessen Anteil sich auf 6,4 Prozent „running“, zwei Prozent „high speed running“ und 0,6 Prozent „sprinting“ aufteilte.

Ebenso beschreibt Uhlig (2017) in seiner Studie, dass die Spieler*innen 20-25% der Gesamtlaufristanz mit einer mittleren Intensität und 8-10% der Gesamtlaufristanz im hochintensiven Bereich „high intensity running“ absolviert werden, diese wiederum entspricht einer Länge von 1-3km (Rampini et al., 2007b; Carling et al., 2008; Bradley et al., 2009).

Der Parameter „high intensity running“ (HIR) gilt als einer der wichtigsten Parameter um das Leistungsniveau eines Spielers einschätzen zu können. In der Studie von Rebelo et al. (2014) legten erwachsene Profifußballspieler 9-12 km zurück. Davon wurden 1,5-3,3 km im HIR Bereich absolviert.

Es ist jedoch anzumerken, dass der Gesamtumfang der intensiven Laufaktivitäten im Fußball bezogen auf die Gesamtdistanz eher gering, jedoch entscheidend für den Spielausgang ist. Die gesamte Laufristanz, die eine Mannschaft bzw. individuelle Spieler absolvieren ist vom Spielstil, vom taktischen Spielsystem, von der Spielstärke der Gegner, vom Spielstand und Spielverlauf sowie vom konditionellen Leistungsniveau der Spieler abhängig (Abbott et al., 2018; vgl. Owen & Dellal, 2016a).

Die Sportart Fußball ist aus physiologischer Betrachtung eine aerob basierte anaerobe Sportart (Köklü et al., 2011).

Bei männlichen Fußballprofs auf internationalem Niveau liegt die maximale Sauerstoffaufnahme ($VO_2\text{Max}$) im Durchschnitt zwischen 55 bis 67 ml/kg/min. Hierbei zeigt sich eine durchschnittliche Arbeitsintensität während eines 90-minütigen Wettkampfspiels bei etwa 80 bis 90 Prozent der maximalen Herzfrequenz eines Spielers (Hoff & Helgerud, 2004). Der mittlere Energiebedarf während eines Wettkampfspiels der internationalen Topligen liegt bei etwa 70% der $VO_2\text{Max}$. Dabei wird gezeigt, dass sich Spitzenfußballer bei einer

durchschnittlichen Intensität nahe der anaeroben Schwelle mit 80-90% der maximalen Herzfrequenz bewegen (Helgerud et al., 2001).

Die Beurteilung der maximalen Herzfrequenz (HFmax) wird in der bestehenden Literatur über einen Leistungstest ermittelt. Hierbei wird der Referenzwert herangezogen, um die durchschnittliche Herzfrequenz zu berechnen sowie für die unterschiedlichen Herzfrequenzzonen zu verwenden. In den Literaturquellen werden die Herzfrequenzzonen, bezogen auf die HFmax, ähnlich in vier Zonen untergliedert (Hill-Haas et al., 2010; Castellano et al., 2013; Dellal et al., 2012; Casamichana & Castellano, 2010).

Die durchschnittliche Herzfrequenz in einem Wettkampfspiel im Fußball liegt bei 165-175 Schlägen pro Minute und ist in der ersten Halbzeit zumeist etwas höher als in der zweiten Halbzeit. Rund 90% der Spielzeit liegt die Herzfrequenz über 73% der maximalen Herzfrequenz, während rund 11% der Spieldauer unter 73% der maximalen Herzfrequenz beträgt. Die individuell höchsten Werte erreichen Spieler*innen durch Dribblings und Sprints mit dem Ball. Dabei gilt es beeinflussende Bedingungen, wie zum Beispiel hohe Temperaturen oder auch psychischer Stress bei der Messung der Herzfrequenz zu berücksichtigen (vgl. Tschan et al., 2001).

Krustrup et al. (2005) und Castagna et al. (2009) haben bei Messungen der Herzfrequenz während eines Fußballspiels gezeigt, dass bei den meisten Spielern eine hohe physiologische Belastung hervorgerufen wird, bei einer durchschnittlichen Trainingsintensität von etwa 85 % der maximalen Herzfrequenz.

Durch die Bestimmung der Herzfrequenz ist es möglich, die physiologischen (inneren) Belastungen eines Spielers zu ermitteln und definieren. Dadurch ist es möglich, die innere Belastung mit jeder beliebigen physischen (äußeren) Belastung wie der Anzahl der Beschleunigungen oder den unterschiedlichen Distanzen in den Geschwindigkeitszonen in Verbindung zu setzen und sie zu vergleichen (vgl. Affengruber, 2016).

2.2 Konditionelles Anforderungsprofil von Elitenachwuchsfußballspielern

Aufgrund der physischen und physiologischen Unterschiede zwischen Nachwuchs- und Erwachsenenfußball wird in dieser Arbeit ein separater Bezug auf das Alters- und positionsspezifische Anforderungsprofil von Elitenachwuchsspielern genommen.

In diesem Kapitel wird das Leistungsanforderungsprofil eines Elitenachwuchsspielers unterschiedlicher Altersklassen sowie deren Positionsspezifika nähergebracht. Das konditionelle Belastungsanforderungsprofil bei einem Elitenachwuchsspieler im Fußball setzt sich aus physischen und physiologischen Parametern zusammen. Die Jugendspieler wählen

hauptsächlich den Weg der Akademiemannschaften um Profifußballer zu werden. Vor allem die letzte Altersstufe der U18 hat einen hohen Stellenwert für die Spieler. Aufgrund des nächsten Schrittes in Richtung Erwachsenenfußball sollten die Belastungen und Anforderungen hoch und fordernd sein, um den neuen Reizen und Herausforderungen in einer Profimannschaft standhalten zu können.

Rábano-Muñoz, et al. (2019) haben körperliche Anforderungen ebenso verglichen, um die Unterschiede in den Altersgruppen darzustellen. Mit zunehmendem Alter werden größere und höhere Leistungen mit höheren externer Belastung beobachtet. Dabei wurde die zurückgelegte Gesamt- und Relativstrecke sowie Beschleunigungen und Verzögerungen gefunden.

Die relative Laufleistung bezogen auf die Wettkampfspieldauer zwischen den Altersgruppen ähnelt sich. Hierbei beträgt die absolute Gesamtlaufristanz 7672 ± 2578 m in der U16 Mannschaft und 5967 ± 1277 m in U12 Mannschaften, die Sprintdistanz liegt bei U16 Spielern im Bereich 302 ± 184 m und bei U12 Spielern zwischen 174 ± 64 m. Dabei wird empfohlen, die spezifischen Anforderungen an Jugendspieler, einerseits mit unterschiedlichen Geschwindigkeitszonen altersbedingt und andererseits in Abhängigkeit von der maximalen Laufgeschwindigkeit eines jeden Spielers, anzupassen (Harley et al., 2010).

Die Einteilung der Geschwindigkeiten im Elitenachwuchsfußball ist bei einigen Literaturangaben unterschiedlich untergliedert. Hierbei wird die Geschwindigkeit einer Bewegung als „high intensity running“ (HIR) zwischen 13 km/h und 16 km/h eingestuft und definiert, wobei zumeist die Grenze mit $\text{HIR} > 14,5$ km/h verwendet wird (Hill-Haas et al. 2009; Bradley et al. 2010; Scott et al. 2014).

Buchheit, Mendez-Villanueva, Simpson & Bourdon (2010a) gliedern die Intensitätsbereiche in die Bereiche „low-intensity running“ (LIR) $< 13,0$ km/h, „high-intensity running“ (HIR) 13,1-16 km/h, „very high-intensity running“ (VHIR) 16,1-19 km/h und „sprinting“ (> 19 km/h).

Im Gegensatz zum Erwachsenenfußball werden im Elitenachwuchsfußball folgende Geschwindigkeitszonen nach Casamichana und Castellano (2010), Hill-Haas et al. (2009), und López-Fernández et al. (2019) dargestellt: Zone 1 (0-6,9 km/h), Zone 2 (7-9,9 km/h), Zone 3 (10-12,9 km/h), Zone 4 (13-15,9 km/h), Zone 5 (16-17,9 km/h), Zone 6 (> 18 km/h). Hierbei wird in der Literatur oftmals eine hochintensive Bewegung als sogenannter Sprint unterschiedlich definiert, wobei dieser Bereich zwischen 18 und 22 km/h bei männlichen Jugendspielern angegeben wird. Dabei wird der Sprint von den Autoren mit einer Grenze von > 18 km/h angegeben (Castagna et al., 2009; Hill-Haas et al., 2009; Rebelo et al., 2014).

Im Vergleich dazu werden Sprints im Erwachsenenfußball mit einer Grenze von $\geq 25,2$ km/h zumeist höher angesetzt, da im Wettkampfspiel höhere maximale Geschwindigkeiten erreicht werden als bei Elitenachwuchsspielern*innen (Ingebrigtsen et al., 2015; Dalen et al., 2016; Di Salvo et al., 2009).

Van Winckel et al. (2014), zeigt die Belastungskomponente von wiederholten Sprints „repeated sprint ability“ (RSA) im höchsten Tempo um diese über das gesamte Spiel häufig durchführen zu können. Selmi et al. (2020) berichten dazu, dass die wiederholte Sprintleistungsfähigkeit bei jungen Fußballspielern mit ihrem Reifestatus zusammenhängt. Daher sollte die Wichtigkeit betont werden, damit die Trainingsbelastung an das Alter des Spielers anzupassen, damit die körperliche Leistung und die resultierenden Muskelreaktionen für die jungen Spieler zu bewältigen sind (Sánchez-Sánchez et al., 2019). Diese physische Komponente wird als wichtige körperliche Fähigkeit bei Elitenachwuchsspielern im Fußball angesehen. Die wiederholten Sprintserien werden durch das Alter, Position und Spieldauer beeinflusst (Buchheit et al., 2010b).

Die Gesamtstrecke zwischen Nachwuchs- und Erwachsenenfußballspielern unterscheidet sich nicht signifikant, wobei sich die Distanzen in den Geschwindigkeitsbereichen unterscheiden.

Bei den Jugendfußballer*innen zeigt sich, dass Sie wesentlich weniger sprinten. Zusätzlich nimmt auch noch die Anzahl der Sprints in der zweiten Halbzeit bei den Nachwuchsspielern stärker ab als bei den Erwachsenen. Daraus lässt sich schließen, dass im Übergang von der Jugend hin zum Erwachsenenfußball mit einer erhöhten Sprintarbeit zu rechnen ist. Somit gilt, dass die Sprintleistungsfähigkeit den Unterschied in den Altersklassen darstellt (Vgl. Affengruber, 2016, S.16/17; vgl. Verheijen, 2001).

Des Weiteren sind die Anforderungen an die Spieler je nach Formation und Position unterschiedlich. Abbott et al. (2018) und Molinos et al. (2013) beschreiben, dass die körperlichen Anforderungen, die während eines Wettkampfspiels gestellt werden, sich deutlich in den Spielpositionen des Akademiefußballs unterscheiden.

Sowohl bei Nachwuchsspielern als auch bei Erwachsenen Spitzenfußballern haben frühere Spielanalysen gezeigt, dass die Laufleistung im Wettkampfspiel und die hohe Laufintensität positionsabhängig ist. Innenverteidiger laufen im Allgemeinen weniger hochintensive Meter, während Mittelfeldspieler und Angreifer am meisten laufen (Rampini et al., 2007; Bradley et al., 2009; Di Salvo et al., 2009).

Buchheit et al. (2010a) zeigt dabei die deutlichen Unterschiede der absolvierten Laufleistungen und hoch intensiven Distanzen (>16 km/h) auf. Diese zurückgelegten intensivsten Meter sind besonders alters,- aber vor allem positionsabhängig. Die Innenverteidiger zeigen deutliche Unterschiede in diesen Bereichen im Gegensatz zur

Spielposition des Stürmers. Des Weiteren sprinten Stürmer mehr als Verteidiger und Mittelfeldspieler (Mohr et al., 2003).

Hinsichtlich der Spielpositionen gibt es große Unterschiede im Bezug auf die zurückgelegte Laufdistanz, die Anzahl der Sprints, und der Durchschnittsgeschwindigkeit. In allen Altersklassen legen Mittelfeldspieler die meisten und Verteidiger die wenigsten Kilometer zurück (Verheijen, 2000; Affengruber, 2016; Dellal et al., 2012; Abbott et al., 2018).

Nach Carling et al. (2012) und Bradley et al. (2009) sind die äußeren Mittelfeldspieler sowie Außenverteidiger diejenigen mit den größten Distanzen für hochintensive Läufe und Sprints, da sie zugleich angreifend wie auch verteidigend am meisten gefordert werden.

Dalen et al. (2016) und Ingebrigsten et al. (2015) zeigen auch bei den Beschleunigungen ähnliche Muster wie zuvor, da die äußeren Mittelfeldspieler eine deutlich stärkere Beschleunigungsrate haben als die Spieler im zentralen Bereich.

Die durchschnittliche Herzfrequenz (HF) während eines U15 Wettkampfspiels liegt zwischen 175-180 HF-Schlägen. Davon sind die Spieler zwei Drittel des Matches bei 85% der maximalen Herzfrequenz(HFmax), 28-30 Minuten bei 85-90% der HFmax, 18-20 Minuten bei 90-95% HFmax und 8-12 Minuten werden bei 95-100% HFmax absolviert (vgl. Uhlig, 2017).

Im Gegensatz zu den Erwachsenen wurde bei den jungen Fußballspielern keine signifikanten Unterschiede in den Reaktionen der Herzfrequenz auf verschiedene Trainingsübungen, die deutlich unterschiedliche Laufanforderungen hervorriefen wie zum Beispiel Kleinfeldspielen, beobachtet, (Hill-Haas et al., 2011).

Randers et al. (2014) zeigt auf, dass die Unterschiede der physiologischen und physischen Belastungsparameter zwischen den Altersgruppen im Jugendfußball gering sind.

Des Weiteren zeigen Harley et al. (2010) und Randers et al. (2014), dass geringe Unterschiede bestehen, wenn sich die physiologischen und physischen Belastungsparameter relativ auf die Spielzeit beziehen.

Wie zuvor betrachtet, gibt es nur geringe Unterschiede in der gesamten Laufdistanz zwischen den jungen und erwachsenen Spielern. Berücksichtigt man jedoch die Geschwindigkeiten, zeigen sich sehr wohl Unterschiede, wobei Nachwuchsspieler*innen sowohl bei kurzen als auch bei langen Sprintdistanzen geringere Werte aufweisen. Daher haben die Elitenachwuchsspieler*innen beim Übergang zum Erwachsenenfußball mit einer Zunahme der Sprintleistungsfähigkeit zu rechnen. Des Weiteren ist noch einmal zu erwähnen, dass die Laufintensität sowohl im Jugend- als auch im Erwachsenenfußball in Abhängigkeit von Positionen unterschieden aufweist. Hierbei spielt vor allem auf der Profiebene die taktische Erfahrung eine Rolle, die berücksichtigt werden muss.

Zusammenfassend ist es wichtig, dass Elitenachwuchsspieler nach dem Verlassen des Akademiebereichs ausreichend auf die Herausforderungen des Erwachsenenfußballs vorbereitet sind. Vorallem soll den Spieler*innen der letzten Akademiestufe (U18) der Entwicklungsschritt auf die hohen Belastungen im Profibereich erleichtert werden (Verheijen, 2000, Rampini et al., 2007; Bradley et al., 2009; Di Saldo et al., 2009; Buchheit et al., 2010b).

3 Methodik

Im folgenden Kapitel wird näher auf die Methoden eingegangen. Es werden die aufgezeichneten internen und externen Belastungsparameter dargestellt und definiert. Außerdem wird der genaue Messablauf sowie das durchgeführte Studiendesign beschrieben.

3.1 Messung der physiologischen und physischen Daten während der Meisterschaftsspiele AKA St.Pölten

Mit Hilfe des LPM Systems und der getragenen Pulsgurte wurden folgende interne und externe Belastungsparameter der Elite Nachwuchsspieler erhoben, und diese dann mittels Excel tabellarisch eingetragen und dargestellt (vgl Tabelle 1).

Tabelle 1: Interne & externe Belastungsparameter

Belastungsparameter	
Externe (physische)	Interne (physiologische)
Total Distance [m/min]	Heart Rate mean [%]
High intensitiy running [m/min]	Heart Rate Zone 1 [s/min]
Low intensity running [m/min]	Heart Rate Zone 2 [s/min]
Speedzone 1 - Speedzone 7 [m/min]	Heart Rate Zone 3 [s/min]
Acceleration low oder high [n/min]	Heart Rate Zone 4 [s/min]
Deceleration low oder high [n/min]	
Repeated Sprint Ability (SSP & B3) [n/min] [s/min]	
Most intense period =MIP [m/min]	

Herr Mag. Dr. Paul Störchle, Bakk. übermittelte die Rohdaten von den Wettkampfspielen der Fußballakademie St.Pölten. Anlehnend an die Literatur wurden für alle unten angeführten Parameter sowohl absolute als auch relative Werte erhoben (Dellal et al., 2012; Harley et al.,

2010; Randers et al., 2014; Hauer et al., 2021). Die relativen Werte wurden für die einzelnen Spieler und Altersklassen (U15, U16, U18) ermittelt. Dadurch ist die Vergleichbarkeit zwischen allen drei Altersklassen gewährleistet. Zusätzlich wurden alle Spielpositionen (IV, AV, ZM, ST) aus den Aufstellungen der Mannschaften für jedes einzelne Wettkampfspiel ausgelesen, um die Spieler für die Analyse einordnen zu können.

3.2 Physische Parameter

Speedzonen

In der aktuellen Studie wurden im Auswertesystem von imoclient die Grenzen der Geschwindigkeiten in sieben Zonen definiert (vgl. Tabelle 2). Die Definition folgt Hill-Haas et al. (2008), Castanga et al. (2009) und López-Fernández et al. (2019), die alle ähnliche Geschwindigkeitszonen aufweisen, diese jedoch nur in sechs Speedzonen unterteilen.

Die Gesamtstrecke „total distance“ wurde aus allen 7 Speedzonen zusammen ermittelt. Zum richtigen Verständnis ist es zu erwähnen, dass der Speedzone-Parameter letztlich die Distanz ist, die innerhalb einer Speedzone zurückgelegt wurde.

Tabelle 2: Einteilung in Geschwindigkeitsbereiche - Speedzonen (nach Hauer, R., Störchle, P., Karsten, B., Tschan, H., & Baca, A. (2021))

Absolute speedzonen		
Beschreibung	Von (km/h)	Bis (km/h)
Speedzone 1 (standing)	0,0	6,9
Speedzone 2 (walking)	7,0	9,9
Speedzone 3 (jogging)	10,0	12,9
Speedzone 4 (running)	13,0	15,9
Speedzone 5 (fast running)	16	19,7
Speedzone 6 (very fast running)	19,8	25,1
Speedzone 7 (sprinting)	25,2	45,0

Low & high intensity running

In dieser Studie wurden einerseits die Bereiche der Speedzonen 1 bis 3 Laufen mit niedrigerer Intensität „low intensity running“ ($< 13 \text{ km/h}$) sowie die Speedzonen 6+7 Laufen mit hoher Intensität „high intensity running“ ($\geq 19,8 \text{ km/h}$) definiert und ausgewertet. Dabei mussten die Spieler die zuvor beschriebenen Geschwindigkeitsschwellen für mindestens eine Sekunde überwinden, damit die Aufzeichnung der Intensitäten stattfinden konnte (Hauer et al., 2021). Hier gilt es zu erwähnen, dass der Parameter die Distanz ist, die der Spieler in low/high intensity verbringt.

Beschleunigungen und Abbremsungen

Für die Beurteilung der Parameter „acceleration-low/high“ und „deceleration-low/high“ mussten $\geq 2 \text{ m/s}^2$ sowie jeweils eine Dauer von mindestens $0,5 \text{ s}$ erreicht werden. In dieser Studie wurden beide Parameter (Beschleunigungen und Abbremsungen) sowohl für „low“ ($< 3 \text{ m/s}^2$) als auch für „high“ ($\geq 3 \text{ m/s}^2$) kategorisiert (Ingebrigtsen et al., 2015; Hauer et al., 2021).

Die Beschleunigungen und Abbremsungen wurden als Anzahl ausgewertet, da laut Frencken et al. (2010) und Ogris et al. (2012) die Genauigkeit des LPM-System generell bei Beschleunigungen und hohen Geschwindigkeiten abnimmt.

Wiederholte Sprint-Aktivität / Repeated Sprint Ability (RSA)

Zusätzlich zu den gebräuchlichen analysierten inneren und äußeren Parametern wurde der Fokus auf die „repeated sprint ability“ (RSA) der Elite Nachwuchsspieler gerichtet. Die Fähigkeit einer wiederholten Sprintleistungsfähigkeit während dem Wettkampf soll zwischen den Altersklassen sowie den Spielpositionen in dieser Studie untersucht werden.

Die Wiederholte Sprintfähigkeit (RSA) wurde auf zwei unterschiedliche Arten untergliedert und definiert. Einerseits wurden zwei aufeinanderfolgend Sprints „successive sprints-bouts“ (SSP) als zwei oder mehr Sprints ($\geq 19,8 \text{ km/h}$) definiert, die mit einer Erholungszeit unter 21 s zwischen den Sprints stattfanden (angepasst an Gabbett, T. J., Wiig, H., & Spencer, M., 2013). Des Weiteren wurden Wiederholungssprints „repeated-sprint-bouts“ (B3) als Minimum drei Sprints wobei die Schwellengeschwindigkeit ebenso bei $\geq 19,8 \text{ km/h}$ definiert wurde, die wiederum durch die Erholungszeit unter 21 sek gekennzeichnet wurden (Gabbett et al., 2008; Spencer et al., 2004; Hauer et al., 2021). In der vorliegenden Studie wurden sowohl SSP als auch B3-Parameter als eine Bewegung mit hoher Intensität (Sprint) ab einer Dauer von mindestens 1 Sekunde gemessen.

Für die Parameter wurde sowohl das Alter als auch die Position berücksichtigt (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Repeated sprint ability parameters

Repeated sprint ability	
Parameter	Alter: U15, U16, U18 Position: IV, AV, ZM, ST Halbzeiten: 1.HZ, 2.HZ, Gesamt
SSP & B3 number bouts	
SSP & B3 sprint/bout	
SSP & B3 duration sprint(s)	
SSP & B3 duration recovery(s)	
SSP & B3 number sprints	

In dieser Arbeit wurde die Bezeichnung „bout“ als die Anstrengung/die Kämpfe benannt. Somit besteht ein bout aus zwei aufeinander folgenden Sprints (SSP) bzw. aus drei aufeinander folgenden Sprints (B3).

Wie in der angeführten Tabelle 3 wurde die Sprintaktivität der Anstrengungen (SSP und B3) während des gesamten Wettkampfspiels in jeweils fünf Kategorien unterteilt: die gesamte Anzahl der Kämpfe (number_bouts), die Anzahl der Sprints innerhalb der bouts (sprint/bout), die Dauer der Sprints innerhalb der Kämpfe (duration_sprint), die Erholungsdauer innerhalb der Kämpfe (duration_recovery) und die Gesamtanzahl von Sprints für das Spiel (Spencer et al. 2004; Gabbett et al., 2008; Carling et al., 2012; Ade et al., 2016; Hauer et al., 2021).

Most intense period (MIP)

Die intensivsten Perioden (1-10Minuten) des Wettkampfspiels wurden analysiert, da die übliche Dauer einer Trainingsübung diesen ausgewerteten Perioden im Fußball entspricht. Die aktuelle Arbeit soll eine Hilfestellung für Trainer anbieten, damit Intensitäten von Trainingsinhalten beurteilt werden können. Somit sollen die intensivsten Perioden im Wettkampfsiel analysiert werden, um dann gezielte Trainingsübungen anpassen zu können. Dies wird in dieser Studie sowohl nach Altersgruppen als auch nach unterschiedlichen Spielpositionen untersucht.

In dieser Arbeit wurden alle Spiele, anlehnend an die Literatur, abhängig von Alter und Position automatisch ausgewertet. Ein relativer Durchschnittswert wurde dann auf jede der Ausgangsvariablen (total distance, > 13 km/h, > 19,8 km/h, > 25,2 km/h) angewendet, wobei die 10 intensivsten Minuten (Dauer 1–10 min) vom gesamten Spiel herangezogen und berechnet wurden. Dabei wurde der erreichte Spitzenwert während jedes Spiels für jede Variable aufgezeichnet.

Zur Beschreibung der MIP wurden zwei Messgrößen der Laufintensität ausgewählt, basierend auf aktuellen Trends in der Spielerbeobachtung im Spitzenfußball: die relative Gesamtdistanz und die relative Distanz mit vordefinierten Hochgeschwindigkeiten.

Insbesondere wurde die relative Distanz (m/min) als zurückgelegte Gesamtstrecke pro Zeiteinheit berechnet. Es wurde für die Gesamtdistanz (total distance) ein gleitender Durchschnitt (rolling average) aller Geschwindigkeiten zur Erkennung der intensivsten Spielphasen herangezogen (Delaney et al., 2018). Zusätzlich wurde die relative Laufdistanz, die über vordefinierte Geschwindigkeitsschwellen (> 13 km/h, $> 19,8$ km/h, $> 25,2$ km/h) zurückgelegt wurde, berechnet (Delaney et al., 2018; Garcia et al., 2018; Casamichana et al., 2019; Riboli et al., 2020). Hierbei wurden die Geschwindigkeitsschwellen an die zuvor beschriebenen Speedzonen (SZ4-running; SZ6-very fast running; SZ7-sprinting) angepasst und definiert.

3.3 Physiologische Parameter

Die Datenerhebung der Biometrie sowie der maximalen Herzfrequenz wurde während der Leistungstests am 13.1.2020 erhoben. Dazu wurde die maximale Herzfrequenz aus einem 20-meter Shuttle-Run-Test ermittelt, wobei die Spieler maximal ausbelastet wurden.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Herzfrequenz (HR) als 1s Intervalle mittels Herzfrequenzsensoren auf der Brust aufgezeichnet (Polar Electro, Kempele, Finnland). Dadurch konnten die durchschnittliche Herzfrequenz „HRmean(%)“ sowie 4 individuelle Herzfrequenzzonen „HRz1-4 (s/min)“ jedes einzelnen Spielers bezogen auf die maximale Herzfrequenz in Prozent ermittelt werden (Gonaus et al., 2019). Dieser Vorgang wurde für alle Messungen und Spieler durchgeführt.

In dieser Studie wurden die Herzfrequenzzonen Zone 1 ($< 75\%$ HFmax), Zone 2 (75-84% HRmax), Zone 3 (85-89% HFmax) und Zone 4 ($\geq 90\%$ HFmax) anlehnend an die meisten Literaturquellen untergliedert und definiert (Hill-Haas et al., 2009; Casamichana und Castellano, 2010; Castellano et al., 2013; Hauer et al., 2021).

3.4 Probanden

Für die aufgenommenen Daten, wie in der Tabelle Probandenaufteilung ersichtlich, wurden 51 junge männliche Elitenachwuchsspieler derselben Fußballakademie (Alter: $15,8 \pm 1,1$ Jahre, Größe: $175,4 \pm 7,7$ cm, Gewicht: $65,4 \pm 8,5$ kg) in drei verschiedenen Alterskategorien Unter (U) U15(n=13, Alter $14,5 \pm 0,3$ Jahre, Größe: $171,5 \pm 5,5$ cm, Gewicht: $59,8 \pm 6,4$ kg), U16 (n=21, Alter: $15,7 \pm 0,5$ Jahre, Größe $173,3 \pm 8,1$ cm, Gewicht: $62,6 \pm 7,8$ kg) und U18 (n=17, Alter: $16,8 \pm 0,8$ Jahre, Größe $180 \pm 6,3$ cm, Gewicht: $71,7 \pm 6,3$ kg) in der Fußballakademie St.Pölten in Niederösterreich, analysiert. Die jugendlichen Fußballspieler absolvierten jeweils in ihrer Altersklasse ein Meisterschaftsspiel pro

Wochenende in der höchsten österreichischen Jugendmeisterschaft „ÖFB Jugendliga“. Diese Spieltermine haben sie im Rahmen des geregelten Trainingsbetriebes wahrgenommen. Eine Trainingswoche bestand in der Regel aus 6 Trainingseinheiten, darunter 5 feldbezogene fußballspezifische Einheiten und 1 Kraft- und Konditionseinheit im Fitnessstudio.

Im ersten Schritt wurden mittels „positioning measurement“ LPM Systems 3 Wettkampfs Spiele der U15 Elitenachwuchsmannschaft sowie jeweils 6 Spiele der U16 und U18 Mannschaften der Akademie St.Pölten aufgezeichnet. Das System besteht aus zehn Basisstationen und einem Referenztransponder, die wiederum um das Spielfeld positioniert werden. Im Zeitraum September 2019 bis März 2020 wurden die Heimspiele aufgezeichnet.

Alle Teilnehmer und ihre Eltern füllten eine schriftliche Einverständniserklärung aus, um an der Studie teilzunehmen.

Die U15 Mannschaften absolvierten 3 Meisterschaftsspiele, die aufgezeichnet wurden, wobei die Halbzeitdauer 40 Minuten betrug. In den Altersklassen der U16 und U18 Mannschaften wurden 6 Spiele mit einer Halbzeitspieldauer von 45 Minuten aufgenommen. Alle Meisterschaftsspiele sind mittels LPM-System auf dem gleichen Spielfeld aufgenommen worden. Die Spielfeldlänge betrug 104,5m und die Breite 72m. Die erfassten Daten aller Meisterschaftsspiele der Akademie St.Pölten wurden nach den offiziellen Richtlinien des österreichischen Fußballbundes (ÖFB 2018) durchgeführt und nach den offiziellen Spielregeln der Fédération Internationale de Football Association (FIFA 2018) des jeweilig zugeordneten Schiedsrichterteams geleitet.

Taktisch nutzen die Mannschaften eine unterschiedliche Formation (4-4-2, 4-3-3, 4-2-3-1), wobei die U16 und U18 bei drei von sechs Spielen auch eine 3-5-2 Formation wählten. Daher war es zu Beginn von Bedeutung, die zu vergleichenden Spielpositionen zu definieren.

Die bisherige Literatur gibt oftmals Aufschluss über Spielpositionen und deren Belastungsparameter. Prinzipiell wird in der Literatur zwischen „Innenverteidiger“, „Außenverteidiger“ und „zentrale Mittelfeldspieler“ (manchmal aber auch zentrales defensives Mittelfeld), Flügelstürmer und Stürmer unterschieden (Di Salvo et al., 2007; Abbott et al., 2018; Baptista et al., 2020; Garcia et al., 2020).

Die Kategorienfestlegung wurde hinsichtlich der Spielpositionen vollzogen und in vier Gruppen unterteilt: Innenverteidiger (n=12), Außenverteidiger (n=16), zentraler Mittelfeldspieler (n=19) und Stürmer (n=15). Worauf ein Augenmerk gelegt werden soll ist die Anzahl der jetzt vorhandenen Datenmenge bei den Spielpositionen (n=62), wobei wie zuvor erwähnt, die Teilnehmerzahl bei n=51 liegt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Spieler unterschiedliche Positionen in den aufgezeichneten Wettkampfspielen bekleidet haben. Zum

Beispiel ist ein Spieler der U16 bei Spiel 1 als Innenverteidiger aufgestellt worden, während er bei Spiel 2 als Außenverteidiger gespielt hat. Somit ist der Spieler in der statistischen Auswertung doppelt angeführt worden. Der Tormann wurde nicht in die Aufzeichnungen miteinbezogen, da er durch seine Spielposition alle Parameter verfälschen würde.

3.4.1 Probanden-Aufteilung

Es wird explizit darauf hingewiesen, dass die Position der „Flügelstürmer“ und „Stürmer“ zusammengelegt werden. Aufgrund der ständigen Rochaden der offensiven Akteure können diese Positionen nicht eindeutig zugeordnet werden. Diese Problematik wurde mit der Akademie St.Pölten im Vorhinein besprochen, um die Positionen für jedes Spiel genau zu definieren. Hierzu wurden jeweils Aufstellungen mit der genauen Spielposition für jeden Spieler festgelegt und dokumentiert, damit keine Unstimmigkeiten in späterer Folge auftreten können. Dies erfolgte in Abstimmung mit den jeweiligen Trainern sowie Herrn Mag. Dr. Paul Störchle, Bakk, damaliger Head of Performance in der Akademie St.Pölten.

3.4.2 Wettkampfanforderung ÖFB

Die Nachwuchsbestimmungen im Jugendfußball in Österreich werden nach §16-20(Österreichische Fußball-Bund) in verschiedenen Kategorien gegliedert. In allen Altersgruppen U13-U19 dürfen maximal 16 Spieler nominiert werden, wobei die ersten 11 Spieler (10 Feldspieler & 1 Tormann) starten. Es dürfen somit 5 Auswechselspieler auf der Ersatzbank platz nehmen, wobei ein Wechsel und Rückwechsel beliebig oft durchgeführt werden dürfen.

Alle Mannschaften ab der U15 spielen auf Großfelddimensionen wie Erwachsene und haben die gleiche Halbzeitpause von 10 Minuten zur Verfügung. In der U15 beträgt die Spielzeit zweimal 40min und ab der U16 Altersklasse beträgt die Dauer des Spiels zweimal 45min, wiederum identisch zum Erwachsenenfußball (ÖFB 2018).

Tabelle 4: Richtlinien im österreichischen Jugendfußball (ÖFB 2018)

Altersklassen	Spielzeit (min)	Spieleranzahl (min.-max.)	Halbzeitpause (min)	Spielfeld (L x B) (m)	Abseits
U19 - U16	2x 45	7-11 (16)	10	90-120 x 45-90	JA
U15	2x40	7-11 (16)	10	90-120 x 45-90	JA

3.5 Datenerfassung der Wettkampfs Spiele

Um alle Belastungsparameter von jedem einzelnen Spieler erfassen zu können, werden überwiegend technische Hilfsmittel verwendet. In Folge können gewisse Kategorisierungen und Auswertungen für jeden individuell vollzogen werden. Im Profibereich ist eine exakte Analyse des Belastungs- und Beanspruchungsprofils von Spielern notwendig (Tschan et al., 2001).

Die Meisterschaftsspiele der Akademie St.Pölten wurden mittels Local Positioning Measurement System (LPM) gemessen. Das LPM-System ist auf einem Spielfeld verfügbar wo die jeweiligen Mannschaften der U15, U16 und U18 ihre Wettkampfs Spiele austragen. Aufgrund von Überschneidungen bei den Meisterschaftsspielen konnte die U15 Mannschaft weniger Spiele aufzeichnen als die älteren Altersgruppen.

Die aufgezeichneten Fußballspiele stammen aus der Herbstsaison von September 2019 bis in die Frühjahrssaison März 2020. Die vorhandenen Daten wurden mittels LPM System, Pulsmessgeräten, und Videokameras bei drei U15 sowie sechs U16 und U18 Akademie St.Pölten Spielen erfasst und gespeichert. Dafür wurden Transponder des Systems verwendet und normale Polar Herzfrequenz Gurte (Polar Electro Oy, Kempele, Finnland) gekoppelt. Die maximale Herzfrequenz Messung wurde bei Ausbelastungstestungen mittels Shuttle Run Test ermittelt.

3.5.1 Local position measurement Technologie (LPM)

Die LPM-Technologie (Inmotio GmbH, Lenzing, Österreich) ist ein RFID-basiertes System. Dabei wird die Position von Spielern erfasst und kann bis zu einigen Zentimetern genau gemessen werden. Beim LPM-System senden tragbare Transponder an die umliegenden Stationen, welche die Funksignale der Transponder erfassen und an das Mess- und Auswertesystem (Analyseeinheit) weitersenden. Der LPM Server berechnet aus den gesammelten Daten die exakten Positionen der Spieler. Das System besteht aus zehn Basisstationen, wobei eine als Grundbasisstation dient. Die Basisstationen registrieren die Signale und verarbeiten diese weiter. Durch die unterschiedlichen Laufzeiten des Signals zu den Empfängern/Basisstationen kann die genaue Position der Tags/Transponder ermittelt werden. Die Synchronisierung kommt durch den bekannten Abstand und die bekannte Zeit des Antwortsignals vom Referenztransponder zu den Basisstationen zustande (Frencken et al. 2010; Stelzer et al. 2004).

Das System besitzt eine statische Abtastrate von 1000 Hz, somit kann ein Transponder theoretisch bis zu 1000 Mal pro Sekunde geortet werden.

Das Tracking-System von „Inmotio“ ist eine tragbare Technologie zur Erfassung von Sportdaten. Basierend auf dem Local Positioning Measurement System liefert es die genauesten Positionsdaten in Echtzeit. Die Spieler tragen eine LPM-Weste mit einem Transponder, die zusätzlich mit Polar Herzfrequenz Pulsgurten gekoppelt sind, um physiologische Daten zu messen und Distanzen und Geschwindigkeiten in Beziehung zu setzen. In Abbildung 2 wird die Funktionsweise des LPM Systems dargestellt.

Sowohl die physischen als auch die physiologischen Daten wurden mit einer Aufnahmefrequenz von 40 Hz aufgenommen. Diese ergibt sich aus der Division der gesamten Abtastrate des LPM-Systems durch die Anzahl der vorhandenen Transponder (1000Hz / 25Transponder).



Abbildung 2: LPM System Technology (Quelle: <https://inmotio.eu/technology/>)

3.5.2 Fußballanwendung

In Abbildung 3 wird eine schematische Darstellung sowie Beschreibung der Technologie in der Sportart Fußball gezeigt.

Das Ball-Tracking-System verwendet eine Videotechnik, um den Ball auf dem Spielfeld zu verfolgen. Die HD-Dome-Kameras verfolgen Spieler und synchronisieren die entsprechenden Bilder mit den richtigen Daten.

Es werden Leistungsdaten wie Geschwindigkeit und Beschleunigung mit einer leistungsstarken Software verarbeitet und analysiert und zusätzlich mit der entsprechenden Videosequenz versehen.

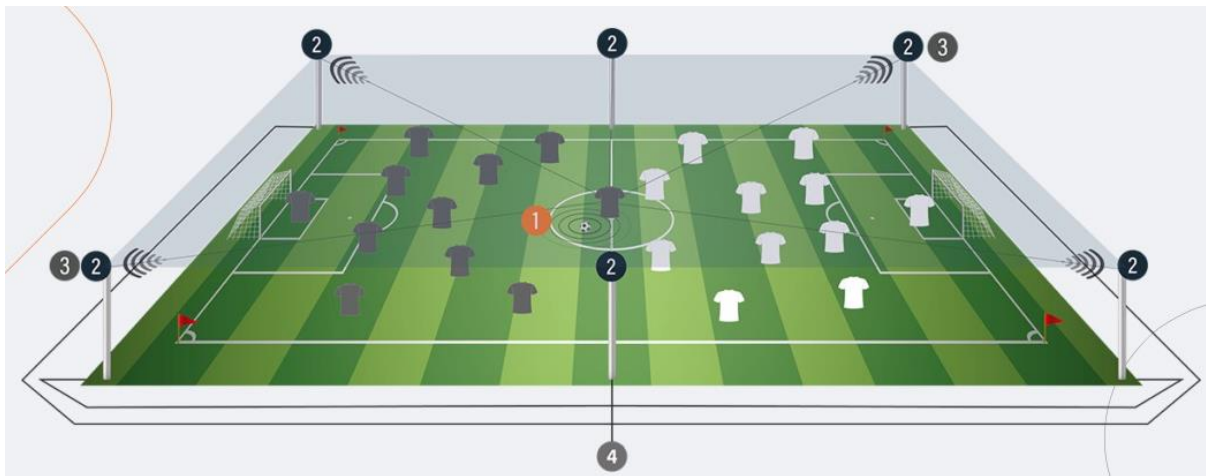


Abbildung 3: LPM Fußballanalyse (Quelle: <https://inmotio.eu/football-performance-analysis/>)

3.5.3 Messablauf

Die ersten Schritte für einen einwandfreien Ablauf sowie Messung waren der Start und die Kontrolle des gesamten Systems. Hierbei wurde die Basisstation mit Strom versorgt und die Software des Systems mittels eines PC's gekoppelt. Des Weiteren wurden die Transponder sowie Herzfrequenzgurte auf ihre Funktion geprüft und an die Spieler verteilt, die ihr Wettkampfspiel absolvierten.

Die 10 Spieler, die in der Startelf standen und sich im Spielfeld befanden, wurden erfasst und aufgenommen. Der elfte Spieler, der Tormann, wurde wie zuvor beschrieben nicht in die Aufzeichnungen miteinbezogen.

Nachdem das LPM System geprüft worden war und die Spieler ihre Transponder und Polargurte angebracht hatten, wurde in jeder Altersgruppe vor jedem Meisterschaftsspiel ein standardisiertes Aufwärmprogramm absolviert (Joyce & Lewindon 2016). Dieses bestand aus unterschiedlichen Blöcken, wie achtminütiges Einlaufen inklusive Lauschul ABC, einem fünfminütigen Aktivieren bestehend aus Fußball und Bewegungsbasierten Techniken, einer 15-minütigen Kombination aus Thermogenese und aktivem dynamischen Dehnen, sowie 2 Minuten neuronaler Vorbereitung, die explosive Aktivitäten beinhaltet.

Mithilfe von Markern wurden die wichtigen Eckpunkte des Spieles erhoben, wie der Zeitpunkt des Anpiffes, die Halbzeitpause, Start der zweiten Halbzeit sowie der Schlusspiff. Mit den gesetzten Markern war es dann möglich die Halbzeiten individuell zu analysieren. Wie vorhin

erwähnt wurden drei Spiele der U15, sechs Spiele der U16 und U18 mit diesem Verfahren vom System aufgenommen und gespeichert. Die relevanten Daten wurden mittels der Imoclient Software verarbeitet und abgespeichert.

Diese Daten wurden anschließend von dem jeweiligen Athletik Trainer der Mannschaft als Excel Datei exportiert für die Weiterverarbeitung.

3.5.4 Verfahren

Die gesammelten Daten aller aufgezeichneten Meisterschaftsspiele wurden, wie zuvor erwähnt, vom Imoclient system für jedes einzelne Wettkampfspiel per xls Datei exportiert und mit Microsoft Excel (MS Excel 2016, Microsoft, Corporation, Washington, Vereinigte Staaten) weiterverarbeitet. Herr Mag. Dr. Störchle, Bakk. bereitete die Rohdaten aller Meisterschaftsspiele der unterschiedlichen Altersklassen so weit vor, um sie für die weitere Auswertung einbeziehen zu können.

Wie zuvor beschrieben, wurden die Rohdaten für alle definierten Parameter als absolute und relative Werte erhoben. Dabei wurden die relativen Werte durch die Division der absoluten Werte durch die individuelle Spielzeit jedes einzelnen Spielers ermittelt (Harley et al., 2010; Randers et al., 2014). Dabei wurden nur Spieler herangezogen, die die komplette erste Halbzeit oder das gesamte Match absolviert haben. Dadurch fällt der Faktor der unterschiedlichen Spieldauer zwischen den Altersgruppen weg, und alle Spiele können mit den gleichen Voraussetzungen analysiert und bewertet werden.

Die relativen Parameter wurden wiederum nur von Spielern ausgewertet, die mindestens 75 Prozent der Gesamtspielzeit (von 80 oder 90Minuten) oder die komplette erste Halbzeit (40 oder 45Minuten) absolviert haben. Des Weiteren ist zu erwähnen, dass Spieler, die erst mit Anpfiff der zweiten Halbzeit eingewechselt wurden, nicht berücksichtigt wurden.

Das Imoclient System rechnete die Spieldauer der jeweiligen Halbzeiten, die absolvierte Gesamtdistanz, die Distanzen der sieben Geschwindigkeitszonen, die Beschleunigungen und Verzögerungen, wiederholende Sprints, die zehn intensivsten Minuten sowie die Herzfrequenzdaten, die für jeden Zeitpunkt im Spiel dargestellt wurden. Um die Parameter HID Distanzen und die Beschleunigungszonen low und high zu ermitteln, wurden die Summen der jeweiligen Geschwindigkeits- und Beschleunigungszonen in Microsoft Excel 2016 gebildet.

Die zeitlich anspruchsvollste Aufgabe war es, alle Messdaten hinsichtlich Altersklassen sowie Spielpositionen einzeln in einem xls Masterfile zu ordnen bzw. zu bearbeiten. Wiederum war es notwendig, alle Daten einzeln auf Genauigkeit und Fehler zu überprüfen, um mögliche Verfälschungen der Ergebnisse auszuschließen.

4. Ergebnisse

4.1 Overview

In dieser Arbeit wurden drei Hypothesen auf statistische Signifikanz untersucht. Die Ergebnisse der ANOVA-Rechnung sind in folgender Tabelle schematisch dargestellt und werden in den nachfolgenden Kapiteln im Detail beschrieben.

Die nachfolgende Tabelle dient dazu, einen gesamten Überblick der signifikanten Unterschiede hinsichtlich aller drei Hypothesen, auf einmal zu erhalten.

Tabelle 5: Gesamtüberblick der inneren und äußeren Belastungsparameter

Signifikante Ergebnisse sind mit (x) gekennzeichnet.

	Altersklassen			Positionsprofile			Altersklassen & Positionsprofile		
	HZ 1	HZ 2	Spiel	HZ 1	HZ 2	Spiel	HZ 1	HZ 2	Spiel
Total Distance [m/min]				x	x				
Low Intensity Running [m/min]	x	x	x	x	x	x	x		x
High Intensity Running [m/min]	x	x	x	x	x	x	x		x
Acceleration low [n/min]									
Acceleration high [n/min]		x			x				
Deceleration low [n/min]			x	x		x			
Deceleration high [n/min]					x				
HRmean [%]									
HRz1 [s/min]				x	x			x	
HRz2 [s/min]									
HRz3 [s/min]									
Speed Zone 1 [m/min]			x	x		x	x		x
Speed Zone 2 [m/min]									
Speed Zone 3 [m/min]	x	x	x						
Speed Zone 4 [m/min]	x	x	x	x					
Speed Zone 5 [m/min]					x	x			x
Speed Zone 6 [m/min]				x	x	x	x	x	x
Speed Zone 7 [m/min]	x	x	x	x	x	x	x		
SSP - Number of Bouts [n/min]	x		x	x	x	x			x
SSP - Sprint/Bout [n/min]	x				x				
SSP - Duration Sprint [s]	x			x					
SSP - Duration Recovery [s]									
SSP - Number of Sprints [n/min]	x			x	x	x			
B3 - Number of Bouts [n/min]		x		x	x	x	x		x
B3 - Sprint/Bout [n/min]	x		x	x			x		x
B3 - Duration Sprint [s]									
B3 - Duration Recovery [s]							x		
B3 - Number of Sprints [n/min]				x	x	x			

Low intensity running (<13 km/h), high intensity running (≥19,8 km/h), acceleration & deceleration low (<±3 m/s²) und high (≥±3 m/s²) in Anzahl pro Minute (n/min), HRmean in % im Vergleich zu HRmax: (<75% HRmax), HRz2: (75–84% HRmax), HRz3: (85–89% HRmax), HRz4: (≥90% HRmax), Speedzonen: SZ1: 0-6,9 km/h, SZ2: 7-9,9 km/h, SZ3: 10-12,9 km/h, SZ4: 13-15,9 km/h, SZ5: 16-19,7 km/h, SZ6: 19,8-25,1 km/h, SZ7: ≥25,2 km/h, SSP = aufeinanderfolgende Sprints; B3 = mindestens drei Sprints mit < 21s Erholung dazwischen

4.2. Statistische Analyse

Die Parameter wurden auf statistische Unterschiede hinsichtlich Altersgruppe und Spielposition untersucht. Da davon auszugehen ist, dass beide Faktoren (in unterschiedlichem Maße) auf die Parameter wirken, wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Nur so können die Effekte der einzelnen Faktoren korrekt bewertet werden. Zudem wurde in der Analyse zwischen den beiden Halbzeiten, sowie dem gesamten Match differenziert.

Konnten mittels ANOVA statistisch signifikante Unterschiede gefunden werden, wurden paarweise Post-Hoc Tests zwischen den Altersgruppen bzw. Positionen durchgeführt. In den paarweisen Test wurde die Bonferroni-Korrektur angewandt. Auf Grund der geringen Fallzahl und unvollständigen Daten war es in den Post-Hoc-Tests nicht immer möglich nachzuweisen, zwischen welchen Gruppen tatsächlich statistisch signifikante Unterschiede bestehen. Es wurden explorative Grafiken erstellt, die die Art und Weise der Unterschiede charakterisieren.

Annahmen der Normalverteilung wurden mittels Kolmogorov-Smirnow-Test überprüft, Annahmen der Varianz-Homogenität mittels Levene-Test.

Die Ergebnisse der ANOVA-Rechnung, bzw der Post-Hoc-Tests, werden über die Angabe der Teststatistik, des p-Wertes (Testniveau 5%), sowie der Effektstärke belegt. Sind die Testergebnisse in Übersichtstabellen aufbereitet, so sind meist auch die Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter getrennt nach Gruppe dargestellt. In der Interpretation der Effektstärke folgt diese Arbeit der Publikation von Hauer, R., Störchle, P., Karsten, B., Tschan, H., & Baca, A. (2021), die die Stärken wie folgt einteilt: $0.01 \leq \eta_p^2 < 0.1$ geringer Effekt, $0.1 \leq \eta_p^2 < 0.25$ mittlerer Effekt, und $\eta_p^2 \geq 0.25$ starker Effekt.

4.3. Unterschiede zwischen den Altersklassen

In den externen Belastungsparametern konnten mehrere signifikante Unterschiede zwischen den Altersklassen nachgewiesen werden. Als Beispiel dient hierzu die Tabelle 6, wo die Parameter für das gesamte Spiel dargestellt werden.

Tabelle 6: Altersspezifikation der Belastungsparameter fürs gesamte Spiel

Parameter	Total	U15	U16	U18	P	ES(η_p^2)
Total Distance [m/min]	117.47 ± 9.49	115.64 ± 12.09	120.46 ± 8.37	115.54 ± 8.42	0.136	0.064
High intensitiy running [m/min]	9.35 ± 3.19	8.81 ± 3.94	8.41 ± 3.03 ¹⁸	10.60 ± 2.53	0.003*	0.101
Low intensity running [m/min]	82.40 ± 5.35	83.76 ± 6.83	83.85 ± 4.07 ¹⁸	80.17 ± 4.95	0.011*	0.112
SZ 1 [m/min]	40.58 ± 7.54	36.81 ± 14.12	41.03 ± 3.74	42.34 ± 3.50	0.046*	0.080
SZ 2 [m/min]	17.97 ± 4.08	16.80 ± 6.73	19.05 ± 2.29	17.59 ± 3.34	0.244	0.050
SZ 3 [m/min]	21.09 ± 5.64	18.92 ± 8.47 ¹⁶	23.51 ± 4.13	19.95 ± 4.05	0.018*	0.120
SZ 4 [m/min]	14.92 ± 4.42	12.80 ± 5.49 ¹⁶	16.76 ± 3.90	14.33 ± 3.60	0.015*	0.128
SZ 5 [m/min]	9.59 ± 3.51	9.39 ± 4.42	10.11 ± 2.89	9.18 ± 3.57	0.577	0.015
SZ 6 [m/min]	6.89 ± 2.36	6.33 ± 3.44	6.60 ± 2.03	7.51 ± 1.82	0.085	0.046
SZ 7 [m/min]	2.32 ± 1.39	1.81 ± 1.50 ¹⁸	1.79 ± 1.20 ¹⁸	3.15 ± 1.11	<0.001*	0.229
Acceleration low [n/min]	0.41 ± 0.10	0.44 ± 0.11	0.42 ± 0.08	0.38 ± 0.11	0.287	0.048
Acceleration high [n/min]	0.61 ± 0.15	0.63 ± 0.14	0.62 ± 0.13	0.59 ± 0.17	0.760	0.011
Deceleration low [n/min]	0.34 ± 0.10	0.39 ± 0.11 ¹⁸	0.34 ± 0.08	0.29 ± 0.09	0.004*	0.177
Deceleration high [n/min]	0.60 ± 0.15	0.64 ± 0.16	0.62 ± 0.14	0.56 ± 0.14	0.205	0.058

Für alle Belastungsparameter sind p-Werte der Post-Hoc-Testungen angegeben. Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

In dieser Tabelle der Altersklassenspezifikation kann entnommen werden, dass die low als auch die high intensity running Parameter über das gesamte Match hinweg statistisch signifikante Unterschiede nachweisen. Diese Signifikanz, für die zuvor genannten Parameter gilt sowohl für die erste als auch für die zweite Halbzeit (siehe Tabelle 18 im Anhang). Im Match konnten signifikante Gruppenunterschiede zwischen U16 und U18 für beide Parameter nachgewiesen werden (low intensity running: $p = 0.047$; high intensity running: $p = 0.049$). Der Nachweis eines signifikanten Unterschieds zwischen U16 und U18 gelang auch in Halbzeit 2 für low intensity running ($p = 0.033$).

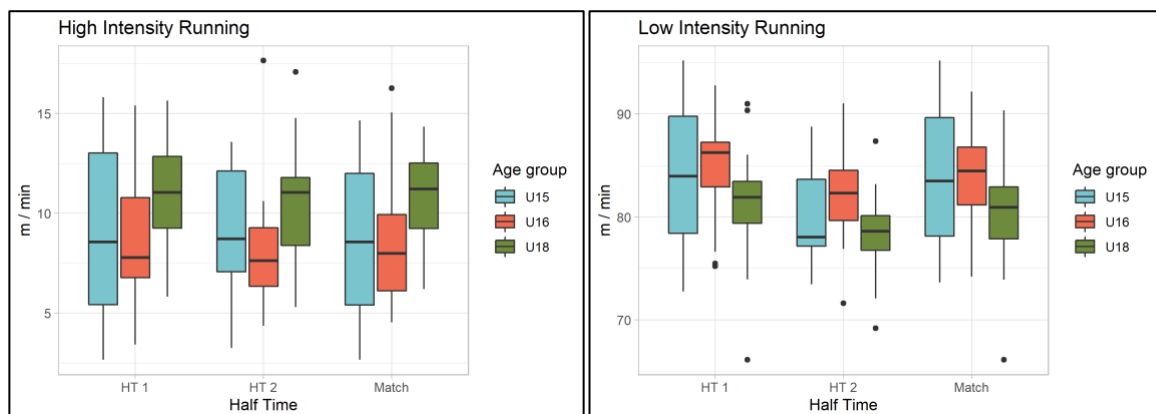


Abbildung 4: Verteilung von Low und High Intensity Running zwischen den Altersgruppen und Spielabschnitten.

Speedzone 3, 4, und 7 zeigten ebenfalls in allen betrachteten Spielabschnitten signifikante Unterschiede zwischen den Altersklassen. Bei Speedzone 3 und 4 zeigten Post-Hoc Tests bei allen Spielabschnitt-Parameter Kombinationen, abgesehen von Speedzone 3 - Halbzeit 1, einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen U15 und U16. Bei Speedzone 7, wo über alle Spielabschnitte eine mittlere Effektstärke gemessen wurde, zeigten die Post-Hoc-Tests signifikante Ergebnisse für U15 vs U18, sowie für U16 vs U18. Lediglich in der ersten Halbzeit konnte ein signifikanter Unterschied zwischen U15 und U18 nicht nachgewiesen werden. Die Ergebnisse der Post-Hoc-Tests für die Speedzonen sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Altersunterschiede in den Speedzonen

Speedzone	Halbzeit 1			Halbzeit 2			Match		
	U15 vs U16	U15 vs U18	U16 vs U18	U15 vs U16	U15 vs U18	U16 vs U18	U15 vs U16	U15 vs U18	U16 vs U18
1	0.503	0.101	1	0.955	0.447	1	0.282	0.088	1
2	0.221	1	0.479	0.565	1	0.691	0.309	1	0.644
3	0.054	1	0.109	0.032*	1	0.063	0.041*	1	0.075
4	0.040*	1	0.162	0.034*	0.706	0.292	0.020*	0.849	0.148
5	1	1	1	0.410	1	1	1	1	1
6	1	0.662	0.575	1	0.831	0.558	1	0.423	0.563
7	1	0.070	0.005*	1	0.044*	0.012*	1	0.006*	0.001*

Für alle Speedzonen sind p-Werte der Post-Hoc-Testungen angegeben. Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

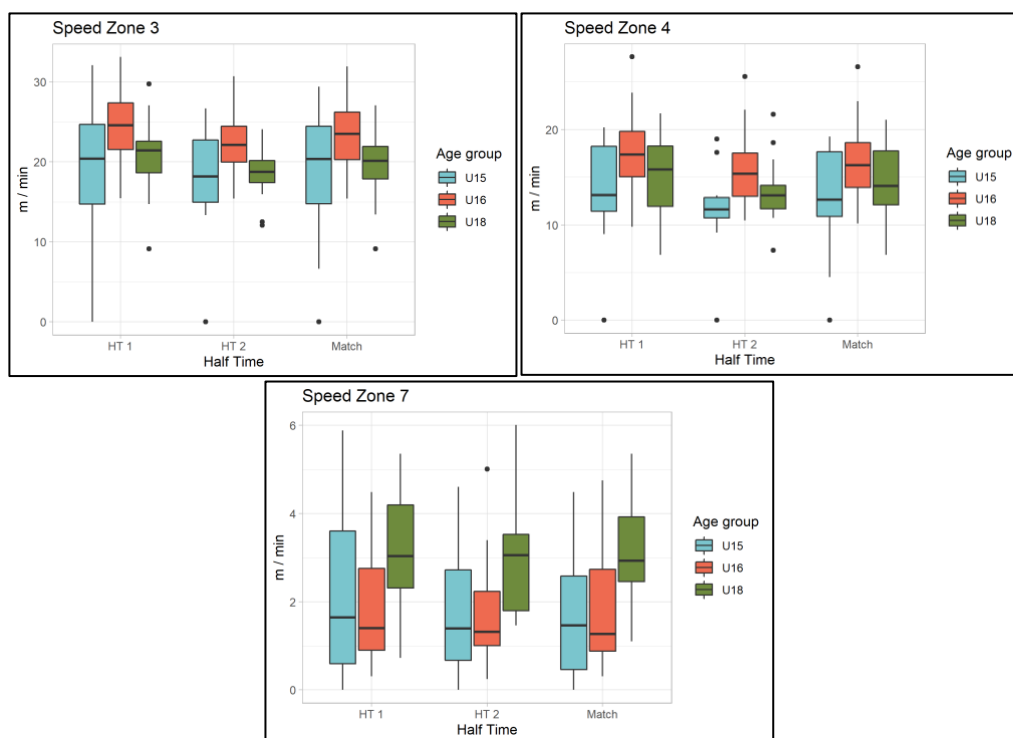


Abbildung 5: Verteilung von Speedzone 3, 4 und 7 zwischen den Altersgruppen und Spielabschnitten.

Bei den externen Belastungsparametern wurde nur einmal eine starke Effektstärke nachgewiesen: Acceleration high in der zweiten Halbzeit ($\eta_p^2 = 0.297$). Hier ergaben die Post-Hoc-Tests einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen U15 und U18 ($p = 0,0125$).

Für low deceleration wurde im gesamten Match ein statistisch signifikanter Unterschied mit mittlerer Effektstärke ($\eta_p^2 = 0.177$) nachgewiesen, wobei die paarweisen Tests den Unterschied zwischen U15 und U18 belegen ($p = 0.006$).

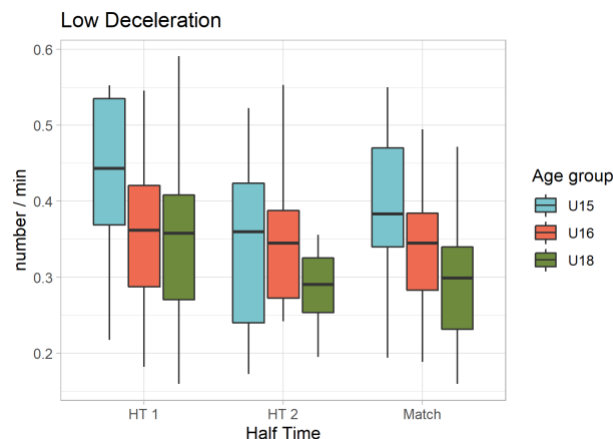


Abbildung 6: Verteilung von Low Deceleration zwischen den Altersgruppen und Spielabschnitten.

In den Parametern zur Herzfrequenz, die in Tabelle 19 (siehe Anhang) dargestellt wird, konnten weder in den Halbzeiten noch im gesamten Match statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Altersklassen gefunden werden.

4.4. Unterschiede zwischen den Positionen

Wie bereits für die Altersklassen konnten auch zwischen den Spielpositionen mehrere signifikante Unterschiede für die externen Belastungsparameter nachgewiesen werden. Im Vergleich zu den Altersklassen sind die Effektstärken für die Spielpositionen wesentlich höher. Wie in Tabelle 20 (siehe Anhang) der Positionsspezifikation wurden in der ersten Halbzeit die größten Effektstärken für High Intensity Running ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.350$), low deceleration ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.313$), sowie Speed Zone 7 ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.314$) geschätzt. Für High Intensity Running ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.377$) sowie Speed Zone 7 ($p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.414$) sind die Effektstärken in der zweiten Halbzeit größer geworden, für low deceleration ($p = 0.56$, $\eta_p^2 = 0.072$) wurde in der zweiten Spielhälfte kein Effekt mehr nachgewiesen. Neben den bereits genannten Variablen wurde in der zweiten Halbzeit auch für Total Distance ($p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.308$) eine hohe Effektstärke nachgewiesen. Betrachtet man das

gesamte Spiel, so zeigen sich dieselben Trends, jedoch mit tendenziell geringeren Effektstärken.

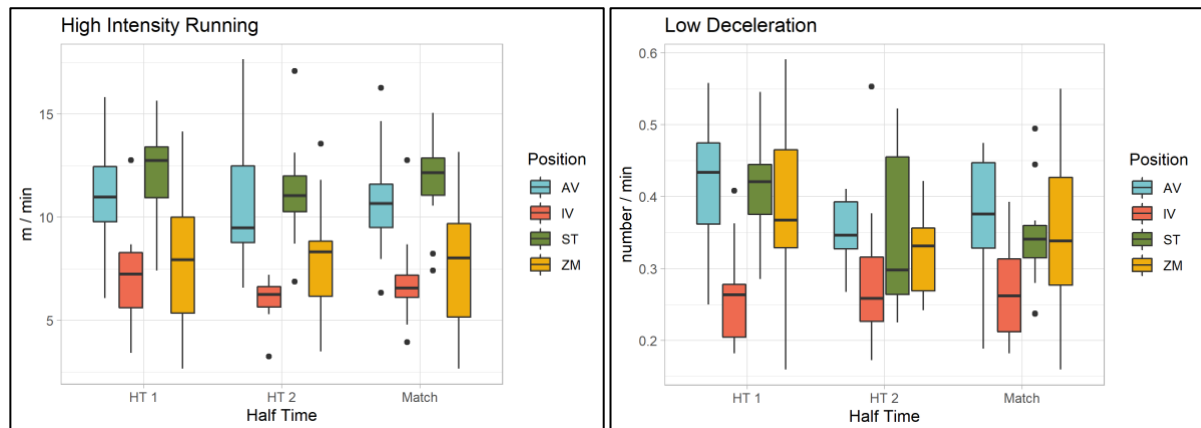


Abbildung 7: Verteilung von High Intensity Running und Low Deceleration zwischen den Spielpositionen und Spielabschnitten.

Für High Intensity Running wurden in allen drei Spielabschnitten folgende Gruppenunterschiede nachgewiesen: Außen- und Innenverteidigung ($p_1 = 0.002$, $p_2 = 0.001$, $p_{\text{Match}} = 0.001$), Innenverteidigung und Sturm ($p_1 < 0.001$, $p_2 < 0.001$, $p_{\text{Match}} < 0.001$), sowie Sturm und Zentrales Mittelfeld ($p_1 < 0.001$, $p_2 = 0.029$, $p_{\text{Match}} < 0.001$). In der ersten Halbzeit und im gesamten Match wurde zudem ein Unterschied zwischen Außenverteidigung und Zentralem Mittelfeld festgestellt ($p_1 = 0.01$, $p_{\text{Match}} = 0.005$).

Für Low Deceleration konnten paarweise Gruppenunterschiede nur in der ersten Halbzeit nachgewiesen werden: zwischen Außen- und Innenverteidigung ($p = 0.002$), Innenverteidigung und Sturm ($p < 0.001$), und Innenverteidigung und Zentrales Mittelfeld ($p = 0.006$).

Wie bereits bei den Altersklassen sind Positionsunterschiede bei den einzelnen Speedzonen nachgewiesen worden. Die Ergebnisse der Post-Hoc-Tests sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 8: Positionsunterschiede in den Speedzonen

Speedzone		AV vs IV	AV vs ST	AV vs ZM	IV vs ST	IV vs ZM	ST vs ZM
1	Halbzeit 1	1	0.311	1	0.808	1	0.025*
2		1	0.906	1	0.676	1	1
3		1	0.154	1	0.129	1	0.109
4		0.827	0.052	1	1	1	0.100
5		0.063	1	1	0.481	0.288	1
6		0.003*	1	0.016*	0.002*	1	0.010*
7		0.126	0.218	0.042*	< 0.001*	1	< 0.001*
1	Halbzeit 2	1	1	1	1	1	0.351
2		1	0.850	1	0.671	1	1
3		1	0.056	1	0.205	1	0.641
4		0.346	0.072	1	1	1	0.904
5		0.007*	0.134	0.531	1	0.354	1
6		0.007*	1	0.149	0.032*	1	0.535
7		0.058	0.079	0.111	< 0.001*	1	< 0.001*
1	Match	1	0.771	1	1	1	0.042*
2		1	1	1	1	1	1
3		1	0.174	1	0.179	1	0.311
4		0.642	0.067	1	1	1	0.341
5		0.021*	1	1	0.434	0.357	1
6		0.006*	1	0.009*	0.008*	1	0.014*
7		0.026*	0.094	0.004*	< 0.001*	1	< 0.001*

Für alle Speedzonen sind p-Werte der Post-Hoc-Testungen angegeben. Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

Vergleicht man den Wertebereich zwischen den einzelnen Speedzonen so sieht man deutlich, dass die Geschwindigkeit abnimmt.

Die Positionsunterschiede in Speedzone 1 wurden in der ersten Halbzeit ($p = 0.024$, $\eta_p^2 = 0.123$) und im gesamten Match ($p = 0.041$, $\eta_p^2 = 0.109$) nachgewiesen. Die Vielzahl der Gruppenunterschiede kann in der Tabelle 20 der Positionsspezifikation (siehe Anhang) entnommen werden. Unterschiede in Speedzone 5 wurden in der zweiten Halbzeit ($p = 0.007$, $\eta_p^2 = 0.211$) und im Match nachgewiesen ($p = 0.022$, $\eta_p^2 = 0.139$). In den Speedzonen 6 und 7 waren die Gruppenunterschiede in jedem Spielabschnitt signifikant ($p < 0.001$ jeweils), die durchwegs hohen Effektstärken bewegten sich zwischen $\eta_p^2 = 0.257$ und $\eta_p^2 = 0.414$.

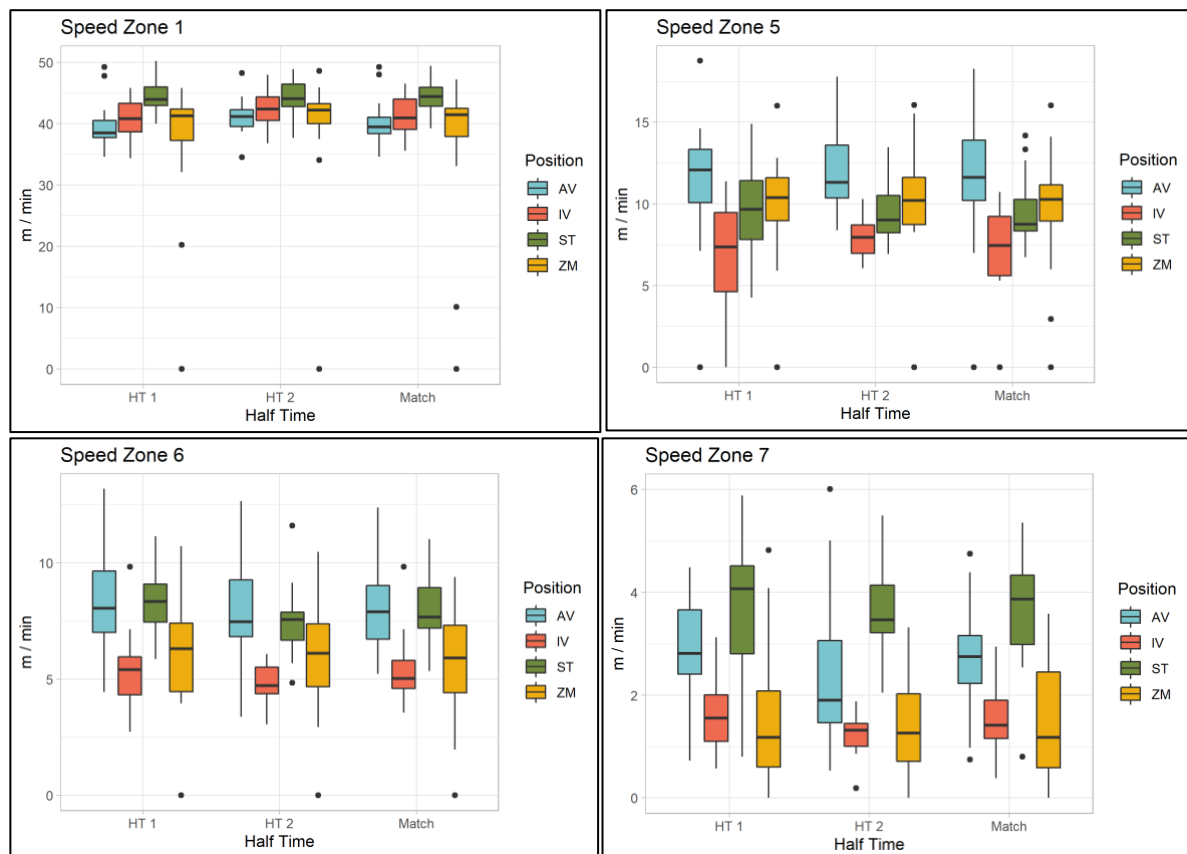


Abbildung 8: Verteilung der Spielpositionen innerhalb verschiedener Speedzonen und Spielabschnitten.

In den Parametern zur Herzfrequenz, siehe Tabelle 9, konnten sowohl in der ersten sowie der zweiten Halbzeit für die zweite Stufe signifikante Unterschiede nachgewiesen werden. Im gesamten Match (siehe Tabelle 21 im Anhang) zeigt sich allerdings kein Unterschied.

Tabelle 9: Positionsunterschiede der Herzfrequenzparameter

	Parameter	Total	AV	IV	ST	ZM	P	ES(η_p^2)
Halbzeit 1	HRmean [%]	82.30 ± 7.79	79.59 ± 8.23	84.84 ± 5.96	83.26 ± 5.29	81.49 ± 10.10	0.412	0.062
	HRz1 [s/min]	11.55 ± 12.96	20.35 ± 15.35	7.19 ± 10.91	9.28 ± 9.83	10.73 ± 13.22	0.114	0.136
	HRz2 [s/min]	13.50 ± 8.38	8.53 ± 6.65 ST	15.70 ± 7.59	18.50 ± 7.92	12.30 ± 8.65	0.018*	0.182
	HRz3 [s/min]	12.16 ± 7.20	8.74 ± 5.93	14.18 ± 7.53	15.49 ± 7.67	10.74 ± 6.50	0.106	0.140
	HRz4 [s/min]	15.19 ± 13.32	17.34 ± 16.57	17.18 ± 8.05	10.24 ± 7.63	15.69 ± 17.39	0.622	0.041
Halbzeit 2	HRmean [%]	78.77 ± 8.54	77.10 ± 10.07	80.21 ± 6.46	83.76 ± 3.75	74.67 ± 11.51	0.631	0.084
	HRz1 [s/min]	8.77 ± 14.12	6.15 ± 10.73	11.56 ± 16.52	3.86 ± 6.09	11.76 ± 18.53	0.632	0.043
	HRz2 [s/min]	8.49 ± 8.85	6.24 ± 9.59	14.00 ± 7.89	10.83 ± 10.77	4.26 ± 4.34	0.028*	0.196
	HRz3 [s/min]	10.00 ± 6.68	9.94 ± 6.86	13.03 ± 8.74	7.66 ± 1.47	7.03 ± 3.52	0.350	0.156
	HRz4 [s/min]	4.97 ± 7.32	2.37 ± 3.95	7.84 ± 6.44	5.08 ± 5.77	5.16 ± 11.09	0.354	0.089

HR Ergebnisse werden als Mittelwert $\pm$ SD dargestellt. Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet. Zusätzlich sind die Altersunterschiede in den Spalten aufgelistet. Dabei wird gezeigt welche Altersgruppen sich untereinander unterscheiden.

Auch hier bleibt die Frage, inwieweit die Effektstärke durch die dürftige Datenlage beeinflusst wurde.

4.5. SSP & Bouts Unterschiede zwischen den Altersklassen

In der ersten Halbzeit wurde bei den SSP Parametern für Sprint Bouts eine äußerst hohe Effektstärke gemessen ($\eta_p^2 = 0.512$, $p < 0.001$). Auch die SSP Dauer der Sprints zeigte eine mittlere Effektstärke zwischen der Altersklassen mit $\eta_p^2 = 0.200$, $p < 0.001$. Anzahl Bouts ($\eta_p^2 = 0.107$, $p < 0.017$) und Anzahl Sprints ($\eta_p^2 = 0.08$, $p = 0.043$) zeigten ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen.

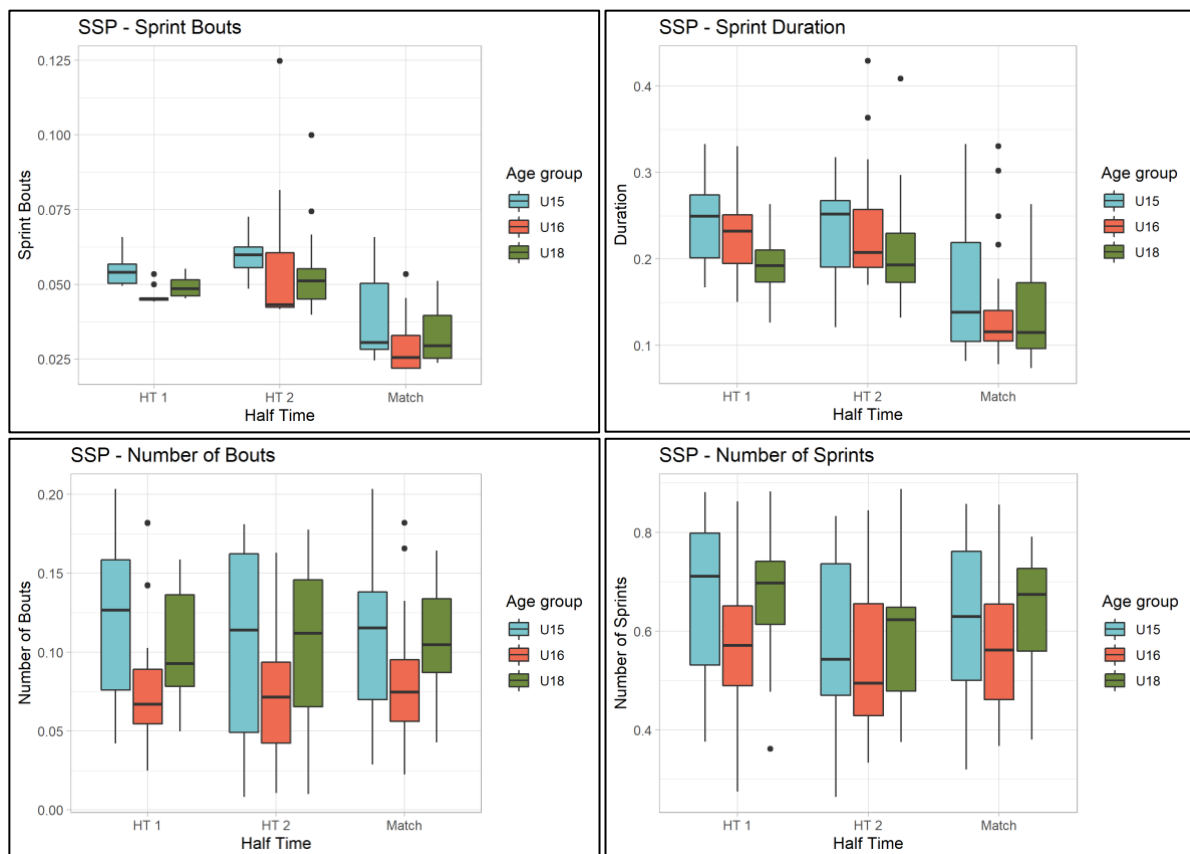


Abbildung 9: Verteilung der SSP Parameter getrennt nach Altersgruppe und Spielabschnitt.

Duration of sprints = Sprintdauer / Dauer der Sprints

Die zugehörigen Post-Hoc-Tests zeigten nur für die erste Halbzeit statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Altersklassen, diese sind im Folgenden angeführt:

Tabelle 10: successive sprints zwischen den Altersklassen

	Halbzeit 1		
	U15 vs U16	U15 vs U18	U16 vs U18
SSP – Sprint/Bout	< 0.001*	< 0.001*	0.003*
SSP – Duration Sprint	0.881	0.004*	0.024*
SSP – Number of Bouts	0.090	1	0.141
SSP – Number of Sprints	0.455	1	0.133

Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

Hinsichtlich der B3 Parameter wurde nur in einer Variablen ein sign. Unterschied festgestellt, jedoch mit einer hohen Effektstärke: Sprints/Bout ($\eta_p^2 = 0.26$, $p < 0.001$). Für die erste Halbzeit ergab der Post-Hoc-Test signifikante Unterschiede zwischen U15 und U16 ($p = 0.006$), sowie zwischen U15 und U18 ($p = 0.022$). Gruppenspezifische Unterschiede für weitere Altersgruppen bzw Spielabschnitte konnten keine weiteren signifikanten Unterschiede feststellen.

In der zweiten Halbzeit konnte nur noch für B3 Anzahl Bouts ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ($\eta_p^2 = 0.132$, $p = 0.015$). Im gesamten Match ist es ähnlich: hier konnte für SSP Anzahl Bouts als einziger Parameter ein Unterschied (mit geringer Effektstärke) nachgewiesen werden 0.087 , $p = 0.022$.

4.6. SSP & Bouts Unterschiede zwischen den Positionen

Auch für die Spielpositionen wurden etliche signifikante Unterschiede gefunden. In der ersten Halbzeit ergab die ANOVA-Rechnung signifikante Unterschiede zwischen den Spielpositionen für mehrere Parameter, alle mit mittlerer bis starker Effektstärke. Die größte Effektstärke wurde für die SSP Anzahl an Sprints gefunden ($\eta_p^2 = 0.29$, $p < 0.001$). Die Sprintdauer zeigt, wie schon bei den Altersklassen, einen signifikanten Unterschied zwischen den Positionsprofilen mit $\eta_p^2 = 0.213$ ($p = 0.002$), gefolgt von einer mittleren Effektstärke bei der Anzahl Bouts ($\eta_p^2 = 0.197$, $p < 0.003$).

Die Anzahl an Sprints (1. Halbzeit) unterschied sich in den Post-Hoc-Tests signifikant zwischen Außen- und Innenverteidigung ($p = 0.009$), Innenverteidigung und Sturm ($p =$

0.001), sowie zwischen Zentralem Mittelfeld und Sturm ($p = 0.008$). Die Sprintdauer unterschied sich signifikant zwischen Innenverteidigung und Zentralem Mittelfeld ($p = 0.009$), sowie zwischen Sturm und Zentralem Mittelfeld ($p = 0.012$).

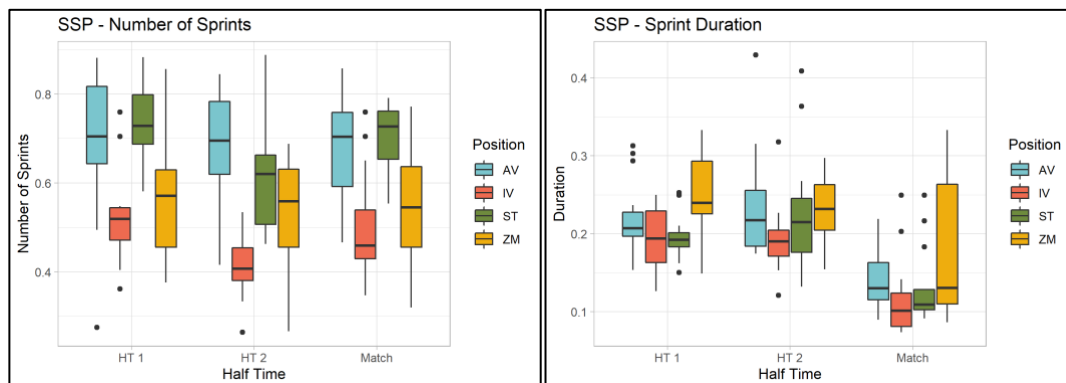


Abbildung 10: Verteilung von Anzahl und Dauer der Sprints, getrennt nach Position und Spielabschnitt.

Die B3-Parameter zeigten in der ersten Halbzeit ebenfalls mittlere Effektstärken, wenngleich etwas niedriger als SSP-Parameter. Wiederum ist die Anzahl Sprints jener Parameter mit der größten Effektstärke ($\eta_p^2 = 0.175$, $p = 0.013$), gefolgt von der Anzahl Bouts ($\eta_p^2 = 0.129$, $p = 0.038$) und der Anzahl Sprints pro Bout ($\eta_p^2 = 0.102$, $p = 0.013$). Die Post-Hoc-Tests ergaben für diese Parameter lediglich einen einzigen, signifikanten Unterschied: für die Sprintanzahl zwischen den Positionen Außen- und Innenverteidigung ($p = 0.035$).

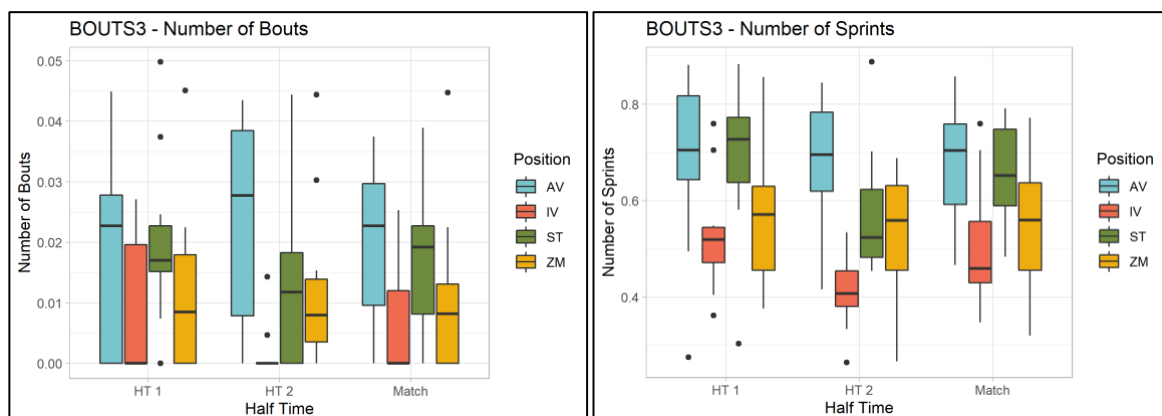


Abbildung 11: Verteilung von B3 – Anzahl Bouts bzw Sprints nach Position und Spielabschnitt.

In der zweiten Halbzeit konnten weniger Unterschiede nachgewiesen werden als in der ersten Halbzeit. Sowohl für SSP als auch für B3 Parameter wurden Unterschiede bei der Anzahl Sprints (SSP: $\eta_p^2 = 0.409$, $p < 0.001$; B3: $\eta_p^2 = 0.387$, $p < 0.001$) und der Anzahl Bouts (SSP: $\eta_p^2 = 0.393$, $p < 0.001$; B3: $\eta_p^2 = 0.287$, $p < 0.001$) gefunden, mit durchwegs hohen Effektstärken. Die Ergebnisse der Post-Hoc-Tests finden sich in folgender Tabelle:

Tabelle 11: SSP & B3 Gruppenunterschiede zwischen den Positionen

	Halbzeit 2					
	AV vs IV	AV vs ST	AV vs ZM	IV vs ST	IV vs ZM	ST vs ZM
SSP – Number of Sprints	< 0.001*	1	0.045*	0.004*	0.129	0.935
SSP – Number of Bouts	< 0.001*	0.724	0.489	0.011*	0.014*	1
B3 – Number of Sprints	< 0.001*	0.345	0.048*	0.030*	0.167	1
B3 – Number of Bouts	0.004*	0.443	0.264	0.407	0.557	1

Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

Die Ergebnisse der zweiten Halbzeit spiegeln sich in der Gesamtspielbetrachtung wider. Dieselben Parameter zeigten mit leicht abgeschwächten Effektstärken statistisch signifikante Unterschiede.

In Tabelle 12 wird eine Gesamtübersicht des gesamten Spiels der Effektstärken über SSP & B3, hinsichtlich der Alters,- und Positionsbetrachtung, dargestellt.

Tabelle 12: Wiederholte Sprintleistungsparameter pro Bout über den Spielverlauf bezogen auf Altersgruppen und Gesamtgruppe (n=62).

Alle Daten sind als Mittelwert $\pm$ SD dargestellt. Für die gegebenen Parameter wurde eine zweifache Varianzanalyse über die gesamte Spielzeit verwendet, p-Werte für die Haupteffekte von Alter und Position sind dargestellt.

Parameter	Position	Total	P	ES(η_p^2)	U15	U16	U18	P	ES(η_p^2)
B3_number_bouts	AV	0.02 $\pm$ 0.01	0.003*	0.193	0.03 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.01	0.057	0.074
	IV	0.01 $\pm$ 0.01			0.01 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.01		
	ST	0.02 $\pm$ 0.01			0.03 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.004	0.02 $\pm$ 0.005		
	ZM	0.01 $\pm$ 0.01			0.002 $\pm$ 0.004	0.01 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.01		
B3_sprint/bout	AV	0.05 $\pm$ 0.01	0.290	0.048	0.05 $\pm$ 0.02	0.04 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.02	0.061	0.076
	IV	0.05 $\pm$ 0.04			NA	0.04 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.003		
	ST	0.05 $\pm$ 0.01			0.04 $\pm$ 0.003	0.05 $\pm$ 0.02	0.05 $\pm$ 0.01		
	ZM	0.04 $\pm$ 0.01			NA	0.04 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.01		
B3_duration_sprint [s]	AV	0.13 $\pm$ 0.04	0.506	0.063	0.17 $\pm$ 0.07	0.13 $\pm$ 0.02	0.11 $\pm$ 0.02	0.585	0.029
	IV	0.10 $\pm$ 0.04			NA	0.09 $\pm$ 0.02	0.06 $\pm$ 0.02		
	ST	0.13 $\pm$ 0.05			0.11 $\pm$ 0.02	0.15 $\pm$ 0.10	0.14 $\pm$ 0.03		
	ZM	0.13 $\pm$ 0.06			NA	0.14 $\pm$ 0.07	0.12 $\pm$ 0.06		
B3_duration_recovery [s]	AV	0.12 $\pm$ 0.06	0.854	0.018	0.10 $\pm$ 0.05	0.13 $\pm$ 0.08	0.12 $\pm$ 0.06	0.889	0.006
	IV	0.14 $\pm$ 0.10			NA	0.10 $\pm$ 0.01	0.10 $\pm$ 0.02		
	ST	0.12 $\pm$ 0.07			0.08 $\pm$ 0.03	0.15 $\pm$ 0.11	0.12 $\pm$ 0.07		
	ZM	0.11 $\pm$ 0.06			NA	0.10 $\pm$ 0.05	0.12 $\pm$ 0.07		
B3_number_sprints	AV	0.68 $\pm$ 0.13	0.001*	0.261	0.80 $\pm$ 0.08	0.66 $\pm$ 0.15	0.65 $\pm$ 0.06	0.374	0.027
	IV	0.50 $\pm$ 0.13			0.54 $\pm$ 0.21	0.48 $\pm$ 0.10	0.50 $\pm$ 0.14		
	ST	0.65 $\pm$ 0.11			0.67 $\pm$ 0.08	0.64 $\pm$ 0.10	0.65 $\pm$ 0.13		
	ZM	0.55 $\pm$ 0.13			0.49 $\pm$ 0.13	0.51 $\pm$ 0.09	0.65 $\pm$ 0.11		

SSP_number_bouts	AV	0.13 ± 0.04	< 0.001*	0.287	0.18 ± 0.02	0.10 ± 0.04	0.10 ± 0.01	0.022*	0.087
	IV	0.07 ± 0.04			0.07 ± 0.05	0.05 ± 0.02	0.07 ± 0.04		
	ST	0.12 ± 0.03			0.13 ± 0.01	0.11 ± 0.05	0.12 ± 0.03		
	ZM	0.08 ± 0.04			0.07 ± 0.02	0.06 ± 0.02	0.11 ± 0.04		
SSP_sprint/bout	AV	0.03 ± 0.01	0.560	0.036	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.075	0.096
	IV	0.03 ± 0.01			0.04 ± 0.02	0.02 ± 0.002	0.03 ± 0.01		
	ST	0.03 ± 0.01			0.03 ± 0.001	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.01		
	ZM	0.03 ± 0.01			0.04 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.01		
SSP_duration_sprint [s]	AV	0.14 ± 0.04	0.067	0.122	0.15 ± 0.06	0.13 ± 0.03	0.15 ± 0.04	0.230	0.048
	IV	0.12 ± 0.06			0.16 ± 0.08	0.10 ± 0.02	0.11 ± 0.06		
	ST	0.13 ± 0.05			0.10 ± 0.01	0.17 ± 0.08	0.12 ± 0.03		
	ZM	0.18 ± 0.10			0.25 ± 0.10	0.17 ± 0.10	0.15 ± 0.07		
SSP_duration_recovery [s]	AV	0.12 ± 0.06	0.830	0.015	0.12 ± 0.06	0.12 ± 0.07	0.12 ± 0.04	0.217	0.055
	IV	0.12 ± 0.06			0.15 ± 0.12	0.11 ± 0.02	0.12 ± 0.04		
	ST	0.11 ± 0.04			0.09 ± 0.02	0.11 ± 0.04	0.12 ± 0.05		
	ZM	0.13 ± 0.07			0.20 ± 0.10	0.10 ± 0.03	0.12 ± 0.05		
SSP_number_sprints	AV	0.68 ± 0.13	< 0.001*	0.326	0.80 ± 0.08	0.66 ± 0.15	0.65 ± 0.06	0.140	0.048
	IV	0.50 ± 0.13			0.54 ± 0.21	0.48 ± 0.10	0.50 ± 0.14		
	ST	0.70 ± 0.08			0.72 ± 0.09	0.64 ± 0.10	0.72 ± 0.05		
	ZM	0.55 ± 0.13			0.49 ± 0.13	0.51 ± 0.10	0.64 ± 0.12		

Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

Die „number of bouts“ ist die gesamte Anzahl der SSP oder B3 „Bout“ während der Wettkampfs Spiele.

Die „Sprint/bout“ sind die Sprints pro „Bout“ während des Spiels.

Die „Duration of sprint“ ist die die Dauer der Sprints innerhalb der „Bout“.

Die „Duration of recovery“ ist die Erholungsdauer innerhalb der „Bout“.

Die „Number of sprints“ sind die gesamten Sprints während der Wettkampfs Spiele.

Als „bout“ wird die Anstrengung/die Kämpfe benannt. Somit besteht ein bout aus 2 aufeinander folgenden Sprints (SSP) bzw. aus 3 aufeinander folgenden Sprints (B3).

4.7. MIP Analyse

4.7.1. MIP – Unterschiede zwischen den Altersklassen

Die nachfolgende Tabelle der „most intense period“ MIP Parameter dient dazu, einen gesamten Überblick der signifikanten Unterschiede hinsichtlich aller drei Hypothesen auf einmal zu bekommen.

Tabelle 13: Gesamtüberblick MIP Belastungsparameter

Signifikante Ergebnisse sind mit (x) gekennzeichnet.

Hypothese	Minute	MIP Total Distance [m/min]	MIP >13 km/h	MIP >19.8 km/h	MIP >25.2 km/h
Alter	1			x	x
Position				x	x
Alter&Position					x
Alter	2				x
Position		x	x	x	x
Alter&Position					
Alter	3				x
Position			x	x	x
Alter&Position					
Alter	4			x	x
Position			x	x	x
Alter&Position					
Alter	5			x	x
Position			x	x	x
Alter&Position					x
Alter	6			x	x
Position			x	x	x
Alter&Position				x	
Alter	7			x	x
Position		x	x	x	x
Alter&Position				x	x
Alter	8			x	x
Position		x	x	x	x
Alter&Position				x	x
Alter	9				x
Position		x	x	x	x
Alter&Position				x	
Alter	10			x	x
Position		x	x	x	x
Alter&Position				x	

MIP Total Overview = Gesamtdistanz - gleitender Durchschnitt (m/min), Gesamtdistanzen (m/min) mit Geschwindigkeitsschwellen (>13 km/h, >19,8 km/h, >25,2 km/h)

Für fast alle Zeitabschnitte wurden Altersunterschiede in den Distanzen der beiden Geschwindigkeitsschwellen (>19,8 km/h & >25,2 km/h) der MIP Parameter nachgewiesen. Dabei wurde durchwegs die stärkste Effektgröße für den Parameter „>19,8 km/h“ in allen Zeitabschnitten nachgewiesen.

Im Parameter „sprinting“ >25 km/h sind die geschätzten Effektstärken insgesamt nicht sehr groß, finden sich in den intensivsten 5 und 10-Minuten Perioden die höchsten Werte ($\eta_p^2 = 0.2055$, $p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.2055$, $p < 0.001$).

In den MIP Parametern konnten weder für die Gesamtdistanz (total distance m/min) noch für die Distanzen (m/min) mit der Geschwindigkeitsschwelle von >13km/h, statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Altersklassen gefunden werden.

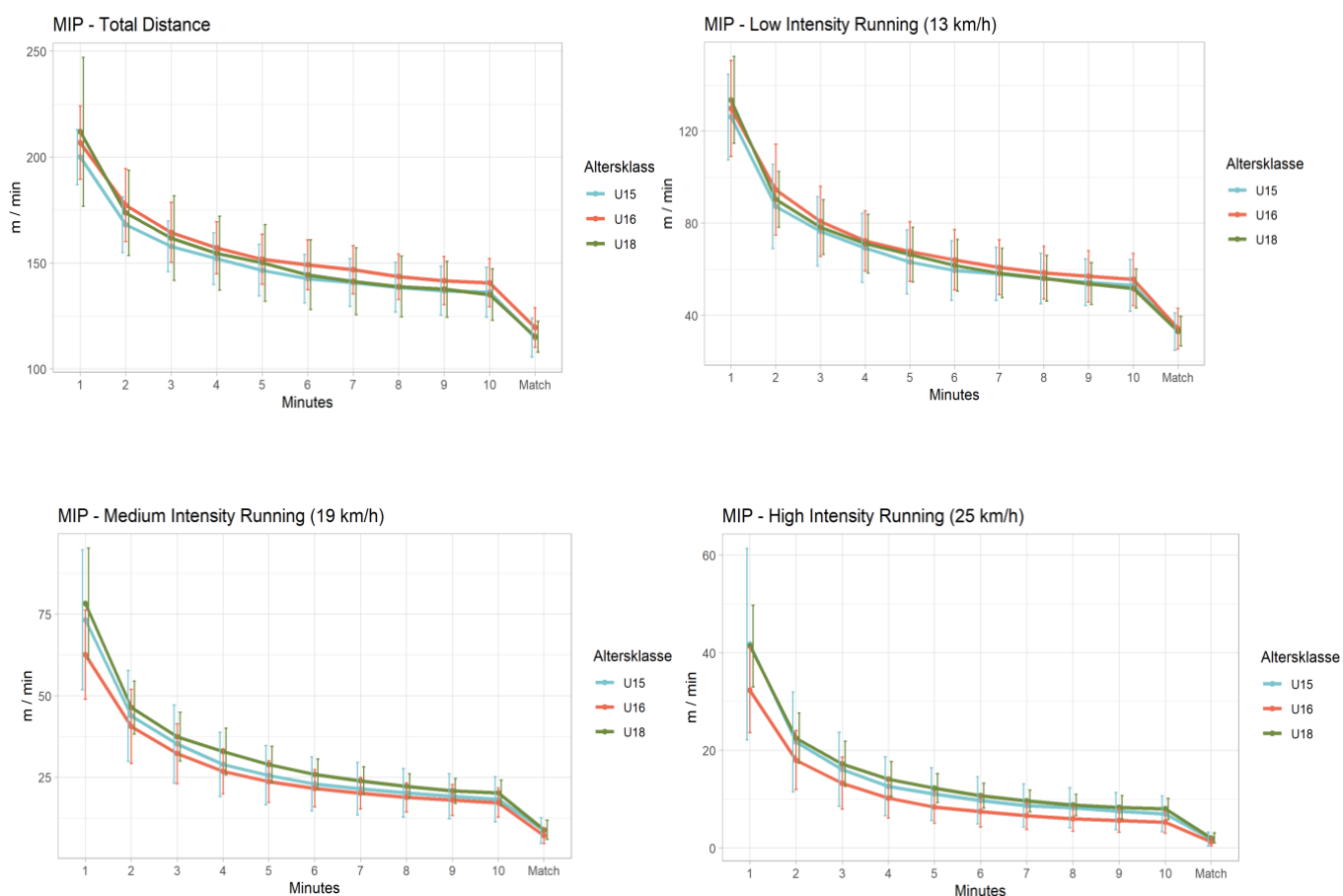


Abbildung 12: MIP Parameter im Zeitverlauf, 1 – 10 Minuten Perioden (gesamtes Match zum Vergleich), getrennt nach Altersgruppe

Die Post-Hoc-Tests konnten auf Grund der Datenlage in keinem Zeitabschnitt signifikante Gruppenunterschiede hinsichtlich der Gesamtdistanz sowie der Distanzen mit einer Geschwindigkeitsschwelle von >13km/h feststellen.

Für den MIP Parameter „very fast running“ $>19,8$ km/h wurde nur in der intensivsten ersten Minute (1') ein statistisch signifikanter Unterschied mit kleiner Effektstärke ($\eta_p^2 = 0.1647$) nachgewiesen, wobei die paarweisen Tests den Unterschied zwischen U16 und U18 belegen ($p = 0.0047$). Weitere Gruppenunterschiede zwischen den Altersklassen konnten in diesem Parameter nicht gefunden werden.

Für den Parameter mit $>25,2$ km/h wurden deutlichere Gruppenunterschiede gefunden: Hier konnten in den intensivsten 4 bis 10-Minuten Spielperioden signifikante Unterschiede zwischen der U16 und U18 nachgewiesen werden. Die zugehörigen Post-Hoc-Tests zeigten ab der 4-Minuten Periode statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Altersklassen, welche im Folgenden angeführt sind:

Tabelle 14: MIP Parameter ($>25,2$ km/h)

Minute	Parameter	U16 vs U18
1	MIP ≤ 25.2 km/h	0.0538
2		0.1351
3		0.1013
4		0.0256*
5		0.0055*
6		0.0135*
7		0.0090*
8		0.0099*
9		0.0128*
10		0.0051*

Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

4.7.2. MIP – Unterschiede zwischen den Positionen

Wie bereits für die Altersklassen konnten auch zwischen den Spielpositionen mehrere signifikante Unterschiede für die MIP Belastungsparameter nachgewiesen werden. Im Vergleich zu den Altersklassen sind die Effektstärken für die Spielpositionen wesentlich ausgeprägter. Wie in der angeführten Tabelle 15 der MIP-Position wurden Positionsunterschiede in allen Parametern sowie für fast alle Zeitabschnitte nachgewiesen. Hierbei wurde die durchweg stärkste geschätzte Effektgröße für den Parameter $>19,8$ km/h in allen Zeitabschnitten gefunden, wobei die größte Effektstärke in der 3-Minuten-Periode gefunden wurde ($p < 0.0001$, $\eta_p^2 = 0.4203$).

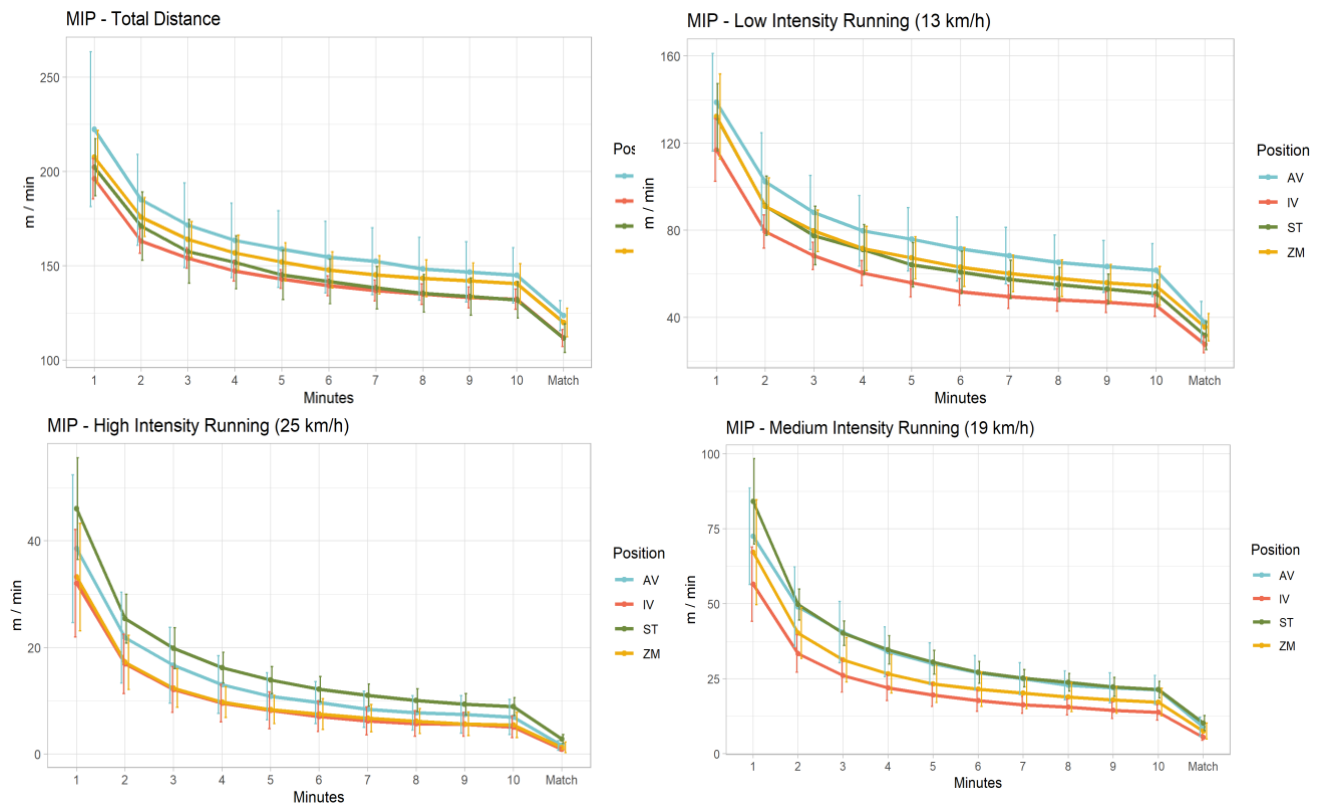


Abbildung 13: MIP Parameter im Zeitverlauf, Minute 1 – 10 (gesamtes Match zum Vergleich), getrennt nach Spielpositionen.

In der Gesamtdistanz waren die Gruppenunterschiede zwischen Außenverteidiger und Innenverteidiger immer wieder über die Perioden der zehn intensivsten Minuten (2', 4', 6', 7', 9') signifikant. Die durchweg kleinen bis mittleren Effektstärken bewegten sich zwischen $\eta_p^2 = 0.1821$ und $\eta_p^2 = 0.3298$.

Die Post-Hoc-Tests zeigten in der Gesamtdistanz auch bei Außenverteidigern und Stürmern signifikante Unterschiede, wobei die Unterschiede erst ab der 7-Minuten-Periode nachgewiesen werden konnten ($p_7 = 0.042$, $p_8 = 0.046$, $p_9 = 0.033$, $p_{10} = 0.028$).

In der Variable bei >13 km/h sind in jedem Zeitabschnitt, außer in der 1-Minuten-Periode starke Unterschiede erkennbar. Wie schon für die Gesamtdistanz ist der Unterschied zwischen Außen- und Innenverteidiger in der MIP-Positionstabelle 15 deutlich sichtbar.

Wie zuvor bei der Gesamtdistanz zeigen die paarweisen Tests den Unterschied zwischen Außenverteidiger und Stürmer erst während der 7 bis 10-Minuten-Zeitperioden ($p_7 = 0.039$, $p_8 = 0.047$, $p_9 = 0.028$, $p_{10} = 0.024$).

Die Vielzahl der Gruppenunterschiede sowohl in der Gesamtdistanz als auch in der Distanz mit >13 km/h zwischen Außen- und Innenverteidiger sowie Außenverteidiger und Stürmer kann in der Tabelle der MIP-Position entnommen werden.

Für beide dieser Parameter konnten keine Unterschiede zwischen Außenverteidiger und zentralem Mittelfeld, Innenverteidiger und Stürmer, Innenverteidiger und zentralem Mittelfeld nachgewiesen werden. Tabelle 15 zeigt, dass die Gesamtdistanz für den zentralen Mittelfeldspieler kontinuierlich niedriger ist als für den Außenverteidiger, diese Unterschiede ließen sich aber statistisch nicht nachweisen. Hier deuten die Zahlen an, dass die Innenverteidiger niedrigere Distanzen haben, jedoch konnte der Unterschied zwischen den Stürmern und zentralem Mittelfeld nicht nachgewiesen werden.

Mit einer Ausnahme wurde über das gesamte Spiel zwischen Stürmer und zentralem Mittelfeldspieler ein signifikanter Gruppenunterschied beobachtet ($p=0.031$).

Im Parameter >19 km/h „very fast running“ unterscheiden sich in den Post-Hoc-Tests signifikant die Positionen Innen- und Außenverteidiger. Hierbei wurden in jedem der Zeitabschnitte, ausgenommen in der ersten intensivsten Minute, starke Unterschiede zwischen den Positionen festgestellt.

Über die gesamten Zeitperioden sind signifikante Gruppenunterschiede zwischen Innenverteidiger und Stürmer nachweisbar (vgl. Tabelle 15).

Für die Zeitpassagen der 3 bis 6-Minuten Perioden ergeben die Post-Hoc-Tests signifikante Unterschiede zwischen zentralem Mittelfeldspieler und Außenverteidiger. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich zwischen den zentralen Mittelfeldspielern und Stürmern, die in den intensivsten Zeitperioden von 3 bis 8-Minuten starke Unterschiede aufweisen.

Gruppenspezifische Unterschiede zwischen den Positionen des Außenverteidigers und Stürmers konnten keine weiteren signifikanten Unterschiede feststellen. Die Werte in den beiden Gruppen sind statistisch nicht voneinander unterscheidbar.

Hinsichtlich der $>25,2$ km/h Parameter „sprinting“ wurden immer wieder über die gesamten intensivsten Spielpassagen signifikante Unterschiede nachgewiesen.

Die zugehörigen Post-Hoc-Tests zeigten in allen intensivsten Zeitabschnitten (1-10') statistisch signifikante Gruppenunterschiede zwischen den Positionen Stürmer und Innenverteidiger sowie Stürmer und zentralem Mittelfeldspieler, wobei die Stürmer die größten Distanzen absolvieren (vgl. Tabelle 15: MIP Unterschiede nach Positionsprofilen).

Weitere Gruppenunterschiede zwischen den Positionen konnten in diesem Parameter nicht gefunden werden. Es ist interessant zu erwähnen, dass kein Unterschied zwischen Außen- und Innenverteidiger festgestellt werden konnte, obwohl sonst in allen anderen Variablen

(„total distance“ „>13 km/h“ und „19,8 km/h“) durchweg Gruppenunterschiede zwischen diesen beiden Positionen zu erkennen sind. In der nachfolgenden Tabelle wird ein Gesamtüberblick über die gesamten Parameter gegeben, wobei die Positionsunterschiede untereinander in jedem der Zeitabschnitte aufgezeigt werden.

Tabelle 15: MIP Unterschiede nach Positionsprofilen

Minute	Parameter	Total	AV	IV	ST	ZM	P	ES(η_p^2)
1	MIP Total Distance [m/min]	207.49 ± 25	222.32 ± 41	196.07 ± 10.7	202.15 ± 15.07	207.53 ± 14.28	0.0651	0.1562
	MIP ≤ 13 km/h	130.5 ± 19.42	138.67 ± 22.42	116.86 ± 14.43	131.85 ± 15.43	132.22 ± 19.6	0.0766	0.1549
	MIP ≤ 19.8 km/h	70.6 ± 17.76	72.54 ± 16.09	56.51 ± 12.43 ST	84.1 ± 14.23	67.19 ± 17.49	0.0015*	0.2499
	MIP ≤ 25.2 km/h	37.57 ± 12.03	38.51 ± 13.86	32.03 ± 10.07 ST	45.99 ± 9.52 ^{ZM}	33.2 ± 10.07	0.0083*	0.1748
2	MIP Total Distance [m/min]	174.23 ± 17.69	185 ± 24.04 ^{IV}	163.08 ± 6.46	171 ± 18.07	175.85 ± 10.3	0.0404*	0.1821
	MIP ≤ 13 km/h	91.53 ± 16.76	102.38 ± 22.32 ^{IV}	79.46 ± 7.64	91.22 ± 13.58	91.07 ± 12.96	0.0226*	0.2141
	MIP ≤ 19.8 km/h	43.4 ± 10.88	48.93 ± 13.34 ^{IV}	33.38 ± 6.28 ST	49.72 ± 5.13	40.17 ± 8.47	0.0001*	0.354
	MIP ≤ 25.2 km/h	20.42 ± 6.9	21.85 ± 8.5	16.93 ± 5.57 ST	25.39 ± 4.57 ^{ZM}	17.21 ± 5.08	0.0032*	0.2389
3	MIP Total Distance [m/min]	162.16 ± 16.16	171.48 ± 22.46	154.13 ± 5.46	157.6 ± 16.87	163.94 ± 9.5	0.0761	0.154
	MIP ≤ 13 km/h	78.92 ± 13.83	88.17 ± 16.96 ^{IV}	68.24 ± 6.31	77.6 ± 13.42	79.82 ± 9.53	0.0111*	0.243
	MIP ≤ 19.8 km/h	34.79 ± 9.23	40.52 ± 10.18 ^{IV, ZM}	26.01 ± 5.48 ST	40.17 ± 4.09 ^{ZM}	31.3 ± 7.4	< 0.0001*	0.4203
	MIP ≤ 25.2 km/h	15.32 ± 5.74	16.66 ± 7.08	12.12 ± 4.3 ST	19.83 ± 3.84 ^{ZM}	12.38 ± 3.62	0.0004*	0.2909
4	MIP Total Distance [m/min]	155.23 ± 14.3	163.5 ± 19.76 ^{IV}	147.19 ± 5.37	151.87 ± 14.05	156.9 ± 9.32	0.0706	0.1647
	MIP ≤ 13 km/h	71.21 ± 13.11	79.71 ± 16.23 ^{IV}	60.32 ± 5.72	71.24 ± 11.37	71.71 ± 10.17	0.0104*	0.2566
	MIP ≤ 19.8 km/h	29.52 ± 7.94	33.97 ± 8.31 ^{IV, ZM}	21.95 ± 4.3 ST	34.6 ± 4.74 ^{ZM}	26.56 ± 6.41	< 0.0001*	0.4154
	MIP ≤ 25.2 km/h	12.18 ± 4.59	13.03 ± 5.4	9.56 ± 3.51 ST	16.18 ± 2.87 ^{ZM}	9.72 ± 2.88	< 0.0001*	0.3228
5	MIP Total Distance [m/min]	150.15 ± 14.45	158.91 ± 20.28	143.06 ± 4.96	145.24 ± 13.06	152.05 ± 10.08	0.0549	0.1745
	MIP ≤ 13 km/h	66.29 ± 12.55	75.91 ± 14.53 ^{IV}	55.85 ± 6.4	64.2 ± 10.22	67.37 ± 9.73	0.0029*	0.3053
	MIP ≤ 19.8 km/h	26.02 ± 6.97	29.95 ± 6.95 ^{IV, ZM}	19.59 ± 3.84 ST	30.47 ± 4 ^{ZM}	23.25 ± 6.18	< 0.0001*	0.4099
	MIP ≤ 25.2 km/h	10.36 ± 3.98	10.83 ± 4.44	8.19 ± 3.46 ST	13.88 ± 2.54 ^{ZM}	8.35 ± 2.65	< 0.0001*	0.295
6	MIP Total Distance [m/min]	146.15 ± 13.58	154.6 ± 18.91 ^{IV}	139.4 ± 5.19	141.74 ± 11.8	147.74 ± 9.62	0.0561	0.1697
	MIP ≤ 13 km/h	62.24 ± 12.22	71.44 ± 14.72 ^{IV}	51.76 ± 6.14	60.82 ± 9.62	63.11 ± 9	0.0034*	0.3035
	MIP ≤ 19.8 km/h	23.51 ± 6.11	26.97 ± 5.77 ^{IV, ZM}	17.66 ± 3.52 ST	27.1 ± 3.64 ^{ZM}	21.49 ± 5.78	< 0.0001*	0.3959
	MIP ≤ 25.2 km/h	9.15 ± 3.6	9.65 ± 3.96	7.08 ± 2.86 ST	12.17 ± 2.36 ^{ZM}	7.5 ± 2.86	0.0003*	0.2762
7	MIP Total Distance [m/min]	143.58 ± 13.27	152.45 ± 17.69 ^{IV, ST}	136.89 ± 5.48	138.44 ± 11.28	145.27 ± 10.15	0.0313*	0.1919
	MIP ≤ 13 km/h	59.3 ± 11.21	68.38 ± 12.9 ^{IV, ST}	49.48 ± 5.25	57.45 ± 8.74	60.19 ± 8.45	0.0016*	0.3376
	MIP ≤ 19.8 km/h	21.85 ± 5.53	24.96 ± 5.35 ^{IV}	16.29 ± 2.8 ST	25.14 ± 2.93 ^{ZM}	20.23 ± 5.3	< 0.0001*	0.4077
	MIP ≤ 25.2 km/h	8.15 ± 3.22	8.41 ± 3.39	6.23 ± 2.63 ST	11.04 ± 2.07 ^{ZM}	6.73 ± 2.54	0.0001*	0.2906
8	MIP Total Distance [m/min]	140.83 ± 12.36	148.4 ± 16.67 ST	136.89 ± 5.48	138.44 ± 11.28	145.27 ± 9.75	0.0335*	0.1871
	MIP ≤ 13 km/h	57.03 ± 10.59	65.36 ± 12.5 ^{IV, ST}	48.06 ± 5.15	55.14 ± 7.79	58 ± 8.4	0.0025*	0.3186
	MIP ≤ 19.8 km/h	20.38 ± 5.06	22.75 ± 4.82 ^{IV}	15.47 ± 2.62 ST	23.79 ± 2.95 ^{ZM}	18.83 ± 4.88	< 0.0001*	0.3888
	MIP ≤ 25.2 km/h	7.48 ± 3.02	7.74 ± 3.24	5.74 ± 2.4 ST	10.09 ± 2.16 ^{ZM}	6.19 ± 2.35	0.0003*	0.2679
9	MIP Total Distance [m/min]	139.26 ± 12.1	146.76 ± 15.94 ^{IV}	133.28 ± 5.55	133.68 ± 9.84	142.08 ± 9.38	0.0231*	0.2054

			ST					
	MIP <= 13 km/h	55.18 ± 10.08	63.38 ± 11.97 ^{IV, ST}	47.02 ± 4.78	53 ± 6.81	55.91 ± 8.39	0.0025*	0.3156
	MIP <= 19.8 km/h	19.3 ± 4.97	21.93 ± 4.97 ^{IV}	14.41 ± 2.74 ST	22.25 ± 3.15	17.89 ± 4.44	< 0.0001*	0.3862
	MIP <= 25.2 km/h	7.03 ± 2.93	7.44 ± 3.52	5.57 ± 2.24 ST	9.33 ± 2.03 ^{ZM}	5.67 ± 2.19	0.0012*	0.2423
10	MIP Total Distance [m/min]	137.73 ± 11.78	144.96 ± 14.67 ST	132.36 ± 5.32	131.88 ± 9.63	140.58 ± 10.46	0.0261*	0.1988
	MIP <= 13 km/h	53.52 ± 10.17	61.7 ± 12.13 ^{IV, ST}	45.4 ± 4.96	51.01 ± 6.25	54.52 ± 8.85	0.0024*	0.3102
	MIP <= 19.8 km/h	18.55 ± 4.88	21.26 ± 4.83 ^{IV}	13.74 ± 2.58 ST	21.34 ± 2.79	17.16 ± 4.62	< 0.0001*	0.3899
	MIP <= 25.2 km/h	6.64 ± 2.78	6.96 ± 3.27	5.09 ± 2 ST	8.9 ± 1.67 ^{ZM}	5.45 ± 2.35	0.0006*	0.25
Match **	MIP Total Distance [m/min]	117.01 ± 8.66	123.64 ± 7.85 ^{IV, ST}	111.75 ± 4.46	111.57 ± 7.58 ^{ZM}	119.95 ± 7.6	0.0008*	0.3298
	MIP <= 13 km/h	33.46 ± 7.69	37.87 ± 9.48 ^{IV}	27.56 ± 3.83	31.69 ± 6.41	35.56 ± 6.27	0.009*	0.2443
	MIP <= 19.8 km/h	8.08 ± 2.99	8.91 ± 3.2 ^{IV}	5.35 ± 0.96 ST	10.15 ± 2.48	7.49 ± 2.64	0.0001*	0.3063
	MIP <= 25.2 km/h	1.67 ± 1.08	1.64 ± 0.91 ST	0.91 ± 0.34 ST	2.82 ± 0.82 ^{ZM}	1.24 ± 0.99	< 0.0001*	0.394

Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

Zusätzlich sind die Positionsunterschiede in den Spalten aufgelistet. Dabei wird gezeigt in welchen Perioden, bei welchem Parameter, welche Positionen sich untereinander unterscheiden.

**Als Gegenüberstellung und Vergleich dient die Spalte „Match“ die das 90minütige Spiel mit den Variablen untersucht hat.

4.8. Zusammenhang zwischen Altersklassen und Positionen

Diese Forschungsfrage beschäftigt sich mit dem Zusammenhang zwischen Altersklasse und Position. Es wurde untersucht, ob es innerhalb einer Altersklasse Unterschiede hinsichtlich der Spielposition (bzw. umgekehrt) gibt.

Im Vergleich zu den ersten beiden Forschungsfragen ist es nun wesentlich schwieriger statistisch signifikante Ergebnisse zu erzielen, da sich die (geringe) Anzahl der Beobachtungen nicht nur auf drei Altersklassen bzw. vier Positionen aufteilen, sondern auf alle Kombinationen dieser beiden Faktoren. Auf Post-Hoc-Testungen wurde aus diesem Grund verzichtet.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die gefundenen Unterschiede. Es ist auffallend, dass durchwegs mittlere bis starke Effektstärken geschätzt wurden. Für zukünftige Analysen zu dieser Fragestellung sollte im Studiendesign die erforderliche Stichprobengröße berücksichtigt werden, um tiefere Einblicke zu bekommen.

Tabelle 16: Alters- und Positionsspezifikation der Belastungsparameter

	Halbzeit 1		Halbzeit 2		Spiel	
	P	ES(η_p^2)	P	ES(η_p^2)	P	ES(η_p^2)
Low Intensity Running	0.026*	0.185	0.051	0.205	0.016*	0.198
High Intensity Running	0.003*	0.178	0.164	0.114	0.013*	0.143
Speed Zone 1	0.019*	0.204	0.145	0.194	0.023*	0.200
Speed Zone 5	0.211	0.131	0.064	0.200	0.045*	0.186
Speed Zone 6	< 0.001*	0.240	0.007*	0.259	< 0.001*	0.251
Speed Zone 7	0.012*	0.140	0.784	0.031	0.130	0.064
SSP - Number of Bouts	0.057	0.160	0.686	0.056	0.029*	0.190
B3 - Number of Bouts	0.044*	0.202	0.220	0.122	0.034*	0.158
B3 - Sprint Bouts	< 0.001*	0.445	0.810	0.080	< 0.001*	0.521
B3 - Duration Recovery	0.016*	0.406	0.896	0.054	0.086	0.294
HR Zone 2	0.314	0.117	0.027*	0.282	0.273	0.144

Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

Innerhalb von Speed Zone 6 wurde in jeder Halbzeit sowie im gesamten Spiel ein signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe und Spielposition gefunden. Auch die geschätzten Effektstärken erreichten mittelstarkes Niveau. Lediglich für Sprint Bouts sowie die Anzahl Pausen lagen die Effektstärken mit $ES(\eta_p^2) > 0.4$ höher.

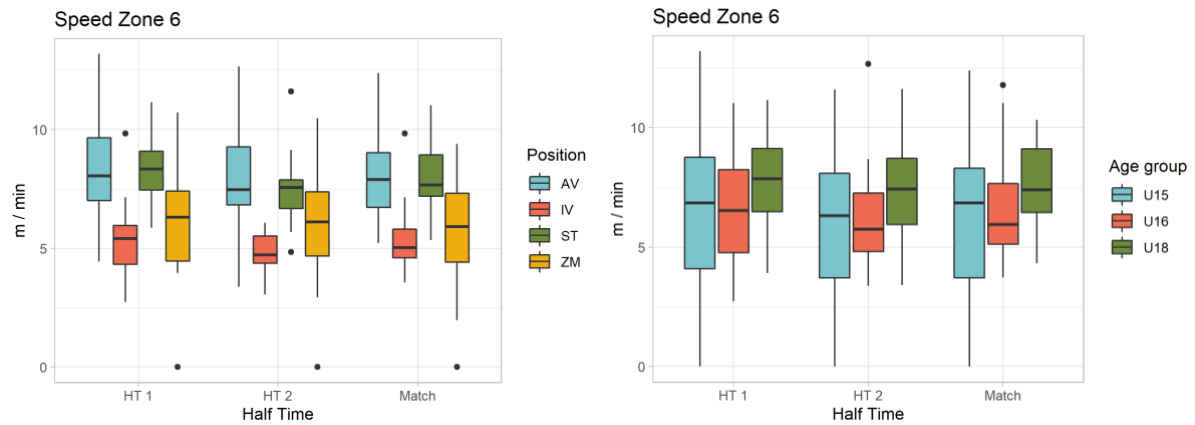


Abbildung 14: Altersgruppe & Spielposition der Speedzone 6

In den MIP Parametern konnten nur für die beiden höheren Geschwindigkeitsschwellen Unterschiede hinsichtlich Alter und Position nachgewiesen werden, und auch dies nicht über den gesamten Zeitverlauf. Die geschätzten Effektstärken befinden sich im mittleren Bereich.

Tabelle 17: Alters,- Positionsspezifikation der MIP-Belastungsparameter

Parameter	Minute	p	ES(η_p^2)
MIP $\leq$ 19.8 km/h	6	0.0238	0.1630
	7	0.0068	0.1892
	8	0.0036	0.2113
	9	0.0142	0.1926
	10	0.0096	0.1959
	Match	0.0092	0.2254
MIP $\leq$ 25.2 km/h	1	0.0164	0.2335
	5	0.0410	0.1496
	7	0.0340	0.1610
	8	0.0344	0.1667

5. Diskussion

Die Ergebnisse können dabei erforderliche Intensitäten während des Trainings vorhersagen, um den Wettkampfanspruch zu reproduzieren. Um individuelle Aktivitätsprofile zu schaffen, wird auf die unterschiedlichen Altersklassen sowie Spielpositionen Rücksicht genommen. Dementsprechend zielt diese Arbeit darauf ab, einen gezielten und professionellen Überblick für die Trainingssteuerung geben zu können.

5.1 Diskussion der altersbezogenen Ergebnisse

Die zurückgelegte Laufstrecke im „low intensity running“ (Speedzonen 1 bis 3 = <13 km/h) Bereich war bei der Altersklasse der U18 während der zweiten Halbzeit sowie im gesamten Spiel am niedrigsten (Hz2: 78.2 ± 4.1 m/min; Gesamt: 80.2 ± 5 m/min). Dieser Aspekt lässt sich möglicherweise interpretieren, indem die älteren Spieler einen gewissen Reifestatus erreichen und dadurch das Spiel besser „lesen“ und „antizipieren“ können. Dies führt wiederum dazu, dass die älteren Spieler taktische Aufgaben während des Spiels besser umsetzen und dadurch mehr Zeit im Stehen, Gehen, und Traben verbringen.

Aus den Ergebnissen dieser Studie geht hervor, dass in den älteren Altersgruppen die Belastung in den hochintensiven Bereichen steigt.

Dabei zeigt sich in Speedzone 4 (13-15,9km/h), dass die jüngsten Spieler der U15 die wenigstens Meter im Vergleich zu der U16 und U18 zurücklegen. In Speedzone 4 ist der Gruppenunterschied (U15vsU16) jeweils in der ersten, zweiten Halbzeit und im gesamten Match ersichtlich ($p = 0.04$; $p = 0.03$; $p = 0.02$) (Hz1: 13.7 ± 5.4 - 17.5 ± 4.11 m/min, Hz2: 11.6 ± 5.1 - 15.8 ± 4.1 m/min, Gesamt: 12.8 ± 5.5 - 16.8 ± 3.9 m/min).

Dabei liefert die Altersgruppe der U18 hinsichtlich des „high intensity running“ (Speedzonen 6+7 = $\geq 19,8$ km/h) Bereichs die höchsten absolvierten Meter (10.6 ± 2.5 m/min) während des gesamten Spiels, im Gegensatz zu den Jüngeren. Der größte Unterschied wird in der höchst intensiven Phase (Speedzone 7) beim sprinten (≥ 25 km/h) erfasst. Die U18 Spieler haben sowohl in der ersten, zweiten Halbzeit und im gesamten Spiel die meisten Meter in der Speedzone 7 zurückgelegt (Hz1: 3.19 ± 1.22 m/min; Hz2: 3.04 ± 1.38 m/min; Gesamt: 3.15 ± 1.11 m/min).

Diese Ergebnisse stimmen mit der bestehenden Forschung überein, die zeigte, dass bei ansteigendem Alter die Intensitäten steigen sowie mehr geleistet wird. Die bisherige Literatur zeigt, dass die körperliche Anforderung der Spieler im Alter zunimmt, aber bereits frühzeitig eingefordert wird. Dabei wird darauf hingewiesen, dass sich das Alter und der Reifegrad

möglicherweise positiv auf die Wettkampfleistung auswirken. In großen Gruppen gut trainierter junger Fußballspieler (U13–U18) legten die älteren und reiferen Spieler mehr Distanz bei hohen Geschwindigkeiten zurück (Buchheit et al., 2010a; Buchheit et al., 2010b; Harley et al., 2010; Mendez et al., 2012; Uhlig, 2017; Rábano-Muñoz et al., 2019).

Wie bereits in den Anforderungen beschrieben, nimmt die Beschleunigung und Verzögerung im Fußballspiel hinsichtlich der Trainingsbelastung eine wichtige Rolle ein. Spieler bewegen sich mit etwa 300 Beschleunigungen und Verzögerungen während einem Spiel (Russell et al., 2016; Malone et al., 2018). In dieser Studie zeigt sich der Gruppenunterschied für den Parameter „ACC high“ nur in der zweiten Halbzeit zwischen der U15 und U18, wobei die U15 größere Anzahl von Beschleunigungen (U15vsU18: 0.61vs0.35 n/min) absolviert. Für das gesamte Spiel zeigen sich im Parameter „DEC low“ ebenfalls Unterschiede zwischen der U15 und U18 (U15vsU18: 0.39vs0.29 n/min). Hier scheint es interessant zu sein, dass die jüngeren Spieler mehr Aktionen betreiben als die älteren. Dies lässt sich auch bei der Studie von Buchheit et al. (2010b) finden, wobei diese die Reife und taktische Komponente der Spieler aufzählen.

Es wird angenommen, dass die älteren Spieler mit einer gewissen ökonomischen Art und Weise Fußball spielen. Die taktischen Vorgaben des Trainers werden im reiferen Alter besser durchgeführt und dadurch kommt es zu weniger kurzen Aktionen.

Des Weiteren kann erwähnt werden, dass sich die Leistungsfähigkeit der zweiten Halbzeit im Vergleich zur ersten Halbzeit in den Parametern „total distance“, „low/high intensity running“, „acceleration“ und „deceleration“ unterscheidet.

Die zurückgelegte Gesamtdistanz „total distance“ war für alle drei Altersgruppen in der zweiten Halbzeit geringer als in der ersten Hälfte, wobei die U16 die größte Strecke in allen Spielabschnitten absolviert (Hz1: 122.3 m/min; Hz2: 116.8 m/min ; Gesamt: 120.5 m/min).

Die Laufdistanz im Parameter „high intensity running“ nimmt ebenfalls bei allen Altersgruppen in der zweiten Halbzeit im Vergleich zur ersten Halbzeit ab, wobei die U18 die höchste relative Distanz in allen Spielabschnitten absolviert (Hz1: 10.92 m/min; Hz2: 10.35 m/min; Gesamt: 10.60 m/min).

Eine Argumentation für die Abnahme der Laufleistung könnte sein, dass das Spielergebnis entschieden war, die Spieler bereits körperlich ermüdet waren oder der Trainer taktische Umstellungen vorgenommen hat.

Weiters liefert diese Arbeit Einblicke in die internen Anforderungen von Wettkampfspielen der drei Altersklassen bei Elitenachwuchsspielern.

Für die internen Belastungsparameter wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen gefunden. Einerseits deutet dies darauf hin, dass die Nachwuchsspieler physiologisch wahrscheinlich nicht überlastet worden sind. Dies wird in bisherigen Studien erläutert, dass jüngere Spieler in der Lage sind einer gewissen Ermüdung zu widerstehen, auch wenn wiederholt hochintensive Übungen durchgeführt werden (Ratel et al., 2006; Castagna et al., 2003; Castagna et al., 2009).

Andererseits waren zu wenige Stichproben verwertbar aufgrund von fehlerhaften Daten durch das Verrutschen der Herzfrequenzgurte während der Wettkampfspiele.

Trotz der Ergebnisse in dieser Studie haben die Messungen der Herzfrequenz während der Wettkampfspiele gezeigt, dass bei allen Altersgruppen eine hohe physiologische Belastung dargestellt wird.

Die erste Halbzeit sowie das gesamte Spiel verbrachten die Spieler mit einer HRmean von über 80%, was in der zweiten Halbzeit tendenziell abnahm. Dies bedeutet, dass die Spieler sich im Durchschnitt die meiste Zeit in der HRz2 (75-84% HFmax) bewegt haben. In den vorhandenen Studien zeigen sich ähnliche Erkenntnisse hinsichtlich der Herzfrequenzzonen (Castagna et al., 2003; Castagna et al., 2009; Krstrup et al., 2005; Mendez et al., 2012).

Generell war ein Abfall während der zweiten Halbzeit in allen Zonen „HRz1-4 (s/min)“ im Vergleich zur ersten Halbzeit über alle Altersklassen hinweg erkennbar (vgl. Anhang-Tabelle 19: Altersunterschiede der Herzfrequenzparameter). Möglicherweise könnte gegen Ende des Spiels die auftretende Ermüdung der Spieler eine Erklärung für den Abfall der Herzfrequenzzonen darstellen. Somit könnte argumentiert werden, dass die Spieler wenn sie gegen Ende des Spiels ermüdet sind, weniger bzw. ökonomischer laufen und dadurch niedrigere Herzfrequenzzonen aufweisen.

Des Weiteren sollte erwähnt werden, dass durch zusätzliche Einflussfaktoren wie Zweikämpfe mit dem Gegner, Sprünge, Drehungen, sowie psychologische Faktoren (Stress, Drucksituationen) die Herzfrequenzreaktionen beeinflusst werden können (Helsen et al., 2004; Reilly et al., 2005).

Hierzu haben Osgnach et al. (2010) gezeigt, dass auch bei niedrigen Laufgeschwindigkeiten hohe Herzfrequenzwerte (metabolische Anforderungen) auftreten können.

Daher scheint es, dass sich der Zusammenhang zwischen externen (Laufgeschwindigkeiten, Laufdistanzen) und internen (Herzfrequenz) Belastungsparametern im Fußball nicht einfach gestalten lässt. In der vorliegenden Studie sind geringere Unterschiede interner aber zugleich größere externer Parameter festgestellt worden. Hierbei haben frühere Untersuchungen beispielsweise gezeigt, dass es empfehlenswert sein könnte, die

physischen und physiologischen Belastungen getrennt von einander zu berücksichtigen, um kontrollierte und genauere Trainingsbelastungen zur Leistungssteigerung und Verletzungsprävention berücksichtigen zu können (Vanrenterghem et al., 2017).

Somit sollte es als notwendig erachtet werden, sowohl sportart- als auch playerspezifische (Fußball, Alter) Trainingsprotokolle zu entwickeln, um die physiologischen Anforderungen des Wettkampfspiels imitieren und überfordern zu können (Di Salvo, et al., 2007). Für Trainingsübungen haben frühere Untersuchungen beispielsweise gezeigt, dass wenn die Spielfeldgröße verkleinert wird, die physiologische Belastung reduziert, aber wahrscheinlich die biomechanische Belastung erhöht wird (Hill & Haas et al., 2011; Gaudino et al., 2014).

Idealerweise sollten individuelle Herzfrequenzintensitäten und Laufintensitäten kontrolliert werden, um die gewünschten internen und externen Trainingsbelastungen bereitstellen zu können. Beispielsweise haben

5.2 Diskussion der positionsbezogenen Ergebnisse

Die Gesamtstrecke „total distance“ nahm für alle Spielpositionen in der zweiten Halbzeit im Vergleich zur ersten Hälfte ab. In allen drei Spielabschnitten haben die Außenverteidiger (Hz1: 122.98 m/min, Hz2: 120.31 m/min, Gesamt: 121.26 m/min) und die zentralen Mittelfeldspieler (Hz1: 123.89 m/min, Hz2: 115.84 m/min, Gesamt: 119.34 m/min) die größte Strecke und die Innenverteidiger die geringste Distanz (Hz1: 115.1 m/min, Hz2: 109 m/min, Gesamt: 112.8 m/min) absolviert.

Die Position des Innenverteidigers ist mit der geringsten körperlichen Belastung verbunden, was ein größeres Volumen an taktischem und technischem Training ermöglicht, das als wichtig für die Position genannt wird (Bangsbo et al., 2006).

In Speedzone 1 (0-6,9km/h) absolvierten die Stürmer im Vergleich zu den anderen Positionen die größte Strecke im Stehen bis Gehen. Sowohl in der ersten Halbzeit als auch im gesamten Spiel waren signifikante Unterschiede zwischen den Positionen der Stürmer und der zentralen Mittelfeldspieler zu erkennen (Hz1: 44.46 ± 2.70 vs. 37.56 ± 10.82 m/min; Gesamt: 44.41 ± 2.76 vs. 37.40 ± 11.96 m/min).

Hingegen im Bereich „high intensity running“ ($\geq 19,8$ km/h) absolvieren zentrale Mittelfeldspieler, Außenverteidiger und Stürmer größere Distanzen, sowohl in der ersten und zweiten Halbzeit als auch im gesamten Spiel, als Verteidiger. Die Stürmer haben im Vergleich zu den Verteidigern die höchsten Werte im Bezug auf die intensiven Meter in allen Spielabschnitten (IVvsST: Hz1: 7.10vs12.22 m/min, Hz2: 6.00vs11.20 m/min; Gesamt: 6.94vs11.81 m/min).

In der Speedzone 7 „sprinting“ absolvieren die Stürmer in allen Spielabschnitten (Hz1; Hz2; Gesamt) die größte Distanz (3.73; 3.67; 3.67 m/min) im Vergleich zu den anderen Positionen wie Außenverteidiger (2.78; 2.51; 2.73 m/min), zentrale Mittelfeldspieler (1.61; 1.44; 1.42 m/min) und Innenverteidiger (1.66; 1.23; 1.53 m/min).

Ein interessanter Aspekt zeigt sich, da die Stürmer die meiste Zeit in Speedzone 1 und 7, im Vergleich zu den anderen Positionen verbringen. Hierbei könnte die Argumentation darin liegen, dass sie Stürmer die intensivsten Meter „Sprinten“ absolvieren und somit auch die längste Regenerationszeit benötigen, wobei dies im Stehen geschieht. Die Aufgaben der Stürmer sind während den intensivsten Aktionen (Speedzone 7) direkt und von kurzer Dauer, wie zum Beispiel den gegnerischen Innenverteidiger anpressen oder in die Tiefe sprinten. Hingegen verbringt der Stürmer die Ruhephase im Stehen, da er möglicherweise die wenigsten taktischen Aufgaben zu erfüllen hat (Speedzone 1). Im Vergleich dazu bewegt sich der zentrale Mittelfeldspieler deutlich mehr in Bereichen der mittleren Intensität (Speedzone 3+4) als der Stürmer, da er die Spielposition sowohl defensiv als auch offensiv interpretieren muss. Hierbei sind die taktischen Anforderungen unterschiedlich, wie beispielsweise die Passwege der Gegner zu schließen, wobei dass mit einer andauernden Aktivität verbunden ist und dadurch zu kürzeren Steh- und Sprintdistanzen führt.

Frühere Studien zeigen ähnliche Ergebnisse in den zuvor beschriebenen Laufintensitäten, wie zum Beispiel Stürmer, die in Speedzone 1 und auch in Speedzone 7 die höchsten Distanzen absolvieren. Die Stürmer „Gehen“ und „Sprinten“ die meiste Zeit im Verhältnis zu den anderen Positionen (Mohr et al., 2003; Mendez et al., 2012; Carling et al., 2012).

Abbott et al. (2018) zeigte ähnliche Ergebnisse, wo die Stürmer und Außenverteidiger die höchsten Lauf- und Sprintdistanzen mit sehr hoher Geschwindigkeit aufweisen. Frühere Untersuchungen zeigten, dass die breiten Stürmer die höchsten Distanzen beim Laufen mit sehr hoher Geschwindigkeit und Sprinten zurücklegen (Bradley et al., 2010; Ingebrigtsen et al., 2015).

Hierbei gilt es zu erwähnen dass nach taktischer Spielformation der Außenverteidiger oder breite Stürmer/Flügelstürmer unterschiedlich definiert werden, da sie an der Seite des Spielfeldes ähnliche Sprintanforderungen aufweisen.

Im Bezug auf die niedrigen Abbremsungen ($< 3\text{ m/s}^2$) zeigen sich vor allem in der ersten Halbzeit Unterschiede zwischen den einzelnen Positionen, wobei die Innenverteidiger eine geringe Anzahl an Abbremsungen im Vergleich zu allen anderen Positionen aufweisen. Die Stürmer und Außenverteidiger absolvieren die meisten Abbremsungen aufgrund ihrer

geforderten Spielweise (Innenverteidiger: 0.26 n/min; Außenverteidiger: 0.42 n/min; Stürmer: 0.42, n/min; zentrale Mittelfeldspieler: 0.39 n/min).

In der zweiten Halbzeit gab es bei hohen Abbremsungen einen Positionsunterschied zwischen Außenverteidiger und Innenverteidiger ($p = 0.0059$) und Innenverteidigern und Stürmern ($p < 0.001$), wobei gut zu erkennen ist, dass die Position des Innenverteidigers (0.46 ± 0.06 n/min) die wenigsten und die Stürmer (0.72 ± 0.13 n/min) am meisten Abbremsungen absolvieren.

In den Parametern der Beschleunigung „high $\geq 3\text{m/s}^2$ “ und „low $< 3\text{m/s}^2$ “ gibt es keine gravierenden Unterschiede, aber Außenverteidiger und Stürmer absolvieren die meisten Beschleunigungen.

Möglicherweise lässt sich dieser Aspekt so interpretieren, dass die Stürmer und Außenverteidiger aufgrund der intensiven Spielweise mehr Aktionen (Beschleunigungen, Verzögerungen) aufweisen als die Innenverteidiger. Die taktische Ausrichtung des Innenverteidigers ist im Vergleich zum Stürmer deutlich unterschiedlich. Durch ein gutes Stellungsspiel des Innenverteidigers ergeben sich automatisch weniger Aktionen im Spiel, weil die Aktionen hauptsächlich in der Defensive stattfinden. Hingegen der Stürmer sowohl offensiv als auch defensiv Aktionen zu bewältigen hat, wie zum Beispiel Anlaufen des Gegenspielers oder Freilaufbewegungen bei eigenem Ballbesitz.

Bezüglich der Positionscharakteristik zeigten bisherige Studien, dass der Zusammenhang zwischen Wettkampfleistung und körperlicher Fitness positionsabhängig ist, da die taktische Rolle eines Spielers bzw. der Mannschaft ins Gewicht fällt (Buchheit et al., 2010b, 2012; Mendez Villanueva et al., 2011).

Alle Spielpositionen weisen eine Abnahme der Sprintdistanzen von der ersten zur zweiten Halbzeit in den Speedzonen 6 und 7 auf. Hierbei zeigen Stürmer im Vergleich zu den anderen Positionen die größte Reduktion in der Speedzone 6 (Hz1: 88.50 ± 1.61 ; Hz2: 7.52 ± 1.73 m/min).

Außerdem kann festgehalten werden, dass die körperliche Leistungsfähigkeit in der zweiten Halbzeit bzw. gegen Ende des Spiels reduziert wird. Vor allem die Ergebnisse in den „high intensity“ Bereichen zeigen auf, dass Stürmer und Außenverteidiger eine hohe Leistungsfähigkeit im modernen Elitenachwuchsfußball mit sich bringen müssen, wobei dies in einigen Studien ähnlich angesehen wird. Hierbei zeigt sich die unterschiedliche taktische Rolle dieser beiden Positionen, da höhere intensive Distanzen gefordert werden als bei einem Innenverteidiger (Buchheit et al., 2010b; 2014; Mendez Villanueva et al., 2011).

Mögliche Gründe, warum bei allen Spielpositionen ein Abfall der Gesamtstrecke, der Beschleunigungen und Verzögerungen sowie der hochintensiven Aktionen in der zweiten

Halbzeit auffällig sind, könnten taktische Gründe des Trainers, das Spielergebnis oder die Ermüdung darstellen.

Ähnlich wie zuvor bei den Altersklassen verbrachten die Spieler der vier Spielpositionen in der ersten Halbzeit und im gesamten Spiel ihre Spielzeit bei einem HFmean von etwa 78-84% HFmax), einzig der zentrale Mittelfeldspieler verbrachte in der zweiten Halbzeit unter 74% HFmax (HRz1). Des Weiteren zeigt sich, dass bei den Stürmern und zentralen Mittelfeldspielern ein Abfall in allen vier Herzfrequenzzonen (HRz1-4 (s/min) während der zweiten Halbzeit stattfand. Dieser Aspekt könnte so interpretiert werden, dass die beiden Positionen ihre hohe Leistungsfähigkeit aufgrund auftretender Ermüdung nicht mehr halten können. Ein weiterer Erklärungsansatz könnte der taktische Aspekt der Spieler sein, der eine wesentliche Rolle in den Aktionen darstellt. Somit könnte argumentiert werden, dass der Spieler gegen Ende des Spiels andere taktische Anweisungen vom Trainer erhält.

Auch wenn keine signifikanten Unterschiede dargestellt werden, lässt sich sagen, dass die Stürmer im Vergleich zu allen anderen Positionen die geringste Zeit (s/min) in der Herzfrequenzzone 4 ($\geq 90\%$ HFmax) aufhielten. In der ersten Halbzeit verbrachten die Außenverteidiger (17.34 ± 16.57 s/min), in der zweiten Halbzeit und über das gesamte Spiel hinweg die Innenverteidiger (7.84 ± 6.44 ; 13.93 ± 8.14 s/min) die meiste Spielzeit in der HRz4. Dies könnte wiederum mit dem psychologischen Faktor beschrieben werden. Ein Innenverteidiger hat die größten Anforderungen um defensive Aufgaben zu erledigen um kein Tor zu erhalten bzw. den gegnerischen Spieler abzuwehren. Eine mögliche Interpretation dafür, warum die Herzfrequenzzone 4 bei Innenverteidigern am höchsten in Erscheinung tritt, könnte durch die entstehenden Drucksituationen erklärt werden, die bei gegnerischen Angriffen geschehen. Hierzu wird in der Literatur beschrieben, dass psychologische Faktoren die Herzfrequenzreaktionen beeinflussen können (Helsen et al., 2004).

Obwohl deutliche Unterschiede in den relativen Laufanforderungen für die Altersgruppen (U15, U16, U18) und die Spielpositionen (IV, AV, ZM, ST) gefunden wurden, gab es weniger erwähnenswerte Unterschiede in den Herzfrequenzparametern. Dieses Ergebnis der ähnlichen internen aber höheren externen Belastungen soll hilfreich sein, um langfristige individuelle Trainingsinterventionen für Spieler*innen zu konzipieren.

Daher sollten sowohl HF- als auch Laufintensitäten analysiert werden, damit die Trainingsbelastungen so gut wie möglich abgestimmt sind um somit eine Leistungssteigerung als auch eine Verletzungsprävention berücksichtigen zu können (Mendez et al., 2012; Vanrenterghem et al., 2017; Hauer et al., 2021).

Das Wissen über die Intensitätsverteilung eines Spielers während eines Fußballspiels kann von Trainern als Richtwert für die Gestaltung effektiver körperlicher Trainingsprogramme genutzt werden. Hierbei soll bei Trainingsbelastungen unterstützt werden, um ausreichende und fordernde Reize setzen zu können, sodass die Wettkampfbelastung imitiert werden kann.

Dalen et al., (2016) weisen darauf hin, dass einheitliche Trainingsübungen nicht praktikabel sind. Es sollte auf wettbewerbsähnliche Trainingsübungen abgezielt werden, damit die körperliche Beanspruchung der unterschiedlichen Spielpositionen bestmöglich gefordert wird.

Die aktuelle Arbeit zeigt die Unterschiede in der körperlichen Beanspruchung, jedoch ohne den taktischen und technischen Rollen jeder Spielposition gerecht zu werden. Die Ergebnisse liefern Informationen über Trainingsintensitäten, die während dem Wettkampf entstehen, die wiederum eine Individualisierung bewirken können um die Spielpositionen optimal im Training zu belasten.

5.3 Diskussion der altersbezogenen SSP/B3 Ergebnisse

Die Forschung bietet derzeit ein begrenztes Wissen in Bezug auf die „repeated sprint ability“ (RSA) bei Elitenachwuchsspielern, sowohl bei Alters- als auch Positionsunterschieden.

Damit ein hochintensives fußballspezifisches Ausdauertraining erstellt werden kann, beschäftigte sich diese Arbeit mit mindestens zwei und drei aufeinanderfolgenden Sprints (Gabett et al., 2008; Buchheit et al., 2010b; Ade et al., 2016; Kolku et al., 2017).

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass nur in der ersten Halbzeit innerhalb der Altersgruppen signifikante Unterschiede hinsichtlich der SSP-Parameter (mindestens zwei aufeinander folgende Sprints mit einer maximalen Unterbrechung von 21 sek) bestehen. Hierbei zeigt sich der signifikante Gruppenunterschied, dass die jüngeren Spieler der U15 die meisten Sprint per bouts (Anzahl der Sprints innerhalb der bouts) absolvieren im Vergleich zu den älteren Altersgruppen. Dies spiegelt sich, obwohl kein signifikanter Gruppenunterschied mehr besteht, auch in der zweiten Halbzeit und auch im gesamten Spiel wieder U15 (Hz1: 0.054, Hz2: 0.059, Gesamt: 0.037 n/min), U16 (Hz1: 0.046, Hz2: 0.054, Gesamt: 0.026 n/min), U18 (Hz1: 0.049, Hz2: 0,054, Gesamt: 0.033 n/min). Hierbei ist erkennbar, dass die älteste Altersgruppe die wenigsten Sprint/bout absolviert.

Dies lässt sich wie bereits zuvor mit dem Alter und der Reife interpretieren. Möglicherweise sind die jungen Spieler der U15 vor allem zu Beginn übermotiviert, aber auch vor allem nicht so diszipliniert in der taktischen Ausrichtung des Trainers, wodurch sie zu mehr Sprintwiederholungen kommen. Ein zusätzlicher Faktor könnte die technische Fähigkeit der

Spieler darstellen, die Risikobereitschaft oder die Unbekümmertheit in jüngeren Jahren, wodurch sie mehr Fehler begehen und somit auch mehr Sprintfrequenzen absolvieren müssen.

Des Weiteren ist es von Bedeutung, dass die Altersgruppe der U15 die meisten „number of bouts“ im gesamten Spiel absolviert (U15: 0.108 ± 0.052 n/min, U16: 0.081 ± 0.04 n/min, U18: 0.105 ± 0.035 n/min).

Dieser Aspekt lässt sich möglicherweise damit beschreiben, dass die tatsächliche Bewegungsaktivität von älteren Spielern beeinflusst werden kann. Hierzu wird in vorherigen Studien beschrieben, dass ältere Spieler im Vergleich zu den Jüngeren einen größeren Erfahrung und Routine in ihrem Spiel abrufen und dadurch nicht an die körperlichen Grenzen stoßen. Durch einen taktisch intelligenten Spielstil können sie ihre körperlichen Fähigkeiten schonen bzw. bewahren (Buchheit et al., 2010a).

Interessant sind auch die Ergebnisse der „number of bouts“ und der „number of sprints“ zu erwähnen, da in allen Altersgruppen ein Abfall der Werte in der zweiten Halbzeit stattgefunden hat. Die Reduktion der wiederholenden hochintensiven Laufleistungen lässt sich möglicherweise mit der Ermüdung der Spieler interpretieren.

Diese Annahme bestätigt sich in früheren Studien, wobei sich durch Ermüdung eine Verringerung der Laufleistung bei hoher Intensität, im Verlauf des Wettkampfspiels widerspiegelt (Krustrup et al., 2003; Mohr et al., 2005).

Des Weiteren ist jedoch zu erwähnen, dass physiologische Anforderungen des Fußballspiels ebenso durch taktische, technische sowie psychologische Faktoren beeinflusst werden und diese ebenso zu berücksichtigen sind.

Um sich einen Überblick zu verschaffen, zeigt der folgende Abschnitt die Verwendung der Ergebnisse in absoluten Geschwindigkeitsschwellen.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen für die unterschiedlichen Altersklassen eine durchschnittliche Anzahl (n) von SSP „number_bouts“ (n) von den gesamten Wettkämpfen: U15 (Hz1: 4.5; Hz2: 3.8; Gesamt: 6.9), U16 (Hz1: 3.6; Hz2: 2.9; Gesamt: 6.3) und der U18 (Hz1: 4.7; Hz2: 3.9; Gesamt: 7.3). Bei absoluter Betrachtung zeigen die älteren Spieler eine größere Anzahl von SSP „number_bouts“. Dieser Aspekt lässt sich mit der geringeren Spielzeit der jüngeren Mannschaften erklären.

Die „sprint/bout“ bestanden bei den drei Altersklassen in allen Spielabschnitten aus 2.0-2.3 (n) Sprints. Die Sprintdauer betrug bei der U15 (Hz1: 9.8 sek; Hz2: 8.8 sek; Gesamt: 10 sek), der U16 (Hz1: 10.2 sek; Hz2: 9.1 sek; Gesamt: 10.4 sek) und bei der U18 (Hz1: 8.4; Hz2: 8.4; Gesamt: 8.7 sek). Die Pausendauer (sek) lag bei den Altersklassen in den jeweiligen Spielabschnitten im Durchschnitt zwischen 6.3-8.5 sek(U15), 7.5-8.7 sek(U16) und 8.1-8.7 sek(U18).

Die Gesamtanzahl (n) der absolvierten Sprints „number_sprints“ lag in den beiden Halbzeiten bei der U15 (26 ± 6.9 ; 21.5 ± 8.5), der U16 (25.9 ± 6.6 ; 21.5 ± 6.0) und in der U18 (29.6 ± 5.6 ; 23.6 ± 5.0).

Hinsichtlich der B3-Parameter (mindestens drei aufeinanderfolgende hochintensive Aktionen mit einer Erholungsphase von unter 21 Sekunden zwischen den Aktionen) findet sich in der Variable „sprints/bout“ für die erste Halbzeit ein signifikanter Gruppenunterschied, wobei die U15 die höchsten Werte im Vergleich zu den anderen Altersklassen aufweist (U15 vs. U16: 0.084 ± 0.017 vs. 0.069 ± 0.006 n/min), (U15 vs. U18: 0.084 ± 0.017 vs. 0.071 ± 0.006 n/min).

Hinsichtlich der „number of bouts“ sind ähnliche Ergebnisse wie bei den SSP Variablen entstanden. Wiederum zeigt sich, dass die U15 Altersgruppe im Vergleich zu den anderen im gesamten Spiel die meisten „number_bouts“ absolvieren (U15: 0.0164 ± 0.015 n/min, U16: 0.009 ± 0.009 n/min, U18: 0.163 ± 0.01 n/min).

Die unterschiedlichen Altersklassen zeigen bei absoluten Geschwindigkeitsschwellen eine durchschnittliche Anzahl (n) von B3 „number_bouts“ von den gesamten Wettkämpfen: U15(Hz1: 1.0; Hz2: 0.9; Gesamt: 1.0), U16(Hz1: 0.5; Hz2: 0.6; Gesamt: 0.7) und der U18(Hz1: 0.9; Hz2: 0.8; Gesamt: 1.2).

Die „sprint/bout“ bestanden bei den drei Altersklassen in allen Spielabschnitten aus 3.0-3.3 (n) Sprints. Die Sprintdauer betrug bei der U15 (Hz1: 8.5 sek; Hz2: 8.9 sek; Gesamt: 8.7 sek), U16 (Hz1: 8.9 sek; Hz2: 10.5 sek; Gesamt: 10.5 sek) und U18 (Hz1: 8.3 sek; Hz2: 8.0 sek; Gesamt: 8.3 sek). Die Pausendauer lag bei den Altersklassen in den jeweiligen Spielabschnitten im Durchschnitt zwischen 7.9-8.0 sek(U15), 6.8-9.5 sek(U16) und 7.8-9.0 sek(U18). Die Anzahl (n) der absolvierten Sprints „number_sprints“ lag in den beiden Halbzeiten bei U15 (26.0 ± 6.9 ; 20.6 ± 8.3), U16 (25.9 ± 6.6 ; 21.5 ± 6.0) und U18 (27.7 ± 7.2 ; 23.4 ± 5.1).

Die vorliegenden Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Elitenachwuchsmannschaften ähnliche aufeinanderfolgende RSA-B3 Eigenschaften aufweisen, mit Ausnahme der Sprintdauer, wie in Studien von professionellen französischen Fußballspielern: 1.1 ± 1.1 number of bouts pro Spiel, eine Sprintanzahl pro bout von 3.3 ± 0.5 , Sprintdauer 2.7 ± 0.7 sek und Erholungsphasen von 13.6 sek. In dieser Studie wurde jedoch eine Geschwindigkeitsschwelle mit >19.8 km/h verwendet (Carling et al., 2012).

Es wird angenommen dass Jugendspieler*innen besser in der Lage sind maximale Anstrengungen zu wiederholen als im Erwachsenenalter. Daher könnte die Annahme gestellt werden, dass jüngere Altersklassen bei Wettkampfspielen eine höhere repeated

sprint ability „RSA“ vollziehen können als ältere Spieler. Obwohl die jungen Spieler eine vermutlich größere Fähigkeit besitzen diese maximalen Anstrengungen öfters zu wiederholen, ist es ebenso wahrscheinlich wie bei Erwachsenen, dass sie gegen Ende jeder Spielhälfte vorübergehend ermüden. Daher ist es unabhängig vom Alter wahrscheinlich, dass Spieler gegen Ende jeder Halbzeit eine vorübergehende Verringerung der Leistungsfähigkeit bei wiederholten Sprintverhalten erfahren. Dabei gilt es die Bedeutsamkeit der technischen und taktischen Aspekte bei der Bestimmung der Spielanforderungen während des Wettkampfs zu berücksichtigen. Daher bleiben die Variablen der „SSP“ und „B3“ bei jungen Spielern weiterhin schwer vorherzusagen (Ratel et al., 2006; Buchheit et al., 2010b).

Somit ist bei der Interpretation der Ermüdung eine gewisse Vorsicht geboten, da sich das Spieltempo aufgrund taktischer Tricks im Laufe des Spiels verändern und damit die effektive Spielzeit verringern könnte (Lago et al., 2010).

Daher sind weitere Studien dringend erforderlich, um zu untersuchen, ob die Abnahme des RSA(SSP/B3) Auftretens mit Müdigkeit oder dem taktischbedingten Tempo der Spieler*innen oder taktischbedingten Umstellungen der Trainer*innen zusammenhängt.

Trotzdem erscheint es von Bedeutung als Athletiktrainer*in bzw. Sportwissenschaftler*in die Anforderungen der wiederholten Sprintleistungsfähigkeit zu berücksichtigen, um die richtigen Schlüsse während des Fußballtrainings schließen zu können.

In früheren Studien haben Spielanalysen im Erwachsenenfußball gezeigt, dass eine wiederholte Sprintleistungsfähigkeit mit kurzen Erholungsphasen von Bedeutung sind (Bradley et al., 2009).

5.4 Diskussion der Positionsbezogenen SSP/B3 Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass sowohl in den Halbzeiten als auch im gesamten Spiel signifikante Unterschiede hinsichtlich der SSP Parameter zwischen den vier definierten Positionen vorliegen.

Hierbei ist ein signifikanter Gruppenunterschied innerhalb der Positionen in den Halbzeiten als auch im gesamten Match in den „number of bouts“ (gesamte Anzahl der SSP Kämpfe) sowie „number of sprints“ (Anzahl der Sprints innerhalb der Kämpfe) zu beobachten, wobei die Innenverteidiger die wenigsten wiederholenden bouts im gesamten Spiel absolvieren (Innenverteidiger: 0.065 n/min; Zentrale Mittelfeld: 0.081 n/min; Außenverteidiger: 0.118 n/min; Stürmer: 0.119 n/min).

Es ist deutlich ersichtlich, dass bei den „number of sprints“ zwischen Innen- und Außenverteidiger sowie Innenverteidiger und Stürmer Unterschiede in der Anzahl der Sprints bestehen. Dabei ist zu erkennen, dass die Innenverteidiger (0.502 ± 0.13 n/min) im Gegensatz zu den anderen Positionen am wenigsten und die Stürmer (0.695 ± 0.07 n/min) die meisten Sprints im gesamten Spiel absolvieren.

Folge dessen ergab sich die kürzeste Sprintdauer bei den Innenverteidigern (0.118 ± 0.05 s/min) und die kürzeste Pause zwischen den Sprintkämpfen zeigen die Stürmer (0.111 ± 0.04 s/min) im gesamten Spiel auf.

Das häufigere Vorkommen von SSP (number of sprints, number of bouts) hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass Stürmer und Außenverteidiger häufiger Sprints zu den gegnerischen Spielern absolvieren müssen. Einerseits die Gegenspieler unter Druck zu setzen oder um sich Raum zu verschaffen damit Torchancen kreiert werden.

Diese Unterschiede in den SSP Ergebnissen können aufgrund der unterschiedlichen Spielpositionen auch auf ein taktisches Verständnis der positionsspezifischen Aufgaben der Spieler hindeuten (Stroyer et al., 2004; Buchheit et al., 2010b).

Interessant sind dabei auch die Ergebnisse der „number of sprints“, da bei allen Positionen ein Abfall der Werte in der zweiten Halbzeit stattfindet. Die reduzierte Anzahl der Sprints pro SSP könnte gegen Ende des Wettkampfspiels auf die ansammelnde Ermüdung zurückzuführen werden.

Die unterschiedlichen Positionen zeigen bei absoluten Geschwindigkeitsschwellen eine durchschnittliche Anzahl (n) von SSP „number_bouts“ (n) von den gesamten Wettkämpfen: Innenverteidiger (Hz1: 3.3; Hz2: 1.6; Gesamt: 4.8), Außenverteidiger (Hz1: 4.8; Hz2: 4.7; Gesamt: 8.5), zentraler Mittelfeldspieler (Hz1: 3.5; Hz2: 3.9; Gesamt: 5.7) und Stürmer (Hz1: 5.4; Hz2: 3.3; Gesamt: 8.1).

Die „sprint/bout (n) bestanden bei den vier Positionsprofilen in den beiden Halbzeiten sowie im gesamten Spiel aus 2.0-2.2 (n) Sprints. Die Sprintdauer zeigte folgende Ergebnisse: Innenverteidiger (Hz1: 8.4 sek; Hz2: 8.7 sek; Gesamt: 8.7 sek), Außenverteidiger (Hz1: 9.5 sek; Hz2: 8.4 sek; Gesamt: 9.6 sek), zentrale Mittelfeldspieler (Hz1: 10,8 sek; Hz2: 9.6 sek; Gesamt: 11 sek) und Stürmer (Hz1: 8.5 sek; Hz2: 8.3 sek; Gesamt: 8.9 sek).

Die Pausendauer (sek) lag bei den Spielpositionen durchschnittlich zwischen 8.1-9.1(Innenverteidiger), 7.4-8.5(Außenverteidiger), 7.7-8.5(zentrales Mittelfeld), 6.8-9.4(Stürmer).

Die Gesamtanzahl (n) der absolvierten Sprints „number_sprints“ lag in den beiden Halbzeiten (Hz1; Hz2) beim Innenverteidiger (22.8 ± 4.6 ; 18.3 ± 3.7), Außenverteidiger (29.8 ± 6.8 ; 24.9 ± 7.4), zentralen Mittelfeldspieler (24.9 ± 6.2 ; 22.3 ± 6.2) und bei Stürmer (31.7 ± 3.5 ; 23 ± 5.2).

Die SSP-Ergebnisse der vorliegenden Studie ergeben ähnliche Spielanalysedaten wie bei vorherigen Studien hinsichtlich der unterschiedlichen Spielpositionen. Ade et al. (2016) stellte positionsspezifische englische Premier League-Daten für SSP mit 1.7 bis 5.2 number of bouts, 2.3 bis 2.8 sek Sprintdauer, 6.7 bis 8.1 sek Erholungsdauer dar, wobei die Geschwindigkeitsschwelle mit >21 km/h definiert wurde.

Die vorliegende Studie zeigte ähnliche Positionsergebnisse, wobei die Innenverteidiger die wenigsten „number of bouts“ aber zugleich die längsten Erholungszeiten hatten, im Vergleich zu den anderen Positionen. Zugleich absolvierten die breiten Mittelfeldspieler mehr wiederholte Anstrengungen und auch längere Sprintdauerzeiten als die zentralen Mittelfeldspieler und Innenverteidiger.

Gestützt durch frühere Ergebnisse führen breite Mittelfeldspieler die meisten hochintensiven wiederholten Anstrengungen(bouts) durch, im Vergleich zu den anderen Spielpositionen (Hughes et al., 2012).

Diese Annahme kann mit ihrer Spielfeldposition zusammenhängen, da sie sowohl Defensive als auch Offensive lange Distanzen absolvieren müssen. Einerseits in der Offensive um tiefe Läufe zu absolvieren, um in die Angriffsbereiche zu kommen, andererseits nach Ballverlust in der gegnerischen Spielfeldhälfte um eine defensive Umschaltbewegung zu absolvieren.

Die B3-Parameter zeigen in der ersten und zweiten Halbzeit sowie im gesamten Spiel, dass signifikante Unterschiede zwischen den vier definierten Positionen vorliegen. Wiederum ist ein signifikanter Gruppenunterschied innerhalb der Positionen in den Halbzeiten als auch im gesamten Match in den „number of sprints“ zu beobachten, wobei die Außenverteidiger in beiden Halbzeiten als im gesamten Wettkampf (Hz1: 0.69; Hz2: 0.67; Gesamt: 0.68 n/min) die meisten Sprints und die Innenverteidiger (Hz1: 0.52; Hz2: 0.41; Gesamt: 0.50 n/min) die wenigsten absolvieren. Im Parameter „number of bouts“ zeigen sich Gruppenunterschiede in der zweiten Halbzeit und im gesamten Match. Wiederum weisen die Außenverteidiger die höchsten Werte im Vergleich zu den Innenverteidigern auf.

Wie zuvor in den SSP zeigt sich in den B3-Parametern ein Rückgang der Sprintanzahl in der zweiten Halbzeit.

Trotz der insgesamt geringen Häufigkeit wiederholter „number of bouts“ mit hoher Intensität, bestehen vereinzelt Unterschiede in den Leistungsanforderungen zwischen den Positionen. Dabei absolvieren die Außenverteidiger und Stürmer die meisten und die Innenverteidiger die wenigsten Anstrengungen (bouts).

Carling et al. (2012) unterstützt die Ergebnisse und zeigt auf, dass Außenverteidiger die meisten wiederholten bouts mit hoher Intensität ausführen im Vergleich zu den Innenverteidigern, die die niedrigsten Werte aufweisen. Hughes et al. (2012) beschreibt

diese Ergebnisse indem Außenverteidiger und breite Mittelfeldspieler mehr seitliche Flankenläufe als andere Positionen absolvieren.

Buchheit et al. (2010b) erwähnen, dass das Auftreten von wiederholenden Sprintsequenzen auch von den Spielpositionen beeinflusst wird, und nimmt während des Spiels in den meisten Altersgruppen ab. Dabei ist es wichtig zu erwähnen, dass sowohl das Auftreten als auch die Art von wiederholenden Sprintsequenzen durch die Spielposition, das Alter, und die Spieldauer beeinflusst werden.

Die vorliegenden Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass Innenverteidiger die längsten Erholungen zwischen aufeinanderfolgenden hochintensiven Bemühungen hatten. Dieser Aspekt lässt sich so beschreiben, dass sie Innenverteidiger hauptsächlich in der eignen Hälfte defensive Aufgaben bekleiden müssen, und dadurch häufigere Erholungsphasen haben. Im Vergleich zu den Außenverteidigern oder Stürmern, die in beiden Richtungen, Offensiv und Defensiv, denken müssen um sich frei zu laufen oder den Gegner anzulaufen. Zusätzlich kann es damit zusammenhängen, dass ein dominant auftretendes Team hauptsächlich den Ball hat, und dadurch haben die Innenverteidiger die wenigsten „number of bouts“ aber auch die längsten Pausen zwischen den „bouts“.

O'Donoghue et al. (2005) beschreibt, dass die Informationen hinsichtlich der durchschnittlichen Erholungsdauer zwischen hochintensiven wiederholten Anstrengungen als wertvoll betrachtet werden, um das durchschnittliche Verhältnis von Belastung und Erholung während eines Wettkampfspiels abschätzen zu können.

Die unterschiedlichen Positionen zeigen bei absoluten Geschwindigkeitsschwellen eine durchschnittliche Anzahl (n) von B3 „number_bouts“ (n) von den gesamten Wettkämpfen: Innenverteidiger (Hz1: 0.6; Hz2: 0.4; Gesamt: 0.5), Außenverteidiger (Hz1: 0.9; Hz2: 1.1; Gesamt: 8.5), zentraler Mittelfeldspieler (Hz1: 0.5; Hz2: 0.6; Gesamt: 0.7) und Stürmer (Hz1: 0.8; Hz2: 0.6; Gesamt: 1.2).

Die „sprint/bout (n) bestanden bei den vier Positionsprofilen in den beiden Halbzeiten sowie im gesamten Spiel aus 3.0-3.6 (n) Sprints.

Die Sprintdauer betrug bei Innenverteidigern (Hz1: 6.5 sek; Hz2: 6.7 sek; Gesamt: 6.9 sek), Außenverteidigern (H1: 8.4 sek; Hz2: 9.7 sek; Gesamt: 9.2 sek), zentralen Mittelfeldspielern (Hz1: 9.2 sek; Hz2: 10.4 sek; Gesamt: 10 sek) und Stürmern (Hz1: 9.0; Hz2: 6.6; Gesamt: 9.4 sek).

Die Pausendauer (sek) lag bei den Spielpositionen durchschnittlich zwischen 9.2-11.6 (Innenverteidiger), 5.8-9.2 (Außenverteidiger), 8.3-9.3 (zentrale Mittelfeld), 6.9-8.3 (Stürmer). Die Anzahl (n) der absolvierten Sprints lag im gesamten Spiel beim Innenverteidiger (39.0 ± 8.7), Außenverteidiger (49.6 ± 15.5), zentrale Mittelfeld (39.3 ± 15.4) und den Stürmer (45.4 ± 10.6).

Die Ergebnisse in dieser Studie zeigen ähnliche Durchschnittswerte für RSA-Bemühungen (SSP und B3), jedoch gilt es festzuhalten, dass in dieser Studie eine Schwellengeschwindigkeit von >19,8 km/h für beide Variablen verwendet wurde, während in der bisherigen Literatur die Schwellenkonzepte für SSP bei >21 km/h und für B3-Eigenschaften bei >19,8 km/h lagen (Ade et al., 2016; Carling et al., 2012).

Des Weiteren wurde in dieser Studie eine Bewegung mit hoher Intensität ab einer Dauer von mindestens 1 Sekunde gemessen, wobei in der Studie von Bradley et al., (2009) eine Dauer von mindestens 0,5 Sekunden angeführt wurde.

Es liegt nahe, dass diesbezüglich eine einheitliche Definition erforderlich ist, um standardisierte Bewegungsschwellen zu erhalten, sodass die Zeit-Bewegungsanalysen bei professionellen Fußballwettkampfspielen gewährleistet werden können.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen eine geringe Häufigkeit von wiederholten hochintensiven Anstrengungen(bouts), dies könnte darauf hinweisen, dass diese spezifischen körperlichen Komponente möglicherweise keine so entscheidende Rolle bei der Leistung von Elitenachwuchs spielen, wie allgemein angenommen wird. Daher sollte die Notwendigkeit hochintensiver wiederholter Anstrengungen (Sprints) genauer erforscht werden und sich die Frage stellen, welchen Stellenwert diese Ergebnisse tatsächlich darstellen. Di Salvo et al. (2009) hat diesbezüglich hochrangige englische Teams untersucht und herausgefunden, dass diese Teams weniger hochintensive Distanzen im Vergleich zu niedrig rangigen Teams absolvieren. Diese Annahme lässt sich möglicherweise mit der Dominanz der Teams erklären, die den Ball und die Gegner mehr laufen lassen.

Daher bleibt die relative Bedeutung der wiederholten Sprintleistungsfähigkeit für die Mannschaftsleistung im Elite- und Profifußball sowie für das Spielergebnis unerforscht und offen.

5.5 Diskussion der positionsbezogenen MIP Ergebnisse

Im Parameter der Gesamtdistanz (total distance) mit dem gleitenden Durchschnitt (rolling average) aller Geschwindigkeiten zeigen sich eindeutige Ergebnisse, wobei die Außenverteidiger in allen gemessenen Zeitabschnitten die höchsten Werte (n/min) im Vergleich zu den anderen Positionen aufweisen. Die Innenverteidiger haben die niedrigsten Werte vorzuweisen und zugleich besteht auch der größte signifikante Gruppenunterschied zwischen diesen beiden Positionen in unterschiedlichen Zeitperioden (2', 4', 6', 7', 9'). Des Weiteren zeigen die Außenverteidiger zu den Stürmern Gruppenunterschiede in den intensivsten Spielperioden von 7 bis 10 Minuten.

Während der intensivsten Spielminute der Gesamtdistanz zeigte sich, dass die Außenverteidiger (222.32 ± 41 m/min) die größte relative Distanz absolvieren, im Vergleich zum zentralen Mittelfeldspieler (207.53 ± 14.28 m/min), Stürmer (202.15 ± 15.07 m/min) und Innenverteidiger (196.07 ± 10.7 m/min).

In den bisherigen Studien wurden ähnliche Ergebnisse gefunden, jedoch wurden zumeist beim breiten Mittelfeldspieler die höchsten Distanzen (m/min) in der 1min peak gefunden. In dieser Studie wurden jedoch die breiten Mittelfeldspieler und Stürmer zusammengefasst und als eine Position „Stürmer“ definiert. Aufgrund der taktischen Ausrichtung der Mannschaften war der Außenverteidiger der Breitengeber und kann daher mit einem breiten Mittelfeldspieler verglichen werden. Ebenso wurden zentrale Mittelfeldspieler als eine Position gewertet, unabhängig ob eine defensive und offensive Ausrichtung gegeben war.

Riboli et al. (2020) zeigen die breiten Mittelfeldspieler innerhalb der intensivsten 1-Minuten-peak eine größere maximale relative Gesamtdistanz von 198 m/min im Vergleich zu den anderen Spielpositionen.

Di Salvo et al. (2007) und Garcia et al. (2018) zeigen ähnliche Ergebnisse, wobei die Zentralen und breiten Mittelfeldspieler die höchsten und Stürmer und Innenverteidiger die niedrigsten Werte für die intensivste 1-Minuten Periode der Spielforderungen (m/min) darstellen.

Als Gegenüberstellung zeigt sich, dass in den intensivsten zehn Minuten der Gesamtdistanz weiterhin die Außenverteidiger (144.96 ± 14.67 m/min) die größte relative Distanz absolvieren, im Vergleich zu den anderen Spielpositionen: zentrale Mittelfeldspieler (140.58 ± 0.46 m/min), Innenverteidiger (132.36 ± 5.32 m/min) und Stürmer (131.88 ± 9.63 m/min). Im Vergleich ist zu erkennen, dass sich mit zunehmender Aktivitätsdauer größere Unterschiede zwischen intensivsten Spielperioden ergeben.

Im Vergleich zu der zuvor gezeigten Gesamtdistanz in den intensivsten Perioden (1' und 10') untergliedern sich die Positionen gegenüber des gesamten Spiels (90'), wie folgt: Außenverteidiger (123 m/min), zentrale Mittelfeldspieler (120 m/min), Innenverteidiger/Stürmer (~111 m/min). Diese Gegenüberstellung soll dazu dienen, Trainingsübungen an die intensivsten Spielperioden im Wettkampfspiel rauslesen und anpassen zu können. Durch diesen Datenvergleich können die Trainer die Laufintensitäten der Spieler ermitteln ob die geforderten Laufintensitäten während der Trainingsübungen erreicht werden. Dadurch kann rausgelesen werden, ob der Spieler zusätzliche Laufeinheiten absolvieren soll, um an die intensivsten Wettkampfintensitäten heran zu kommen. Dieser Aspekt soll dazu dienen, dass die Spieler in der Lage sind, die höchst

intensivsten Laufintensitäten (Perioden) des Wettkampfs während der fußballspezifischen Trainingsübungen aufrecht zu halten bzw. bestmöglich zu steigern.

Zusätzlich können die Trainer die Laufintensitäten der unterschiedlichen Spielpositionen rauslesen, um die Trainingsübungen genauer beurteilen zu können, so dass ähnliche Belastungen wie vom Wettkampfspiel stattfinden können.

Aufgrund der Ergebnisse bestehen Positionsunterschiede hinsichtlich der intensivsten Laufleistungen, die die Notwendigkeit einer Individualisierung bzw. Anpassung der Trainingsübungen im Verhältnis zu den Anforderungen des Wettkampfspiels verdeutlichen.

Wie aus den Ergebnissen ersichtlich, zeigt sich eine Abnahme der Laufintensitäten in den intensivsten Perioden, wobei die Laufintensität auf allen Positionen mit ähnlichem Maß abnimmt. Es wurde ein nicht linearer Zusammenhang zwischen der Dauer der intensivsten Perioden (gleitenden Durchschnitts) und der erreichten relativen Gesamtdistanz beobachtet. Dieser Aspekt wird in der Literatur mit der Ermüdung argumentiert und beschrieben (Mohr et al. 2003; Bradley und Noakes 2013; Carling et al. 2016).

Die ähnliche Abnahmerate kann damit zusammenhängen, dass alle Spieler mit den gleichen Trainingsintensitäten belastet werden. Diese Interpretation bleibt jedoch rein spekulativ, da keine Daten über Trainingsbelastungen berücksichtigt wurden.

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der intensivsten Spielperioden (1-10') hinsichtlich der unterschiedlich intensiven Laufintensitäten mit den Geschwindigkeiten von >13 km/h, >19,8 km/h, >25,2 km/h beschrieben um die Spieler für Spitzenanforderungen des Wettkampfspiels vorbereiten zu können.

Die Distanzen mit dem Parameter >13 km/h zeigen über die gesamten intensivsten Zeitperioden gleiche Ergebnisse hinsichtlich der Positionsunterschiede, wobei die Außenverteidiger und die zentralen Mittelfeldspieler die höchsten und die Stürmer und Innenverteidiger die niedrigsten Werte aufweisen.

Ähnliche Ergebnisse zeigen sich in der Literatur, wobei hier die breiten und zentralen Mittelfeldspieler die höchsten relativen Distanzen aufweisen. Die Stürmer und Innenverteidiger haben über den gesamten Zeitverlauf hinweg die niedrigsten Werte (Riboli et al., 2020).

Im Parameter mit der Geschwindigkeitsschwelle >19,8 km/h zeigen sich die größten Unterschiede zwischen den Positionen, wobei durchwegs über alle Perioden Gruppenunterschiede heraus gefunden wurden. In allen gemessenen Zeitperioden (1-10') zeigen Stürmer im Vergleich zu Innenverteidigern die signifikant größten Unterschiede. Des Weiteren zeigen Außen- und Innenverteidiger in den Perioden 2-10 Minuten die größten Unterschiede.

Auch im Parameter mit der Geschwindigkeitsschwelle >25,2 km/h zeigen sich hauptsächlich Gruppenunterschiede zwischen Stürmern und den Positionen der Innenverteidiger und der zentralen Mittelfeldspieler.

Die Distanzen in beiden Parametern (>19,8 km/h, >25,2 km/h) der Stürmer und Außenverteidiger sind in allen intensiven Zeitperioden (1-10') durchwegs am höchsten, während die Innenverteidiger und zentralen Mittelfeldspieler in diesen intensiven Geschwindigkeitsschwellen die kürzesten Distanzen absolvieren.

Bisherige Studien haben gezeigt dass die Spielposition die anspruchsvollsten Passagen Im Wettkampf beeinflusst (Di Salvo et al., 2007; Delaney et al., 2017). Hierbei sollte erwähnt werden, dass die Definition des Positionsprofils sowie die taktische Ausrichtung der Spieler eine entscheidende Rolle spielt.

Die taktischen Formationen in der vorliegenden Studie unterscheidet sich einerseits in den Formationen (4-4-2, 4-3-3, 4-2-3-1, 3-5-2) und dadurch in der Definition der Positionsprofile. Spielt die Mannschaft beispielsweise in einem 4-3-3 befinden sich drei nominelle Stürmer auf dem Spielfeld die ihre Positionen auch untereinander wechseln, und dadurch bewegen sie sich auch mit anderen Intensitäten im Vergleich zu einem anderen System. In einem 3-5-2 System haben dann die Außenverteidiger die Rolle der seitlichen Flügelspieler auf den Flanken und die Stürmer hauptsächlich die zentrale Rolle. Dieser Aspekt der Formationsänderungen bewirkt, dass in der Auswertung die Intensitäten geändert werden können. Möglicherweise könnten durch eine einheitliche Formation auch genauere Ergebnisse hinsichtlich der Belastungsanforderungen entstehen. Diese Vermutung spiegelt sich auch in frühen Studien wieder, da mehrere Positionen definiert wurden, und daraus resultieren teilweise unterschiedliche Ergebnisse, wobei der breite Mittelfeldspieler die größten Distanzen mit den Geschwindigkeitsschwellen >19,8 km/h und >25,2 km/h (Delaney et al., 2017; Garcia et al., 2018; Riboli et al., 2020).

In der vorliegenden Studie wurden die Spieler je nach Spielformation entweder als Stürmer oder Außenverteidiger definiert und bewertet. Nichtsdestotrotz unterstreichen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die Bedeutung der unterschiedlichen Laufintensitäten (>13 km/h; >19,8 km/h; >25,2 km/h) während der intensivsten Spielpassagen (1-10') damit jede Spielposition angemessen und individuell auf die Wettkampfanforderungen vorbereitet werden kann.

Dies lässt sich beispielhaft mit einer 5-minütigen Trainingsübung erklären, die darauf abzielt, die Anforderungen eines Wettkampfspiels nachzubilden. Dabei könnten die Wettkampfindensität und die relative Distanz für die Altersgruppen und Positionen laut den

Tabellen im Training verglichen und berücksichtigt werden (vgl. Tabelle 15: MIP Unterschiede nach Positionsprofilen).

In diesem Fall würde die relative Gesamtdistanz (total distance, gleitender Durchschnitt, rolling average) in den fünft-intensivsten Minuten Periode eine geschätzte Trainingsübungsintensität, unabhängig von Alter oder Position von rund 150.15 ± 14.45 m/min darstellen.

Vergleicht man die Altersgruppen untereinander würden die Werte relativ ähnlich zwischen 147-151 m/min ausfallen. Hingegen zeigen sich in den Positionsprofilen größere Unterschiede in den fünf intensivsten Minuten Gesamtdistanz (m/min): Außenverteidiger (158.9 ± 20.28), zentrale Mittelfeld (152.05 ± 10.08), Stürmer (145.24 ± 13.06) und Innenverteidiger (143.06 ± 4.96).

Der Ansatz der geschätzten Trainingsübungsbelastung kann auch in den anderen gemessenen Parametern mit den Geschwindigkeitsschwellen (>13 km/h; $>19,8$ km/h; $>25,2$ km/h) verfolgt werden.

In der Periode der fünf intensivsten Minuten lässt sich die relative Distanz (m/min) mit der Geschwindigkeit $>19,8$ km/h wie folgt darstellen: Außenverteidiger ($30 \pm 6,95$), zentrale Mittelfeld (23.25 ± 6.1), Stürmer (8.35 ± 4) und Innenverteidiger (19.6 ± 3.8), Durchschnitt: (26.02 ± 6.9).

Die relative Distanz (m/min) mit der Geschwindigkeit $>25,2$ km/h ergibt sich wie folgt: Außenverteidiger (10.8 ± 4.4), zentrale Mittelfeld (8.4 ± 2.7), Stürmer (13.9 ± 2.5) und Innenverteidiger (8.2 ± 3.5), Durchschnitt: (10.4 ± 4).

Während der fünftintensivsten Minuten zeigt sich in beiden Parametern „ $>19,8$ km/h“ und „ $>25,2$ km/h“, dass deutliche Unterschiede in den Positionen vorzufinden sind, wobei der Stürmer und die Außenverteidiger die höchstintensiven Distanzen im Vergleich zu den anderen beiden Spielpositionen absolvieren.

Die in der aktuellen Studie vorgestellten Daten ermöglichen es Trainern, die Intensitäten von fußballspezifischen Übungen über die relative Zeit zu beurteilen. Dabei könnte die Form der Übungen taktisch genauer definiert werden, um sowohl alters- als auch positionenspezifische Ziele, die die Athleten benötigen, zu erreichen.

Die vorliegenden Ergebnisse zwischen den Positionen könnten in der Praxis verwendet werden, um die Trainingsintensität von Übungen so zu konzipieren, dass die MIP Intensitäten der Wettkampfanforderungen im Training nachgeahmt/widerspiegelt werden können.

Hierzu sollten Positionen unterschiedlich gesehen werden, wie zum Beispiel bei offensiven Trainingsaktionen für die Stürmer oder äußeren Mittelfeldspieler, oder bei defensiven

Trainingsübungen für die Innenverteidiger. Zusätzlich könnten Trainer Trainings- und Spielformen wählen, in denen die einzelnen Positionen gewisse taktische Vorgaben besitzen, damit die individuellen anspruchsvollsten Aktivitäten der MIP Intensitäten reproduziert werden können. Darüber hinaus könnten individuelle positionenbezogene MIP Intensitäten durch Vorgaben mit oder ohne Ballbesitz mit Kleinfeldspielen oder spezifischen technischen Übungen nachgebildet werden.

Daher sollten fußballspezifische Übungen die vorhandenen Positionsunterschiede für die Spitzenanforderungen berücksichtigen. Dies kann Praktikern helfen, die Trainings- bzw. Spiellücke zu überbrücken

In der Literatur wird beschrieben, dass wenn nur die durchschnittlichen Wettkampfanforderungen (total distance, acceleration, deceleration, speedzonen) über das gesamte Spiel hinweg gemessen werden, die Spieler während der Trainingseinheiten nur unzureichend bzw. unvollständig konditioniert sind (Delaney et al., 2017). Daher könnten die Ergebnisse der „most intense period“ (MIP) dazu dienen, die intensivsten Spielperioden während des Trainings wiederherzustellen, um die Spieler auf die Wettkampfspielanforderungen zu konditionieren.

5.5 Diskussion der altersbezogener MIP Ergebnisse

Im Vergleich zu den positionenspezifischen Ergebnissen gibt es hinsichtlich der Altersgruppen deutlich weniger signifikante Unterschiede zu erkennen.

Hinsichtlich der Gesamtdistanz (rolling average) und der Gesamtdistanz mit der Geschwindigkeitsschwelle >13 km/h sind in keinem der intensivsten Zeitperioden Gruppenunterschiede erkennbar. In der Auswertung haben sich unterschiedliche Werte gezeigt, jedoch waren sie zu keinem Zeitpunkt der intensivsten Perioden signifikant. Dies lässt sich damit begründen, dass die Altersgruppen in den Gesamtdistanzen (rolling average) und in den Distanzen mit >13 km/h ähnliche Meter absolviert werden, und erst mit dem Anstieg der Intensitäten entstehen Unterschiede.

Auch wenn sich die relativen Distanzen mit den Geschwindigkeitsschwellen ($>19,8$ km/h, $>25,2$ km/h) zwischen den Altersgruppen unterscheiden, zeigen die Post Hoc Tests wenig Gruppenunterschiede.

In der relativen Distanz mit dem >19 km/h Parameter wurde nur in der intensivsten Spielminute ein Unterschied gefunden, wobei die U18 (78.19 ± 16.98 m/min) eine größere Distanz im Vergleich zur U16 (62.58 ± 13.65 m/min) absolviert.

Im >25,2 km/h Parameter wurden wiederum in den intensivsten 4 bis 10 Minuten Perioden Unterschiede gefunden, wobei die U16 niedrigere Distanzen (4':p= 10.24 ± 4.09, 5':p= 8.35 ± 3.26, 6':p= 7.47 ± 3.2, 7':p= 6.6 ± 2.78, 8':p= 5.98 ± 2.56, 9':p= 5.66 ± 2.43, 10':p= 5.25 ± 2.26 m/min) im Vergleich zur U18 (4':p= 14.12 ± 3.56, 5':p= 12.26 ± 2.93, 6':p= 10.73 ± 2.54, 7':p= 9.62 ± 2.23, 8':p= 8.79 ± 2.18, 9':p= 8.32 ± 2.39, 10':p= 8.01 ± 2.14 m/min) aufweist.

Aufgrund der größten Unterschiede zwischen den Altersgruppen mit der Geschwindigkeitsschwelle von >25,2 km/h, könnten Trainer hierzu die geschätzte Trainingsintensität zwischen den Altersgruppen ablesen und anwenden.

Die vorliegenden Ergebnisse der Altersunterschiede könnten in der Trainingspraxis angewandt werden, um die Übungen so zu gestalten, dass die MIP Intensitäten widerspiegelt werden.

Dies lässt sich wiederum beispielhaft mit einer 5-minütigen Trainingsübung erklären, um die Wettkampfintensität und relative Distanz laut der Ergebnisse (vgl. Anhang-Tabelle 24: MIP Unterschiede nach Altersklassen) berücksichtigen sowie nachbilden zu können.

In diesem Fall würde in den intensivsten 5-Minuten die relative Gesamtdistanz (m/min) mit der Geschwindigkeitsschwelle von >25,2 km/h eine geschätzte Trainingsübungsintensität, unabhängig von Alter von rund 10.36 ± 3.98m/min darstellen. Hingegen werden zwischen den Altersgruppen größere Unterschiede in der 5-Minuten-Periode der Gesamtdistanz (m/min) mit >25,2km/h dargestellt: U15 (11.03 ± 5.38), U16 (8.35 ± 3.26) U18 (12.26 ± 2.93).

Die Trainingsübungen können über taktische Anforderungen gesteuert werden, die zum Beispiel in offensive und defensive Phasen untergliedert wird. Bei fußallspezifischen Kleinfeldspielen könnten die Anforderungen durch die Spielfeldgröße oder die Spieleranzahl beeinflusst werden. Zusätzlich könnte der Trainer Ballkontaktzeiten eingrenzen, um auf die geforderten Intensitäten zu gelangen.

Es zeigt sich nahezu in allen intensivsten Zeitperioden, dass die älteste Gruppe der U18 Mannschaft eine größere relative Distanz im Vergleich zu den jüngeren Jahrgängen (U15, U16) mit der >19,8 km/h und >25,2 km/h Geschwindigkeitsschwelle absolviert.

Dieser Aspekt könnte damit zusammenhängen, dass die Anforderungen im Alter gesteigert werden und die Jugendlichen von Jahr zu Jahr die Intensitäten anpassen müssen, da sie notwendig erscheinen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie liefern Trainern vor allem Informationen, über die intensivsten Zeitperioden mit der Geschwindigkeitsschwelle >25,2 km/h, damit die Intensität über die Zeit richtig beurteilen zu können. Die Form der Trainingsübungen kann somit

genauer definiert werden um altersspezifische Reize setzen zu können, damit die Athleten*innen nicht unter,- oder überfordert werden.

Hierfür könnte in dieser Studie vor allem die Altersgruppe der U18 Mannschaft mit einer Erwachsenenmannschaft verglichen werden, um die intensivsten Spielpassagen anwenden und adaptieren zu können.

Houtmeyers et al. (2020) schlugen daher vor, die Trainingsintensität bei Jugendlichen zu erhöhen, um einen sicheren Übergang in den Profifußball zu ermöglichen, damit ein passender Trainingszustand erreicht wird und ein mögliches höheres Verletzungsrisiko zu vermeiden.

5.6 Diskussion der alters- und positionsbezogenen Ergebnisse

Zusammenhänge zwischen den Altersklassen und Spielpositionen sind vorhanden, jedoch wurde auf Post-Hoc Tests aufgrund der geringeren Anzahl der Stichproben verzichtet, da sonst keine bzw. verfälschte Ergebnisse resultieren würden.

Aufgrund der Ergebnisse in der Tabelle 16 Alters- und Positionsspezifikation der Belastungsparameter lässt sich jedoch vermuten, dass es auch innerhalb einer Altersklasse Gruppenunterschiede hinsichtlich der Spielposition (bzw. umgekehrt) gibt.

Es wird angenommen, dass vor allem in den hochintensiven Belastungen (high intensity running, Speedzonen 6+7, SSP/B3, MIP >19,8 km/h; >25,2 km/h) die Gruppenunterschiede vorhanden sind. Wie zuvor in Einzeltests wenn nur die „Altersgruppen“ oder nur die „Positionen“ untersucht wurden, zeigen sich ähnliche Unterschiede in den Belastungsparametern.

6 Fazit, Limitation und Ausblick

6.1 Fazit

Diese Arbeit liefert Einblicke über die internen und externen Anforderungen von Wettkampfspielen in drei Altersklassen sowie vier Positionsprofile bei Elitenachwuchsspielern.

In dieser Arbeit wurde der Fokus auf die Spielerbewegungen während verschiedener Phasen im Wettkampfspiel gerichtet. Damit die gesammelten Laufleistungen (TD, ACC, DEC, Speedzonen, HID, HR, SSP/B3) gut zu quantifizieren sind, wurden sie auf einzelne Halbzeiten, die gesamte Spielzeit, sowie auf die zehn intensivsten Minuten des Spiels

eingegangen. Dies soll einer genauen Verschreibung von Trainingseinheiten dienen, um die Spielanforderungen des Spitzenfußballs zu gewährleisten oder zu unterstützen.

Dabei ergänzt diese Arbeit das aktuelle Wissen und zeigt Einblicke in unterschiedliche Parameter hinsichtlich Altersklassen und Spielpositionen. Die wiederholten Sprintaktivitäten sind ein wesentlicher Aspekt, der untersucht wurde, zu dem es im Elitenachwuchsfußball nur eine geringe Anzahl an Studienquellen gibt. Hierbei wird ein Verständnis der Spitzenleistungsbewegungen bei alters- und positionsspezifischer Schwellenwerte im Spiel aufgezeigt.

Eine weitere Erkenntnis in dieser Arbeit war, die intensivsten Passagen im Spiel zu analysieren, um die Anforderungen der Wettkampfsituation zu verstehen und simulieren zu können. Die erfassten Spitzenwerte der Variablen die berücksichtigt werden sollen, damit Trainingsübungen entworfen und entsprechend der anspruchsvollsten Perioden des Spiels, während des Trainings praktiziert werden kann.

Damit kann die Spezifität besser eingeschränkt werden um wettkampfähnliche Belastungen in Trainingsaufgaben entwerfen zu können.

In der zusammenfassenden Betrachtungsweise der vorliegenden Arbeit lässt sich ein Nachlassen mehrerer Parameter in Halbzeit 2 beobachten. Sowohl im Bezug zu den Altersklassen als auch zu den Positionsprofilen reduziert sich die Gesamtdistanz, die niedrigen und hochintensiven Distanzen, sowie die Beschleunigungen und Abbremsungen.

Eine Auffälligkeit gab es hinsichtlich der Altersklassen, wobei eine Zunahme der Intensität bei den älteren Mannschaften zu beobachten war. Dies lässt sich so beschreiben, dass ab der Speedzone 4 bis Speedzone 7, sprich die Geschwindigkeit höher wird, die Distanzen der ältesten Mannschaft der U18 am höchsten sind. Wobei sich in den Positionsprofilen die verschiedenen Speedzonen ganz unterschiedlich aufteilen. Die Innenverteidiger und zentralen Mittelfeldspieler bewegen sich in den niedrigeren Bereichen (SZ 2+3) mehr, hingegen absolvieren die Außenverteidiger und Stürmer in den höheren Bereichen (SZ 4-7) die größeren Distanzen.

Hinsichtlich der „repeated sprint ability“ konnte festgestellt werden, dass die U15 Mannschaften sowohl für „successive-sprints-bouts“ (SSP) als auch für „repeated-sprint-bouts“ (B3) die meisten „sprint per bout“ während der wiederholten Anstrengungen (bouts) absolviert haben. Außerdem ist festzustellen, dass bei den Parametern (SSP/B3) die Anzahl der Sprints „number of sprints“ ein Abfall in der zweiten Halbzeit für alle Altersklassen zu erkennen ist.

Die Positionsprofile zeigen sowohl für die SSP als für die B3 die geringste Anzahl an bouts für die Innenverteidiger im Vergleich zu den Stürmern und Außenverteidigern. Auch für die

Positionsprofile wird ersichtlich, dass eine Abnahme der „number of sprints“ in der zweiten Halbzeit auftritt.

In dieser Studie wurden die Variablen Gesamtdistanz (gleitenden Durchschnitt) als auch die Distanzen in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen (>13 km/h, $>19,8$ km/h, $>25,2$ km/h) für die intensivsten Spielpassagen analysiert. Ein Ziel war es, alle Variablen der Belastungsparameter mit zu berücksichtigen. Damit dem Trainer die Möglichkeit gegeben wird, die anspruchsvollsten Perioden des Wettkampfspiels nachbilden zu können, und sowohl alters- als auch positionsspezifisch einzugreifen und dadurch Trainingsinhalte dementsprechend anpassen zu können.

Die höchst intensiven Spielperioden (MIP) zeigen hinsichtlich der Altersgruppen auf, dass die Gruppeunterschiede erst ab der Geschwindigkeitsschwelle mit $>25,2$ km/h gegeben sind. Für die Gesamtdistanz mit dem gleitenden Durchschnitt mit allen Geschwindigkeitszonen sowie die Gesamtdistanz mit der Geschwindigkeitsschwelle >13 km/h ergaben sich über die zehn intensivsten Perioden, dass die U16 die größten relativen Distanzen absolviert hat. Wiederum zeigt sich, dass die U18 die höchsten Werte in den intensivsten Spielpassagen aufweist, wenn die Gesamtdistanz mit erhöhten Geschwindigkeitsschwellen ($>19,8$ km/h; $>25,2$ km/h) gemessen wurde.

In den Positionsprofilen zeigten die Außenverteidiger und die zentralen Mittelfeldspieler die größten Laufdistanzen in den intensivsten Spielminuten bei der „total Distanz“ und beim „Parameter >13 km/h“. Sobald die Geschwindigkeitsschwelle auf $>19,8$ km/h und $>25,2$ km/h erhöht wurde, änderte sich die Auswertung, wobei die Stürmer und Außenverteidiger die größten relativen Distanzen in den 10 intensivsten Spielperioden absolvierten.

Außerdem kann festgestellt werden, ob der Spieler während oder nach der Trainingsübung zusätzliche Lafeinheiten absolvieren muss, um auf die Wettkampfintensitäten vorbereitet zu sein. Zusätzlich können Spitzenlaufleistungen der Elitenachwuchsspieler mit jenen von Erwachsenen verglichen werden, um beispielsweise die letzte Stufe in der Akademie (U18) auf die Intensitäten bestmöglich vorzubereiten. Somit gilt es die Spieler den höchsten Laufintensitäten des Wettkampfs während des Trainings auszusetzen, damit einerseits ein unzureichender Trainingszustand und andererseits ein Verletzungsrisiko vermieden werden können.

Trainingsübungen, die das Alter und Spielposition berücksichtigen, sollten den individuellen Spielanforderungen angepasst werden damit spezifischere Trainingsreize für die Spieler gewährleistet werden. Es ist von Bedeutung dass die Spieler während Trainingseinheiten ausreichende Spielfeldgröße und Beschleunigungszeiten benötigen, damit sie die Geschwindigkeitsschwellen „very fast running“ ($>19,8$ km/h) und „sprinting“ ($>25,2$ km/h) erreichen können. Hierbei zeigen vorherige Studien, dass Spitzengeschwindigkeiten bei

größeren Trainingsformen (7 vs. 7, 8 vs. 8) erzielt werden, während die Beschleunigungen und Verzögerungen auch bei kleineren Spielformen (3vs3, 4vs4) erreicht werden können (Delaney et al., 2017, Garcia et al., 2020).

Daher soll diese Arbeit erforderliche Laufintensitäten für bestimmte Trainingsübungen im Verhältnis zu Wettkampfanforderungen vorhersagen, damit ähnliche Belastungen erreicht werden können, um die Elitenachwuchsspieler bestmöglich vorzubereiten. Dies soll in dieser Studie konkret für unterschiedliche Altersgruppen und Spielpositionen als Unterstützung dienen.

6.2 Limitation

Die Stichprobenanzahl der Spieler bei den Herzfrequenzaufnahmen, ist geringer als bei anderen gemessenen Parametern. Der Hauptgrund lag darin, dass der Herzfrequenzgurt oftmals verrutschte, wodurch fehlerhafte Werte oder gar keine Daten aufgezeichnet werden konnten. Dadurch konnten diese ungenauen oder fehlenden Daten nicht für die Analyse verwendet werden. Hierbei ist der entscheidende Punkt, dass aus den vorliegenden Daten folglich keine Rückschlüsse auf die Alters- und Positionsabhängigkeit der HF-Parameter gezogen werden können.

Eine Einschränkung gilt es hinsichtlich der Aufstellungen zu erwähnen, da die Mannschaften bei den Altersgruppen der U16 und U18 drei der sechs Spiele mit der Formation 3-5-2 spielten, wobei drei Innenverteidiger und somit keine klassischen Außenverteidiger angeführt wurden, sondern breite Flügelspieler. Diese breiten Flügelspieler wurden in der vorliegenden Studie jedoch als Außenverteidiger angeführt und ausgewertet. Andererseits haben die Teams mit offensiven seitlichen Mittelfeldspielern gespielt, jedoch wurde das in Form von Stürmern klassifiziert, wenn eine Ausrichtung mit einer 4-3-3 Formation kommuniziert wurde. Die Begründung war, dass die drei Stürmerpositionen jeweils während des Spiels ihre Stürmerposition untereinander rochieren (linke / rechte, zentrale Stürmer).

Dadurch entstand eine weitere Limitation, da die Festlegung von nur vier Positionsprofilen (Innenverteidiger, Außenverteidiger, zentrales Mittelfeld, Stürmer) eine Verschmelzung der Positionen zur Folge hatte, obwohl die Mannschaften des Öfteren unterschiedliche Formationen spielten. Dieser Aspekt könnte sich möglicherweise auf die Ergebnisse ausgewirkt haben, da die verschiedenen Spielsysteme die Positionsprofile „aufgeweicht“ haben und somit schwieriger Unterschiede festzustellen waren.

Im Allgemeinen sollte man sich im Verein über eine Spielphilosophie und taktische Ausrichtung im Klaren sein, dadurch können die Spieler eindeutig in Positionen zugeordnet

werden, wodurch automatisch noch genauere Analysen im Wettkampfspiel gewährleistet werden.

Ein weiterer Hinweis bezieht sich auf die Sprintdauer (duration of sprint) der „repeated sprint ability“ (SSP/B3) Daten, wobei zu erwähnen ist, dass die Starts und Stops der einzelnen Sprints während einer wiederholten Anstrengung (2 oder 3 aufeinanderfolgende Sprints) manuell gelegt worden sind. Dadurch kann es zu Fehlern und somit auch zu den relativ hohen Werten gekommen sein.

6.3 Ausblick

Ein größerer Fokus könnte auf die reine Spielzeit gelegt werden, da der Fußball auch relativ lange Spielunterbrechungen mit sich bringt, wo der Ball nicht im Spiel ist bzw. Verletzungen und Auswechslungen stattfinden. Jedoch werden immer höhere Nachspielzeiten absolviert, womit ein komplett neues Analyseumfeld geschaffen wird.

Im Internationalen Spitzenfußball wurde beispielsweise eine durchschnittliche „Ball-in-play“ BIP Zeit von ~54 bis ~57 Minuten über die gesamte Spielzeit beobachtet (Lagos et al., 2012).

Sollten die zurückgelegten relativen Distanzen auf die Nettospielzeit berücksichtigt werden, könnte dies möglicherweise einen konkreten Einfluss auf die derzeitigen Erhebungen haben, da die bisherigen Spielaktivitäten auf 90 Minuten relativiert wurden. Gegebenenfalls würden Spieler dann höhere relative Werte aufweisen, wobei diese Spitzenanforderungen dann richtig und neu konditioniert werden müssten,

Ebenso wäre die Kenntnis des MIP mit oder ohne Ballbesitz von großem Interesse, um sportartspezifische Übungen zur Verbesserung des taktischen Verhaltens sowohl für offensive und/oder defensive Phasen, sowie zur Entwicklung der körperlichen Leistungsfähigkeit vorgeben zu können.

Zukünftige Forschung sollte die anspruchsvollsten Passagen (1-10min) des Wettkampfspiels von Fußballspielern sowohl für die erste als auch zweite Halbzeit berücksichtigen. Außerdem ist die Erfassung der Beschleunigung und Verzögerung für die MIP ebenso erstrebenswert, da die Start- und Stopbewegungen vor allem in den Trainingseinheiten der „small sided games“ vorkommen. Daher könnten diese Variablen bei der Bewertung der Aktivität des Spielers während des Spiels nützlich sein.

Es wird empfohlen, Positionsunterschiede in Bezug auf die MIP Parameter des Wettkampfs zu berücksichtigen, so dass abwechslungsreiche und komplexe Trainingsformen gestaltet

werden können, um die Spieler während des Trainings gezielten Belastungen auszusetzen. Die Ergebnisse der MIP-Belastungsparameter können von Trainern für die Trainingsplanung sowohl für das Intensitätsniveau als auch für die Spielpositionsunterschiede berücksichtigt und angewandt werden.

Für weitere zukünftigen Schritte sollten daher nun auch alters- und positionsspezifische Trainingsdaten berücksichtigt werden und diese dann mit den Ergebnissen der Spieldaten verglichen werden um sie effektiv für die Trainingssteuerung einsetzen zu können. Buchheit et al. (2010b, 2014) schlug vor, individuelle Schwellenwerte zu verwenden, um den Reifestatus vergleichen zu können, insbesondere im Hinblick auf hohe Geschwindigkeiten und wiederholende hoch intensive Sprintanforderungen.

Damit zukünftige Zusammenhänge zwischen Altersgruppen und Spielpositionen genauer untersucht werden können, wird daher empfohlen, eine größere Stichprobenanzahl zu generieren, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

Aufgrund der ständigen Weiterentwicklung des Fußballspiels, der modernen Analysemethoden sowie der Professionalisierung bereits in jungen Jahren, erscheint es interessant, wie sich die zukünftigen Anforderungsprofile der Elitenachwuchsspieler verändern bzw. voran schreiten werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Verständnis der physiologischen und physischen Belastungsparameter von Elitenachwuchsspielern hinsichtlich Alters- und Positionsunterschiede während eines Wettkampfspiels notwendig erscheint, um geeignete Trainingsinterventionen zu entwickeln, damit das Potential eines jungen Spielers individuell bestmöglich ausgeschöpft wird. Jedoch sollten niemals die technisch-taktischen Fähigkeiten der Spieler im Training vernachlässigt werden.

7 Literaturverzeichnis

- Abbott, W., Brickley, G., & Smeeton, N. J. (2018). Physical demands of playing position within English Premier League academy soccer.
- Ade, J., Fitzpatrick, J., & Bradley, P. S. (2016). High-intensity efforts in elite soccer matches and associated movement patterns, technical skills and tactical actions. Information for position-specific training drills. *Journal of sports sciences*, 34(24), 2205-2214.
- Affengruber, Werner (2016). Analyse von Kleinfeldspielformen im Fußball. (:none). <https://doi.org/10.25365/THESIS.42522>
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences*, 24(07), 665-674.
- Baptista, I., Johansen, D., Figueiredo, P., Rebelo, A., & Pettersen, S. A. (2019). Positional differences in peak-and accumulated-training load relative to match load in elite football. *Sports*, 8(1), 1.
- Barros, R. M., Misuta, M. S., Menezes, R. P., Figueroa, P. J., Moura, F. A., Cunha, S. A., ... & Leite, N. J. (2007). Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *Journal of sports science & medicine*, 6(2), 233.
- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., & Krstrup, P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of sports sciences*, 27(2), 159-168.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Simpson, B. M., & Bourdon, P. C. (2010). Match running performance and fitness in youth soccer. *International journal of sports medicine*, 31(11), 818-825.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Simpson, B. M., & Bourdon, P. C. (2010). Repeated-sprint sequences during youth soccer matches. *International journal of sports medicine*, 31(10), 709-716.
- Buchheit, M., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Effects of age, maturity and body dimensions on match running performance in highly trained under-15 soccer players. *Journal of sports sciences*, 32(13), 1271-1278.
- Bujalance-Moreno, P., Latorre-Román, P. Á., & García-Pinillos, F. (2019). A systematic review on small-sided games in football players: Acute and chronic adaptations. *Journal of sports sciences*, 37(8), 921-949.
- Carling, C., Le Gall, F., & Dupont, G. (2012). Analysis of repeated high-intensity running performance in professional soccer. *Journal of sports sciences*, 30(4), 325-336.
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L., & Reilly, T. (2008). The role of motion analysis in elite soccer. *Sports medicine*, 38(10), 839-862.
- Casamichana, D., & Castellano, J. (2010). Time-motion, heart rate, perceptual and motor behaviour demands in small-sides soccer games: Effects of pitch size. *Journal of sports sciences*, 28(14), 1615-1623.
- Casamichana, D., Castellano, J., Diaz, A. G., Gabbett, T. J., & Martin-Garcia, A. (2019). The most demanding passages of play in football competition: a comparison between halves. *Biology of Sport*, 36(3), 233-240.

- Castagna, C., Impellizzeri, F., Cecchini, E., Rampinini, E., & Alvarez, J. C. B. (2009). Effects of intermittent-endurance fitness on match performance in young male soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(7), 1954-1959.
- Castellano, J., Casamichana, D., & Dellal, A. (2013). Influence of game format and number of players on heart rate responses and physical demands in small-sided soccer games. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(5), 1295-1303.
- Dalen, T., Jørgen, I., Gertjan, E., Havard, H. G., & Ulrik, W. (2016). Player load, acceleration, and deceleration during forty-five competitive matches of elite soccer. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(2), 351-359.
- Delaney, J. A., Thornton, H. R., Rowell, A. E., Dascombe, B. J., Aughey, R. J., & Duthie, G. M. (2018). Modelling the decrement in running intensity within professional soccer players. *Science and Medicine in Football*, 2(2), 86-92.
- Dellal, A., Owen, A., Wong, D. P., Krstrup, P., Van Exsel, M., & Mallo, J. (2012). Technical and physical demands of small vs. large sided games in relation to playing position in elite soccer. *Human movement science*, 31(4), 957-969.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Montero, F. C., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International journal of sports medicine*, 28(03), 222-227.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Montero, F. C., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International journal of sports medicine*, 28(03), 222-227.
- Dupont, G., & McCall, A. (2016). Targeted systems of the body for training. *Soccer science*, 221-47.
- FIFA (2018). Spielregeln 2018/19. Fédération Internationale de Football Association. Online verfügbar unter <https://img.fifa.com/image/upload/ksddmpfhwxgoaibmmnv.pdf>.
- Freiwald, J. (2013). Individualisierung aus trainingswissenschaftlicher Sicht—eine Voraussetzung für Höchstleistungen im Fußball. *Bund Deutscher Fußball-Lehrer (BDFL). ITK*.
- Frencken, W. G., Lemmink, K. A., & Delleman, N. J. (2010). Soccer-specific accuracy and validity of the local position measurement (LPM) system. *Journal of science and medicine in sport*, 13(6), 641-645.
- Gabbett, T. J., & Mulvey, M. J. (2008). Time-motion analysis of small-sided training games and competition in elite women soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(2), 543-552.
- Gabbett, T. J., Wiig, H., & Spencer, M. (2013). Repeated high-intensity running and sprinting in elite women's soccer competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 130-138.
- Gaudino, P., Alberti, G., & Iaia, F. M. (2014). Estimated metabolic and mechanical demands during different small-sided games in elite soccer players. *Human movement science*, 36, 123-133.
- Geese, R. (2009). *Fußball, Erfolgsfaktor Kondition: Training für Amateure und Profis*. Meyer & Meyer Verlag.

- Gonaus, C., Birklbauer, J., Lindinger, S. J., Stöggl, T. L., & Müller, E. (2019). Changes over a decade in anthropometry and fitness of elite Austrian youth soccer players. *Frontiers in Physiology*, 10, 333.
- Harley, J. A., Barnes, C. A., Portas, M., Lovell, R., Barrett, S., Paul, D., & Weston, M. (2010). Motion analysis of match-play in elite U12 to U16 age-group soccer players. *Journal of sports sciences*, 28(13), 1391-1397.
- Hauer, R., Störchle, P., Karsten, B., Tschan, H., & Baca, A. (2021). Internal, external and repeated-sprint demands in small-sided games: A comparison between bouts and age groups in elite youth soccer players. *PloS one*, 16(4), e0249906.
- Helgerud, J., Engen, L. C., Wisløff, U., & Hoff, J. A. N. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(11), 1925-1931.
- Helsen, W., & Bultynck, J. B. (2004). Physical and perceptual-cognitive demands of top-class refereeing in association football. *Journal of sports sciences*, 22(2), 179-189.
- Hill-Haas, S., Coutts, A., Rowsell, G., & Dawson, B. (2008). Variability of acute physiological responses and performance profiles of youth soccer players in small-sided games. *Journal of science and medicine in sport*, 11(5), 487-490.
- Hill-Haas, S. V., Dawson, B. T., Coutts, A. J., & Rowsell, G. J. (2009). Physiological responses and time-motion characteristics of various small-sided soccer games in youth players. *Journal of sports sciences*, 27(1), 1-8.
- Hill-Haas, S. V., Coutts, A. J., Dawson, B. T., & Rowsell, G. J. (2010). Time-motion characteristics and physiological responses of small-sided games in elite youth players: the influence of player number and rule changes. *The journal of strength & conditioning research*, 24(8), 2149-2156.
- Hill-Haas, S. V., Dawson, B., Impellizzeri, F. M., & Coutts, A. J. (2011). Physiology of small-sided games training in football. *Sports medicine*, 41(3), 199-220.
- Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players. *Sports medicine*, 34(3), 165-180.
- Houtmeyers, K. C., Jaspers, A., Brink, M. S., Vanrenterghem, J., Varley, M. C., & Helsen, W. F. (2021). External load differences between elite youth and professional football players: ready for take-off?. *Science and Medicine in Football*, 5(1), 1-5.
- Ingebrigtsen, J., Dalen, T., Hjelde, G. H., Drust, B., & Wisløff, U. (2015). Acceleration and sprint profiles of a professional elite football team in match play. *European journal of sport science*, 15(2), 101-110.
- Kindermann, W. (2005). Sportspiele aus sportmedizinischer Sicht—Sportphysiologie. *Handbuch Sportspiel*, 147-161.
- Köklü, Y., Aşçı, A., Koçak, F. Ü., Alemdaroglu, U., & DüNDAR, U. (2011). Comparison of the physiological responses to different small-sided games in elite young soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1522-1528.
- Köklü, Y., Alemdaroğlu, U., Cihan, H., & Wong, D. P. (2017). Effects of bout duration on players' internal and external loads during small-sided games in young soccer players. *International journal of sports physiology and performance*, 12(10), 1370-1377.

- Krustrup, P., Mohr, M., Ellingsgaard, H. E. L. G. A., & Bangsbo, J. (2005). Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. *Medicine and science in sports and exercise*, 37(7), 1242.
- Lago, C., Casais, L., Dominguez, E., & Sampaio, J. (2010). The effects of situational variables on distance covered at various speeds in elite soccer. *European journal of sport science*, 10(2), 103-109.
- Lewindon, D., & Joyce, D. (2016). *Athletiktraining für sportliche Höchstleistung*. Riva Verlag.
- López-Fernández, J., Gallardo, L., Fernández-Luna, Á., Villacañas, V., García-Unanue, J., & Sánchez-Sánchez, J. (2019). Pitch size and game surface in different small-sided games. Global indicators, activity profile, and acceleration of female soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(3), 831-838.
- Malone, S., Mendes, B., Hughes, B., Roe, M., Devenney, S., Collins, K., & Owen, A. (2018). Decrements in neuromuscular performance and increases in creatine kinase impact training outputs in elite soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(5), 1342-1351.
- Martín-García, A., Casamichana, D., Díaz, A. G., Cos, F., & Gabbett, T. J. (2018). Positional differences in the most demanding passages of play in football competition. *Journal of sports science & medicine*, 17(4), 563.
- Martín-García, A., Castellano, J., Villanueva, A. M., Gómez-Díaz, A., Cos, F., & Casamichana, D. (2020). Physical demands of ball possession games in relation to the most demanding passages of a competitive match. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(1), 1.
- Mendez-Villanueva, A., & Buchheit, M. (2011). Physical capacity–match physical performance relationships in soccer: simply, more complex. *European journal of applied physiology*, 111(9), 2387-2389.
- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., & Bourdon, P. C. (2012). Match Play Intensity Distribution in Youth Soccer. *Int J Sports Med*, 10, 0032-1306323.
- Mohr, M., Krustrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences*, 21(7), 519-528.
- Ogris, G., Leser, R., Horsak, B., Kornfeind, P., Heller, M., & Baca, A. (2012). Accuracy of the LPM tracking system considering dynamic position changes. *Journal of Sports Sciences*, 30(14), 1503-1511.
- Osgnach, C., Poser, S., Bernardini, R., Rinaldo, R., & Di Prampero, P. E. (2010). Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc*, 42(1), 170-178.
- ÖFB (2017). Vorschriften für den Nachwuchsspielbetrieb. Österreichischer Fußballbund. Online verfügbar unter <https://www.oefb.at/Vorschriften-fuer-den-Nachwuchsspielbetrieb-2017.pdf>.
- Rábano-Muñoz, A., Asian-Clemente, J., Sáez de Villarreal, E., Nayler, J., & Requena, B. (2019). Age-related differences in the physical and physiological demands during small-sided games with floaters. *Sports*, 7(4), 79.
- Rampinini, E., Coutts, A. J., Castagna, C., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Variation in top level soccer match performance. *International journal of sports medicine*, 28(12), 1018-1024.

- Randers, M. B., Andersen, T. B., Rasmussen, L. S., Larsen, M. N., & Krstrup, P. (2014). Effect of game format on heart rate, activity profile, and player involvement in elite and recreational youth players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24, 17-26.
- Ratel, S., Duché, P., & Williams, C. A. (2006). Muscle fatigue during high-intensity exercise in children. *Sports Medicine*, 36, 1031-1065.
- Rebelo, A., Brito, J., Seabra, A., Oliveira, J., & Krstrup, P. (2014). Physical match performance of youth football players in relation to physical capacity. *European journal of sport science*, 14(sup1), S148-S156.
- Reilly, T. (2005). An ergonomics model of the soccer training process. *Journal of sports sciences*, 23(6), 561-572.
- Riboli, A., Semeria, M., Coratella, G., & Esposito, F. (2021). Effect of formation, ball in play and ball possession on peak demands in elite soccer. *Biology of sport*, 38(2), 195-205.
- Russell, M., Sparkes, W., Northeast, J., Cook, C. J., Love, T. D., Bracken, R. M., & Kilduff, L. P. (2016). Changes in acceleration and deceleration capacity throughout professional soccer match-play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(10), 2839-2844.
- Scott, B. R., Lockie, R. G., Davies, S. J., Clark, A. C., Lynch, D. M., & Janse de Jonge, X. A. K. (2014). The physical demands of professional soccer players during in-season field-based training and match-play. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 22(4), 48-52.
- Selmi, M. A., Sassi, R. H., Yahmed, M. H., Giannini, S., Perroni, F., & Elloumi, M. (2020). Normative data and physical determinants of multiple sprint sets in young soccer players aged 11–18 years: effect of maturity status. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(2), 506-515.
- Spencer, M., Lawrence, S., Rechichi, C., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2004). Time–motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated-sprint activity. *Journal of sports sciences*, 22(9), 843-850.
- Stelzer, A., Pourvoyeur, K., & Fischer, A. (2004). Concept and application of LPM-a novel 3-D local position measurement system. *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*, 52(12), 2664-2669.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer. *Sports medicine*, 35(6), 501-536.
- Strøyer, J., Hansen, L., & Klausen, K. L. A. U. S. (2004). Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(1), 168-174.
- Tschan, H., Baron, R., Smekal, G., & Bachl, N. (2001). Belastungs-und Beanspruchungsprofil im Fußball aus physiologischer Sicht. *Österreichisches Journal für Sportmedizin*, 1, 7-18.
- Uhlig, Manfred (2017). Konditionelle und technisch-taktische Analyse von Kleinfeldspielformen im Österreichischen Elitenachwuchsfußball zur Optimierung des fußballspezifischen Konditionstrainings und technisch-taktische. Wien, Universität Wien. <https://doi.org/10.25365/THESIS.48361>
- Van Winckel, J., Winkelman, N., Landburg, R., & Bradley, P. (2014). Speed, agility and quickness (SAQ) and repeated sprint ability (RSA).

Verheijen, R. (Ed.). (2000). *Handbuch Fußballkondition*. Bfp-Versand, Lindemann.

Weineck, J. (2004). *Optimales Fußballtraining. Das Konditionstraining des Fußballspielers* (4., überarbeitete Auflage). Balingen: Spitta.

Weineck, J. (2004). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder und Jugendtrainings* (14. Auflage). Balingen: Spitta.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Komponenten der Leistungsfähigkeit des Fußballspielers (modifiziert nach Weineck, 2004, S. 17; Hohmann et al., 2003, S. 43)	10
Abbildung 2: LPM System Technology (Quelle: https://inmotio.eu/technology/)	25
Abbildung 3: LPM Fußballanalyse (Quelle: https://inmotio.eu/football-performance-analysis/)...	26
Abbildung 4: Verteilung von Low und High Intensity Running zwischen den Altersgruppen und Spielabschnitten.	30
Abbildung 5: Verteilung von Speedzone 3, 4 und 7 zwischen den Altersgruppen und Spielabschnitten.	31
Abbildung 6: Verteilung von Low Deceleration zwischen den Altersgruppen und Spielabschnitten.	32
Abbildung 7: Verteilung von High Intensity Running und Low Deceleration zwischen den Spielpositionen und Spielabschnitten.	33
Abbildung 8: Verteilung der Spielpositionen innerhalb verschiedener Speedzonen und Spielabschnitten.	35
Abbildung 9: Verteilung der SSP Parameter getrennt nach Altersgruppe und Spielabschnitt.	36
Abbildung 10: Verteilung von Anzahl und Dauer der Sprints, getrennt nach Position und Spielabschnitt.	38
Abbildung 11: Verteilung von B3 – Anzahl Bouts bzw Sprints nach Position und Spielabschnitt.	38
Abbildung 12: MIP Parameter im Zeitverlauf, 1 – 10Minuten Perioden (gesamtes Match zum Vergleich), getrennt nach Altersgruppe.....	43
Abbildung 13: MIP Parameter im Zeitverlauf, Minute 1 – 10 (gesamtes Match zum Vergleich), getrennt nach Spielpositionen.	45
Abbildung 14: Altersgruppe & Spielposition der Speedzone 6	51

9 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Interne & externe Belastungsparameter</i>	17
<i>Tabelle 2: Einteilung in Geschwindigkeitsbereiche - Speedzonen (nach Hauer, R., Störchle, P., Karsten, B., Tschan, H., & Baca, A. (2021))</i>	18
<i>Tabelle 3: Repeated sprint ability parameters</i>	20
<i>Tabelle 4: Richtlinien im österreichischen Jugendfußball (ÖFB 2018)</i>	23
<i>Tabelle 5: Gesamtüberblick der inneren und äußeren Belastungsparameter</i>	28
<i>Tabelle 6: Altersspezifikation der Belastungsparameter fürs gesamte Spiel</i>	30
<i>Tabelle 7: Altersunterschiede in den Speedzonen</i>	31
<i>Tabelle 8: Positionsunterschiede in den Speedzonen</i>	34
<i>Tabelle 9: Positionsunterschiede der Herzfrequenzparameter</i>	35
<i>Tabelle 10: successive sprints zwischen den Altersklassen</i>	37
<i>Tabelle 11: SSP & B3 Gruppenunterschiede zwischen den Positionen</i>	39
<i>Tabelle 12: Wiederholte Sprintleistungsparameter pro Bout über den Spielverlauf bezogen auf Altersgruppen und Gesamtgruppe (n=62).</i>	40
<i>Tabelle 13: Gesamtüberblick MIP Belastungsparameter</i>	42
<i>Tabelle 14: MIP Parameter (>25,2km/h)</i>	44
<i>Tabelle 15: MIP Unterschiede nach Positionsprofilen</i>	48
<i>Tabelle 16: Alters- und Positionsspezifikation der Belastungsparameter</i>	50
<i>Tabelle 17: Alters,- Positionsspezifikation der MIP-Belastungsparameter</i>	51

10 Anhang

Tabelle 18: Altersspezifikation der Belastungsparameter für erste und zweite Halbzeit

HALF TIME 1

Parameter	Total	U15	U16	U18	P	ES(η_p^2)
Total Distance [m/min]	120.00 ± 9.14	120.03 ± 9.31	122.32 ± 8.97	117.66 ± 9.00	0.169	0.051
High intensitiy running [m/min]	9.68 ± 3.39	9.29 ± 4.29	8.67 ± 3.23	10.92 ± 2.62	0.005*	0.090
Low intensity running [m/min]	83.12 ± 5.56	83.93 ± 7.31	84.56 ± 4.41	81.21 ± 5.21	0.046*	0.076
SZ 1 [m/min]	40.35 ± 7.03	37.15 ± 12.79	40.38 ± 4.01	42.19 ± 3.56	0.054	0.074
SZ 2 [m/min]	18.64 ± 4.00	17.40 ± 6.33	19.81 ± 2.43	18.19 ± 3.36	0.176	0.061
SZ 3 [m/min]	22.00 ± 5.83	19.80 ± 8.44	24.36 ± 4.62	20.91 ± 4.30	0.030*	0.111
SZ 4 [m/min]	15.65 ± 4.57	13.71 ± 5.44 ¹⁶	17.46 ± 4.11	14.95 ± 3.90	0.027*	0.114
SZ 5 [m/min]	9.46 ± 3.91	9.95 ± 4.24	9.53 ± 3.94	9.11 ± 3.82	0.793	0.001
SZ 6 [m/min]	7.14 ± 2.43	6.71 ± 3.39	6.80 ± 2.21	7.72 ± 1.92	0.131	0.037
SZ 7 [m/min]	2.44 ± 1.49	2.11 ± 1.81	1.87 ± 1.24 ¹⁸	3.19 ± 1.22	<0.001*	0.168
Acceleration low [n/min]	0.47 ± 0.09	0.49 ± 0.09	0.46 ± 0.07	0.46 ± 0.12	0.728	0.013
Acceleration high [n/min]	0.69 ± 0.15	0.70 ± 0.14	0.70 ± 0.14	0.68 ± 0.17	0.936	0.002
Deceleration low [n/min]	0.34 ± 0.11	0.43 ± 0.11	0.36 ± 0.09	0.35 ± 0.12	0.055	0.086
Deceleration high [n/min]	0.68 ± 0.17	0.69 ± 0.17	0.71 ± 0.16	0.64 ± 0.19	0.450	0.030

HALF TIME 2

Parameter	Total	U15	U16	U18	P	ES (η_p^2)
Total Distance [m/min]	113.92 ± 7.96	112.23 ± 8.30	116.41 ± 8.37	111.99 ± 6.93	0.115	0.074
High intensitiy running [m/min]	9.01 ± 3.27	8.87 ± 3.80	8.05 ± 2.82	10.35 ± 3.20	0.019*	0.103
Low intensity running [m/min]	80.27 ± 4.62	80.54 ± 5.28	81.99 ± 4.19 ¹⁸	78.22 ± 4.11	0.015*	0.139
SZ 1 [m/min]	41.60 ± 7.06	38.92 ± 14.30	41.67 ± 3.67	43.00 ± 2.87	0.308	0.046
SZ 2 [m/min]	17.02 ± 3.59	16.08 ± 6.33	17.94 ± 2.38	16.52 ± 2.53	0.356	0.049
SZ 3 [m/min]	19.98 ± 5.09	17.49 ± 7.54 ¹⁶	22.39 ± 4.10	18.70 ± 3.27	0.019*	0.170
SZ 4 [m/min]	14.06 ± 4.26	11.63 ± 5.11 ¹⁶	15.75 ± 4.10	13.54 ± 3.21	0.031*	0.143
SZ 5 [m/min]	9.99 ± 2.92	8.91 ± 4.47	10.62 ± 2.52	9.89 ± 2.19	0.208	0.050
SZ 6 [m/min]	6.64 ± 2.46	6.24 ± 3.57	6.23 ± 2.04	7.31 ± 2.15	0.170	0.045
SZ 7 [m/min]	2.22 ± 1.45	1.71 ± 1.45 ¹⁸	1.74 ± 1.21 ¹⁸	3.04 ± 1.38	<0.001*	0.196
Acceleration low [n/min]	0.39 ± 0.09	0.40 ± 0.11	0.42 ± 0.06	0.34 ± 0.09	0.198	0.137
Acceleration high [n/min]	0.47 ± 0.20	0.61 ± 0.21 ¹⁸	0.49 ± 0.20	0.35 ± 0.10	0.009*	0.297
Deceleration low [n/min]	0.33 ± 0.09	0.34 ± 0.12 ¹⁸	0.35 ± 0.09	0.29 ± 0.05	0.271	0.096
Deceleration high [n/min]	0.61 ± 0.15	0.65 ± 0.18	0.58 ± 0.10	0.62 ± 0.18	0.334	0.036

Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

Zusätzlich sind die Altersunterschiede in den Spalten aufgelistet. Dabei wird gezeigt welche Altersgruppen sich untereinander unterscheiden.

Tabelle 19: Altersunterschiede der Herzfrequenzparameter für alle Spielabschnitte

HALF TIME 1

Parameter	Total	U15	U16	U18	P	ES(η_p^2)
HRmean [%]	82.30 ± 7.79	83.51 ± 6.49	83.10 ± 6.82	80.71 ± 9.46	0.547	0.026
HRz1 [s/min]	11.55 ± 12.96	13.55 ± 13.06	9.76 ± 11.24	12.02 ± 14.82	0.729	0.014
HRz2 [s/min]	13.50 ± 8.38	17.67 ± 9.66	11.02 ± 7.32	13.35 ± 7.89	0.064	0.095
HRz3 [s/min]	12.16 ± 7.20	11.63 ± 6.03	12.50 ± 7.00	12.15 ± 8.43	0.950	0.002
HRz4 [s/min]	15.19 ± 13.32	18.28 ± 14.38	15.73 ± 14.77	12.59 ± 11.16	0.540	0.029

HALF TIME 2

Parameter	Total	U15	U16	U18	P	ES(η_p^2)
HRmean [%]	78.77 ± 8.54	82.18 ± 5.08	78.95 ± 8.84	74.19 ± 10.42	0.361	0.104
HRz1 [s/min]	8.77 ± 14.12	5.81 ± 9.20	8.88 ± 15.13	12.22 ± 17.24	0.612	0.025
HRz2 [s/min]	8.49 ± 8.85	10.23 ± 9.93	7.38 ± 8.38	9.09 ± 9.39	0.590	0.020
HRz3 [s/min]	10.00 ± 6.68	10.23 ± 4.62	10.47 ± 7.84	8.47 ± 6.43	0.848	0.015
HRz4 [s/min]	4.97 ± 7.32	4.80 ± 5.50	5.94 ± 9.10	2.77 ± 3.35	0.580	0.029

MATCH

Parameter	Total	U15	U16	U18	P	ES(η_p^2)
HRmean [%]	81.66 ± 7.57	83.33 ± 6.62	81.80 ± 6.84	80.49 ± 8.92	0.626	0.021
HRz1 [s/min]	11.95 ± 13.94	12.49 ± 13.79	11.11 ± 13.48	12.48 ± 15.27	0.950	0.002
HRz2 [s/min]	13.13 ± 7.72	15.52 ± 8.02	10.60 ± 7.27	14.20 ± 7.65	0.147	0.073
HRz3 [s/min]	11.75 ± 6.81	10.63 ± 5.00	12.08 ± 6.50	12.16 ± 8.30	0.814	0.009
HRz4 [s/min]	11.56 ± 10.84	14.56 ± 13.88	10.84 ± 10.74	10.32 ± 8.74	0.581	0.026

HR Ergebnisse werden als Mittelwert ± SD dargestellt.

Tabelle 20: Positionsspezifikation der Belastungsparameter fürs alle Spielabschnitte

HALF TIME 1

Parameter	Total	AV	IV	ST	ZM	P	ES(η_p^2)
Total Distance [m/min]	120.00 ± 9.14	122.98 ± 11.47	115.09 ± 5.64 ^{ZM}	115.83 ± 8.19 ^{ZM}	123.89 ± 6.91	0.007*	0.187
High intensity running [m/min]	9.68 ± 3.39	11.14 ± 2.78 ^{IV, ZM}	7.10 ± 2.41 ST	12.22 ± 2.18 ^{ZM}	8.07 ± 3.28	< 0.001*	0.350
Low intensity running [m/min]	83.12 ± 5.56	81.94 ± 6.95	83.80 ± 3.99	80.14 ± 4.77 ^{ZM}	86.05 ± 4.53	0.007*	0.157
SZ 1 [m/min]	40.35 ± 7.03	39.68 ± 3.99	40.52 ± 3.80	44.46 ± 2.70 ^{ZM}	37.56 ± 10.82	0.024*	0.123
SZ 2 [m/min]	18.64 ± 4.00	19.38 ± 3.71	19.78 ± 2.42	17.29 ± 3.10	18.35 ± 5.36	0.423	0.048
SZ 3 [m/min]	22.00 ± 5.83	22.98 ± 6.01	23.49 ± 3.46	18.38 ± 2.90	23.07 ± 7.53	0.059	0.117
SZ 4 [m/min]	15.65 ± 4.57	17.33 ± 4.45	14.83 ± 2.38	13.09 ± 2.96	16.84 ± 5.90	0.040*	0.132
SZ 5 [m/min]	9.46 ± 3.91	10.80 ± 5.00	6.98 ± 3.41	9.59 ± 2.95	9.80 ± 3.35	0.065	0.115
SZ 6 [m/min]	7.14 ± 2.43	8.35 ± 2.19 ^{IV, ZM}	5.43 ± 1.81 ST	8.50 ± 1.61 ^{ZM}	6.11 ± 2.48	< 0.001*	0.281
SZ 7 [m/min]	2.44 ± 1.49	2.78 ± 1.17 ^{ZM}	1.66 ± 0.81 ST	3.73 ± 1.33 ^{ZM}	1.61 ± 1.41	< 0.001*	0.314
Acceleration low [n/min]	0.47 ± 0.09	0.50 ± 0.12	0.44 ± 0.08	0.45 ± 0.07	0.48 ± 0.10	0.436	0.057
Acceleration high [n/min]	0.69 ± 0.15	0.77 ± 0.15 ^{IV}	0.60 ± 0.12	0.71 ± 0.13	0.69 ± 0.15	0.054	0.149
Deceleration low [n/min]	0.34 ± 0.11	0.42 ± 0.10 ^{IV}	0.26 ± 0.07 ^{ST, ZM}	0.42 ± 0.08	0.39 ± 0.11	< 0.001*	0.313
Deceleration high [n/min]	0.68 ± 0.17	0.73 ± 0.16	0.59 ± 0.16	0.75 ± 0.13	0.65 ± 0.20	0.112	0.119

HALF TIME 2

Parameter	Total	AV	IV	ST	ZM	P	ES(η_p^2)
Total Distance [m/min]	113.92 ± 7.96	120.31 ± 7.48 ^{IV, ST}	108.98 ± 3.86	109.56 ± 6.23	115.84 ± 7.78	0.001*	0.308
High intensitiy running [m/min]	9.01 ± 3.27	10.66 ± 3.23 ^{IV}	6.00 ± 1.14 ST	11.20 ± 2.52 ^{ZM}	8.06 ± 2.92	< 0.001*	0.377
Low intensity running [m/min]	80.27 ± 4.62	81.20 ± 4.70	81.90 ± 2.58	76.84 ± 4.52	81.32 ± 4.66	0.027*	0.150
SZ 1 [m/min]	41.60 ± 7.06	41.18 ± 3.35	42.41 ± 3.69	44.35 ± 3.14	39.01 ± 11.75	0.235	0.084
SZ 2 [m/min]	17.02 ± 3.59	17.88 ± 2.60	18.18 ± 2.23	15.70 ± 2.08	16.58 ± 5.51	0.520	0.054
SZ 3 [m/min]	19.98 ± 5.09	22.14 ± 3.96	21.31 ± 3.36	16.79 ± 2.48	19.92 ± 7.25	0.178	0.099
SZ 4 [m/min]	14.06 ± 4.26	16.44 ± 3.58	13.05 ± 1.55	12.09 ± 3.52	14.43 ± 5.73	0.136	0.110
SZ 5 [m/min]	9.99 ± 2.92	12.00 ± 2.57 ^{IV}	8.03 ± 1.39	9.42 ± 1.77	10.17 ± 3.79	0.007*	0.211
SZ 6 [m/min]	6.64 ± 2.46	8.03 ± 2.65 ^{IV}	4.76 ± 0.99 ST	7.52 ± 1.73	6.02 ± 2.68	< 0.001*	0.257
SZ 7 [m/min]	2.22 ± 1.45	2.51 ± 1.62	1.23 ± 0.49 ST	3.67 ± 0.93 ^{ZM}	1.44 ± 1.02	< 0.001*	0.414
Acceleration low [n/min]	0.39 ± 0.09	0.44 ± 0.07	0.37 ± 0.08	0.36 ± 0.09	0.39 ± 0.11	0.478	0.100
Acceleration high [n/min]	0.47 ± 0.20	0.66 ± 0.24	0.38 ± 0.12	0.47 ± 0.15	0.43 ± 0.21	0.046*	0.228
Deceleration low [n/min]	0.33 ± 0.09	0.35 ± 0.05	0.29 ± 0.12	0.35 ± 0.12	0.32 ± 0.06	0.560	0.072
Deceleration high [n/min]	0.61 ± 0.15	0.71 ± 0.12 ^{IV}	0.46 ± 0.06 ST	0.72 ± 0.13	0.61 ± 0.12	< 0.001*	0.494

MATCH

Parameter	Total	AV	IV	ST	ZM	P	ES(η_p^2)
Total Distance [m/min]	117.47 ± 9.49	121.26 ± 10.72	112.79 ± 4.84	114.80 ± 7.89	119.34 ± 10.48	0.068	0.117

High intensitiy running [m/min]	9.35 ± 3.19	10.78 ± 2.50 ^{IV, ZM}	6.94 ± 2.20 ST	11.81 ± 2.09 ^{ZM}	7.73 ± 3.08	< 0.001*	0.367
Low intensity running [m/min]	82.40 ± 5.35	81.33 ± 6.41	82.81 ± 3.62	79.94 ± 4.69 ^{ZM}	85.00 ± 4.93	0.020*	0.123
SZ 1 [m/min]	40.58 ± 7.54	40.38 ± 3.87	41.12 ± 3.68	44.41 ± 2.76 ^{ZM}	37.40 ± 11.96	0.041*	0.109
SZ 2 [m/min]	17.97 ± 4.08	18.67 ± 3.52	19.06 ± 2.45	17.04 ± 2.94	17.44 ± 5.79	0.574	0.035
SZ 3 [m/min]	21.09 ± 5.64	22.29 ± 5.35	22.61 ± 3.13	17.90 ± 2.58	21.65 ± 7.82	0.103	0.097
SZ 4 [m/min]	14.92 ± 4.42	16.76 ± 4.05	14.10 ± 1.75	12.75 ± 3.11	15.61 ± 5.95	0.063	0.109
SZ 5 [m/min]	9.59 ± 3.51	11.17 ± 4.07 ^{IV}	7.29 ± 2.99	9.65 ± 2.20	9.65 ± 3.60	0.022*	0.139
SZ 6 [m/min]	6.89 ± 2.36	8.15 ± 2.12 ^{IV, ZM}	5.41 ± 1.70 ST	8.08 ± 1.53 ^{ZM}	5.83 ± 2.51	< 0.001*	0.264
SZ 7 [m/min]	2.32 ± 1.39	2.73 ± 1.16 ^{IV, ZM}	1.53 ± 0.68 ST	3.67 ± 1.12 ^{ZM}	1.42 ± 1.10	< 0.001*	0.400
Acceleration low [n/min]	0.41 ± 0.10	0.44 ± 0.12	0.42 ± 0.09	0.37 ± 0.08	0.42 ± 0.11	0.356	0.062
Acceleration high [n/min]	0.61 ± 0.15	0.70 ± 0.14	0.55 ± 0.13	0.61 ± 0.13	0.60 ± 0.16	0.126	0.116
Deceleration low [n/min]	0.34 ± 0.10	0.37 ± 0.09	0.27 ± 0.07	0.34 ± 0.07	0.35 ± 0.11	0.031*	0.136
Deceleration high [n/min]	0.60 ± 0.15	0.66 ± 0.15	0.55 ± 0.14	0.64 ± 0.14	0.57 ± 0.15	0.210	0.083

Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

Zusätzlich sind die Positionsunterschiede in den Spalten aufgelistet. Dabei wird gezeigt welche Positionen sich untereinander unterscheiden.

Tabelle 21: Positionsunterschiede der Herzfrequenzparameter für das gesamt Spiel

MATCH

Parameter	Total	AV	IV	ST	ZM	P	ES(η_p^2)
HRmean [%]	81.66 ± 7.57	78.53 ± 8.42	83.52 ± 6.09	83.25 ± 5.23	81.28 ± 9.29	0.392	0.067
HRz1 [s/min]	11.95 ± 13.94	20.05 ± 16.21	8.52 ± 13.03	7.33 ± 7.61	12.40 ± 15.13	0.190	0.115
HRz2 [s/min]	13.13 ± 7.72	10.08 ± 7.21	15.05 ± 6.68	16.80 ± 7.87	11.13 ± 7.92	0.127	0.111
HRz3 [s/min]	11.75 ± 6.81	8.85 ± 5.16	13.59 ± 7.74	13.99 ± 7.65	10.77 ± 6.07	0.258	0.092
HRz4 [s/min]	11.56 ± 10.84	10.54 ± 8.29	13.93 ± 8.14	8.42 ± 7.05	12.72 ± 15.86	0.646	0.039

HR Ergebnisse werden als Mittelwert ± SD dargestellt

Tabelle 22: Wiederholte Sprintleistungsparameter pro Bout über den Spielverlauf bezogen auf Altersgruppen und Gesamtgruppe (n=62).

Alle Daten sind als Mittelwert $\pm$ SD dargestellt. Für die gegebenen Parameter wurde eine zweifache Varianzanalyse für die erste Halbzeit verwendet, p-Werte für die Haupteffekte von Alter und Position sind dargestellt.

Parameter	Position	Total	P	ES(η_p^2)	U15	U16	U18	P	ES(η_p^2)
B3_number_bouts	AV	0.02 $\pm$ 0.02	0.038*	0.129	0.03 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.02	0.01 $\pm$ 0.01	0.281	0.037
	IV	0.01 $\pm$ 0.01			0.01 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.01		
	ST	0.02 $\pm$ 0.01			0.04 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.004		
	ZM	0.01 $\pm$ 0.01			0.002 $\pm$ 0.004	0.01 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.02		
B3_sprint/bout	AV	0.07 $\pm$ 0.01	0.013*	0.102	0.08 $\pm$ 0.004	0.07 $\pm$ 0.001	0.08 $\pm$ 0.001	< 0.001*	0.260
	IV	0.08 $\pm$ 0.03			NA	0.07 $\pm$ 0.000	0.07 $\pm$ 0.001		
	ST	0.07 $\pm$ 0.01			0.08 $\pm$ 0.003	0.08 $\pm$ 0.01	0.07 $\pm$ 0.01		
	ZM	0.07 $\pm$ 0.01			NA	0.07 $\pm$ 0.001	0.07 $\pm$ 0.01		
B3_duration_sprint [s]	AV	0.20 $\pm$ 0.05	0.093	0.197	0.23 $\pm$ 0.03	0.19 $\pm$ 0.05	0.17 $\pm$ 0.05	0.390	0.054
	IV	0.15 $\pm$ 0.02			NA	0.16 $\pm$ 0.01	0.13 $\pm$ 0.03		
	ST	0.21 $\pm$ 0.05			0.22 $\pm$ 0.06	0.21 $\pm$ 0.05	0.20 $\pm$ 0.05		
	ZM	0.21 $\pm$ 0.04			NA	0.21 $\pm$ 0.04	0.21 $\pm$ 0.04		
B3_duration_recovery [s]	AV	0.21 $\pm$ 0.08	0.436	0.058	0.14 $\pm$ 0.04	0.22 $\pm$ 0.06	0.28 $\pm$ 0.07	0.646	0.018
	IV	0.21 $\pm$ 0.07			NA	0.18 $\pm$ 0.01	0.20 $\pm$ 0.07		
	ST	0.16 $\pm$ 0.09			0.15 $\pm$ 0.04	0.21 $\pm$ 0.10	0.14 $\pm$ 0.12		
	ZM	0.19 $\pm$ 0.10			NA	0.19 $\pm$ 0.09	0.14 $\pm$ 0.03		
B3_number_sprints	AV	0.69 $\pm$ 0.16	0.013*	0.175	0.82 $\pm$ 0.09	0.65 $\pm$ 0.21	0.68 $\pm$ 0.04	0.297	0.036
	IV	0.53 $\pm$ 0.11			0.57 $\pm$ 0.17	0.49 $\pm$ 0.06	0.53 $\pm$ 0.14		
	ST	0.66 $\pm$ 0.18			0.78 $\pm$ 0.05	0.67 $\pm$ 0.08	0.60 $\pm$ 0.24		
	ZM	0.57 $\pm$ 0.14			0.50 $\pm$ 0.11	0.52 $\pm$ 0.09	0.68 $\pm$ 0.14		

SSP_number_bouts	AV	0.11 ± 0.05	0.003*	0.197	0.17 ± 0.03	0.10 ± 0.06	0.10 ± 0.01	0.017*	0.107
	IV	0.08 ± 0.03			0.09 ± 0.04	0.07 ± 0.02	0.08 ± 0.04		
	ST	0.12 ± 0.04			0.15 ± 0.01	0.11 ± 0.05	0.12 ± 0.04		
	ZM	0.08 ± 0.04			0.06 ± 0.02	0.06 ± 0.02	0.12 ± 0.05		
SSP_sprint/bout	AV	0.05 ± 0.004	0.723	0.013	0.06 ± 0.002	0.05 ± 0.002	0.05 ± 0.003	< 0.001*	0.512
	IV	0.05 ± 0.01			0.06 ± 0.01	0.04 ± 0.00	0.05 ± 0.004		
	ST	0.05 ± 0.004			0.06 ± 0.004	0.05 ± 0.00	0.05 ± 0.003		
	ZM	0.05 ± 0.004			0.05 ± 0.002	0.05 ± 0.003	0.05 ± 0.003		
SSP_duration_sprint [s]	AV	0.22 ± 0.05	0.002*	0.213	0.24 ± 0.05	0.23 ± 0.05	0.19 ± 0.03	< 0.001*	0.200
	IV	0.19 ± 0.04			0.22 ± 0.05	0.20 ± 0.04	0.17 ± 0.03		
	ST	0.20 ± 0.03			0.20 ± 0.01	0.21 ± 0.05	0.19 ± 0.02		
	ZM	0.25 ± 0.06			0.30 ± 0.03	0.26 ± 0.05	0.21 ± 0.04		
SSP_duration_recovery [s]	AV	0.18 ± 0.08	0.371	0.061	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.11	0.19 ± 0.05	0.474	0.029
	IV	0.21 ± 0.07			0.22 ± 0.09	0.21 ± 0.06	0.20 ± 0.07		
	ST	0.16 ± 0.06			0.15 ± 0.04	0.14 ± 0.04	0.17 ± 0.08		
	ZM	0.18 ± 0.08			0.24 ± 0.09	0.15 ± 0.07	0.18 ± 0.06		
SSP_number_sprints	AV	0.69 ± 0.16	< 0.001*	0.290	0.81 ± 0.09	0.65 ± 0.21	0.68 ± 0.04	0.043	0.080
	IV	0.53 ± 0.11			0.57 ± 0.17	0.49 ± 0.06	0.53 ± 0.14		
	ST	0.73 ± 0.08			0.78 ± 0.05	0.67 ± 0.08	0.75 ± 0.08		
	ZM	0.57 ± 0.14			0.50 ± 0.11	0.52 ± 0.09	0.68 ± 0.14		

Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

Tabelle 23: Wiederholte Sprintleistungsparameter pro Bout über den Spielverlauf bezogen auf Altersgruppen und Gesamtgruppe (n=62).

Alle Daten sind als Mittelwert $\pm$ SD dargestellt. Für die gegebenen Parameter wurde eine zweifache Varianzanalyse für die zweite Halbzeit verwendet, p-Werte für die Haupteffekte von Alter und Position sind dargestellt.

Parameter	Position	Total	P	ES(η_p^2)	U15	U16	U18	P	ES(η_p^2)
B3_number_bouts	AV	0.02 $\pm$ 0.02	< 0.001*	0.287	0.04 $\pm$ 0.002	0.01 $\pm$ 0.02	0.03 $\pm$ 0.01	0.015*	0.132
	IV	0.002 $\pm$ 0.005			0.0 $\pm$ 0.0	0.003 $\pm$ 0.007	0.002 $\pm$ 0.003		
	ST	0.01 $\pm$ 0.01			0.02 $\pm$ 0.01	0.0 $\pm$ 0.0	0.02 $\pm$ 0.004		
	ZM	0.01 $\pm$ 0.01			0.004 $\pm$ 0.01	0.005 $\pm$ 0.005	0.02 $\pm$ 0.02		
B3_sprint/bout	AV	0.08 $\pm$ 0.02	0.792	0.053	0.08 $\pm$ 0.002	0.09 $\pm$ 0.03	0.08 $\pm$ 0.02	0.928	0.008
	IV	0.07 $\pm$ 0.004			NA	NA	NA		
	ST	0.08 $\pm$ 0.03			0.08 $\pm$ 0.03	NA	0.08 $\pm$ 0.03		
	ZM	0.08 $\pm$ 0.01			NA	0.06 $\pm$ 0.003	0.08 $\pm$ 0.01		
B3_duration_sprint [s]	AV	0.27 $\pm$ 0.09	0.467	0.117	0.28 $\pm$ 0.09	0.31 $\pm$ 0.11	0.20 $\pm$ 0.05	0.449	0.074
	IV	0.15 $\pm$ 0.10			NA	NA	NA		
	ST	0.19 $\pm$ 0.08			0.19 $\pm$ 0.07	NA	0.18 $\pm$ 0.1		
	ZM	0.25 $\pm$ 0.13			NA	0.24 $\pm$ 0.12	0.25 $\pm$ 0.15		
B3_duration_recovery [s]	AV	0.17 $\pm$ 0.14	0.830	0.045	0.17 $\pm$ 0.08	0.18 $\pm$ 0.21	0.14 $\pm$ 0.04	0.692	0.038
	IV	0.27 $\pm$ 0.06			NA	NA	NA		
	ST	0.24 $\pm$ 0.12			0.20 $\pm$ 0.14	NA	0.27 $\pm$ 0.11		
	ZM	0.23 $\pm$ 0.17			NA	0.15 $\pm$ 0.13	0.26 $\pm$ 0.21		
B3_number_sprints	AV	0.68 $\pm$ 0.14	< 0.001*	0.387	0.82 $\pm$ 0.02	0.65 $\pm$ 0.15	0.63 $\pm$ 0.15	0.505	0.019
	IV	0.41 $\pm$ 0.08			0.39 $\pm$ 0.18	0.43 $\pm$ 0.07	0.40 $\pm$ 0.02		
	ST	0.57 $\pm$ 0.13			0.55 $\pm$ 0.13	0.50 $\pm$ 0.05	0.64 $\pm$ 0.15		
	ZM	0.53 $\pm$ 0.13			0.40 $\pm$ 0.20	0.51 $\pm$ 0.11	0.61 $\pm$ 0.08		

SSP_number_bouts	AV	0.13 ± 0.04			0.17 ± 0.01	0.11 ± 0.04	0.13 ± 0.04		
	IV	0.04 ± 0.02	< 0.001*	0.393	0.03 ± 0.03	0.04 ± 0.03	0.04 ± 0.03	0.082*	0.077
	ST	0.10 ± 0.04			0.10 ± 0.03	0.07 ± 0.02	0.11 ± 0.05		
	ZM	0.10 ± 0.05			0.10 ± 0.11	0.06 ± 0.03	0.12 ± 0.04		
SSP_sprint/bout	AV	0.06 ± 0.02			0.06 ± 0.001	0.07 ± 0.03	0.06 ± 0.01		
	IV	0.04 ± 0.004	0.050	0.191	0.05 ± 0.001	0.04 ± 0.001	0.05 ± 0.01	0.750	0.013
	ST	0.06 ± 0.02			0.07 ± 0.01	0.05 ± 0.02	0.06 ± 0.02		
	ZM	0.05 ± 0.01			0.06 ± 0.02	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.01		
SSP_duration_sprint [s]	AV	0.24 ± 0.07			0.22 ± 0.05	0.26 ± 0.09	0.21 ± 0.03		
	IV	0.20 ± 0.05	0.469	0.068	0.22 ± 0.14	0.19 ± 0.01	0.19 ± 0.04	0.604	0.027
	ST	0.23 ± 0.09			0.23 ± 0.04	0.25 ± 0.10	0.22 ± 0.11		
	ZM	0.23 ± 0.04			0.27 ± 0.02	0.23 ± 0.04	0.22 ± 0.05		
SSP_duration_recovery [s]	AV	0.22 ± 0.12			0.14 ± 0.01	0.28 ± 0.13	0.12 ± 0.01		
	IV	0.18 ± 0.08	0.260	0.092	0.12 ± 0.12	0.16 ± 0.07	0.25 ± 0.05	0.379	0.044
	ST	0.26 ± 0.14			0.20 ± 0.07	0.29 ± 0.14	0.28 ± 0.18		
	ZM	0.19 ± 0.08			0.19 ± 0.03	0.18 ± 0.04	0.21 ± 0.13		
SSP_number_sprints	AV	0.68 ± 0.14			0.82 ± 0.02	0.65 ± 0.15	0.63 ± 0.15		
	IV	0.41 ± 0.08	< 0.001*	0.409	0.37 ± 0.15	0.42 ± 0.07	0.40 ± 0.02	0.423	0.023
	ST	0.61 ± 0.13			0.64 ± 0.13	0.50 ± 0.05	0.66 ± 0.14		
	ZM	0.53 ± 0.13			0.40 ± 0.20	0.51 ± 0.11	0.61 ± 0.08		

Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

Tabelle 24: MIP Unterschiede nach Altersklassen

Minute	Parameter	Total	U15	U16	U18	P	ES(η_p^2)
1	MIP Total Distance [m/min]	207.49 ± 25	200.02 ± 12.99	206.85 ± 17.28	211.94 ± 35.04	0.474	0.0302
	MIP ≤ 13 km/h	130.5 ± 19.42	126.1 ± 18.66	129.76 ± 20.78	133.53 ± 18.8	0.6189	0.0202
	MIP ≤ 19.8 km/h	70.6 ± 17.76	73.25 ± 21.45	62.58 ± 13.65 ^{U18}	78.19 ± 16.98	0.0047*	0.1647
	MIP ≤ 25.2 km/h	37.57 ± 12.03	41.74 ± 19.58	32.29 ± 8.69	41.36 ± 8.33	0.0069*	0.1462
2	MIP Total Distance [m/min]	174.23 ± 17.69	168.14 ± 13.17	177.39 ± 17.18	173.76 ± 20.09	0.3985	0.0374
	MIP ≤ 13 km/h	91.53 ± 16.76	87.22 ± 18.26	94.52 ± 19.72	90.36 ± 12.11	0.4904	0.0288
	MIP ≤ 19.8 km/h	43.4 ± 10.88	43.78 ± 13.95	40.57 ± 11.36	46.35 ± 8.12	0.1106	0.0583
	MIP ≤ 25.2 km/h	20.42 ± 6.9	21.71 ± 10.25	17.99 ± 6.02	22.48 ± 5.15	0.0471*	0.0959
3	MIP Total Distance [m/min]	162.16 ± 16.16	157.8 ± 11.97	164.44 ± 14.15	161.81 ± 19.97	0.5761	0.0231
	MIP ≤ 13 km/h	78.92 ± 13.83	76.42 ± 15.12	80.69 ± 15.27	78.21 ± 11.9	0.6824	0.0146
	MIP ≤ 19.8 km/h	34.79 ± 9.23	35.23 ± 11.93	32.21 ± 9.12	37.44 ± 7.44	0.0625	0.0666
	MIP ≤ 25.2 km/h	15.32 ± 5.74	16.08 ± 7.58	13.26 ± 5.33	17.22 ± 4.62	0.0250*	0.1022
4	MIP Total Distance [m/min]	155.23 ± 14.3	152.05 ± 12.12	157.19 ± 12.28	154.65 ± 17.48	0.6534	0.0185
	MIP ≤ 13 km/h	71.21 ± 13.11	69.23 ± 14.98	72.23 ± 13.1	71.06 ± 12.83	0.8343	0.0072
	MIP ≤ 19.8 km/h	29.52 ± 7.94	28.9 ± 9.81	26.79 ± 6.93	32.88 ± 7.13	0.0072*	0.1226
	MIP ≤ 25.2 km/h	12.18 ± 4.59	12.62 ± 6.03	10.24 ± 4.09 ^{U18}	14.12 ± 3.56	0.0031*	0.1489
5	MIP Total Distance [m/min]	150.15 ± 14.45	146.62 ± 12.17	151.79 ± 11.85	150.09 ± 18.12	0.6635	0.0173
	MIP ≤ 13 km/h	66.29 ± 12.55	63.07 ± 13.91	67.67 ± 12.9	66.37 ± 11.89	0.6090	0.0181
	MIP ≤ 19.8 km/h	26.02 ± 6.97	25.58 ± 9.07	23.66 ± 6.4	28.87 ± 5.63	0.0069*	0.1160
	MIP ≤ 25.2 km/h	10.36 ± 3.98	11.03 ± 5.38	8.35 ± 3.26 ^{U18}	12.26 ± 2.93	0.0003*	0.2055
6	MIP Total Distance [m/min]	146.15 ± 13.58	142.65 ± 11.4	149.13 ± 11.77	144.49 ± 16.38	0.3821	0.0403
	MIP ≤ 13 km/h	62.24 ± 12.22	59.39 ± 12.93	64.05 ± 13.04	61.65 ± 11.25	0.5690	0.0212
	MIP ≤ 19.8 km/h	23.51 ± 6.11	22.95 ± 8.31	21.59 ± 5.71	25.91 ± 4.65	0.0088*	0.1046
	MIP ≤ 25.2 km/h	9.15 ± 3.6	9.73 ± 4.84	7.47 ± 3.2 ^{U18}	10.73 ± 2.54	0.0016*	0.1745
7	MIP Total Distance [m/min]	143.58 ± 13.27	140.82 ± 11.36	146.81 ± 11.36	141.37 ± 15.8	0.3234	0.0451
	MIP ≤ 13 km/h	59.3 ± 11.21	57.95 ± 11.52	60.8 ± 11.88	58.31 ± 10.74	0.6861	0.0137
	MIP ≤ 19.8 km/h	21.85 ± 5.53	21.51 ± 8.05	20.14 ± 4.81	23.93 ± 4.27	0.0077*	0.0978
	MIP ≤ 25.2 km/h	8.15 ± 3.22	8.67 ± 4.41	6.6 ± 2.78 ^{U18}	9.62 ± 2.23	0.0006*	0.1881
8	MIP Total	140.83 ±	138.6 ±	143.55 ±	138.93 ±	0.3944	0.0368

	Distance [m/min]	12.36	11.66	10.75	14.31		
	MIP <= 13 km/h	57.03 ± 10.59	55.9 ± 10.97	58.44 ± 11.42	56.04 ± 9.85	0.6964	0.0134
	MIP <= 19.8 km/h	20.38 ± 5.06	20.18 ± 7.45	18.81 ± 4.45	22.23 ± 3.81	0.0091*	0.0942
	MIP <= 25.2 km/h	7.48 ± 3.02	8.21 ± 4.08	5.98 ± 2.56 U18	8.79 ± 2.18	0.0007*	0.1916
9	MIP Total Distance [m/min]	139.26 ± 12.1	136.97 ± 11.59	141.73 ± 11.33	137.66 ± 13.22	0.4401	0.0320
	MIP <= 13 km/h	55.18 ± 10.08	54.28 ± 10.12	56.89 ± 11.15	53.74 ± 9.04	0.5486	0.0221
	MIP <= 19.8 km/h	19.3 ± 4.97	19.14 ± 6.93	18.02 ± 4.74	20.8 ± 3.87	0.0545	0.0646
	MIP <= 25.2 km/h	7.03 ± 2.93	7.51 ± 3.82	5.66 ± 2.43 U18	8.32 ± 2.39	0.0024*	0.1763
10	MIP Total Distance [m/min]	137.73 ± 11.78	136.22 ± 11.75	140.71 ± 11.41	135.17 ± 12.11	0.2867	0.0494
	MIP <= 13 km/h	53.52 ± 10.17	52.97 ± 11.22	55.52 ± 11.24	51.57 ± 8.41	0.4152	0.0318
	MIP <= 19.8 km/h	18.55 ± 4.88	18.21 ± 6.91	17.22 ± 4.42	20.19 ± 3.91	0.0265*	0.0776
	MIP <= 25.2 km/h	6.64 ± 2.78	6.99 ± 3.67	5.25 ± 2.26 U18	8.01 ± 2.14	0.0007*	0.2055
Match **	MIP Total Distance [m/min]	117.01 ± 8.66	114.72 ± 9.17	119.6 ± 9.3	115.26 ± 7.27	0.1261	0.0686
	MIP <= 13 km/h	33.46 ± 7.69	32.78 ± 8.15	34.16 ± 8.81	33.02 ± 6.4	0.8384	0.0065
	MIP <= 19.8 km/h	8.08 ± 2.99	8.65 ± 3.91	7.09 ± 2.42	8.89 ± 2.9	0.0315*	0.0840
	MIP <= 25.2 km/h	1.67 ± 1.08	1.82 ± 1.38	1.27 ± 0.89	2.06 ± 1	0.0080*	0.1141

Signifikante Ergebnisse sind mit (*) gekennzeichnet.

Zusätzlich sind die Altersunterschiede in den Spalten aufgelistet. Dabei wird gezeigt in welchen Perioden, bei welchem Parameter, welche Altersgruppen sich untereinander unterscheiden.

**Als Gegenüberstellung und Vergleich dient die Spalte „Match“ die das 90minütige Spiel mit den Variablen untersucht hat.