

# **Effekt des Bio-Bandings auf physische Indikatoren und Methodenvergleich zu deren Erfassung**

Abschlussarbeit zur Erlangung des  
Master of Science in Sportwissenschaften  
Option Unterricht

eingereicht von

**Florim Gashi**

an der  
Universität Freiburg, Schweiz  
Mathematisch-Naturwissenschaftliche und Medizinische Fakultät  
Abteilung Medizin  
Department für Neuro- und Bewegungswissenschaften

in Zusammenarbeit mit der  
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent  
Dr. Silvio Lorenzetti

Betreuer  
PhD-Student Dennis Lüdin

Olten, August 2021

## Inhaltsverzeichnis

1	Wissenschaftlicher Hintergrund und Ausgangslage.....	5
1.1	Talententwicklung und -identifikation.....	5
1.2	Relative Age Effect im Nachwuchssport .....	6
1.3	Methoden zur Bestimmung des biologischen Alters.....	9
1.4	Bio-Banding und die Anwendung im Nachwuchssport.....	11
1.5	Quantifizierung von Belastung im Fussball und Belastungsprofile.....	13
1.6	Ziel und konkrete Fragestellungen.....	15
2	Methoden.....	16
2.1	Untersuchungsgruppe.....	16
2.2	Untersuchungsdesign.....	16
2.3	Untersuchungsinstrumente .....	16
2.4	Datenanalyse .....	21
3	Resultate .....	22
3.1	Effekt der Spielbedingung BB .....	23
3.2	Methodenvergleich zur Kategorisierung von Beschleunigungen .....	26
4	Diskussion .....	29
4.1	Effekt der Spielbedingung Biobanding .....	30
4.2	Methodenvergleich zur Erfassung und Kategorisierung von Beschleunigungen ....	32
4.3	Limitationen .....	35
5	Schlussfolgerung .....	36
5.1	Bio Banding.....	37
5.2	Methodenvergleich.....	37
6	Danksagung.....	38
7	Literatur.....	39
8	Anhang .....	46

## **Zusammenfassung**

### **Einleitung**

Talententwicklung hat im Fussball an Wichtigkeit gewonnen, um im Wettbewerb erfolgreich zu sein. Ein Ansatz, der darin untersucht wird, ist das Bio-Banding (BB). Damit sollen Auswirkungen von Unterschieden im biologischen Alter vermindert werden und Früh- als auch Spätentwickler eine akkurate Förderung erhalten (Cumming et al., 2017; Malina et al., 2019).

### **Ziel**

Ziel der vorliegenden Arbeit ist

1) zur Quantifizierung der Anzahl hochintensiver Beschleunigungen die adaptierte Methode nach Fischer-Sonderegger et al. (2019) ( $acc\%$ ) einzuführen und mit klassischen Methoden ( $acc-abs$ ) zu vergleichen

und

2) den Effekt von BB auf die Anzahl Beschleunigungen bei U13- und U14-Nachwuchsfussballer mit der  $acc\%$ -Methode zu untersuchen.

### **Methode**

Die Untersuchungsgruppe bestand aus  $n = 81$  männlichen Elite-Nachwuchsspielern. Die Einteilung der Spieler nach biologischem Alter erfolgte nach Mirwald et al. (2002). Die Aufzeichnung der Positionsdaten wurde mittels Local Positioning Measurement (inmotiotec GmbH, Regau, Österreich) vorgenommen. Für die Untersuchung der Effekte von BB wurde eine mixed ANOVA für die Spielbedingungen BB und CA durchgeführt. Als Zwischensubjektfaktor diente die Gruppe ( $U13_{normal}$ ,  $U13_{früh}$ ,  $U14_{spät}$ ,  $U14_{normal}$ ).

### **Resultate**

#### **Bio Banding**

Es konnte eine signifikante Interaktion für Bedingung\*Gruppe für die Anzahl geringer Beschleunigungen ( $Z2$ ) festgestellt werden,  $F(3, 32) = 14.574$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.577$ . Es trat zudem ein signifikanter Haupteffekt der Innersubjektvariable für die Intensitätskategorie hoch ( $Z4$ ) auf  $F(1, 32) = 164.306$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.837$ .

## **Methodenvergleich**

Die Gesamtanzahl der erfassten Beschleunigungen der höchsten Intensitätskategorie pro Methode waren  $28.6 \pm 20.8$  (acc%),  $109.6 \pm 33.7$  (acc-abs, Schwelle  $2.4 \text{ m/s}^2$ ) und  $40.56 \pm 21.7$  (acc-abs, Schwelle  $3.2 \text{ m/s}^2$ ).

## **Diskussion und Schlussfolgerung**

### **Bio Banding**

Der Interaktionseffekt zeigt einen klaren Unterschied, der den erwarteten Effekt für die Gruppen U13<sub>früh</sub> und U14<sub>spät</sub> abbildet, allerdings durch die Klassifizierung Z2 (gering) relativiert wird. Der Haupteffekt der Innersubjektvariable für Z4 war für BB signifikant geringer, als für CA, wodurch nahelegt, dass die Belastung in der Spielbedingung BB abnahm. Trotz des signifikanten Unterschieds, muss beachtet werden, dass sich zwei Spiele in Verlauf und Intensität ebenfalls unterscheiden können.

### **Methodenvergleich**

Die zusammengefassten Mittelwerte der Beschleunigungen für  $v_{\text{init}} < 2 \text{ m/s}$ , der höchsten Kategorie der acc-abs<sub>2.4</sub>, sind 2.9 mal höher als für acc-abs<sub>3.2</sub> und 5.3 mal höher als für acc%. Eine Initialgeschwindigkeit von  $2 \text{ m/s}$  entspricht einem Tempo von  $7.2 \text{ km/h}$ , was als gehen klassifiziert wird (Rampinini et al., 2007). Die acc-abs Methode scheint also lediglich Aussagen über die Beschleunigung an sich und nicht deren Intensität für den Athleten zu treffen. Fischer-Sonderegger et. al (2019) trafen die Aussage, dass ein höher angesetzter absoluter Schwellenwert, das Problem der falschen Klassifizierung maximaler Beschleunigungen gar noch verstärkt.

# **1 Wissenschaftlicher Hintergrund und Ausgangslage**

Fussball als Sport hat sich bis heute, sowohl in Wettbewerb als auch Training und auf den unterschiedlichen Niveaus, stark gewandelt. Es fließen höhere Geldsummen und es finden Transfers auf nationaler und internationaler Ebene statt. Doch nicht nur der Sport, sondern auch die erforderlichen Spielerattribute haben sich verändert. Deshalb hat die Rolle von Talentidentifikation und -entwicklung vermehrt an Wichtigkeit gewonnen, um im Wettbewerb erfolgreich zu sein oder überhaupt bestehen zu können. Hat die Talentidentifikation einen momentanen Charakter, so muss in einer angemessenen und erfolgreichen Talententwicklung der Zeithorizont bis in die Elitestufe berücksichtigt werden (Abbott, Button, Pepping & Collins, 2005). Ein Ansatz, um eine angemessene und nachhaltige Talententwicklung anzugehen, ist das Bio-Banding. Damit sollen die Auswirkungen bedingt durch Unterschiede im biologischen Alter vermindert werden und sowohl Früh- als auch Spätentwickler im Nachwuchsfussball eine akkurate Förderung erhalten (Cumming, Lloyd, Oliver, Eisenmann & Malina, 2017; Malina et al., 2019).

## **1.1 Talententwicklung und -identifikation**

Die Prozesse der Talentidentifikation und -entwicklung laufen von Verein zu Verein unterschiedlich ab. Allen Konkurrenten gemeinsam ist das Ziel der Früherkennung von zukünftig leistungsfähigen Individuen. Sportarten sind für ihr Fortbestehen und die Weiterentwicklung auf den Nachwuchs angewiesen, wozu auf Vereins- und auch Verbandsebene Talentscouts beschäftigt werden. Diese sollen Jungtalente entdecken, um die eigenen Nachwuchsabteilungen zu verstärken. Dabei versuchen sich Vereine gegenseitig den Rang abzulaufen, um diese jungen, talentierten Spieler vor der Konkurrenz zu entdecken. Die Schwierigkeit der Voraussage von zukünftiger Leistungsfähigkeit ist durch die Tatsache gegeben, dass Talent ein multifaktorielles Konstrukt ist, das sich nicht linear entwickelt. Hinzu kommen unterschiedliche Auffassungen darüber, wie früh die sportartspezifische Spezialisierung erfolgen sollte. Auf der einen Seite steht die Aussage, dass talentierte Spieler so früh wie möglich angemessene Förderung, Betreuung und Übungszeit erhalten sollten, damit das Potenzial der Spieler voll ausgeschöpft werden kann (Pruna, Minarro & Bahdur, 2018; Sieghartsleitner, Zuber, Zibung & Conzel, 2018). Dem gegenüber steht die Auffassung, dass eine frühe Spezialisierung in einer Sportart nicht essenziell für die Entwicklung ausgeprägter Fähigkeiten ist (Phillips, Davids, Renshaw & Portus, 2010) und durch hoch spezialisiertes, intensives Training sogar das Verletzungsrisiko

in bestimmten Wachstumsphasen weiter erhöht werden kann (Read et al., 2016). Nichtsdestotrotz werden Spieler bereits in jungem Alter von Vereinen selektioniert und rekrutiert. Die Frage, wie junge Talente dadurch in Ihrer Selbstwahrnehmung beeinflusst werden und wie sie mit den Begleiterscheinungen des Selektionsprozesses umgehen, ist dabei individuell zu beantworten und nicht abschliessend geklärt (Clarke, Cushion & Harwood, 2018; Sagar, Busch & Jowett, 2010).

Im Selektionsprozess werden Spieler in Wettbewerbsspielen beobachtet und von Scouts oder Trainern nach verschiedenen Kriterien in ihrer Eignung für die jeweilige Nachwuchsabteilung bewertet. Bei diesen Spielbeobachtungen handelt es sich um Momentaufnahmen, bei denen sich eine subjektive Färbung der Beobachtung und der Kriterien nicht ausschliessen lässt. So stellten Dugdale, Sanders, Myers, Williams & Hunter (2020) fest, dass Trainer bei subjektiven Einschätzungen von physischen Fähigkeiten, hohe Übereinstimmungen mit den Ergebnissen der objektiven Tests aufwiesen, dies traf allerdings nur bei Spielern mit der jeweils besten und schlechtesten Performanz zu. Für die Leistungen zwischen diesen Gruppen waren die Einschätzungen der Trainer inakkurat. Spielen physische und anthropometrische Faktoren in der Selektion häufig eine grosse Rolle, kann es daher zu einer Verzerrung der Selektion führen, da sich diese Faktoren während der Adoleszenz weder linear entwickeln, noch durch subjektive Wahrnehmung vorauszusagen sind (Abbott et al., 2005; Murtagh et al., 2018; Phillips et al., 2010). Die Leistung eines Fussballspielers ist ein komplexes Konstrukt und hängt nicht ausschliesslich von physischen Faktoren ab. Die Interaktion mit externen, variablen Faktoren, technische und taktische Fähigkeiten und auch psychische und soziale Faktoren beeinflussen die Leistung (Abbott et al., 2005; Williams, Ford & Drust, 2020).

Hinzu kommt, dass zwei, im selben Kalenderjahr geborene Spieler, zwar nach ihrem absoluten Alter in Jahren gleich alt sind, zwischen ihnen jedoch ein relativer Unterschied von wenigen Tagen bis zu mehreren Monaten bestehen kann. Dieser relative Altersunterschied und dessen Auswirkungen auf die Überrepräsentation gewisser Geburtsmonate innerhalb eines Geburtsjahres, in untersuchten Athleten- oder akademischen Gruppen, werden als Relative Age Effect (RAE) beschrieben.

## **1.2 Relative Age Effect im Nachwuchssport**

Altersklassen im Sport schliessen jeweils Athleten mit Geburtsdatum vom Beginn bis zum Ende des jeweiligen Kalenderjahrganges ein. Dadurch beträgt der potenziell höchstmögliche,

chronologische Altersunterschied zwischen zwei Athleten desselben Jahrgangs, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten geboren sind, ein volles Jahr. Diverse Studien befassen sich mit der Hypothese, dass sich der Relative Age Effect (RAE) bei Nachwuchssportlern, unter anderem, in unterschiedlichem Fortschritt der körperlichen Reife äussert (Carling, Gall, Reilly & Williams, 2009; Meylan, Cronin, Oliver & Hughes, 2010; Romann, Rössler, Javet & Faude, 2018; Wattie, Schorer & Baker, 2014). Im Nachwuchssport kann ein Entwicklungsvorsprung in einem Vorteil betreffend physisch und psychisch leistungsrelevanten Faktoren resultieren, was wiederum die Selektion direkt beeinflussen kann (Wattie et al., 2014). Dazu Malina, Rogol, Cumming, Coelho & Figueredo (2015):

Boys who are perceived as physically suited for a sport generally experience greater success; are identified at an earlier age; are given more important roles; receive more playing time, encouragement and resources; and more likely have access to elite coaches. (S. 8)

Als RAE wird die Beobachtung bezeichnet, dass in einer Alterskategorie eine Überrepräsentation von Individuen mit einem Geburtsdatum nahe des Beginns des Zeitraums der Altersklassierung herrscht (Cobley, Baker, Wattie & McKenna, 2009). Dies und die Nebenerscheinungen, die daraus folgen, können dazu führen, dass Jungtalente, welche Spätentwickler sind, aus dem Selektionsprozess ausgeschlossen werden. Daraus folgt die Möglichkeit, dass vielversprechendes Potenzial unentdeckt bleibt, welches sich erst zu einem späteren Zeitpunkt entfaltet. Der RAE ist allerdings differenziert zu betrachten, da unterschiedliche Sportarten, unterschiedliche Ausprägungen physischer Merkmale begünstigen. Somit ist es auch möglich, dass in ästhetischen Sportarten, welche teilweise einen geringer fortgeschrittenen, physischen Entwicklungsstand begünstigen, eine andere Ausprägung des RAE aufweisen. Das relative, chronologische Alter lässt allerdings nicht zwingend auf den physischen Entwicklungsstand und somit das biologische Alter schliessen (Skorski, Skorski, Faude, Hammes & Meyer, 2016).

In einer Studie von Skorski et al. (2016) mit Fussballspielern der Kategorien U-16 bis U-21, waren Spieler mit einem Geburtsdatum innerhalb des ersten Jahresquartals signifikant überrepräsentiert. Auch in anderen Sportarten, in welchen physische Attribute einen leistungsrelevanten Einfluss auf Schlüsselindikatoren des jeweiligen Sports oder der Disziplin haben, bestätigten sich entsprechende Beobachtungen. So wurde eine Überrepräsentation von Athleten, geboren im ersten Quartal des entsprechenden Jahrganges, zum Beispiel im Ski Alpin (Müller, Mül-

ler, Hildebrandt, Kornexl & Raschner, 2015), im europäischen Nachwuchsbasketball der Kategorien U16, U18 und U20 (Arrieta, Torres-Unda, Gil & Irazusta, 2016) und Volleyball (Campos, Pellegrinotti, Campos, Dias & Gomez, 2020; Rubajczyk & Rokita, 2020) festgestellt. Delorme, Boiché & Raspaud (2010) setzten sich zudem mit der Dropout-Rate unter Einbezug des RAE im französischen Nachwuchsfussball auseinander. In dieser Stichprobe waren Spieler mit einem Geburtsdatum im letzten Jahresquartal bei Dropouts überrepräsentiert in den Kategorien U-9, U-13, U-15 und U-18. Einen Rückgang der Anzahl von Nachwuchsathleten, welche gemäss ihrem Skelletalter (SA) und dem Pubertätsfortschritt als Späentwickler gelten, wurde in unterschiedlichen Mannschaftssportarten sowohl zwischen dem elften- und zwölften-, als auch vom fünfzehnten bis sechzehnten Lebensjahr beobachtet (Malina et al., 2015).

Mann & van Ginneken (2017) führten mit unterschiedlichen Talentscouts in den Niederlanden einen Versuch durch, der diesen RAE vermindern sollte. Dabei erhielten Spieler in sogenannten Small-Sided-Games, mit je vier Spielern pro Mannschaft Trikotnummern von eins bis acht zugeordnet, welche ihrem relativen Alter entsprachen. Die niedrigeren Nummern wiesen auf die Nähe des Geburtsdatums zum entsprechenden Jahresbeginn hin, wobei aus jedem Quartal des Jahres zwei Spieler an jedem Spiel teilnahmen. Das Ziel war es, vorschnelle Urteile der Scouts anhand physischer Merkmale zu verringern oder gar zu vermeiden. Die Scouts, welche Kenntnis von der Bedeutung der Trikotnummern hatten, wiesen in der Bewertung der Spieler eine signifikant geringere Korrelation zur Reihenfolge der Geburtsdaten auf, als die Vergleichsgruppen der Scouts, welche die Bedeutung der Trikotnummerierung nicht kannten. Dadurch wurde den Talentscouts zwar vor Augen geführt, dass früher im Jahr geborene Spieler im Setting präsent waren, allerdings standen noch immer Spieler im Vergleich die unterschiedliche biologische Entwicklungsstände aufwiesen.

Malina et al. (2015) stellen fest, dass der, von Erwachsenen regulierte, Sportbetrieb nach den Ansichten dieser Erwachsenen gestaltet und betrieben wird. Es ist jedoch anzuerkennen, dass sich heranwachsende in diesen Talententwicklungs- und Selektionsmodellen bewegen. Malina et al. (2015) trafen die Aussage "It is imperative to accept youth athletes as children and adolescents with the needs of children and adolescents! Sport is superimposed on these needs." (S. 8). Diesem Umstand soll das Konzept des Bio-Banding, unter anderen, Rechnung tragen und so durch die Einteilung von Nachwuchsspielern in Wettbewerbsklassen nach biologischem Alter eine nachhaltigere Talentselektion und -entwicklung ermöglichen.

### 1.3 Methoden zur Bestimmung des biologischen Alters

Wir kennen verschiedene Arten, um Menschen nach ihrem Alter in Kategorien einzuteilen. So beispielsweise Dienstalter, Trainingsalter, oder in dieser vorliegenden Studie, das chronologische und das biologische Alter. Orientiert sich das chronologische Alter am Geburtsdatum, so richtet sich das biologische Alter am Entwicklungsstand des Körpers, dessen Zellen und biologischen Markern, um die funktionelle Leistungsfähigkeit eines Organismus zu bestimmen (Baker & Sprott, 1988).

Ist es noch immer schwierig, zuverlässige Prädiktoren für die genaue Bestimmung des biologischen Alters bei Erwachsenen festzustellen (Jylhävä, Pedersen & Hägg, 2017), so orientiert sich dieses bei Adoleszenten am Entwicklungsstand verschiedener Faktoren. Simpel formuliert, wird überprüft, wie ausgewachsen physische Merkmale bei Adoleszenten sind. Diese Werte werden dann mit Referenzwerten abgeglichen, um zu bestimmen, wie weit die physische Entwicklung zum erwachsenen Menschen bereits fortgeschritten, beziehungsweise abgeschlossen ist.

Die Methoden zur medizinischen Bestimmung des Entwicklungsstandes von Jugendlichen und jungen Erwachsenen sind vielfältig und unterschiedlich reliabel. Dabei wird unterschieden in invasive und non-invasive Methoden unterschieden (Tabelle 1 und Tabelle 2).

Tabelle 1

*Auflistung diverser invasiver Methoden zur Bestimmung des biologischen Entwicklungsstandes (Fortsetzung auf Seite 10)*

<b>Methode</b>	<b>Beschreibung der Methode</b>
Skelettaltersbestimmung: Handwurzelknochen	Feststellen des Entwicklungsstandes der Wachstumsfugen der Handwurzelknochen mittels Röntgen. Die Röntgenbilder werden, je nach Methode, mit unterschiedlichen Referenzen abgeglichen (FELS-, Greulich-Pyle-, Tanner-Whitehouse-Methode oder andere).  Die Methoden können unterschiedliche Genauigkeiten aufweisen, je nach ethnischer und/oder geografischer Herkunft der Referenz- und Vergleichsgruppe (Chumela, Roche & Thissen, 1989).
Skelettaltersbestimmung: Wachstumsfugen	Analyse der Wachstumsfugen an Knie (Pyle-Hoerr-, Roche, Wainer & Thissen-Methode (O'Connor, Coyle, Spence & Last, 2013) oder andere), der Clavicula oder anderen Knochen mittels Röntgen.  Diese Methoden eignen sich, je nach Alter der untersuchten Patienten, mehr oder weniger zur akkuraten Analyse, beispielsweise bei der Clavicula (Langley, 2016).
Skelettaltersbestimmung: Gebiss	Röntgenaufnahme des Gebisses und Analyse des Wachstumsfortschrittes der Zahnwurzeln und -kronen.

Blutentnahme zur Hormonanalyse	Hormonanalyse mittels Blutentnahme. Anhand geschlechtsspezifischer Hormone (Androgene, Östrogene und Gestagene), können dann Aussagen zum Entwicklungsstand der jeweiligen adoleszenten Person getroffen werden.
Untersuchen der Geschlechtsmerkmale	Untersuchung der primären und/oder sekundären Geschlechtsmerkmale, beispielsweise Ausbildungsgrad der Schambehaarung.

Tabelle 2

*Beispiele non-invasiver Methoden zur Bestimmung des biologischen Entwicklungsstandes*

<b>Methode</b>	<b>Beschreibung der Methode</b>
Methode nach Mirwald	Messung von Körpergrösse in cm, Sitzgrösse in cm, Körpergewicht in kg. Die drei genannten anthropometrischen Messwerte bilden zusammen die Grundlage für die empfohlene Methode zur Bestimmung des körperlichen Reifegrades bei Adoleszenten Sportlern nach Mirwald, Baxter-Jones, Bailey & Beunen (2002).
Methode nach Khamis-Roche	Alter, Geschlecht, Grösse in cm, Gewicht in kg, Grösse der leiblichen Mutter in cm, Grösse des leiblichen Vaters in cm werden zur Bestimmung des Entwicklungsstandes und zur Voraussage der Körpergrösse im Erwachsenenalter verwendet (Khamis & Roche, 1994).
Methode nach Sherar	Alter, Körpergrösse in cm, Sitzgrösse in cm, Körpergewicht in kg und Alter beim grössten individuellen Wachstumsschub auch genannt Peak Height Velocity (PHV) werden zur Bestimmung des Entwicklungsstandes und zur Voraussage der Körpergrösse im Erwachsenenalter verwendet (Sherar et al., 2005).

Die Anwendung invasiver Methoden, ohne medizinische Indikation, ist zwar gegeben, allerdings in Frage zu stellen. Beispielsweise beim Einsatz des Röntgens wird der Körper ionisierter Strahlung ausgesetzt oder bei der Untersuchung der primären und/oder sekundären Geschlechtsmerkmale, wobei in die Privatsphäre eingedrungen wird. Mirwald et al., (2002) untersuchten, zum Zweck der punktuellen Kategorisierung Adoleszenter nach ihrem Entwicklungsstand mittels einer non-invasiven Methode, die Eignung anthropometrischer Merkmale. Unter Einbezug des chronologischen Alters wurden die Körpergrösse, Sitzgrösse und das Körpergewicht gemessen und konnten nach den erforderlichen statistischen Tests als zuverlässige Richtgrössen zur Bestimmung des Entwicklungsstandes, für Spieler im Alter zwischen 12 bis 16 Jahren und Spielerinnen im Alter von 10 bis 14 Jahren, befunden werden.

Ob nun invasiv oder non-invasiv, solche Messungen sind, wie dies Mirwald et al. (2002) ebenfalls festhalten, als Momentaufnahme zu verstehen und erlauben Aussagen über den Zustand zum entsprechenden Zeitpunkt und ungefähre Prognosen. Diese wiederum sind aber nicht als

endgültige Voraussagen zu verstehen, da die Adoleszenz ein dynamischer und komplexer Vorgang ist.

#### **1.4 Bio-Banding und die Anwendung im Nachwuchssport**

Der Wettkampfbetrieb von Nachwuchsspielern ist so adaptiert, dass die Bedingungen für die Ausübung möglichst den physischen und psychischen Möglichkeiten der Altersgruppen entsprechen. So beginnt die Spieleranzahl pro Mannschaft der Kategorie der F-Junioren, auf Rasen, in der Schweiz bei sieben. Über die Nachwuchskategorien hin zum Spielmodus mit elf Spielern wird diese Anzahl sukzessive gesteigert. Adaptionen erfahren auch die Spielfeldgrösse und die Anzahl an erlaubten Einwechslungen. Die Bedingungen werden weiterhin untersucht und es wird mit alternativen Spielmodi versucht, diese zum Vorteil der Nachwuchsentwicklung zu gestalten wie beispielsweise Hintermann, Born, Müller, Fuchslocher & Romann (2018) für die Kategorie der F-Junioren in der Schweiz. Der Wandel der Zeit und auch der Anforderungen im Fussball, in Kombination mit neuen Erkenntnissen und Ansätzen, bringen Änderungen mit sich, die nachhaltigere und erfolgreichere Talententwicklung in unterschiedlichen Aspekten anstreben. So auch den Ansatz des Bio-Banding (BB) im Nachwuchsfussball.

BB bezeichnet eine Massnahme, welche sich mit der Kategorisierung von Nachwuchsspielern im chronologischen Alter von 11 bis 15 Jahren beschäftigt (Malina et al., 2019). Dabei orientiert man sich, für die Einteilung von Trainings- und/oder Wettkampfgruppen, am biologischen Entwicklungsstand der Nachwuchs-Athleten, um die physische Komponente des RAE und dessen potentiell verzerrenden Einflüsse auf den Selektionsprozess vermindern zu können. Diese Kategorisierung von Nachwuchsspielern steht, in der vorliegenden Untersuchung, der heute gängigen Methode, der Einteilung nach chronologischem Alter (CA), gegenüber.

Der angestrebte positive Effekt von BB ist ein angemessener Stimulus in Training und Wettkampf. Frühentwickler können aufgrund physischer Vorteile erfolgreicher im Selektionsprozess sein, dadurch aber auch weniger gefordert werden von ihren gleichaltrigen Konkurrenten, deren physische Attribute schwächer ausgeprägt sind. Als Folge daraus, kann es dazu kommen, dass Frühentwickler unangemessen auf die Herausforderungen des Wettbewerbs gegen physisch stärkere oder gleich starke Konkurrenten vorbereitet sind (Cumming, Lloyd et al., 2017). Durch eine Intervention mit Bio-Banding könnten physisch bereits weiter entwickelte Spieler für eine erfolgreiche Teilnahme am Wettkampf dazu bewogen werden, sich weniger auf ihre physischen Attribute zu verlassen (B. Bradley et al., 2019; Cumming, Brown et al., 2017; Cumming, Lloyd et al., 2017; Malina et al., 2015). Dadurch wären sie gefordert, die im späteren

Selektionsprozess an Wichtigkeit zunehmenden, taktischen und technischen Kompetenzen (Huijgen, Elferink-Gemser, Lemmink & Visscher, 2014) stärker auszuspielen und zu entwickeln. Qualifizierte Spätentwickler unter den Nachwuchsspielern hingegen, könnten sich in einem, dem physischen Entwicklungsstand angepassten, Wettkampfumfeld behaupten und Schlüsselrollen übernehmen, die Ihnen üblicherweise im Setting nach CA nicht zuteil werden (B. Bradley et al., 2019; Cumming, Brown et al., 2017; Cumming, Lloyd et al., 2017; Malina et al., 2015). Ein zu berücksichtigender Faktor ist auch die psychologische Betreuung der Früh- und Spätentwickler, um Ihnen bei der Einordnung, der für sie neuen Situationen, Hilfestellung zu leisten. Sowohl Früh- als auch Spätentwickler begegnen in einem BB-Setting neuen Herausforderungen. Frühentwickler können unerwartet körperlich ebenbürtigen Konkurrenten gegenüberstehen und in Zweikämpfen öfter als gewohnt das Nachsehen haben. Spätentwickler können sich mit Aufgaben konfrontiert sehen, die bisher nicht gekannte Führungsrollen mit sich bringen (Hill et al., 2020). Cumming, Brown et al. (2017) bezeichnen BB-Interventionen als geeignete Ergänzung zum regulären Trainings- und Wettkampfbetrieb. Dabei sind auch die Nachwuchsspieler, deren biologischer Entwicklungsstand dem ihres chronologischen Alters entspricht, die so genannten Normalentwickler, zu berücksichtigen. In den unterschiedlichen Settings und im Wettkampfbetrieb sollen diese ebenfalls einen angemessenen Stimulus erhalten. Cumming, Lloyd et al. (2017) merkten zudem an, dass in BB-Interventionen der technische und psychologische Entwicklungsstand nicht ausgeschlossen werden sollte. Diese Faktoren könnten in der Bildung von Wettkampf- und Trainingssettings ebenfalls berücksichtigt und gewinnbringend in den Prozess eingebunden werden.

Die bisher beobachteten und dokumentierten Effekte von BB auf die physischen Faktoren und diverse, spielspezifische Aspekte, sind für den Fussball noch limitiert, aber bereits vorhanden. Spielspezifische Aspekte wurden in der Studie von Abbott, Williams, Brickley & Smeeton (2019) und einer Pilotstudie von Romann, Lüdin & Born (2020) unter anderen untersucht. Abbott et al. (2019) stellten signifikant mehr kurze Pässe bis 20 m und signifikant weniger lange Pässe über 20 m bei Spät- und Normalentwicklern im BB-Setting gegenüber des CA-Settings fest. Romann et al. (2020) stellten eine Tendenz zu einem ausgeglicheneren Ballbesitzverhältnis zwischen den konkurrierenden Teams im BB-Setting fest, wobei eine Effektstärke von  $d = 0.69$  festgestellt wurde. Die Zeit pro Aktion, in welcher die Spieler im Ballbesitz waren, wurde im Mittel ebenfalls als kürzer beobachtet.

Im BB-Setting von Romann et al. (2020) fanden zudem signifikant mehr Zweikämpfe und Standardsituationen, mit Effektstärken über  $d = 0.89$  respektive  $d = 1.00$ , statt. Bei Spätentwicklern

im speziellen, stellten Abbott et al. (2019) gegenüber dem CA-Setting eine signifikant erhöhte Anzahl an erfolgreichen Zweikämpfen fest, bei denen es zu einem Ballbesitzwechsel kam. Dies lässt eine Verbindung zu den diversen Vermutungen über eine Veränderung der Bedingungen der physischen Komponente für Spätentwickler im BB-Setting zu (B. Bradley et al., 2019; Cumming, Brown et al., 2017; Cumming, Lloyd et al., 2017; Malina et al., 2015).

Spätentwickler legten in der Untersuchung von Abbott et al. (2019) im CA-Setting signifikant mehr Distanzen in explosiver Art zurück und hatten signifikant höhere RPE-Werte als die Nachwuchsspieler, die als Früh- und Normalentwickler kategorisiert waren. Durch eine hohe körperliche Beanspruchung, welche von einzelnen Spielern als überschwellig empfunden werden kann, besteht die Möglichkeit, dass der spielerische Anteil mit Aktionen am Ball zu kurz kommt. Romann et al. (2020) halten fest, dass das BB-Setting die Entwicklung des spielerischen Anteils am Ball im speziellen unterstützen kann. In der Studie von Romann et al. (2020) wurden, bei allen Gruppen im BB-Setting, signifikant weniger gelaufene Distanzen in den Geschwindigkeitsbereichen von 5.8 - 11.5, 11.5 - 15.8 und 15.8 - 20 km/h als im CA-Setting aufgezeichnet. Obwohl in dieser Weise weniger physische Belastung quantifiziert wurde, lassen die erhobenen Daten von Romann et al. (2020) keinen Schluss auf ein qualitativ minderwertiges Spiel zu. Frühentwickler wiesen im BB-Setting von Abbott et al. (2019) signifikant höhere RPE-Werte als im CA-Setting auf. Dies stützt die Annahmen betreffend angemessenem physischem Stimulus im BB-Setting (Cumming, Lloyd et al., 2017) und legt BB als ein ausgleichendes Instrument in der Talententwicklung nahe. Zudem spielt dies auch der Aussage von Cumming, Brown et al. (2017) zu, BB als Intervention einzusetzen um die Nachwuchsspieler in einer breiten Palette der verschiedenen Aspekte des Fußballs zu schulen. Um die Effekte auf die physischen Belastungsfaktoren eines BB-Settings objektiv zu veranschaulichen und mit denen eines CA-Settings zu vergleichen, bietet es sich an, die Unterschiede in der Belastung mittels der Anzahl gemessener Beschleunigungen zu erheben. Hiermit ist auch das Ziel nahegelegt, eine möglichst akkurate Abbildung dieser Auswirkungen auf die physischen Belastungsindikatoren der Spieler zu erreichen.

## **1.5 Quantifizierung von Belastung im Fußball und Belastungsprofile**

Physische Belastungsmerkmale werden in unterschiedlicher Weise an Athleten gemessen und ausgewertet. Bei der Auswahl, der geeigneten Mittel zur Belastungsquantifizierung spielen die spezifischen Charakteristika der jeweiligen Sportart eine Schlüsselrolle. Diverse Mannschaftssportarten weisen repetitive Sprintbelastungen in Aktionen über die entsprechende Spielzeit

auf, so auch Fussball (Bishop, Girard & Mendez-Villanueva, 2011; Spencer, Bishop, Dawson & Goodman, 2005). Diese Belastungen beanspruchen sowohl das zentrale Nervensystem, als auch die aeroben und anaeroben Systeme (Perrey, Racinais, Saimouaa & Girard, 2010; Spencer et al., 2005). Fussball zeichnet sich im speziellen durch zahlreiche hochintensive Sprints und Aktionen aus, die von niedrigintensiven Phasen unterbrochen werden. Die jeweilige Ausprägung des Verhältnisses und die zurückgelegten Distanzen in den Intensitätszonen hängen von der jeweiligen Position eines Spielers ab (Di Salvo et al., 2007).

Im Fussball ist die Aufzeichnung von Positionsdaten zur Darstellung von zurückgelegten Distanzen in verschiedenen Geschwindigkeits- und/oder Intensitätskategorien stark verbreitet. Diese Belastungsprofile basieren häufig auf den bewältigten Distanzen und/oder der Dauer, während der sich die Spieler in bestimmten Geschwindigkeitsbereichen befinden (Sonderegger, Tschopp & Taube, 2016). Dadurch werden allerdings Beschleunigungen ausser Acht gelassen, welche zumeist nicht in der Statistik erfasst werden, in ihrer Art aber nahezu maximal sind. Deshalb ist anzunehmen, dass die effektive Belastung höher ist, als mit den gängigen Methoden aufgezeichnet wird (Dwyer & Gabbett, 2012). Dabei stellen intensive Beschleunigungen und intensives Abbremsen signifikante Belastungen für die Körper und Energiesysteme der Spieler dar (Harper et al., 2019). Mittels den Daten aus den Aufzeichnungen von Positionsbestimmungssystemen wie beispielsweise Local Positioning Measurement (LPM) oder GPS können aus den absolvierten Beschleunigungen, deren Anzahl und Intensitätskategorie akkurate Schlüsse über die Belastung eines Spielers, während eines bestimmten Beobachtungszeitraumes, gezogen werden (Gaudino et al., 2013; Osgnach et al., 2010). Dadurch würden im Bereich des Belastungsmonitorings die Aussagen über die Beanspruchung der Spieler weiter präzisiert. Allerdings werden, in der Erstellung von Beschleunigungsprofilen gängigen Praxis, die Beschleunigungswerte mit absoluten Schwellenwerten und Bereichen angegeben. Dabei wird die jeweilige Initialgeschwindigkeit eines Spielers bei einer entsprechenden Beschleunigung nicht berücksichtigt (Sonderegger et al., 2016), wodurch Verzerrungen in der akkuraten Darstellung von Belastung entstehen können. Dazu Sonderegger et al. (2016) weiter:

Acceleration is the change in speed over time ( $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ). The largest increase in speed is at the beginning of the action, which then plateaus out with increasing running speed [10]. Therefore, the change in speed over time (= acceleration) decreases with increasing running speed, and maximal acceleration occurs at the beginning of the action. Thus, it can be assumed that maximal voluntary acceleration is lower when accelerations are

initiated from low or moderate running speeds than from standstill. Therefore, commonly used absolute acceleration thresholds (e.g.,  $> 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ) disregard the different acceleration capacities from different initial running speeds. (S. 2)

Als hoch kategorisierte Beschleunigungen mit geringen Initialgeschwindigkeiten werden dadurch über- und als tief kategorisierte Beschleunigungen mit hohen Initialgeschwindigkeiten unterbewertet (Sonderegger et al., 2016). Tatsächlich konnte festgestellt werden, dass mit höheren Initialgeschwindigkeiten signifikant geringere, maximale Beschleunigungen erzielt werden konnten (Sonderegger et al., 2016). Um diesen Bias aus der Erstellung von Beschleunigungsprofilen entfernen zu können, haben Fischer-Sonderegger, Taube, Rumo & Tschopp (2019) eine neue Herangehensweise entwickelt. In dieser wird die prozentuale Beschleunigung anhand des Verhältnisses zwischen der maximalen Beschleunigung der jeweiligen Aktion und der maximalen, willentlich erreichbaren Beschleunigung errechnet, welche für den entsprechende Initialgeschwindigkeitsbereich erreicht werden kann. Dieselbe Methode soll in der vorliegenden Arbeit adaptiert und zur Analyse der BB- und CA-Spielbedingung und deren unterschiedliche Auswirkungen auf die objektiv messbare Belastung der untersuchten Nachwuchsspieler verwendet werden. Dies genau aus dem Grund, dass der Bias in der Erfassung und Kategorisierung von Beschleunigungen damit möglichst vermieden werden und ein möglichst akkurates Bild der Belastung wiedergegeben werden soll.

## **1.6 Ziel und konkrete Fragestellungen**

Ziel der vorliegenden Arbeit ist

1) zur Quantifizierung der Anzahl hochintensiver Beschleunigungen die acc%-Methode einzuführen und mit klassischen Methoden, die absolute Schwellenwerte verwenden (acc-abs), zu vergleichen.

2) den Effekt von BB auf die Anzahl Beschleunigungen bei U13- und U14-Nachwuchsfussballer mit der adaptierten Methode nach Fischer-Sonderegger et al. (2019) (acc%) zu untersuchen und

Fragestellung:

- 1) Welche Effekte hat Bio-Banding auf physische Belastungsindikatoren in Abhängigkeit des biologischen Entwicklungsstands bei U13 und U14-Nachwuchsfussballspielern?
- 2) Welche Unterschiede sind in der Erfassung und Kategorisierung von Belastungen nach den Methoden acc% und acc-abs festzustellen?

## 2 Methoden

### 2.1 Untersuchungsgruppe

Die Untersuchungsgruppe bestand aus  $n = 81$  männlichen Elite-Nachwuchsspielern von vier verschiedenen Schweizer Fussballteams. Zum Zeitpunkt der Teilnahme waren die Spieler seit  $4.2 \pm 0.7$  Jahren mit einer offiziellen Spielberechtigung ausgestattet. Die Vereine waren Teil des Nachwuchsprogramms des Schweizerischen Fussballverbandes. Die Untersuchung wurde, nach Zustimmung der Ethik-Kommission (Bundesamt für Sport BASPO; Nr. 2019/079), in Übereinstimmung mit den Richtlinien der Deklaration von Helsinki durchgeführt.

Aufgrund des Umstands, dass Beschleunigungswerte in dieser Untersuchung eine zentrale Rolle spielen, wurden die Torhüter aus der Datenanalyse ausgeschlossen. Durch fehlerhafte und fehlende Daten mussten weitere Spieler aus der Untersuchung exkludiert werden. Dadurch flossen in die effektive Datenanalyse die Daten von 36 Spielern, aus den Kategorien U13 ( $n = 20$ ) und U14 ( $n = 16$ ) im Alter von  $12.6 \pm 0.5$  Jahren ein.

### 2.2 Untersuchungsdesign

Die Untersuchung der vorliegenden Arbeit wurde in einem randomisierten Cross-Over-Studiendesign durchgeführt. Die Nachwuchsspieler traten dabei bei jeweils zwei Messterminen in einem Spielformat mit neun gegen neun Spielern, inklusive Torhüter, an. Die Spiele wurden in zwei Halbzeiten à 35 min, unterbrochen von 10 min Halbzeitpause pro Spiel, durchgeführt. Jeder Proband führte je ein Spiel in der BB- und CA-Bedingung durch, und behielt dieselbe Spielerposition in beiden Spielen, welche zeitlich eine Woche auseinander lagen. Gespielt wurde für die vorliegende Untersuchung auf Naturrasen mit Spielfeldmassen 70 x 55 m bei trockenen Bedingungen. Die Umgebungstemperatur bei den Messungen betrug  $17.55 \pm 4.23$  °C (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, Messstation Grenchen).

### 2.3 Untersuchungsinstrumente

#### 2.3.1 Bio-Banding.

**Bestimmung des biologischen Entwicklungsstands.** Als Methode zur Einteilung der Spieler nach biologischem Alter wurden die Parameter nach Mirwald et al. (2002) verwendet. Die für

die Gleichung benötigten Masse der Körpergröße in cm, der Sitzgröße in cm und des Körpergewichts in kg wurden mit einem Stadiometer (Seca 217, Seca, Hamburg, Germany) und einer Körperwaage (Seca 876, Seca, Hamburg, Germany) pro Subjekt ermittelt. Die Messungen wurden, standardisiert und nach vorgesehenem Protokoll, durch ausgebildete Sportwissenschaftler, zwei Wochen vor Beginn der ersten Spieldarstellung durchgeführt. Die Einteilung als Früh-, Spät- oder Normalentwickler erfolgte nach der Gleichung von Mirwald et al. (2002) zur Berechnung des Maturity Offset (MO). Als MO wird die errechnete Differenz in Jahren, zwischen dem Messzeitpunkt der anthropometrischen Daten, zum grössten individuellen Wachstumsschub ausgedrückt.

***Kategorisierung der Spieler nach Entwicklungsstand.*** Die erhobenen Spiele wurden unter den Bedingungen chronologisches Alter (CA) und Bio-Banding (BB) durchgeführt, wobei diese randomisiert auf die verschiedenen Untersuchungstermine angewandt wurden.

Die Einteilung der Spieler in der BB-Spielbedingung erfolgte nach dem individuell errechneten MO, wobei der Median, der  $n = 81$  Spieler,  $-1.4$  Jahren entsprach. Spieler mit einem  $MO \leq -1.4$  Jahren wurden in der BB-Spielbedingung der Untergruppe  $BB_{\text{unteresBand}}$  des Teams ihres Vereins zugeteilt, Spieler mit einem  $MO > -1.4$  Jahren in der Untergruppe  $BB_{\text{oberesBand}}$  des Teams ihres Vereins. Für die Datenanalyse wurden die Spieler in vier Untergruppen aufgeteilt, wofür sowohl chronologisches Alter als auch MO berücksichtigt wurden.

Daraus folgten die Kategorien  $U_{13\text{normal}}$  mit  $U_{14\text{spät}}$ , die der Untergruppe  $BB_{\text{unteresBand}}$  angehörten und  $U_{13\text{früh}}$  und  $U_{14\text{normal}}$ , die der Untergruppe  $BB_{\text{oberesBand}}$  angehörten. Die Gruppe bildete in der weiteren Analyse den Zwischensubjektfaktor in der mixed ANOVA.

Für die Spielbedingung CA wurden die Spieler nach ihrem chronologischen Alter eingeteilt ( $U_{13}$  mit  $CA \leq 12.7$  und  $U_{14}$  mit  $CA > 12.7$ ).

Tabelle 3

*Deskriptive Darstellung anthropologischer- und Alterscharakteristika in den vier Untergruppen*

	Untergruppen			
	U <sub>13normal</sub> (n = 12)	U <sub>13früh</sub> (n = 8)	U <sub>14spät</sub> (n = 12)	U <sub>14normal</sub> (n = 7)
<i>Merkmal</i>				
Chronologisches Alter [Jahre]	12.4 ± 0.5	12.4 ± 0.2	13.0 ± 0.5	13.0 ± 0.6
Maturity offset [Jahre]	-1.9 ± 0.3	-1.2 ± 0.3	-1.6 ± 0.4	-1.3 ± 0.4
Grösse [cm]	148.5 ± 4.9	157.9 ± 5.9	148.9 ± 3.9	152.3 ± 4.0
Sitzgrösse [cm]	75.9 ± 2.7	81.6 ± 1.7	75.9 ± 2.2	78.2 ± 2.4
Körpergewicht [kg]	37.1 ± 3.9	45.7 ± 5.1	39.2 ± 2.9	42.3 ± 2.5

*Anmerkungen.* Die aufgeführten Werte stellen Mittelwerte ± Standardabweichungen dar. U<sub>13normal</sub> = U13-Spieler in der Untergruppe BB<sub>unteresBand</sub>; U<sub>13früh</sub> = U13-Spieler in der Untergruppe BB<sub>oberesBand</sub>; U<sub>14spät</sub> = U14-Spieler in der Untergruppe BB<sub>unteresBand</sub>; U<sub>14normal</sub> = U14-Spieler in der Untergruppe BB<sub>oberesBand</sub>.

**Belastungsindikatoren.** Die Aufzeichnung der Positionsdaten für die Ermittlung der Belastungsindikatoren wurde mittels Local Positioning Measurement (inmotiotec GmbH, Regau, Österreich) vorgenommen. Die Datenauswertung der Beschleunigungen erfolgte unter Ausschluss von Ereignissen mit  $v_{\max} < 1.2$  m/s und/oder  $\Delta v_{\max} - v_{\text{init}} < 0.9$  m/s (Fischer-Sonderegger et al., 2019).

Es wurden lediglich positive Beschleunigungswerte in die Datenanalyse einbezogen. Die Torhüterpositionen wurden aus dem Datensatz entfernt. Subjekte, bei denen unvollständige oder fehlerhafte Aufzeichnungen des LPM vorlagen wurden für die weitere Datenanalyse ebenfalls aus dem Datensatz entfernt.

### 2.3.2 Methodenvergleich für die Erfassung und Kategorisierung von Beschleunigungen.

**Kategorisierung von Beschleunigungen mit relativen Schwellenwerten (acc%).** Die Initialgeschwindigkeitsbereiche kommen analog zur Vorgehensweise nach Fischer-Sonderegger et al. (2016) bei der Erstellung der Belastungsprofile zur Anwendung. Sonderegger et al. (2016) ermittelten die individuellen, maximalen Beschleunigungswerte für unterschiedliche, vordefinierte Initialgeschwindigkeiten. Da in der vorliegenden Untersuchung keine individuellen maximalen Beschleunigungswerte erhoben wurden, wurden die Mittelwerte der maximalen Beschleunigungswerte aller Probanden, deren Daten für die vorliegende Untersuchung verwendet

werden konnten ( $n = 72$ ), pro Initialgeschwindigkeitsbereich ermittelt. Diese Mittelwerte bildeten die Grundlage für die Kategorisierung der Beschleunigungen in Relation zur  $a_{\max}$  pro Initialgeschwindigkeitsbereich. Die Initialgeschwindigkeitsbereiche (Tabelle 4) wurden in Intervallen von 0.5 m/s gesetzt, um eine grössere Anzahl an Datenpunkten zu generieren und eine zuverlässige Regressionsfunktion bilden zu können.

Tabelle 4

*Deskriptive Auflistung der ermittelten maximalen Beschleunigungswerte für die Erstellung der Belastungsprofile nach der acc%-Methode*

Initialgeschwindigkeit [m/s]	Mittelwert $a_{\max} \pm$ Standardabweichung [m/s <sup>2</sup> ]	Varianz
< 0.50	4.53 $\pm$ 1.17	0.02
< 1.00	4.94 $\pm$ 0.82	0.02
< 1.50	4.93 $\pm$ 0.52	0.02
< 2.00	4.85 $\pm$ 0.46	0.02
< 2.50	4.30 $\pm$ 0.53	0.02
< 3.00	3.66 $\pm$ 0.70	0.02
< 3.50	3.13 $\pm$ 0.70	0.02
< 4.00	2.55 $\pm$ 0.70	0.02
< 5.00	2.12 $\pm$ 0.59	0.07
< 6.00	1.56 $\pm$ 0.53	0.07

*Anmerkungen.* Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung der jeweils höchsten, individuell erzielten Beschleunigungen ( $a_{\max}$ ) von  $n = 72$  auswertbaren Probanden pro Initialgeschwindigkeitsbereich ( $v_{\text{init}}$ ) aus den Spielbedingungen BB und CA.

Die Beschleunigungen wurden, ausgehend von den ermittelten Mittelwerten pro Initialgeschwindigkeit, als sehr gering ( $Z1 < 25\% a_{\max}$ ), gering ( $Z2 \geq 25\% a_{\max}$  und  $< 50\% a_{\max}$ ), moderat ( $Z3 \geq 50\% a_{\max}$  und  $< 75\% a_{\max}$ ) und hoch ( $Z4 \geq 75\% a_{\max}$ ) analog der Vorgehensweise von Fischer-Sonderegger et al. (2019) nach Intensität der Beschleunigung kategorisiert.

***Kategorisierung von Beschleunigungswerten mit absoluten Schwellenwerten (acc-abs).*** Für den Methodenvergleich wird zusätzlich zur Methode acc% auf die acc-abs Methode zurückgegriffen. Dabei werden die Intensitäten von Beschleunigungen nach definierten Schwellenwer-

ten nach Akenhead, Hayes, Thompson & French (2013) eingeteilt in sehr geringe Beschleunigung ( $> 0.0$  und  $\leq 1.0$  m/s<sup>2</sup>) geringe Beschleunigung ( $> 1.0$  und  $\leq 2.0$  m/s<sup>2</sup>), moderate Beschleunigung ( $> 2.0$  und  $\leq 3.0$  m/s<sup>2</sup>) und hohe Beschleunigung ( $> 3.0$  m/s<sup>2</sup>). Ein weiterer Schwellenwert für hohe Beschleunigungen ( $> 4.0$  m/s<sup>2</sup>) nach P. S. Bradley et al. (2010) wird in dieser Untersuchung analog zur Vorgehensweise von Fischer-Sonderegger et al. (2019) einbezogen. Für die vorliegende Untersuchung wurden die gängigen Schwellenwerte nach Harley et al. (2010) angepasst, um den Probanden der Kategorien U13 und U14 zu entsprechen.

Tabelle 5

*Auflistung der verwendeten absoluten Schwellenwerte für die Kategorisierung von Beschleunigungen nach der Methode acc-abs*

Schwellenwerte nach Akenhead et al. (2013) & P. S. Bradley et al. (2010)	Adaptierte Schwellenwerte (Faktor 0.8)
$> 0.0$ und $\leq 1.0$ m/s <sup>2</sup>	$> 0.0$ und $\leq 0.8$ m/s <sup>2</sup>
$> 1.0$ und $\leq 2.0$ m/s <sup>2</sup>	$> 0.8$ und $\leq 1.6$ m/s <sup>2</sup>
$> 2.0$ und $\leq 3.0$ m/s <sup>2</sup>	$> 1.6$ und $\leq 2.4$ m/s <sup>2</sup>
$> 3.0$ m/s <sup>2</sup>	$> 2.4$ m/s <sup>2</sup>
$> 4.0$ m/s <sup>2</sup>	$> 3.2$ m/s <sup>2</sup>

*Anmerkungen.* Die Werte wurden aus der gängigen Praxis der Kategorisierung von Beschleunigungen aus dem Elitebereich übernommen und nach Harley et al. (2010) mit dem Faktor 0.80 multipliziert der von den Elitewerten abgeleitet wurde um einen Wert für die Nachwuchsathleten der Kategorien U13 und U14 zu bestimmen.

**Vergleich der unterschiedlichen Methoden.** In dieser Untersuchung wurde (2019) die acc%-Methode verglichen mit der acc-abs-Methode. Die zwei unterschiedlichen Schwellenwerte für hohe Beschleunigungen  $> 3$  m/s<sup>2</sup> und  $> 4$  m/s<sup>2</sup>, respektive für diese Untersuchung  $> 2.4$  m/s<sup>2</sup> (acc-abs 2.4) und  $> 3.2$  m/s<sup>2</sup> (acc-abs 3.2), wurden für den Vergleich als eigenständige Methoden behandelt.

Analog zur Vorgehensweise von Fischer-Sonderegger et al. (2019) wird die Anzahl erfasster Beschleunigungen der höchsten Schwelle pro Methode (acc%, acc-abs 2.4 und acc-abs 3.2) verglichen und unterteilt in die Initialgeschwindigkeitsbereiche  $< 1$  m/s,  $< 2$  m/s,  $< 3$  m/s,  $< 4$  m/s und  $> 4$  m/s, was auf der Vorgehensweise von Varley & Aughey (2013) basiert. Die Aufteilung nach Initialgeschwindigkeiten dient dazu die Aussage zu überprüfen, ob durch den Ein-

satz absoluter Schwellenwerte Beschleunigungen mit niedrigen Initialgeschwindigkeiten überbewertet werden (Sonderegger et al., 2016). Zudem erfolgt ein Direktvergleich der totalen Anzahl erfasster Beschleunigungen der höchsten Kategorie pro Methode.

Tabelle 6

*Angewandte Methoden zur Erstellung der Belastungsprofile*

<b>Methode</b>	<b>Beschreibung der Methode</b>
Methode mit absoluten Schwellenwerten	Festgesetzte, absolute Beschleunigungsbereiche für die Erstellung von Beschleunigungsprofilen, wobei differenziert wird zwischen sehr geringe Beschleunigung 0.0 - 0.8 m/s <sup>2</sup> , geringe Beschleunigung > 0.8-1.6 m/s <sup>2</sup> , moderate Beschleunigung > 1.6-2.4 m/s <sup>2</sup> und hohe Beschleunigung > 2.4 m/s <sup>2</sup> und ergänzt um > 3.2 m/s <sup>2</sup> analog zu (Fischer-Sonderegger et al., 2019) und angepasst um den Faktor 0.8 nach Harley et al. (2010).
Methode mit relativen Schwellenwerten nach Fischer-Sonderegger et al. (2019)	Festsetzen der Initialgeschwindigkeitsbereiche und bestimmen der Schwellenwerte für die Beschleunigungskategorisierung pro Initialgeschwindigkeitsbereich als sehr gering (< 25% $a_{max}$ ), gering (< 50% $a_{max}$ ), moderat (< 75% $a_{max}$ ) und hoch ( $\geq$ 75% $a_{max}$ ).

## 2.4 Datenanalyse

**2.4.1 Untersuchung des Effekts von Bio-Banding.** Die abhängigen Variablen von  $n = 36$  Probanden wurden auf Normalverteilung überprüft. Für die Variable der Beschleunigungen in Zone 4 der Spielbedingung CA (CAZ4, Tabelle 7) wurde die Johnson-Transformation angewendet, um die Bedingung der Normalverteilung zu erfüllen. Die aufgezeichneten Daten wurden auf Varianz- und Kovarianzhomogenität mittels Levene- ( $p > 0.05$ ) respektive Box-Test ( $p > 0.05$ ) überprüft. Das statistische Signifikanzniveau  $\alpha$  wurde auf  $p < 0.05$  festgesetzt, um den Effekt einer möglichen Interaktion zwischen Spielbedingung und Gruppenzuteilung zu ermitteln. Das partielle Eta-Quadrat ( $\eta_p^2$ ) wurde für die Analyse der Effektstärke berechnet. Das  $\eta_p^2$  wird als kleiner- ( $\eta_p^2 < 0.06$ ), mittelgradiger- ( $0.06 \leq \eta_p^2 < 0.14$ ) oder grosser Effekt ( $\eta_p^2 \geq 0.14$ ) definiert.

Für die Datenanalyse in der vorliegenden Untersuchung wurde eine mixed ANOVA für die Spielbedingungen BB und CA durchgeführt. Als Zwischenssubjektfaktor diente die Gruppenzugehörigkeit (U13<sub>normal</sub>, U13<sub>früh</sub>, U14<sub>spät</sub>, U14<sub>normal</sub>). Als Innersubjektfaktor diente das Spielformat (BB, CA). Als Post-hoc-Tests wurden der Tukey-Test für die Annahme der Varianzgleichheit und der Games-Howell-Test für die Annahme der Varianzungleichheit verwendet.

Die acht Variablen wurden nach den Spielbedingungen und den verschiedenen Intensitätszonen sehr gering ( $Z1 < 25\% a_{\max}$ ), gering ( $Z2 \geq 25\% a_{\max}$  und  $< 50\% a_{\max}$ ), moderat ( $Z3 \geq 50\% a_{\max}$  und  $< 75\% a_{\max}$ ) und hoch ( $Z4 \geq 75\% a_{\max}$ ) definiert. Für die mixed ANOVA wurden jeweils die gleichen Intensitätszonen der beiden Spielformate gegenübergestellt.

Tabelle 7

*Herleitung der Definition, der untersuchten Variablen für den Effekt des Spielformats*

Kategorisierung der Beschleunigungen				
<i>Spielformat</i>	Z1	Z2	Z3	Z4
BB	BBZ1	BBZ2	BBZ3	BBZ4
CA	CAZ1	CAZ2	CAZ3	CAZ4

*Anmerkungen.* Z1 = sehr gering; Z2 = gering; Z3 = moderat; Z4 = hoch; BBZ1 = Variable für die Anzahl Beschleunigungen der Spielbedingung BB für Z1; BBZ2 = Variable für die Anzahl Beschleunigungen der Spielbedingung BB für Z2; BBZ3 = Variable für die Anzahl Beschleunigungen der Spielbedingung BB für Z3; BBZ4 = Variable für die Anzahl Beschleunigungen der Spielbedingung BB für Z4; CAZ1 = Variable für die Anzahl Beschleunigungen der Spielbedingung CA für Z1; CAZ2 = Variable für die Anzahl Beschleunigungen der Spielbedingung CA für Z2; CAZ3 = Variable für die Anzahl Beschleunigungen der Spielbedingung CA für Z3; CAZ4 = Variable für die Anzahl Beschleunigungen der Spielbedingung CA für Z4

Die statistischen Verfahren wurden in IBM SPSS Statistics (Version 27.0.0) durchgeführt. Ergänzende Berechnungen der F-Tests für die Varianzvergleiche unabhängig des Zwischensubjektfaktors der Gruppe und die Berechnung von Cohen's  $d$  wurden in Microsoft Excel (Version 16.48) durchgeführt.

#### **2.4.2 Methodenvergleich relativer und absoluter Beschleunigungskategorisierungen.**

Für den Methodenvergleich der relativen und absoluten Beschleunigungskategorisierungen wurde, aufgrund der Verletzung der Bedingungen der Normalverteilung und der Kovarianzhomogenität, deskriptive Statistik in Form von Balkendiagrammen mit Mittelwert und Standardabweichung angewendet. Die Mittelwerte basieren dabei auf den Aufzeichnungen beider Spielbedingungen pro Spieler, um ein vollständiges Spiel von 70 min abzubilden.

Zudem wurde auf einen nichtparametrischen Friedman-Test zur Feststellung signifikanter Unterschiede in den Mittelwerten und Post-hoc-Wilcoxon-Tests für die Paarvergleiche zurückgegriffen. Cohens  $d$  wurde berechnet, um die Effektstärke der paarweisen Vergleiche bestimmen zu können.

### 3 Resultate

#### 3.1 Effekt der Spielbedingung BB

**3.1.1 Interaktion Bedingung\*Gruppe.** Für die Variablen BBZ2 und CAZ2 konnte eine statistisch signifikante Interaktion für Bedingung\*Gruppe festgestellt werden,  $F(3, 32) = 14.574$ ,  $p < 0.001$ , partielles eta-quadrat = 0.577. Die Resultate für die Interaktionen sind in Tabelle 8 dargestellt. Diese Interaktion zeigt sich im signifikanten Unterschied der Mittelwerte erfasster Beschleunigungen der Gruppe U13<sub>früh</sub> und U14<sub>spät</sub> für die beiden Spielformate. Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung für die verschiedenen Gruppen in den beiden Spielformaten sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 8

*Aufführung der Interaktionen zwischen Spielbedingung, als Innersubjekt- und Gruppe als Zwischensubjektfaktor*

Intensitätszone	$df_Z$	$df_N$	$F$	$\eta_p^2$	$p$ -Wert
Zone 1	3	32	1.357	0.113	0.274
Zone 2	3	32	14.574	0.577 <sup>°</sup>	<b>0.001*</b>
Zone 3	3	32	1.311	0.109	0.288
Zone 4	3	32	1.383	0.115	0.266

*Anmerkungen.*  $df_Z$  = Freiheitsgrade des Zählers;  $df_N$  = Freiheitsgrade des Nenners;  $F$  = F-Statistik;  $\eta_p^2$  = partielles Eta-Quadrat; Zone 1 = Ergebnis der mixed ANOVA der Variablen BBZ1 und CAZ1 mit Beschleunigungen  $< 25\% a_{max}$ ; Zone 2 = Ergebnis der mixed ANOVA der Variablen BBZ2 und CAZ2 mit Beschleunigungen  $\geq 25\% a_{max}$ ,  $< 50\% a_{max}$ ; Zone 3 = Ergebnis der mixed ANOVA der Variablen BBZ3 und CAZ3 mit Beschleunigungen  $\geq 50\% a_{max}$ ,  $< 75\% a_{max}$ ; Zone 4 = Ergebnis der mixed ANOVA der Variablen BBZ4 und CAZ4 mit Beschleunigungen  $\geq 75\% a_{max}$ ; <sup>°</sup>weist hin auf  $\eta_p^2 > 0.14$  als Effektmass; \* weist auf die Signifikanz der Interaktion mit einem  $p$ -Wert von  $< 0.05$  hin.

Tabelle 9

Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen der erfassten Beschleunigungen mit der acc%-Methode pro Intensitätskategorie

	U13normal			U13früh			U14spät			U14normal		
	BB	CA	ES	BB	CA	ES	BB	CA	ES	BB	CA	ES
Zone 1	128.33 $\pm$ 14.72	113.83 $\pm$ 25.79	0.69	128.50 $\pm$ 16.03	123.00 $\pm$ 15.16	0.35	129.89 $\pm$ 16.16	122.33 $\pm$ 22.15	0.39	107.43 $\pm$ 20.47	113.43 $\pm$ 16.47	-0.32
Zone 2	270.58 $\pm$ 27.87	266.08 $\pm$ 42.30	0.13	<b>296.00</b> $\pm$ <b>65.74*</b>	251.75 $\pm$ 51.27	0.75	<b>243.78</b> $\pm$ <b>25.95°</b>	294.67 $\pm$ 34.79	-1.66	276.29 $\pm$ 29.43	298.43 $\pm$ 57.64	-0.48
Zone 3	84.75 $\pm$ 19.02	93.75 $\pm$ 24.26	-0.41	96.00 $\pm$ 28.15	89.50 $\pm$ 13.64	0.29	79.67 $\pm$ 19.06	91.56 $\pm$ 22.79	-0.56	85.00 $\pm$ 24.75	92.71 $\pm$ 20.20	-0.34
Zone 4	19.50 $\pm$ 7.66	25.25 $\pm$ 16.71	-0.44	26.88 $\pm$ 15.38	23.38 $\pm$ 8.00	0.29	20.00 $\pm$ 11.30	36.67 $\pm$ 25.53	-0.84	27.71 $\pm$ 11.13	45.00 $\pm$ 35.23	-0.66

*Anmerkungen.* U13 normal = Spieler der Kategorie U13, der Untergruppe BB unteres Band; U13 früh = Spieler der Kategorie U13, der Untergruppe BB oberes Band; U14 spät = Spieler der Kategorie U14, der Untergruppe BB unteres Band; U14 normal = Spieler der Kategorie U13, der Untergruppe BB oberes Band; ES = Effektstärke (Cohen's  $d$ ); BB = Spielbedingung Bio-Banding; CA = Spielbedingung nach chronologischem Alter; \* bezeichnet den signifikant höheren Wert gegenüber U13früh im Vergleich zum CA-Setting derselben Gruppe auf dem Niveau  $p < 0.05$ ; °bezeichnet den signifikant tieferen Wert gegenüber U14spät im Vergleich zum BB-Setting derselben Gruppe auf dem Niveau  $p < 0.001$

**3.1.2 Haupteffekt der Innersubjektvariable Bedingung.** Es trat ein signifikanter Haupteffekt der Bedingung für die Variablen BBZ4 und CAZ4 auf,  $F(1, 32) = 164.306$ ,  $p < 0.001$  partielles eta-quadrat 0.837, dargestellt in Tabelle 10. Dies zeigt sich im Unterschied der aggregierten Mittelwerte für die Zone 4, der Spielformate BB und CA in Tabelle 11.

Es trat ein signifikanter Haupteffekt der Bedingung für die Variablen BBZ4 und CAZ4 auf,  $F(1, 32) = 164.306$ ,  $p < 0.001$  partielles eta-quadrat 0.837, dargestellt in Tabelle 10. Dies zeigt sich im Unterschied der aggregierten Mittelwerte für die Zone 4, der Spielformate BB und CA in Tabelle 11.

Tabelle 10

*Darstellung des Haupteffekts der Innersubjektvariable unabhängig von der Gruppe*

Intensitätszone	$df_z$	$df_N$	$F$	$\eta_p^2$	$p$ -Wert
Zone 1	1	32	2.179	0.064	0.150
Zone 2	1	32	1.344	0.040	0.255
Zone 3	1	32	2.459	0.071	0.127
Zone 4	1	32	164.306	0.837	<b>0.001*</b>

*Anmerkungen.*  $df_z$  = Freiheitsgrade des Zählers;  $df_N$  = Freiheitsgrade des Nenners;  $F$  = F-Statistik;  $\eta_p^2$  = partielles Eta-Quadrat.

Tabelle 11

*Aggregierte Mittelwerte der Spielbedingungen pro Intensitätskategorie*

	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Zone 4		
	BB	CA	ES	BB	CA	ES	BB	CA	ES	BB	CA	ES
Mittelwert $\pm$	124.7	117.9	0.5	270.6	276.3	-0.1	86.0	92.1	-0.3	<b>22.9</b>	31.5	-0.5
SD	$\pm$	$\pm$		$\pm$	$\pm$		$\pm$	$\pm$		$\pm$	$\pm$	
	18.0	20.8		41.8	47.9		22.2	20.3		<b>11.4*</b>	23.1	

*Anmerkungen.* BB = Spielformat Bio-Banding; CA = Spielformat chronologisches Alter; ES = Effektstärke (Cohen's  $d$ ); \*bezeichnet den signifikant tieferen Wert gegenüber CA im Vergleich der Intensitätskategorie Z4 auf dem Niveau  $p < 0.05$ .

**3.1.3 Vergleich der Varianzen unabhängig vom Zwischensubjektfaktor.** Signifikante Unterschiede zwischen den Varianzen der einzelnen Untersuchungsbedingungen, unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit, konnten mittels einem F-Test zwischen den Variablen BBZ1 und CAZ1 ( $F(35,35) = 0.75, p = 0.199, n = 36$ ) und zwischen den Variablen BBZ2 und CAZ2 ( $F(35,35) = 0.76, p = 0.214, n = 36$ ) festgestellt werden (Anhang 1). Kein statistisch signifikanter Unterschied konnte zwischen den Varianzen von BBZ3 und CAZ3 und auch für BBZ4 und CAZ4 festgestellt werden.

## 3.2 Methodenvergleich zur Kategorisierung von Beschleunigungen

**3.2.1 Lineare Regressionsfunktion.** Aus der Ermittlung der Mittelwerte aller maximalen, individuell erzielten Beschleunigungswerten pro Initialgeschwindigkeitsbereich, ging die lineare Regressionsfunktion  $y = -0.7304x + 5.5258$  hervor.

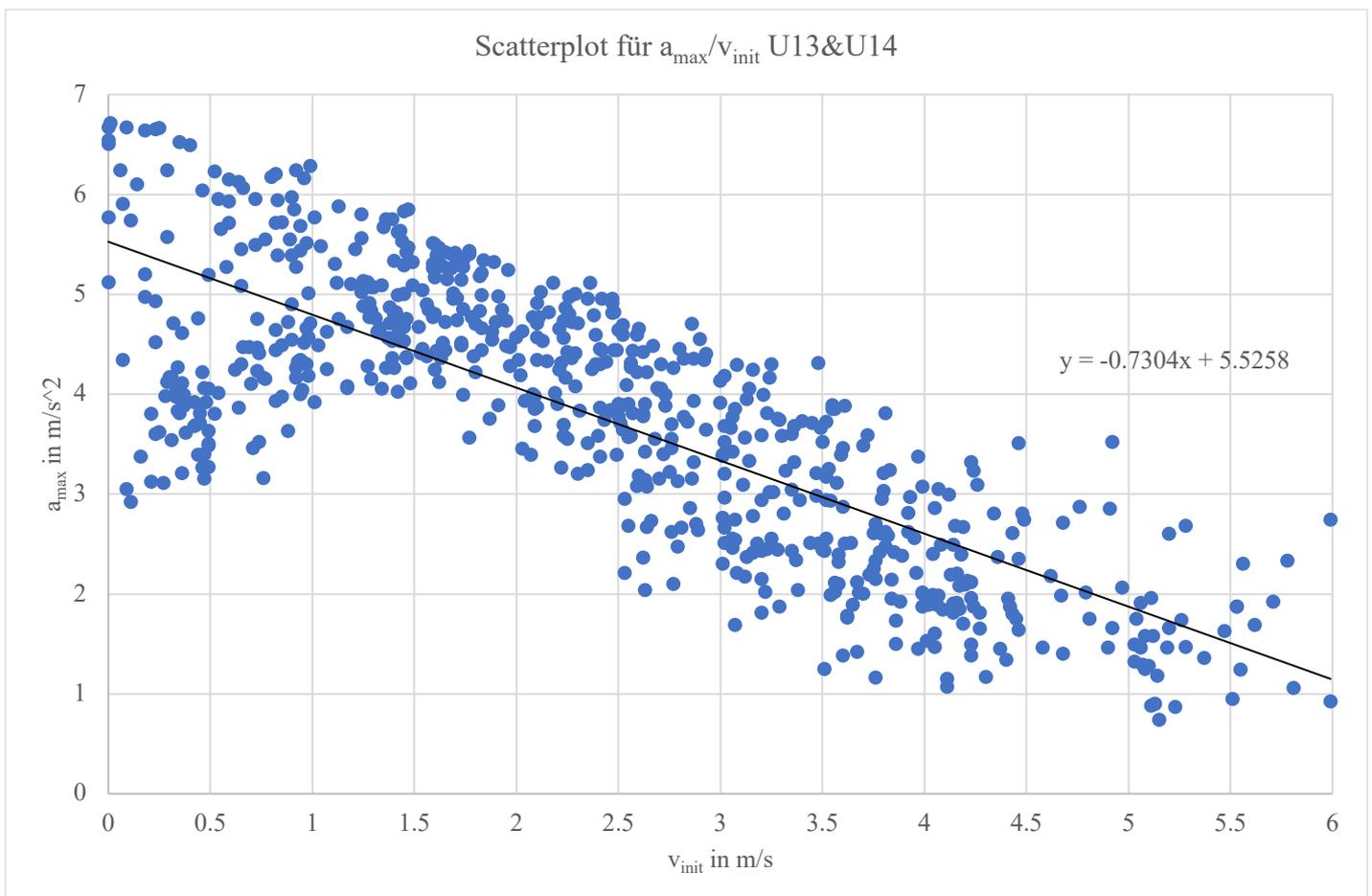


Abbildung 1. Anhäufung der Datenpunkte, aller erfassten maximalen Beschleunigungen für die Initialgeschwindigkeitsbereiche auf der x-Achse, aller Probanden deren Ereignisse ausgewertet werden konnten ( $n = 72$ ).

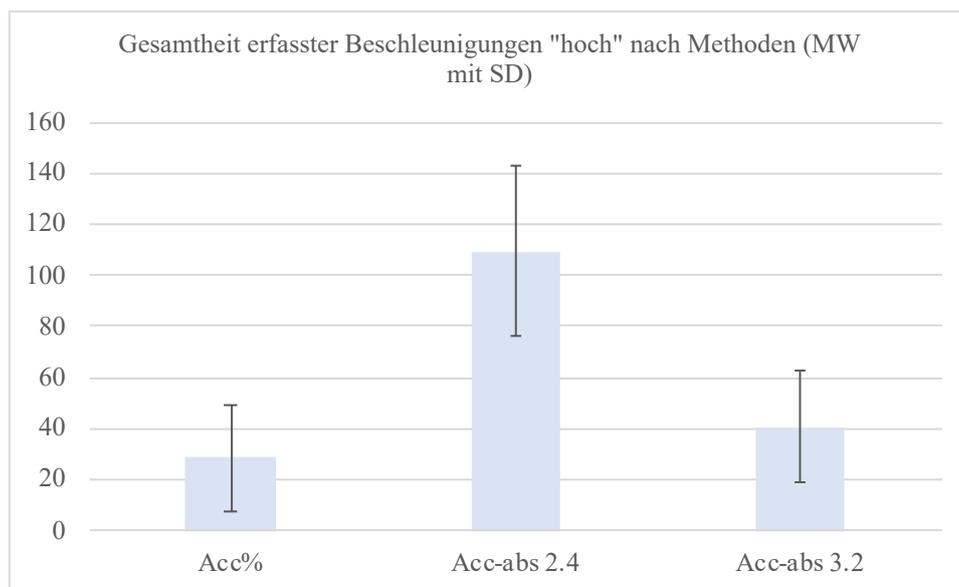
**3.2.2 Vergleich der totalen Anzahl von Beschleunigungen der höchsten Kategorie.** Die gesamten Anzahlen der erfassten Beschleunigungen der höchsten Kategorie für die Methoden acc%, acc-abs 2.4 und acc-abs 3.2 ist in Tabelle 12 ersichtlich. Eine grafische Unterstützung zur Veranschaulichung der Unterschiede dieser Werte aus Tabelle 12 ist zudem in Abbildung 3 gegeben.

Tabelle 12

*Deskriptive Darstellung der Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung erfasster Beschleunigungen pro Methode*

	acc%	acc-abs 2.4	acc-abs 3.2
Mittelwert $\pm$ SD	28.6 $\pm$ 20.8	109.6 $\pm$ 33.7	40.56 $\pm$ 21.7

*Anmerkungen.* Die erfassten Werte gelten als Mittelwerte für eine volle Spielzeit von 70 min.



*Abbildung 2.* Grafische Darstellung der Mittelwerte mit Standardabweichung der Gesamtheit erfasster Beschleunigungen, der als „sehr hoch“ kategorisierten Beschleunigungen pro Methode.

### 3.2.3 Vergleich der Anzahl von Beschleunigungen pro Initialgeschwindigkeitsbereich.

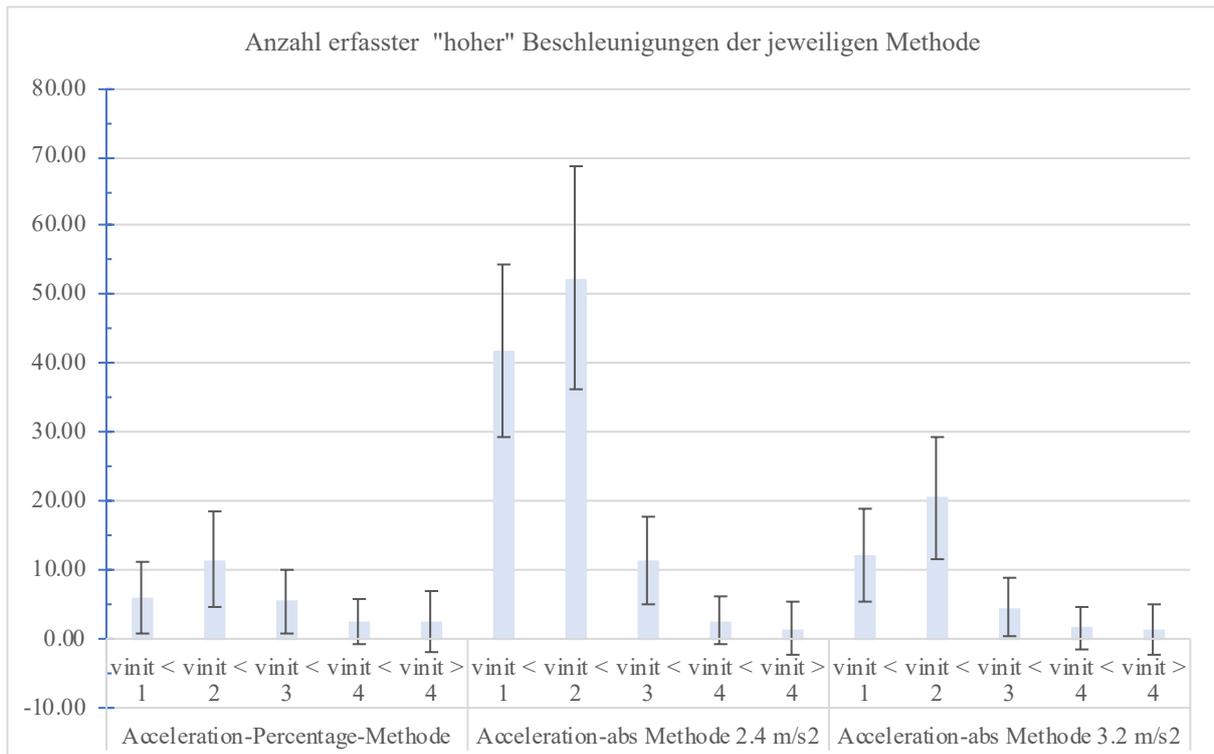
In Tabelle 13 findet sich die deskriptive Darstellung aller Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, der erfassten Beschleunigungen pro Initialgeschwindigkeitsbereich, der höchsten erfassten Kategorie der jeweiligen Methoden. Eine grafische Unterstützung zur Veranschaulichung der Unterschiede dieser Werte aus Tabelle 13 ist zudem in Abbildung 2 gegeben.

Tabelle 13

*Deskriptive Darstellung der Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung erfasster Beschleunigungen pro Initialgeschwindigkeitsbereich der jeweiligen Methode*

Methode	v <sub>init</sub> < 1	v <sub>init</sub> < 2	v <sub>init</sub> < 3	v <sub>init</sub> < 4	v <sub>init</sub> > 4
acc%	6.16 $\pm$ 5.11	11.62 $\pm$ 7.01	5.54 $\pm$ 4.62	2.69 $\pm$ 3.35	2.58 $\pm$ 4.40
acc-abs 2.4	41.97 $\pm$ 12.59	52.45 $\pm$ 16.10	11.32 $\pm$ 6.39	2.72 $\pm$ 3.50	1.51 $\pm$ 3.82
acc-abs 3.2	12.26 $\pm$ 6.68	20.62 $\pm$ 8.81	4.70 $\pm$ 4.07	1.65 $\pm$ 3.03	1.34 $\pm$ 3.66

*Anmerkung.* Mittelwerte der Probanden, für die eine komplette Spielzeit von 70 min in mindestens einer Spielbedingung erfasst wurden. acc% = adaptierte Methode nach Fischer-Sonderegger et al. (2019); acc-abs 2.4 = adaptierte Methode mit absoluten Schwellenwerten nach Akenhead et al. (2013); acc-abs 3.2 = adaptierte Methode mit absoluten Schwellenwerten nach P.S. Bradley et al. (2010).  $n = 72$



*Abbildung 3.* Grafische Darstellung der Mittelwerte mit Standardabweichung erfasster Beschleunigungen der als „hoch“ kategorisierten Beschleunigungen (Z4) pro Methode.

Die statistischen Unterschiede sind in den Ergebnissen des Post-hoc-Wilcoxon Tests in Tabelle 14 ersichtlich.

Tabelle 14

*Paarweise Vergleiche der Methoden mit Post-hoc-Wilcoxon-Test*

Paarweiser Vergleich	Z-Wert	p-Wert	ES
<i>v<sub>init</sub> 1</i>			
acc% - accabs2.4	-7.476	< 0.001*	-3.726
acc% - accabs3.2	-7.490	< 0.001*	-1.025
accabs2.4 - accabs3.2	-7.476	< 0.001*	2.984
<i>v<sub>init</sub> 2</i>			
acc% - accabs2.4	-7.476	< 0.001*	-3.288
acc% - accabs3.2	-7.482	< 0.001*	-1.131
accabs2.4 - accabs3.2	-7.477	< 0.001*	2.452
<i>v<sub>init</sub> 3</i>			
acc% - accabs2.4	-7.436	< 0.001*	-1.038
acc% - accabs3.2	-5.437	< 0.001*	0.192
accabs2.4 - accabs3.2	-7.433	< 0.001*	1.236
<i>v<sub>init</sub> 4</i>			
acc% - accabs2.4	-0.044	0.965	-0.008
acc% - accabs3.2	-4.610	< 0.001*	0.326
accabs2.4 - accabs3.2	-6.439	< 0.001*	0.326
<i>v<sub>init</sub> &gt; 4</i>			
acc% - accabs2.4	-5.675	< 0.001*	0.259
acc% - accabs3.2	-5.934,	< 0.001*	0.307
accabs2.4 - accabs3.2	-2.754,	0.006°	0.047

*Anmerkungen.* ES = Effektstärke (Cohen's *d*)  $v_{init} 1$  = Initialgeschwindigkeit < 1 m/s;  $v_{init} 2$  = Initialgeschwindigkeit < 2 m/s;  $v_{init} 3$  = Initialgeschwindigkeit < 3 m/s;  $v_{init} 4$  = Initialgeschwindigkeit < 4 m/s; acc% = Beschleunigungserfassung nach acc%-Methode; acc-abs2.4 = Beschleunigungserfassung nach Methode mit absoluten Schwellenwerten bis 2.4 m/s<sup>2</sup>; acc-abs3.2 = Beschleunigungserfassung nach Methode mit absoluten Schwellenwerten bis 3.2 m/s<sup>2</sup>; \*bezeichnet einen signifikanten Unterschied auf dem Niveau  $p < 0.001$ ; °bezeichnet einen signifikanten Unterschied auf dem Niveau  $p < 0.05$ .

## 4 Diskussion

Ziel der Arbeit war die Untersuchung des Effekts von BB auf die Anzahl Beschleunigungen bei U13- und U14-Nachwuchsfussballern mit der adaptierten Methode acc% und in einem weiteren Schritt die Anwendung der acc%-Methode zur Quantifizierung der Anzahl hochintensiver Beschleunigungen um sie mit den klassischen acc-abs-Methoden, die absolute Schwellenwerte verwenden, zu vergleichen.

### 4.1 Effekt der Spielbedingung Bio-Banding

Für die Gruppen U13<sub>früh</sub> und U14<sub>spät</sub> konnte ein signifikanter Interaktionseffekt für die beiden Spielbedingungen BB und CA in den Mittelwerten der erfassten Beschleunigungen der Intensitätszone Z2 (gering) festgestellt werden (Tabelle 8 & 9). So wurden für die Gruppe U13<sub>früh</sub> signifikant mehr Beschleunigungen im BB-Setting ( $p < 0.05$ ) in der für Z2 (gering) verzeichnet. Für die Gruppe U14<sub>spät</sub> konnte im Gegensatz dazu eine signifikant geringere Anzahl an Beschleunigungen im BB-Setting ( $p < 0.001$ ) verzeichnet werden. Diese Interaktion lässt einen klaren Unterschied erkennen, der den erwarteten Effekt für die Untergruppen U13<sub>früh</sub> und U14<sub>spät</sub> abbildet, allerdings durch die Klassifizierung der Beschleunigung als gering, relativiert wird. Statistisch signifikante Interaktionseffekte in den moderaten und hohen Intensitätszonen Z3 und Z4, über 50 % der relativen Schwelle, bleiben aus. Möglicherweise würde die tiefere Betrachtung der Beschleunigungen für Z2 weitere Schlüsse erlauben, die den Charakter submaximaler Beschleunigungen, beispielsweise in Bezug auf die Startgeschwindigkeit oder andere, belastungsrelevante Faktoren erlauben.

Towilson et al. (2020) äusserten die Vermutung, dass die begrenzten räumlichen Spielbedingungen in Small-Sided-Games (SSG), welche in ihrer Untersuchung zur Anwendung kamen zu wenig Gelegenheiten für maximale Beschleunigungen boten. Sie vermuteten zudem, dass die Spielzeiten von jeweils 5 Minuten zu kurz angesetzt seien, um darin eine Feststellung physischer Vor- und/oder Nachteile zwischen Früh- und Spätentwicklern derselben Alterskategorie zu treffen. Die Ergebnisse aus einer Untersuchung von Djaoui, Chamari, Owen & Dellal (2017) zeigen, dass die maximalen Sprintgeschwindigkeiten (MSG) in SSG im Vergleich zur MSG in den untersuchten Spielen mit üblichen Spielfeldmassen geringer ist. Dies unterstützt die Vermutung von Towilson et. al (2020) zum Teil, da sich die Aussage auf die Spielfeldmasse bezieht, allerdings in Relation zu maximalen Geschwindigkeiten und nicht Beschleunigungen. Für die

vorliegende Untersuchung kann dieses Argument ausgeschlossen werden, da ein, für die entsprechende Alterskategorie, realistisches und wettbewerbsnahes Spielformat mit 2 x 35min, auf Naturrasen, mit Spielfeldmassen 70 x 55 m vorlag.

Eine weitere Aussage, die sich für die hier vorliegende Untersuchung treffen lässt, betrifft die Quantität der Belastung in den Spielbedingungen, unabhängig vom Zwischensubjektfaktor Gruppe. Der Haupteffekt der Innersubjektvariable (Tabelle 10) für die Gesamtheit an erfassten Beschleunigungen für Z4 war in der Spielbedingung BB auf einem Niveau von  $p < 0.05$  signifikant geringer als für die Bedingung CA (Tabelle 11). Dadurch lässt sich vermuten, dass das Niveau der Belastung in der Spielbedingung BB, für die hohen Belastungen über 75% der relativen Schwelle abnahm. Trotz des statistisch signifikanten Unterschieds, muss hier allerdings in Betracht gezogen werden, dass sich unterschiedliche Spiele in Verlauf und Intensität ebenfalls unterscheiden können und auch dies eine Rolle gespielt haben könnte.

Bei deskriptiver Betrachtung der ausgewerteten Daten liessen sich Unterschiede beobachten, die in den F-Tests (Anhang 1) signifikant geringere Varianzen für die BB-Bedingung in den Zonen 1 und 2 gegenüber der CA-Bedingung feststellen liessen. Dies lässt den Schluss zu, dass die Belastung und die Anzahl der Beschleunigungen zwischen den Probanden für die entsprechenden Intensitätszonen ausgeglichener auf die Spieler verteilt wird. Bei tieferer Betrachtung mit einer grösseren Anzahl von Probanden/Daten könnten möglicherweise noch deutlichere Unterschiede in den Varianzen, aus der Auswertung von positionsspezifischen Daten hervorgehen. Der angestrebte positive Effekt, angemessener Stimuli in Training und Wettkampf für die Nachwuchsathleten kann für die Spielbedingung BB in dieser Untersuchung also bedingt, aber nicht vollumfänglich festgestellt werden.

Der Sachverhalt der Spezifität gewisser Positionen, legt die Frage nahe, ob die Ermittlung individueller, maximaler Beschleunigungswerte bei bestimmten Initialgeschwindigkeiten unter isolierten Testbedingungen (Fischer-Sonderegger et al., 2019; Sonderegger et al., 2016) eine notwendige Massnahme ist. Djaoui et al. (2017) konnten feststellen, dass Spieler auf den Ausenpositionen sowohl höhere MSG in der Spielsituation und in Relation zur, durch Test ermittelten, MSG erzielten, als die Spieler der zentralen Positionen. Dies galt sowohl für Verteidigungs-, als auch Mittelfeldpositionen und kann die Vermutung nach positionsspezifischen maximalen Beschleunigungswerten in-Situ aufwerfen. Da MSG und maximale Beschleunigungswerte aber nicht direkt aufeinander schliessen lassen, lässt sich daraus keine zuverlässige Aussage betreffend der Positionsspezifität von Beschleunigungen ableiten. Morin et al. (2021) beobachteten starke interindividuelle Unterschiede zwischen den einzelnen Spielern. Zudem

konnten sie feststellen, dass sich in-Situ zuverlässige maximale Beschleunigungswerte für einzelne Spieler ableiten lassen.

Im BB-Setting konnte bei Frühentwicklern (U13<sub>früh</sub>), ausserhalb der Intensitätskategorie Z2, keine signifikant höhere, quantifizierte Belastung festgestellt werden (Abbott et al., 2019). Ebenfalls fiel der erwartete Effekt der geringeren Belastungen, ausserhalb der Intensitätskategorie Z2, für Späentwickler (U14<sub>spät</sub>) aus (Tabelle 9). In dieser Arbeit stand die Analyse physiologischer und nicht psychologischer oder technisch-taktischer Indikatoren im Vordergrund. Ob ein Effekt die Probanden der Gruppe U13<sub>früh</sub> zum verstärkten Einsatz ihrer technisch-taktischen Fähigkeiten bewegte, und die erhoffte Übernahme von Schlüsselrollen der Gruppe U14<sub>spät</sub> (B. Bradley et al., 2019; Cumming, Brown et al., 2017; Cumming, Lloyd et al., 2017; Malina et al., 2015) kann also nicht beantwortet werden.

Fraglich ist, ob die mehrfache Wiederholung der Spielformate dazu hätte führen können, dass der erwartete Paradigmenwechsel stattgefunden hätte und anhand der Beschleunigungswerte deutlicher erkennbar gewesen wäre. BB-Interventionen können, wie bereits durch Cumming, Brown et al. (2017) suggeriert, als Ergänzung zum regulären Trainings- und Wettkampfbetrieb eingesetzt werden.

#### **4.2 Methodenvergleich zur Erfassung und Kategorisierung von Beschleunigungen**

Die lineare Abnahme der maximalen Beschleunigungswerte mit zunehmender Initialgeschwindigkeit konnte in dieser Untersuchung, wie bei Sonderegger et al. (2016), ebenfalls festgestellt werden. Die Regressionsfunktion in der vorliegenden Untersuchung (Abbildung 1) weist allerdings eine stärkere negative Steigung und einen geringeren Intercept auf der y-Achse auf (Sonderegger et al.  $y = -0.23x + 5.99$ ; vorliegende Untersuchung  $y = -0.73x + 5.53$ ). Der tiefere Intercept könnte daraus folgen, dass die Probanden der Kategorien U13 und U14 in dieser Untersuchung jünger sind als die Probanden der Studie von Sonderegger et al. (2016) und damit der Entwicklungsunterschied und die damit einhergehenden Leistungsunterschiede abgebildet werden, was auch bereits von Harley et al. (2010) beobachtet und beschrieben wurde.

**4.2.1 Totale Anzahl von Beschleunigungen pro Methode.** Die gesamte Anzahl der erfassten Beschleunigungen der höchsten Kategorie für acc-abs2.4 war 3.83 mal höher als für acc% und auch 2.70 mal höher als für acc-abs3.2, und im Vergleich acc-abs 3.2 mit acc% noch 1.42 mal höher (Tabelle 12).

Bei der Interpretation der Resultate liegt es nahe, dass die Methode acc-abs2.4, der Funktion der linearen Abnahme von willentlichen, maximalen Beschleunigungen bei steigender Initialgeschwindigkeit nicht gerecht werden kann. In den Daten, die für diese Untersuchung erhoben wurden, ist ein Intercept von  $5.53 \text{ m/s}^2$  bei einer Initialgeschwindigkeit von 0 und nur äusserst wenigen Datenpunkten unter der Schwelle von  $2.4 \text{ m/s}^2$  bis zu einer Initialgeschwindigkeit von  $2 \text{ m/s}$ , zu beobachten. Auch ausgehend vom Schwellenwert von  $3 \text{ m/s}^2$ , der für Eliteathleten angewandt wird, lässt sich feststellen, dass die Probanden der Kategorien U13 und U14 diesen bei tiefen Initialgeschwindigkeiten deutlich überschreiten (Abbildung 1). Die Beobachtung mit der acc-abs Methode scheint also lediglich eine Aussage über die Beschleunigung an sich und nicht deren Intensität für den Athleten zu treffen. Dadurch werden maximale Beschleunigungen mit hohen Beschleunigungen fälschlicherweise als Beschleunigungen tiefer, absoluter Schwellenwerte klassifiziert und verzerren die akkurate Abbildung der erfahrenen Belastung der Athleten bezüglich ihren Beschleunigungsprofilen. Diese Aussage lässt sich auch für die Methode acc-abs3.2 treffen, wenngleich sich auch die Unterschiede in der Gesamtzahl der erfassten Beschleunigungen, bei grafischer Betrachtung (Abbildung 2) nicht in derselben Deutlichkeit zeigen. Fischer-Sonderegger et. al (2019) trafen die Aussage, dass ein höher angesetzter absoluter Schwellenwert, das Problem der falschen Klassifizierung maximaler Beschleunigungen gar noch verstärkt.

**4.2.2 Methodenvergleich unter Einbezug der Initialgeschwindigkeiten.** An sich ergibt sich für die Methode acc% rein grafisch ein ausgewogenes Profil von Beschleunigungen (Abbildung 3), der höchsten Kategorie über dem Schwellenwert von 75% der  $a_{\max}$ , für die entsprechenden Initialgeschwindigkeitsbereiche. Im Vergleich dazu führte die gängige Methode acc-abs2.4 mit absoluten Schwellenwerten, wie bereits angenommen, eine deutlich höhere Anzahl an Beschleunigungen der höchsten Intensitäts-Kategorie (Tabelle 13 & 14), für die Initialgeschwindigkeiten  $v_{\text{init}} < 1$  m/s,  $v_{\text{init}} < 2$  m/s und  $v_{\text{init}} < 3$  m/s mit hohen Effektstärken auf (Tabelle 14). Die Aussagen von Sonderegger et al. (2016), Fischer-Sonderegger et al. (2019) betreffend der festgestellten Überbewertung- und von P. S. Bradley et al. (2010) bezüglich der Vermutung der Überbewertung, von als hoch klassifizierten Beschleunigungen in tiefen Initialgeschwindigkeitsbereichen, können damit für diese Gegenüberstellung als bestätigt angesehen werden. Dies konnte in den dargestellten Mittelwerten grafisch (Abbildung 3) für die Initialgeschwindigkeiten  $< 1$ ,  $< 2$  und  $< 3$  m/s klar sichtbar gemacht werden. Bereits Fischer-Sonderegger et al. (2019) beobachteten ähnliche Resultate im Vergleich der Methoden zur Erstellung und Kategorisierung von Beschleunigungsprofilen mit absoluten und relativen Schwellenwerten. Diese Unterschiede sind mittels der Ergebnisse des Post-hoc-Wilcoxon-Tests auf einem  $\alpha$ -Niveau von  $p < 0.001$  (Tabelle 14) deutlich ersichtlich.

In der Methode acc-abs2.4 war der Anteil der als sehr hoch erfassten Beschleunigungen, mit Initialgeschwindigkeiten ( $v_{\text{init}}$ ) unter 2 m/s bei 85.9 %. Im Vergleich steht in der acc%-Methode ein Anteil von 62.2 % der als hoch erfassten Beschleunigungen, mit Initialgeschwindigkeiten unter 2 m/s, mehr als zwei Dritteln in den Initialgeschwindigkeiten über 2 m/s gegenüber. Die zusammengefassten Mittelwerte, erfasster Beschleunigungen für  $v_{\text{init}} < 2$  m/s, der höchsten Kategorie der acc-abs2.4-Methode, sind 2.9 mal höher als für die Methode acc-abs3.2 und 5.3 mal höher als für die Methode acc%. Zu beachten ist, dass eine Initialgeschwindigkeit von 2 m/s einem Tempo von 7.2 km/h entspricht, was als gehen klassifiziert wird (Rampinini et al., 2007). Beschleunigungen, die während eines Fussballspiels bei geringen  $v_{\text{init}}$  gestartet werden, überschreiten häufig bereits den Schwellenwert von  $3 \text{ m/s}^2$  (Abbildung 1). Dies zeigt auf, wie bereits Fischer-Sonderegger et al. (2019) formulierten, dass ein absoluter Schwellenwert von  $3 \text{ m/s}^2$  eine massive Überbewertung von Beschleunigungen, gestartet aus tiefen Initialgeschwindigkeiten, begünstigen kann.

## 4.3 Limitationen

**4.3.1 Effekt von Bio-Banding.** In der vorliegenden Untersuchung wurden im Vorfeld keine individuellen, maximalen Beschleunigungswerte für die unterschiedlichen Initialgeschwindigkeitsbereiche ermittelt (Tabelle 4). Die zu Grunde liegenden Werte für die Berechnung und die Kategorisierungen in der Methode acc% basieren auf Mittelwerten. Durch das Mitteln der vorhandenen Daten, liegt nahe, dass die Schwellenwerte für die Berechnung der relativen Beschleunigungskategorien eine Verzerrung für die Individuen erfahren und somit die Aussage der Ergebnisse an Präzision einbüsst. Die Genauigkeit könnte hier durch die Erhebung individueller, maximaler Beschleunigungswerte für die einzelnen Initialgeschwindigkeitsbereiche (Fischer-Sonderegger et. al 2019) oder über mehrere Begegnungen (Morin et al., 2021) erhöht werden.

Die Berücksichtigung der Positionsspezifität der Belastung (Di Salvo et al., 2007; Djaoui et al., 2017; Morin et al., 2021) hätte dieser Untersuchung ebenfalls eine höhere Genauigkeit in der Erstellung der Belastungsprofile ermöglichen können. Für die Berücksichtigung der Positionsspezifität hätte allerdings, um eine zuverlässigen Aussage treffen zu können, eine grössere Zahl an Daten erhoben werden müssen. Dann hätte der Faktor der Position miteinbezogen werden können, da auch unterschiedlichen, mögliche Spielweisen der Positionen existieren. Durch eine höhere Probandenanzahl pro Position würden sich die unterschiedlichen Spielweisen möglicherweise austarieren.

Eine weitere Möglichkeit wäre das Mitteln der Werte für Spieler auf Aussenpositionen und der Innenpositionen von Mittelfeld- und Verteidigungsspielern, da Djaoui et al. (2017) feststellten, dass diese Aussen- und Innenpositionen deutliche Unterschiede aufweisen. Künftige Untersuchungen könnten sich dabei auf diesen Unterschied konzentrieren und untersuchen, ob BB als positionsspezifische Massnahme ein geeignetes Instrument für Interventionen in der Nachwuchsentwicklung ist.

Es erlaubt sich auch die Frage, ob eine mehrfache Wiederholung der Spielformate dazu hätte führen können, dass der erwartete Effekt hätte beobachtet werden können. Die Messungen wurden mit konstanten Bedingungen betreffend Umfeld, Messgeräten und Vorgehen durchgeführt. Im besonderen Kontext einer Spielsportart, bei der Verlauf und Ausgang eines Spiels durch zahlreiche Faktoren beeinflusst werden, muss in Betracht gezogen werden, dass eine einmalige

Veränderung der Spielbedingung mit sich bringen kann, dass sich die Spieler in der ungewohnten Spielbedingung zunächst noch zurechtfinden und etablieren müssen. Zudem ist auch die Gruppendynamik zu beachten, welche sich neu ergibt und sich möglicherweise noch angemessen entfalten muss.

Für die vorliegende Studie wurden lediglich physische Faktoren in Form von Beschleunigungen beobachtet. Die Berücksichtigung der Einflüsse auf die psychologischen-, technisch-taktischen- und weiteren Faktoren wurden unabhängig von dieser Untersuchung durchgeführt und hätten möglicherweise zusätzliche, interessante Schlüsse und Aussagen erlaubt. In den physischen Belastungsfaktoren wurden Ereignisse mit intensivem Abbremsen ebenfalls nicht berücksichtigt, obwohl diese nach Harper et al. (2019) ebenfalls relevante Belastungsereignisse darstellen.

**4.3.2 Methodenvergleich zur Erfassung und Kategorisierung von Beschleunigungen.** In der vorliegenden Untersuchung wurden zahlreiche Initialgeschwindigkeitsbereiche definiert (Tabelle 4), um aus der höheren Anzahl von Messbereichen eine akkurate Funktion extrapolieren zu können. Bei diesen Werten, die als Grundlage für die Kategorisierung der Beschleunigungsereignisse der einzelnen Spieler diente, handelt es sich um Mittelwerte der maximalen Beschleunigungswerte pro Initialgeschwindigkeitsbereich. Durch die interindividuellen Unterschiede der maximalen, individuellen Beschleunigungen pro Initialgeschwindigkeitsbereich, entsteht ein Bias, den die acc%-Methode eigentlich zu vermeiden versucht. Angenommen ein Spieler ist verglichen mit dem Mittelwert der Versuchsgruppe viel langsamer, kann es sein, dass er weniger hohe Beschleunigungswerte erreicht. Dadurch kann seine individuelle Belastung unterbewertet werden, da die maximalen Beschleunigungen für ihn schwieriger zu erreichen sind. Auf der anderen Seite kann die individuelle Belastung eines Spielers mit hohen Beschleunigungswerten im Vergleich zum Mittelwert überbewertet werden, da die maximalen Beschleunigungen pro Initialgeschwindigkeit für ihn einfacher zu erreichen sind. Blickt man allerdings auf die Varianzen für die gemittelten maximalen Beschleunigungen, ist diese Überlegung in der vorliegenden Untersuchung möglicherweise zu vernachlässigen (Tabelle 4).

## 5 Schlussfolgerung

### 5.1 Bio Banding

Im BB-Setting konnte bei Frühentwicklern ( $U13_{\text{früh}}$ ), ausserhalb der Intensitätskategorie Z2, keine signifikant höhere, quantifizierte Belastung festgestellt werden. Ebenfalls fiel der erwartete Effekt der geringeren Belastungen, ausserhalb der Intensitätskategorie Z2, für Spätentwickler ( $U14_{\text{spät}}$ ) aus. Ob ein Effekt die Probanden der Gruppe  $U13_{\text{früh}}$  zum verstärkten Einsatz ihrer technisch-taktischen Fähigkeiten bewegte und die erhoffte Übernahme von Schlüsselrollen der Gruppe  $U14_{\text{spät}}$  stattfand (B. Bradley et al., 2019; Cumming, Brown et al., 2017; Cumming, Lloyd et al., 2017; Malina et al., 2015), kann nicht beantwortet werden.

Fraglich ist, ob die mehrfache Wiederholung der Spielformate dazu hätte führen können, dass der erwartete Paradigmenwechsel stattgefunden hätte und anhand der Beschleunigungswerte deutlicher erkennbar gewesen wäre. BB-Interventionen können, wie bereits durch Cumming, Brown et al. (2017) suggeriert, als Ergänzung zum regulären Trainings- und Wettkampfbetrieb eingesetzt werden.

### 5.2 Methodenvergleich

Die acc%-Methode ist nicht in der Weise wie die acc-abs-Methoden mit der Tendenz der Unterbewertung von maximalen Beschleunigungen bei hohen Initialgeschwindigkeiten und der Überbewertung von submaximalen Beschleunigungen bei tiefen Initialgeschwindigkeiten konfrontiert. Diese Methode bringt den Vorteil mit sich, dass die Schwellenwerte auf der effektiven Performanz basieren, wie auch Fischer-Sonderegger (2019) feststellten.

Ausgehend von absoluten Schwellenwerten lässt sich feststellen, dass die Beobachtung mit der acc-abs Methode lediglich eine Aussage über die Beschleunigung an sich und nicht deren Intensität für den Athleten trifft. Dadurch werden maximale Beschleunigungen mit hohen  $v_{\text{init}}$  fälschlicherweise als tiefe Beschleunigungen klassifiziert werden und die akkurate Abbildung der quantifizierbaren, erfahrenen, physischen Belastung der Athleten verzerren. Fischer-Sonderegger et. al (2019) trafen zudem die Aussage, dass ein höher angesetzter absoluter Schwellenwert, das Problem der falschen Klassifizierung maximaler Beschleunigungen gar noch verstärkt.

Für die künftige Praxis könnte zudem überprüft werden, die Initialgeschwindigkeitsbereiche bis 2 m/s zu konsolidieren. Betrachtet man die Werte aus Tabelle 4, kann man erkennen, dass die maximalen Beschleunigungswerte der Initialgeschwindigkeitskategorien bis  $< 2.0$  m/s nahe

beieinander liegen. Die geringere maximale Beschleunigung aus einer Initialgeschwindigkeit von  $< 0.5 \text{ m/s}$  könnte aus der Massenträgheit folgen, die bei der Initiation einer Aktion aus dem Stillstand einberechnet werden muss. So könnte die Kategorisierung in der Praxis auch erst ab  $2 \text{ m/s}$  erfolgen, bzw. diese Initialgeschwindigkeiten in der Analyse zusammengefasst werden.

## **6 Danksagung**

Mein Dank geht an Lara und Rrahim für die Unterstützung während der Schreiberei mit Verständnis, Nahrung, Austausch und auch jegliche weitere Form der Unterstützung.

An Dennis Lüdin für die zuverlässige und hilfreiche Betreuung, den Austausch, die Geduld und das Verständnis.

Und an alle Personen, die sich die Zeit nehmen, dieses Dokument zu lesen, da es nachher mit grosser Wahrscheinlichkeit leider nur noch wenige Augenpaare beglückt.

## 7 Literatur

- Abbott, A., Button, C., Pepping, G.-J., & Collins, D. (2005). Unnatural selection: Talent identification and development in sport. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 9(1), 61–88.
- Abbott, W., Williams, S., Brickley, G., & Smeeton, N. J. (2019). Effects of Bio-Banding upon Physical and Technical Performance during Soccer Competition: A Preliminary Analysis. *Sports*, 7(8), 193. <https://doi.org/10.3390/sports7080193>
- Akenhead, R., Hayes, P. R., Thompson, K. G., & French, D. (2013). Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 556–561. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.005>
- Arrieta, H., Torres-Unda, J., Gil, S. M., & Irazusta, J. (2016). Relative age effect and performance in the U16, U18 and U20 European Basketball Championships. *Journal of Sports Sciences*, 34(16), 1530–1534. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1122204>
- Baker, G. T., & Sprott, R. L. (1988). Biomarkers of aging. *Experimental Gerontology*, 23(4), 223–239. [https://doi.org/10.1016/0531-5565\(88\)90025-3](https://doi.org/10.1016/0531-5565(88)90025-3)
- Bishop, D., Girard, O., & Mendez-Villanueva, A. (2011). Repeated-Sprint Ability—Part II. *Sports Medicine*, 41(9), 741–756. <https://doi.org/10.2165/11590560-000000000-00000>
- Bradley, B., Johnson, D., Hill, M., McGee, D., Kana-Ah, A., Sharpin, C., Sharp, P., Kelly, A., Cumming, S. P., & Malina, R. M. (2019). Bio-banding in academy football: Player's perceptions of a maturity matched tournament. *Annals of Human Biology*, 46(5), 400–408. <https://doi.org/10.1080/03014460.2019.1640284>
- Bradley, P. S., Di Mascio, M., Peart, D., Olsen, P., & Sheldon, B. (2010). High-Intensity Activity Profiles of Elite Soccer Players at Different Performance Levels. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(9), 2343–2351. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181aeb1b3>
- Campos, F. A. D., Pellegrinotti, Í. L., Campos, L. C. B., Dias, T. M. R., & Gómez, M.-Á. (2020). Relative Age Effect in the Girls' Volleyball U18 World Championship. *Journal of Human Kinetics*, 72, 195–202. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0106>
- Carling, C., Gall, F. L., Reilly, T., & Williams, A. M. (2009). Do anthropometric and fitness characteristics vary according to birth date distribution in elite youth academy soccer players? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(1), 3–9.

<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00867.x>

- Chumela, W. C., Roche, A. F., & Thissen, D. (1989). The FELS method of assessing the skeletal maturity of the hand-wrist. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council*, 1(2), 175–183. <https://doi.org/10.1002/ajhb.1310010206>
- Clarke, N. J., Cushion, C. J., & Harwood, C. G. (2018). Players' understanding of talent identification in early specialization youth football. *Soccer & Society*, 19(8), 1151–1165. <https://doi.org/10.1080/14660970.2018.1432388>
- Cobley, S., Baker, J., Wattie, N., & McKenna, J. (2009). Annual age-grouping and athlete development: A meta-analytical review of relative age effects in sport. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(3), 235–256. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939030-00005>
- Cumming, S., Brown, D., Mitchell, S., Bunce, J., Hunt, D., Hedges, C., Crane, G., Gross, A., Scott, S., Franklin, E., Breakspear, D., Dennison, L., White, P., Cain, A., Eisenmann, J., & Malina, R. (2017). Premier League academy soccer players' experiences of competing in a tournament bio-banded for biological maturation. *Journal of Sports Sciences*, 36, 1–9. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1340656>
- Cumming, S. P., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Eisenmann, J. C., & Malina, R. M. (2017). Bio-banding in Sport: Applications to Competition, Talent Identification, and Strength and Conditioning of Youth Athletes. *Strength & Conditioning Journal*, 39(2), 34–47. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000281>
- Delorme, N., Boiché, J., & Raspaud, M. (2010). Relative age and dropout in French male soccer. *Journal of Sports Sciences*, 28(7), 717–722. <https://doi.org/10.1080/02640411003663276>
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222–227. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924294>
- Djaoui, L., Chamari, K., Owen, A. L., & Dellal, A. (2017). Maximal Sprinting Speed of Elite Soccer Players During Training and Matches. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(6), 1509–1517. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001642>
- Dugdale, J. H., Sanders, D., Myers, T., Williams, A. M., & Hunter, A. M. (2020). A case study comparison of objective and subjective evaluation methods of physical qualities in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 38(11–12), 1304–1312. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1766177>

- Dwyer, D. B., & Gabbett, T. J. (2012). Global Positioning System Data Analysis: Velocity Ranges and a New Definition of Sprinting for Field Sport Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(3), 818–824. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182276555>
- Fischer-Sonderegger, K., Taube, W., Rumo, M., & Tschopp, M. (2019). Measuring Physical Load in Soccer: Strengths and Limitations of 3 Different Methods. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(5), 627–634. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0768>
- Gaudino, P., Iaia, F. M., Alberti, G., Strudwick, A. J., Atkinson, G., & Gregson, W. (2013). Monitoring Training in Elite Soccer Players: Systematic Bias between Running Speed and Metabolic Power Data. *International Journal of Sports Medicine*, 34(11), 963–968. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1337943>
- 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. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.510142>
- Harper, D. J., Carling, C., & Kiely, J. (2019). High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(12), 1923–1947. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01170-1>
- Hill, M., Spencer, A., McGee, D., Scott, S., Frame, M., & Cumming, S. P. (2020). The psychology of bio-banding: A Vygotskian perspective. *Annals of Human Biology*, 47(4), 328–335. <https://doi.org/10.1080/03014460.2020.1797163>
- Hintermann, M., Born, D.-P., Müller, D., Fuchslocher, J., & Romann, M. (2018, July 5). *Let the kids play more football: Evaluation of a new match format in U-11 soccer to increase the individual playing time and game involvement.*
- Huijgen, B. C. H., Elferink-Gemser, M. T., Lemmink, K. A. P. M., & Visscher, C. (2014). Multidimensional performance characteristics in selected and deselected talented soccer players. *European Journal of Sport Science*, 14(1), 2–10. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.725102>
- Jylhävä, J., Pedersen, N. L., & Hägg, S. (2017). Biological Age Predictors. *EBioMedicine*, 21, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2017.03.046>
- Khamis, H. J., & Roche, A. F. (1994). Predicting adult stature without using skeletal age: The Khamis-Roche method. *Pediatrics*, 94(4 Pt 1), 504–507.

- Langley, N. R. (2016). The lateral clavicular epiphysis: Fusion timing and age estimation. *International Journal of Legal Medicine*, 130(2), 511–517. <https://doi.org/10.1007/s00414-015-1236-9>
- Malina, R. M., Cumming, S. P., Rogol, A. D., Coelho-e-Silva, M. J., Figueiredo, A. J., Konarski, J. M., & Kozieł, S. M. (2019). Bio-Banding in Youth Sports: Background, Concept, and Application. *Sports Medicine*, 49(11), 1671–1685. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01166-x>
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., Coelho e Silva, M. J., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: Assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 852–859. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094623>
- Mann, D. L., & van Ginneken, P. J. M. A. (2017). Age-ordered shirt numbering reduces the selection bias associated with the relative age effect. *Journal of Sports Sciences*, 35(8), 784–790. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1189588>
- Meylan, C., Cronin, J., Oliver, J., & Hughes, M. (2010). Reviews: Talent Identification in Soccer: The Role of Maturity Status on Physical, Physiological and Technical Characteristics. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 5, 571–592. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.5.4.571>
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, G. D. A., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(4), 689–694.
- Morin, J.-B., Le Mat, Y., Osgnach, C., Barnabò, A., Pilati, A., Samozino, P., & di Prampero, P. E. (2021). Individual acceleration-speed profile in-situ: A proof of concept in professional football players. *Journal of Biomechanics*, 123, 110524. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110524>
- Müller, L., Müller, E., Hildebrandt, C., Kornexl, E., & Raschner, C. (2015). Influential Factors on the Relative Age Effect in Alpine Ski Racing. *PloS One*, 10(8), e0134744. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134744>
- Murtagh, C. F., Brownlee, T. E., O’Boyle, A., Morgans, R., Drust, B., & Erskine, R. M. (2018). Importance of Speed and Power in Elite Youth Soccer Depends on Maturation Status. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(2), 297–303. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002367>
- O’Connor, J. E., Coyle, J., Spence, L. D., & Last, J. (2013). Epiphyseal maturity indicators at the knee and their relationship to chronological age: Results of an Irish population study. *Clinical Anatomy*, 26(6), 755–767. <https://doi.org/10.1002/ca.22122>

- 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. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(1), 170–178. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ae5cfd>
- Perrey, S., Racinais, S., Saimouaa, K., & Girard, O. (2010). Neural and muscular adjustments following repeated running sprints. *European Journal of Applied Physiology*, 109(6), 1027–1036. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1445-3>
- Phillips, E., Davids, K., Renshaw, I., & Portus, M. (2010, January 4). *Expert performance in sport and the dynamics of talent development*. Sports Medicine (Auckland, N.Z.); Sports Med. <https://doi.org/10.2165/11319430-000000000-00000>
- Pruna, R., Miñarro Tribaldos, L., & Bahdur, K. (2018). Player talent identification and development in football. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 53(198), 43–46. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2018.02.002>
- 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. <https://doi.org/10.1055/s-2007-965158>
- Read, P. J., Oliver, J. L., Croix, M. B. A. D. S., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2016). The scientific foundations and associated injury risks of early soccer specialisation. *Journal of Sports Sciences*, 34(24), 2295–2302. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1173221>
- Romann, M., Lüdin, D., & Born, D.-P. (2020). Bio-banding in junior soccer players: A pilot study. *BMC Research Notes*, 13(1), 240. <https://doi.org/10.1186/s13104-020-05083-5>
- Romann, M., Rössler, R., Javet, M., & Faude, O. (2018). Relative age effects in Swiss talent development – a nationwide analysis of all sports. *Journal of Sports Sciences*, 36(17), 2025–2031. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1432964>
- Rubajczyk, K., & Rokita, A. (2020). The Relative Age Effect and Talent Identification Factors in Youth Volleyball in Poland. *Frontiers in Psychology*, 11, 1445. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01445>
- Sagar, S. S., Busch, B. K., & Jowett, S. (2010). Success and Failure, Fear of Failure, and Coping Responses of Adolescent Academy Football Players. *Journal of Applied Sport Psychology*, 22(2), 213–230. <https://doi.org/10.1080/10413201003664962>
- Sherar, L. B., Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., & Thomis, M. (2005). Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *The Journal of Pediatrics*, 147(4), 508–514. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2005.04.041>

- Sieghartsleitner, R., Zuber, C., Zibung, M., & Conzelmann, A. (2018). “The Early Specialised Bird Catches the Worm!”—A Specialised Sampling Model in the Development of Football Talents. *Frontiers in Psychology*, *9*, 188. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00188>
- Skorski, S., Skorski, S., Faude, O., Hammes, D., & Meyer, T. (2016). The Relative Age Effect in Elite German Youth Soccer: Implications for a Successful Career. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(3), 370–376. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0071>
- Sonderegger, K., Tschopp, M., & Taube, W. (2016). The Challenge of Evaluating the Intensity of Short Actions in Soccer: A New Methodological Approach Using Percentage Acceleration. *PLoS ONE*, *11*(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166534>
- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Physiological and Metabolic Responses of Repeated-Sprint Activities: Specific to Field-Based Team Sports. *Sports Medicine*, *35*(12), 1025–1044. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535120-00003>
- Towson, C., MacMaster, C., Gonçalves, B., Sampaio, J., Toner, J., MacFarlane, N., Barrett, S., Hamilton, A., Jack, R., Hunter, F., Myers, T., & Abt, G. (2020). The effect of bio-banding on physical and psychological indicators of talent identification in academy soccer players. *Science and Medicine in Football*, *0*(0), 1–13. <https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1862419>
- Varley, M. C., & Aughey, R. J. (2013). Acceleration Profiles in Elite Australian Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, *34*(1), 34–39. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1316315>
- Wattie, N., Schorer, J., & Baker, J. (2014). The Relative Age Effect in Sport: A Developmental Systems Model. *Sports Medicine*, *45*(1), 83–94. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0248-9>
- Williams, A. M., Ford, P. R., & Drust, B. (2020). Talent identification and development in soccer since the millennium. *Journal of Sports Sciences*, *38*(11–12), 1199–1210. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1766647>

## 8 Anhang

### Anhang 1

F-Tests auf Varianzhomogenität aus Excel

Tabelle 15

*F-Test für die Variablen BBZ1 und CAZ1*

	<i>BBZ1acc%kons</i>	<i>CAZ1acc%kons</i>
Mean	124.7	117.916667
Variance	325.4	434.25
Observations	36	36
df	35	35
F	0.749	
P(F<=f) one-tail	0.199	
F Critical one-tail	0.569	

Tabelle 16

*F-Test für die Variablen BBZ2 und CAZ2*

	<i>BBZ2acc%kons</i>	<i>CAZ2acc%kons</i>
Mean	270.6388889	276.3333333
Variance	1749.665873	2292.342857
Observations	36	36
df	35	35
F	0.76326535	
P(F<=f) one-tail	0.214112259	
F Critical one-tail	0.56910677	

Tabelle 17

*F-Test für die Variablen BBZ3 und CAZ3*

	<i>BBZ3acc%kons</i>	<i>CAZ3acc%kons</i>
Mean	86.02777778	92.05555556
Variance	494.1992063	413.4253968
Observations	36	36
df	35	35
F	1.19537699	
P(F<=f) one-tail	0.300210506	
F Critical one-tail	1.757139526	

Tabelle 18

*F-Test für die Variablen BBZ4 und CAZ4*

	<i>BBZ4acc%kons</i>	<i>CAZ4acc%kons</i>
Mean	22.8611111	31.5277778
Variance	130.580159	534.084921
Observations	36	36
df	35	35
F	0.24449325	
P(F<=f) one-tail	3.3903E-05	
F Critical one-tail	0.56910677	